

Agricultural waste management from a circular economy perspective: Systematic review

Yolinda Huanachea Ventura¹; Lucy Quispe Galindo¹
Technological University of Peru, Perú, c23068@utp.edu.pe
c20350@utp.edu.pe

Abstract– *The generation of agricultural waste poses a significant challenge today, as its improper management has negative impacts on the environment and the economy. This study analyzes trends in the recovery of this waste from a circular economy perspective, a strategy that allows it to be transformed into resources and integrated into the production cycle. The research followed a non-experimental cross-sectional methodology, adhering to the PRISMA statement guidelines. The literature search was conducted in the Scopus, Scielo, and Google Scholar databases, considering articles published since 2020. From an initial total of 547 studies, 23 articles were selected using inclusion and exclusion criteria related to waste type, methodological quality, practical applicability, and connection to the circular economy. The results show a predominance of technologies aimed at the production of bioenergy and materials, such as anaerobic digestion, pyrolysis, and biorefinery. However, limitations were identified in industrial scalability, techno-economic integration, and technology adoption processes. Furthermore, gaps were evident in the availability of territorial information and in the incorporation of social and digital factors into waste management. As a contribution, the review proposes an integrative approach based on the articulation between technologies, value-added applications, and circular business models*

Keywords– *Economy, agricultural waste, waste recovery, agribusiness, sustainability.*

Gestión de residuos agrícolas bajo el enfoque de la economía circular: Revisión sistemática

Yolinda Huanachea Ventura¹; Lucy Quispe Galindo¹
Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c23068@utp.edu.pe
c20350@utp.edu.pe

Resumen– La generación de residuos agrícolas constituye un desafío en la actualidad, debido a que su gestión inadecuada genera impactos negativos en el ambiente y la economía. El presente estudio analiza las tendencias en la valorización de estos residuos bajo el enfoque de economía circular, estrategia que permite transformarlos en recursos e integrarlos al ciclo productivo. La investigación siguió una metodología no experimental de corte transversal, siguiendo las directrices de la declaración PRISMA. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos Scopus, Scielo y Google Scholar, considerando artículos publicados desde el año 2020. De un total inicial de 547 estudios, se seleccionaron 23 artículos mediante criterios de inclusión y exclusión relacionados con tipo de residuo, calidad metodológica, aplicabilidad práctica y vinculación con la economía circular. Los resultados muestran un predominio de tecnologías orientadas a la producción de bioenergía y materiales, como digestión anaeróbica, pirólisis y biorrefinería. No obstante se identifican limitaciones en la escalabilidad industrial, la integración tecnoeconómica y procesos de adopción tecnológica. Asimismo, se evidencian brechas en la disponibilidad de información territorial y en la incorporación de factores sociales y digitales en la gestión de residuos. Como aporte, la revisión propone un enfoque integrador basado en la articulación entre tecnologías, aplicaciones de valor agregado y modelos de negocio circulares, orientado a mejorar la sostenibilidad y viabilidad del sector agrícola. Estos hallazgos contribuyen a fortalecer la transición hacia sistemas productivos más eficientes y alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: economía circular, residuos agrícolas, valorización de residuos, agroindustria, sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los residuos agrícolas y los desperdicios de alimentos contribuyen de manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, al deterioro de la biodiversidad y a la degradación de los ecosistemas naturales, como consecuencia del uso ineficiente de recursos clave tales como el agua, la tierra y la energía [1]. En este contexto, su gestión inadecuada representa un problema relevante no solo en el aspecto ambiental, sino también económico y social [2]. La agricultura y las actividades industriales asociadas al sector agrícola generan anualmente grandes volúmenes de residuos que, en muchos casos, son eliminados mediante prácticas poco sostenibles, como la quema a cielo abierto o el vertido no controlado,

ocasionando impactos negativos sobre el medio ambiente y desaprovechando recursos con alto potencial de valorización.

Actualmente, la producción agrícola genera importantes cantidades de residuos, tanto aquellos que provienen de la agroindustria y de los cultivos denominados residuos agrícolas como los derivados de los procesos de transformación y procesamiento de alimentos residuos de la industria alimentaria [3]. En el caso del Perú, país reconocido por su condición de megadiverso y por la coexistencia de múltiples ecosistemas diferenciados que sustentan una amplia gama de actividades económicas [14], la problemática adquiere especial relevancia. De acuerdo con datos reportados por la plataforma SIGERSOL del Ministerio del Ambiente, las empresas vinculadas al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego registraron la generación de 211 969,80 toneladas de residuos durante el año 2021 [4]. La gestión deficiente ha contribuido a la contaminación del suelo y del agua, al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y a la pérdida de biodiversidad, mostrando la necesidad de adoptar enfoques alternativos para su manejo.

Frente a este escenario se contempla la necesidad de valorizar la biomasa, emerge entonces la economía circular como una estrategia prometedora para transformar la gestión de los residuos agrícolas y agroindustriales. Una transición efectiva hacia este modelo requiere mecanismos que permitan equilibrar el desarrollo industrial y económico con la conservación y protección del medio ambiente, promoviendo al mismo tiempo el uso eficiente de los recursos [5]. A diferencia del modelo lineal tradicional, basado en la secuencia extraer, producir, consumir y desechar. La economía circular propone mantener los productos, materiales y recursos en uso durante el mayor tiempo posible, mediante estrategias como la reutilización, el reciclaje y la valorización de los mismos [6]. En este sentido, su acumulación no gestionada de manera adecuada constituye un desafío significativo para la sostenibilidad, ya que prácticas como la quema abierta, vertido incontrolado y el uso inapropiado de subproductos agrícolas no solo generan daños ecológicos, sino que también implican la pérdida de oportunidades para la generación de valor.

Asimismo, este modelo plantea una gestión innovadora de los residuos basada en el enfoque de ciclo de vida, lo que permite evaluar de manera integral los impactos ambientales, económicos y sociales asociados a los procesos productivos [6]. Sin embargo, la falta de políticas públicas, marcos normativos adecuados y prácticas efectivas para su manejo

continúa limitando el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales buscan un equilibrio entre el crecimiento económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental [7].

En este contexto, la adopción del modelo de economía circular en la gestión de residuos agrícolas permite abordar de manera más efectiva los problemas asociados a su acumulación, al tiempo que abre oportunidades para la generación de nuevos productos y fuentes de ingresos a partir de subproductos agrícolas. Diversos estudios identifican que pueden convertirse en materia prima para múltiples aplicaciones en industrias como fertilizantes, bioenergía, alimentos, construcción, piensos e industria farmacéutica, lo que refuerza su valor como recurso estratégico dentro de sistemas productivos sostenibles [5], [6]. Pese a estos avances, se identifica una débil integración entre los desarrollos tecnológicos y los factores sociales, digitales y territoriales que condicionan su adopción, lo que limita su implementación efectiva en contextos reales [7]. En particular, la ausencia de modelos de negocio consolidados, el escaso conocimiento sobre el comportamiento de los actores involucrados y la limitada disponibilidad de sistemas de información regionalizados dificultan la transición hacia sistemas sostenibles de gestión de residuos agrícolas.

En este marco, el presente artículo justifica la necesidad de consolidar la economía circular como un enfoque clave para transformarlos en recursos de valor, optimizando los procesos productivos y minimizando los impactos ambientales asociados. A partir de ello, la revisión se orienta a responder la siguiente pregunta de investigación: ¿qué tecnologías y tratamientos han sido aplicados para la valorización de residuos agrícolas en el sector agroindustrial desde un enfoque de economía circular, y cuál es su contribución a una gestión eficiente, a la sostenibilidad ambiental y al avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible? En concordancia, el objetivo de esta revisión sistemática es analizar y sintetizar la información científica sobre dichas tecnologías y tratamientos, con el fin de identificar su aporte en términos ambientales, económicos y de eficiencia en su gestión [6], [7].

De manera complementaria, esta revisión busca identificar las principales prácticas, desafíos y oportunidades asociadas a la implementación de procesos de valorización, incorporando no solo enfoques tecnológicos, sino también dimensiones industriales y de gestión que permitan una aplicación más integral de la economía circular en el sector agroindustrial. En este sentido, se reconoce que, si bien existen avances importantes en el desarrollo de tecnologías de valorización, aún persisten limitaciones relacionadas con su escalabilidad, viabilidad económica y articulación con mercados, lo que evidencia la necesidad de enfoques más integradores orientados a su implementación efectiva [7]. Bajo esta perspectiva, la economía circular se perfila como una estrategia de largo plazo para la gestión sostenible de los residuos agrícolas, alineada con los principios de eficiencia de recursos y sostenibilidad ambiental [5].

Finalmente, la revisión se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presenta la metodología empleada para la selección y análisis de la literatura, detallando las bases de datos consultadas, los criterios de inclusión y exclusión y los procedimientos utilizados para garantizar una revisión rigurosa. Posteriormente, se exponen y analizan los resultados obtenidos, abordando los conceptos fundamentales de la economía circular y su aplicación en la gestión de residuos agrícolas, así como principales tecnologías, tratamientos y modelos de gestión identificados. No obstante, logrando estos avances, persisten limitaciones significativas relacionadas con la implementación a escala industrial, la viabilidad económica y la articulación con mercados.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta revisión sistemática de literatura sin metaanálisis, se siguieron directrices establecidas por la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), para garantizar un proceso de búsqueda, selección y análisis de estudios transparente y reproducible.

El proceso de revisión fue planificado previamente, asegurando la consistencia metodológica en las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios relevantes. La búsqueda de información se realizó en las bases de datos Scopus, Scielo y Google Scholar, seleccionadas por su cobertura y relevancia científica en las áreas de ingeniería, ciencias ambientales y agroindustria. Para ello, se definió una estrategia de búsqueda basada en palabras clave y términos relacionados con la valorización de residuos agrícolas, la economía circular.

Esta búsqueda bibliográfica se realizó el 26 de mayo de 2024, considerando artículos publicados entre 2020 y 2024. El año 2020 corresponde al estudio más antiguo incluido en la revisión, de acuerdo con los criterios de selección establecidos.

A. Ecuación de búsqueda

(TITLE-ABS-KEY ("agricultural waste" OR agroindustrial OR "industrial waste" OR biowaste OR "agricultural organic waste" OR "agricultural organic waste" OR "agricultural organic remnant" OR "organic remainder" OR "agricultural leftovers" OR "agricultural organic surplus" OR "agricultural organic detritus") AND TITLE-ABS-KEY ("Circular economy" OR "Closed loop economy" OR "Closed loop" OR "Environmental sustainability" OR "collaborative economy" OR bioeconomy) AND TITLE-ABS-KEY (pattern OR design OR scheme OR plan OR "instrument method" OR resource OR medium) AND TITLE-ABS-KEY ("Sustainable management" OR "cost-effectiveness" OR sustainability OR viability OR "waste management" OR "agro-industrial resource efficiency") AND TITLE-ABS-KEY (agroindustry OR agricultural OR "farming industry" OR agroexport))

B. Criterios de elegibilidad

Durante el proceso de selección se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para asegurar la pertinencia y calidad de los documentos incorporados en la revisión.

1) Criterios de inclusión

En esta revisión sistemática se incluyeron artículos publicados en los últimos cinco años, con el fin de asegurar el uso de información científica reciente y relevante. Se consideraron estudios correspondientes a las áreas de ingeniería, ciencias ambientales y agroindustria, dado su vínculo directo con la gestión y valorización de residuos agrícolas. Asimismo, se seleccionaron tanto artículos originales como artículos de revisión que aportarán evidencia significativa al análisis del estado actual del conocimiento. seguidamente, se priorizaron investigaciones con aplicabilidad directa en procesos de gestión, tratamiento o valorización de los mismos, desarrolladas bajo enfoques de sostenibilidad y economía circular, en concordancia con el objetivo de la presente revisión.

2) Criterios de exclusión

Por el contrario, se excluyeron aquellos estudios que no presentaban una relación directa con la gestión, el tratamiento o la valorización de residuos agrícolas o agroindustriales. También, se descartaron los artículos que no contaban con una metodología claramente definida o que empleaban procedimientos poco rigurosos, porque ello impedía asegurar la validez y confiabilidad de sus resultados. De igual manera, se excluyeron documentos considerados obsoletos o desactualizados, que no reflejaban avances recientes en el sector agroindustrial. Finalmente, no se incluyeron aquellos estudios que no aportaban resultados relevantes o que no establecían una relación clara con las variables analizadas en el marco de la economía circular y la sostenibilidad..

2) Cribado

La selección de los estudios se realizó siguiendo el flujo metodológico PRISMA, tal como se observa en la Fig. #1. El cual estructura el proceso en cuatro fases: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

En la fase de identificación, la búsqueda en Scopus y Scielo permitió recuperar un total de 547 registros. Posteriormente, se eliminaron los registros duplicados, aquellos marcados como no elegibles por herramientas automáticas y los descartados por otros criterios, sumando 338 exclusiones, lo que dejó 209 registros para el proceso de cribado.

En la fase de cribado, se aplicaron filtros relacionados con el acceso abierto a los documentos, lo que permitió excluir 107 artículos, quedando 102 registros para la evaluación de títulos y resúmenes. Tras esta evaluación, se excluyeron 64 documentos por falta de pertinencia temática, resultando 38 artículos para revisión a texto completo.

En la fase de elegibilidad, se revisaron los textos completos, excluyéndose 17 estudios que no cumplían con los criterios

metodológicos o de relevancia. En conclusión, se incorporaron 21 artículos, a los que se añadieron 2 documentos adicionales identificados mediante búsqueda complementaria, conformando un total de 23 estudios incluidos en la presente revisión sistemática.

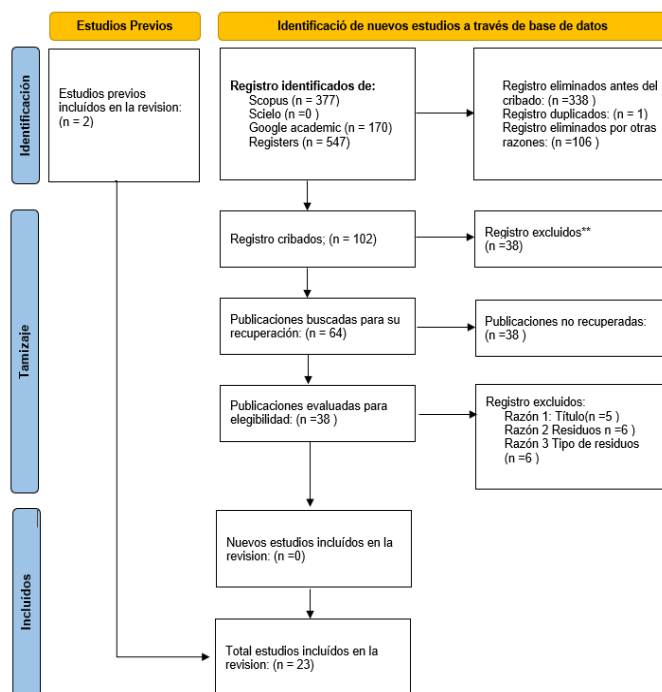


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA, adaptado [19]

III. RESULTADOS

Los resultados de la revisión sistemática se organizaron en tres categorías principales, de acuerdo con el tipo de proceso o enfoque de valorización identificado en la literatura analizada: procesos biotecnológicos, valorización de residuos y aplicaciones innovadoras. Esta clasificación permite sintetizar las tecnologías, tratamientos y modelos de gestión reportados en estudios recientes desde una perspectiva de economía circular.

A. Procesos Biotecnológicos

1) Digestión anaeróbica (DA) y conversión de residuos en energía.

Los estudios revisados corroboran que la digestión anaeróbica constituye una de las tecnologías más empleadas para la valorización de residuos agrícolas y agroindustriales, particularmente en cultivos, subproductos de frutas y residuos mixtos. La información reporta su aplicación tanto a escala

industrial como en sistemas descentralizados, destacando su capacidad para reducir significativamente el volumen de los mismos y generar biogás como fuente de energía renovable. De igual modo, se documenta el aprovechamiento del digestato resultante como insumo agrícola, integrando el proceso dentro de esquemas de gestión circular de nutrientes [15], [18].

2) *Producción de biopolímeros a partir de residuos*

La producción de biopolímeros, especialmente polihidroxialcanoatos (PHA), a partir de residuos agrícolas se muestran como una alternativa emergente para la sustitución de plásticos convencionales. Los estudios revisados los describen como fuente de carbono para procesos biotecnológicos basados en fermentación microbiana, orientados a la obtención de materiales con propiedades comparables a los polímeros derivados del petróleo. Esta línea de valorización se vincula principalmente con aplicaciones industriales en envases y materiales biodegradables [15].

3) *Producción de biocarbón y su impacto en la agricultura.*

La literatura reporta la conversión de residuos agrícolas en biocarbón mediante procesos termoquímicos como la pirólisis, destacando su aplicación en la mejora de suelos agrícolas. Los estudios muestran variabilidad en las tecnologías empleadas y en las propiedades del biocarbón obtenido, lo que incide en su desempeño agronómico. Asimismo, se enfatiza la necesidad de caracterizar adecuadamente el material antes de su aplicación, dado que sus propiedades fisicoquímicas influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes y en la respuesta de los cultivos [13].

4) *Gestión del nitrógeno y fertilizantes orgánicos*

Varios estudios abordan el uso de residuos agrícolas y agroindustriales en la producción de fertilizantes orgánicos y enmiendas del suelo, resaltando su contribución a la gestión del nitrógeno. La información muestra que el tratamiento mediante compostaje, secado o transformación fisicoquímica permiten una liberación progresiva de nutrientes, favoreciendo la eficiencia del uso de fertilizantes. Estas prácticas se insertan dentro de estrategias de manejo sostenible del suelo y reciclaje de nutrientes en sistemas agrícolas [16].

B) *Valorización de residuos*

1) *Comparación de modelos de negocio en la valorización de residuos.*

Los estudios revisados los describen asociándolos a la valorización, porque incluyen esquemas basados en biogás, upcycling y biorrefinerías. Donde se manifiesta que estos modelos difieren en términos de escalabilidad, requerimientos tecnológicos y niveles de integración industrial, siendo aplicados tanto en contextos agroindustriales como en sistemas agrícolas locales. La comparación entre enfoques

permite identificar distintas estrategias de aprovechamiento de residuos dentro de marcos de economía circular [21].

2) *Autogestión de residuos en explotaciones agrícolas*

La autogestión de residuos en explotaciones agrícolas se presenta como una estrategia recurrente en la literatura, particularmente en sistemas que integran compostaje, digestión anaeróbica y reutilización de subproductos en el propio predio. Los estudios describen experiencias en las que son tratados y reutilizados internamente, contribuyendo a cerrar ciclos de materia y energía dentro de la unidad productiva [12], [17].

3) *Producción de carbón activado a partir de residuos de guisantes*

La producción de carbón activado a partir de residuos de guisantes se reporta como una alternativa de valorización con potencial aplicación industrial. Los estudios describen procesos que incluyen pretratamientos, pirólisis y activación del material, orientados a obtener productos con propiedades adsorbentes. Esta línea de investigación se enmarca en la conversión para materiales de mayor valor agregado [13].

4) *Producción de biopetróleo a partir de residuos*

A diferencia del carbón activado, la producción de biopetróleo ha mostrado una viabilidad económica limitada, requiriendo precios de venta significativamente mayores para ser rentable. Se recomiendan estudios adicionales para evaluar la calidad del biopetróleo y su potencial industrial [13].

5) *Eficiencia en el uso de residuos agrícolas para biogás*

En Turquía, estudios sobre la producción de biogás han demostrado que los cultivos perennes tienen una mayor capacidad de producción en comparación con residuos más secos. Además, la digestión anaeróbica puede reducirlos en un 80%, superando métodos tradicionales como la quema o el vertido [18].

C) *Aplicaciones Innovadoras*

1) *Uso de residuos de mazorca de maíz en productos industriales*

Los productos derivados de la mazorca de maíz presentan un menor impacto ambiental en comparación con pellets de madera y carburo de silicio. La producción de sémola de mazorca requiere un 22% menos de energía que los pellets de mazorca, mientras que el carburo de silicio presenta la mayor demanda energética (139,4 MJ). En términos de sostenibilidad, la sémola de mazorca ha mostrado el menor impacto en el cambio climático [6].

2) *Valorización de residuos de café en materiales de construcción*

La integración de posos de café (SCG) en mezclas de mortero ha mejorado significativamente el aislamiento térmico, incluso con solo un 5% de SCG. Las comparaciones

entre morteros a base de cal y geopolímeros indican que estos biocompuestos tienen propiedades tecnológicas prometedoras para la construcción sostenible [7].

3) *Análisis de ciclo de vida (LCA) en la economía circular*

Se ha identificado que la implementación de LCA en el sector agrícola puede reducir la huella de carbono hasta en un 40% al emplear técnicas de compostaje en lugar de vertederos convencionales [11].

4) *Optimización de modelos de negocio basados en residuos agrícolas*

Finalmente, algunos estudios exploran la optimización de estos modelos que integran residuos agrícolas en procesos productivos circulares, incluyendo la producción de fertilizantes orgánicos, biopesticidas y biomateriales. Estas investigaciones resaltan la diversificación de productos y su incorporación como insumos estratégicos dentro de cadenas de valor agroindustriales [13], [24].

Las tablas siguientes presentan una síntesis comparativa de información relevante sobre el tipo de residuo agrícola abordado, el tipo de tratamiento tecnológico utilizado, los productos obtenidos y las aplicaciones correspondientes. Esta sistematización permite una lectura ordenada de los resultados y facilita el análisis comparativo, aportando criterios objetivos y necesarios para la toma de decisiones en la gestión sostenible de residuos agrícolas.

TABLA I

TIPO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y TECNOLOGÍA/TRATAMIENTO APLICADO

Tipo de residuo agrícola	Tecnología / tratamiento aplicado	Descripción del tratamiento	Referencia
Hojas, tallos y otros	Biorrefinería	Compostaje, digestión anaeróbica, uso de rafia biodegradable y autogestión	[12]
Mazorca de maíz	Valorización en pellets	Proceso con calor y presión	[6]
Hojas, tallos y semillas de kiwi	Procesamiento industrial	Extracción de compuestos bioactivos, deshidratación, fermentación, compostaje	[3]
Posos de café	Valorización	Secado y mezclas con agregados	[7]
Residuos de naranja	Digestión anaeróbica, hidrólisis enzimática, fermentación etanólica, ensilado	Uso de digestor anaeróbico, compostaje, descomposición de celulosa, uso de levaduras	[11]

Desechos sólidos de cultivo de arroz y caña	Inventario de generación de energía	Aplicación de método inductivo y deductivo	[10]
Desechos de guisantes (PW)	Planta de pirólisis	Pretratamiento, pirólisis, separación y activación	[13]
Residuos de orujo	Biosíntesis de nanopartículas de plata (NP, Ag)	Mezcla de reactivo con hollejos de uva	[9]
Subproductos de vino, cereales y estiércol.	Procesos de reciclaje y valorización de residuos	Incluye limpieza, clasificación, secado y homogeneización de residuos agrícolas para convertirlos en productos finales.	[21]
frutas y verduras (cáscaras, semillas y pulpa, derivados de cultivos como mangos, naranjas, pomelos, cocos, limas, maíz, caña de azúcar, tomates, lechugas, coles, entre otros).	Implementación de una plataforma digital que actúa como intermediario para facilitar la venta y gestión de residuos agrícolas. Mención de una planta piloto de biomateriales que transforma estos residuos en materiales o productos de valor añadido, aunque sin detalles específicos del proceso tecnológico.	La plataforma ayuda en la organización de transacciones monetarias, logística y distribución de materiales. La planta piloto de biomateriales procesa residuos agrícolas en productos de valor agregado, como papel, bioplástico, cuero vegano, madera contrachapada y pajitas.	[24]
(palmáceas, pinos)	Secado, trituración, siega	Secado natural, trituración y análisis	[16]
Residuos agrícolas	Digestión anaeróbica.	Fermentación ácida, donde los compuestos complejos se descomponen en monómeros, y fermentación metánica, donde los productos de la fermentación ácida se convierten en biogás, principalmente metano.	[18]

La Tabla 1 sistematiza las tecnologías y tratamientos aplicados a distintos tipos de residuos agrícolas en el contexto de la economía circular, presentando la diversidad de enfoques empleados en los estudios analizados. Los trabajos revisados abordan principalmente procesos biológicos, fisicoquímicos e industriales, así como esquemas integrados de tratamiento que incluyen desde operaciones básicas de acondicionamiento hasta tecnologías avanzadas de transformación. De manera complementaria, también hay propuestas orientadas a la gestión de residuos mediante herramientas digitales, lo que amplía el alcance de la valorización tradicional hacia modelos de gestión más integrales. En conjunto, la información presentada permite reconocer patrones tecnológicos y

metodológicos utilizados para su tratamiento según su naturaleza y potencial de aprovechamiento.

TABLA II
RESIDUOS AGRÍCOLAS, PRODUCTOS OBTENIDOS Y APLICACIÓN

Tipo de residuo agrícola	Producto obtenido	Aplicación	Referencia
Hojas, tallos y otros	Biogás y compost	Mejora de la calidad del suelo, generación de energía y beneficios económicos asociados.	[12]
Mazorca de maíz	Pellets de mazorca	Producción de energía renovable, mejora de la calidad del suelo y aportes económicos.	[6]
Hojas, tallos y semillas de kiwi	Aditivos alimentarios	Viabilidad en términos de sostenibilidad y beneficios económicos	[3]
posos de café	Secado, mezclas con agregados.	Aplicación como aditivo en materiales de construcción, contribuyendo a la valorización de residuos.	[7]
Residuos de naranja	Biogás y bioetanol	Contribución a la eficiencia energética y a la sostenibilidad del sistema.	[11]
Desechos sólidos de cultivo de arroz y caña	Generación de energía	Aprovechamiento limitado del potencial de los residuos para la generación de energía.	[10]
Desechos de guisantes (PW)	Carbón activado	Limitaciones técnicas y económicas frente a fuentes energéticas convencionales.	[13]
Residuos de orujo	Nanopartículas de plata (NP, Ag)	Valorización de residuos agrícolas mediante su transformación en compuestos bioactivos.	[9]
Subproductos de vino, cereales y estiércol.	biocombustibles, biomateriales y fertilizantes.	Integración en biorrefinerías y aprovechamiento como insumos para procesos industriales químicos, contribuyendo a la sustitución de materias primas convencionales.	[21]
frutas y verduras, incluyendo cáscaras, semillas y pulpa, derivados de cultivos como mangos, naranjas, pomelos, cocos, limas,	Implementación de una plataforma digital que actúa como intermediario para facilitar la venta y gestión de residuos agrícolas. Mención de una planta piloto de biomateriales que transforma estos	Obtención de productos de valor añadido a partir de residuos agrícolas, incluyendo papel, bioplásticos, cuero vegetal, madera contrachapada y otros biomateriales, con aplicaciones potenciales en sectores industriales y comerciales, especialmente en envases, materiales ecológicos y	[24]

maíz, caña de azúcar, tomates, lechugas, coles, entre otros.	residuos en materiales o productos de valor añadido, aunque sin detalles específicos del proceso tecnológico.	productos de origen renovable.	
(palmáceas, pinos)	Materia seca triturada	Uso como fertilizante y enmienda para la mejora de las propiedades del suelo	[16]
Residuos agrícolas	Biogás y digestato rico en nutrientes	El biogás es aprovechado como fuente de energía, mientras que el digestato se reutiliza como fertilizante en sistemas agrícolas.	[18]

La tabla 2, presenta una síntesis comparativa de los estudios revisados, identificando patrones recurrentes en los tipos de residuos agrícolas analizados y en las estrategias de valorización documentadas en la literatura reciente. Se evidencia una marcada concentración de investigaciones orientadas al aprovechamiento de residuos orgánicos y lignocelulósicos, los cuales son valorizados principalmente a través de procesos de conversión energética, producción de insumos agrícolas y obtención de materiales con valor agregado. Este predominio resalta su papel estratégico como recursos clave dentro de esquemas de economía circular. Así, la información sistematizada muestra una tendencia hacia la articulación de soluciones tecnológicas con modelos de gestión, lo que pone de manifiesto una evolución del enfoque tradicional de tratamientos hacia esquemas integrales de valorización en el sector agroindustrial.

IV. DISCUSIÓN

El análisis comparativo de los estudios revisados demuestra una clara predominancia de enfoques tecnológicos orientados a la valorización energética y material de los residuos agrícolas, principalmente mediante procesos como la digestión anaeróbica, la biorrefinería y la pirólisis. En términos generales, estas tecnologías han demostrado viabilidad técnica en diversos tipos de biomasa, incluyendo cítricos, donde se reporta un alto potencial para la producción de biogás y bioetanol bajo esquemas integrados [11], así como en la obtención de materiales como carbón activado a partir de procesos termoquímicos [13]. Sin embargo, a pesar de estos avances, los hallazgos coinciden en que la mayoría de estas aplicaciones aún se encuentran en fases experimentales o piloto, lo que limita su escalabilidad e implementación a nivel industrial.

En cuanto a las aplicaciones derivadas, se muestra una tendencia marcada hacia la producción de bioenergía y materiales, en concordancia con estudios que posicionan el aprovechamiento energético especialmente mediante plantas

de biogás como una de las principales respuestas frente al incremento de residuos agrícolas [18]. Empero, esta orientación revela una traba importante: la escasa diversificación hacia productos de mayor valor agregado. Aunque subproductos como el digestato presentan beneficios agronómicos relevantes, particularmente en la mejora de suelos [15], [18], el uso en cascada de la biomasa aún no se optimiza plenamente, lo que restringe su potencial dentro de esquemas de economía circular más avanzados.

En esta línea, algunas investigaciones muestran el surgimiento de alternativas innovadoras con mayor valor agregado, como la producción de biopolímeros (PHA), materiales de construcción a partir de residuos orgánicos o la valorización de subproductos agrícolas con menor impacto ambiental [6], [7], [15]. Estas aplicaciones muestran un cambio progresivo hacia enfoques más sostenibles; Pero, su desarrollo sigue siendo incipiente y carece de integración con estrategias de mercado consolidadas.

Desde una perspectiva de gestión, persisten vacíos significativos en la articulación entre desarrollo tecnológico y viabilidad comercial. Los modelos de negocio circulares enfrentan limitaciones asociadas a la logística, la variabilidad en la disponibilidad de residuos y la ausencia de estrategias claras de comercialización, lo que dificulta la inserción de productos derivados en mercados competitivos [21]. A ello se suman factores contextuales como regulaciones, incentivos económicos y condiciones territoriales, que influyen directamente en la sostenibilidad de estas iniciativas.

Por otro lado, la adopción de soluciones tecnológicas y plataformas digitales en la gestión de residuos agrícolas no depende únicamente de variables técnicas. Se muestra que factores como la confianza, la influencia social y la percepción de privacidad tienen un impacto más significativo en la intención de uso que aspectos como el desempeño esperado o el esfuerzo percibido [24]. Este hallazgo indica la demanda de incorporar componentes sociales y conductuales en el diseño e implementación de estas soluciones.

En relación con la gestión de nutrientes, usarlos para fertilizantes representa una estrategia eficiente para mejorar la sostenibilidad agrícola, al incrementar el aprovechamiento del nitrógeno y favorecer la retención de agua en el suelo. En este contexto, ciertos residuos, como el compost de lodos de depuradora, han demostrado una mayor eficacia en la disponibilidad de nutrientes en comparación con otras alternativas [16].

Finalmente, desde el enfoque económico, se presentan diferencias importantes entre tecnologías. Mientras algunas, como la producción de carbón activado, señalan indicadores financieros favorables, otras como la producción de biopetróleo aún afrontan limitaciones que requieren optimización tecnológica y mayor análisis de mercado [13]. En conjunto, estos hallazgos reflejan que la investigación actual mantiene un enfoque predominantemente tecnológico y fragmentado, sin una integración efectiva de dimensiones económicas, sociales y territoriales. Esta limitación refuerza la necesidad de avanzar hacia enfoques más integrales que

permitan una implementación realista, sostenible y escalable de la economía circular en el sector agroindustrial.

V. CONCLUSIONES

La revisión permite evidenciar que la valorización de residuos agrícolas se ha desarrollado principalmente a partir de tecnologías de conversión orientadas a la producción de bioenergía y materiales, tales como digestión anaeróbica, biorrefinería y pirólisis, las cuales han demostrado viabilidad técnica en diferentes contextos. Sin embargo, estos avances se encuentran en su mayoría en etapas experimentales o piloto, lo cual limita su escalabilidad y aplicación a nivel industrial.

En concordancia con la pregunta de investigación, los estudios analizados demuestran que las tecnologías mencionadas y tratamientos aplicables a la valorización de residuos agrícolas que contribuyen a una gestión más eficiente y sostenible, identificándose así una amplia variedad de tecnologías de valorización, las cuales han mostrado una alta capacidad para transformarlos en productos de valor añadido, como biogás, digestato, fertilizantes orgánicos y biomateriales, consolidándose como alternativas viables frente a esquemas tradicionales de disposición final.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, los estudios indican que la integración de tratamientos como el compostaje y la digestión anaeróbica mejora la eficiencia en el uso de nutrientes y reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos, favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles. Paralelamente, la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) ha permitido demostrar reducciones significativas en la huella de carbono cuando se priorizan estrategias de valorización frente a opciones convencionales.

En términos económicos, algunos procesos, como la producción de carbón activado y valorización energética de residuos, presentan indicadores financieros favorables, mientras que otros, como la producción de biopetróleo, aún muestran limitaciones de viabilidad. Estos resultados indican la necesidad de evaluar de manera integral la factibilidad técnica, ambiental y económica de cada tecnología.

Adicionalmente se establece que la implementación a gran escala de estas estrategias enfrenta desafíos relacionados con la inversión, la infraestructura, el marco normativo y la adopción por parte de los actores del sector. En este sentido, se destaca la importancia de complementar las tecnologías de valorización con modelos de gestión y herramientas digitales que faciliten la trazabilidad y su aprovechamiento.

En conclusión, la valorización de residuos agrícolas bajo un enfoque de economía circular se consolida como una estrategia integral para mejorar su gestión, promover la sostenibilidad ambiental y avanzar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, posicionándose como una solución de largo plazo para el sector agroindustrial.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica del Perú.

REFERENCES

- [1] «Portal de apoyo y gobernanza de políticas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | Apoyo y gobernanza de políticas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura». Accedido: 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/policy-support/food-loss-waste>
- [2] I. Prado-Acebo, J. Cubero-Cardoso, T. A. Lu-Chau, y G. Eibes, «Integral multi valorization of agro-industrial wastes: A review», *Waste Management*, vol. 183. Elsevier Ltd, pp. 42-52, 2024. doi: 10.1016/j.wasman.2024.05.001.
- [3] F. Chamorro et al., «Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model», *Food Chem.*, vol. 370, p. 131315, 2022.
- [4] «Power BI Report». Accedido: 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibGZmNjBiYWUzZDUxMi00OGVlLWJlNWtYTCwMzQ3YzFIMjIiwidCI6IjBIMmFiZjRlLWExZjUtNDZlZi1iOWE0LWM5YWE2ZGQ1NTE4MCI9&pageName=ReportSection>
- [5] R. Kapoor et al., «Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook», *Bioresour. Technol.*, vol. 304, p. 123036, 2020.
- [6] E. Santolini, M. Bovo, A. Barbaresi, D. Torreggiani, y P. Tassinari, «Turning agricultural wastes into biomaterials: Assessing the sustainability of scenarios of circular valorization of corn cob in a life-cycle perspective», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, n.o 14. MDPI AG, 2021. doi: 10.3390/app11146281.
- [7] G. La Scalia, M. Saeli, P. P. Miglietta, y R. Micale, «Coffee biowaste valorization within circular economy: an evaluation method of spent coffee grounds potentials for mortar production», *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 26, n.o 9, pp. 1805-1815, sep. 2021, doi: 10.1007/s11367-021-01968-0.
- [8] «Objetivos de Desarrollo Sostenible», UNDP. Accedido: 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- [9] D. A. Asmat Campos, E. K. Bravo Huivin, y V. P. Avalos Vera, «Valorization of agro-industrial waste in a circular economy environment: grape pomace as a source of bioactive compounds for its application in nanotechnology [Valorización de residuos agroindustriales en un entorno de economía circular: Orujo de uva como fuente de compuestos bioactivos para su aplicación en nanotecnología]», 2021, Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34543>
- [10] F. T. Alava, F. Guerrero, C. V. Maenza, y T. S. Barros, «Circular economy vision for local development focused on waste derived from two agricultural crops in Ecuador», *J. Bus. Entrep. Stud.*, vol. 6, n.o 4, 2022, Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.journalbusiness.com/index.php/revista/article/view/318>.
- [11] A. Christofi, D. Tsipiras, D. Malamis, K. Moustakas, S. Mai, y E. M. Barampouti, «Biofuels production from orange juice industrial waste within a circular economy vision», *J. Water Process Eng.*, vol. 49, p. 103028, 2022.
- [12] M. D. Acevedo, «Management of agricultural waste biomass in the context of the circular economy and bioeconomy: the case of the fruit and vegetable sector in southeast Spain», PhD Thesis, Universidad de Almería, 2022. Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=313304>
- [13] S. H. Zein y A. Antony, Techno-economic analysis and feasibility of industrial-scale activated carbon production from agricultural pea waste using microwave-assisted pyrolysis: a circular economy approach, *Processes*, vol. 10, n.º 9, p. 1702, 2022
- [14] <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1345.pdf>
- [15] S. Gul y W. Ahmed, A Research Challenging Vision Concerning Waste of Agricultural Management in a Bio-Based Circular Economy: A Review Article», *Bull. Bus. Econ. BBE*, vol. 13, n.º 1, 2024, Accedido: 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bbejournal.com/BBE/article/view/774>
- [16] T. Rodríguez-Espinoza et al., «Nitrogen management in farming systems under the use of agricultural wastes and circular economy», *Science of the Total Environment*, vol. 876. Elsevier B.V., 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162666.
- [17] M. Duque-Acevedo, L. J. Belmonte-Ureña, J. A. Plaza-Úbeda, y F. Camacho-Ferre, «The management of agricultural waste biomass in the framework of circular economy and bioeconomy: An opportunity for greenhouse agriculture in Southeast Spain», *Agronomy*, vol. 10, n.º 4, p. 489, 2020.
- [18] S. Sertgümeç, A. N. Usta, y C. Özarpa, «The agricultural waste inventory on the regional basis in Turkey: Valuation of agricultural waste with zero-waste concept in the scope of circular economy», *Environ. Res. Technol.*, vol. 4, n.º 4, pp. 377-385, 2021.
- M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [19] «PRISMA statement», PRISMA statement. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.prisma-statement.org>
- [20] M. Young, *The technical writer's handbook : writing with style and clarity*. Mill Valley, Calif. : University Science Books, 1989. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/technicalwriters00you>
- [21] M. Donner, R. Gohier, y H. de Vries, «A new circular business model typology for creating value from agro-waste», *Science of the Total Environment*, vol. 716. Elsevier B.V., 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137065.
- [22] P. A. C. Bejarano, J. Rodríguez-Miranda, R. I. Maldonado-Astudillo, Y. I. Maldonado-Astudillo, y R. Salazar, «Circular Economy Indicators for the Assessment of Waste and By-Products from the Palm Oil Sector», *Processes*, 2022, doi: 10.3390/pr10050903.
- [23] A. Blasi, A. Verardi, C. G. Lopresto, S. Siciliano, y P. Sangiorgio, «Lignocellulosic Agricultural Waste Valorization to Obtain Valuable Products: An Overview», *Recycling*, vol. 8, n.º 4. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2023. doi: 10.3390/recycling8040061.
- [24] Pienwisetkaew, T., Wongsachia, S., Pinyosap, B., Prasertsil, S., Poonsakpaisarn, K., & Ketkaew, C. (2023). The behavioral intention to adopt circular economy-based digital technology for agricultural waste valorization. *Alimentos*, 12(12), 2341. <https://doi.org/10.3390/alimentos12122341>.