

Artículo de Revisión

***ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE ACEITES
RESIDUALES EN LA PRODUCCIÓN BIOCOMBUSTIBLES:
REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS, BENEFICIOS
AMBIENTALES Y DESAFÍOS***

***STRATEGIES FOR THE EXPLOITATION OF RESIDUAL OILS IN BIOFUEL
PRODUCTION: REVIEW OF TECHNOLOGIES, ENVIRONMENTAL
BENEFITS AND CHALLENGES***

Anthony Casanova Pazmiño^{1*} <https://orcid.org/0009-0003-4819-0974>
Alex Alberto Dueñas Rivadeneira² <https://orcid.org/0000-0002-8603-0694>

¹ Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Agrociencias. Chone- Manabí- Ecuador.

² Departamento de Procesos Agroindustriales, Facultad de Agrociencias, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Recibido: Diciembre 1º, 2025; Revisado: Diciembre 12, 2025; Aceptado: Diciembre 20, 2025

RESUMEN

Introducción:

El aceite vegetal es un compuesto orgánico compuesto principalmente por triglicéridos. Su uso masivo en la industria alimentaria genera grandes volúmenes de residuos altamente contaminantes. No obstante, estos desechos representan una oportunidad estratégica para producir biodiésel, una alternativa sostenible al diésel fósil que mitiga la dependencia energética y el impacto ambiental dentro de un modelo de economía circular.

Objetivo:

Analizar las estrategias de aprovechamiento de aceites residuales, evaluando sus tecnologías de conversión, beneficios ecológicos y los desafíos técnicos para su escalabilidad industrial.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Anthony Casanova, Email: acasanova7223@utm.edu.ec



Materiales y Métodos:

Se efectuó una revisión bibliográfica sistemática en bases de datos académicas, seleccionando literatura técnica y científica relevante mediante criterios de inclusión para identificar procesos de síntesis y resultados reportados.

Resultados y Discusión:

La investigación confirma que los aceites usados son materia prima viable para el biodiésel. Destacan la transesterificación y procesos catalíticos avanzados por su eficiencia. El uso de estos residuos reduce significativamente las emisiones y mejora la gestión de desechos; sin embargo, la logística de recolección, el pretratamiento y los costos operativos limitan su implementación masiva.

Conclusiones:

El aprovechamiento de aceites residuales es una solución eficaz y sostenible. Pese a su potencial para reducir la contaminación, su escalabilidad depende de superar barreras financieras y logísticas, siendo crucial el apoyo regulatorio y la innovación tecnológica continua.

Palabras clave: Aceite residual; Aceite vegetal; Beneficios ambientales; Biodiésel; Transesterificación.

ABSTRACT

Introduction:

Vegetable oil is an organic compound composed mainly of triglycerides. Its widespread use in the food industry generates large volumes of highly polluting waste. However, this waste represents a strategic opportunity to produce biodiesel, a sustainable alternative to fossil diesel that mitigates energy dependence and environmental impact within a circular economy model.

Objective:

To analyze strategies for utilizing waste oils, evaluating their conversion technologies, ecological benefits, and technical challenges for industrial scalability.

Materials and Methods:

A systematic literature review was conducted in academic databases, selecting relevant technical and scientific literature using inclusion criteria to identify synthesis processes and reported results.

Results and Discussion:

The research confirms that used oils are a viable raw material for biodiesel. Transesterification and advanced catalytic processes stand out for their efficiency. The use of these wastes significantly reduces emissions and improves waste management; however, collection logistics, pretreatment, and operating costs limit their mass implementation.

Conclusions:

The use of waste oils is an effective and sustainable solution. Despite its potential to reduce pollution, its scalability depends on overcoming financial and logistical barriers, with regulatory support and continuous technological innovation being crucial.

Keywords: Waste oil; Vegetable oil; Environmental benefits; Biodiesel; Transesterification.

1. INTRODUCCIÓN

Según Ochoa (2025) los aceites vegetales residuales representan una alternativa sostenible para la producción de biocombustibles, especialmente biodiésel y diésel renovable. Algunos no son aptos para consumo humano, como el de ricino, *Jatropha curcas* o algodón. Como afirman Jones et al. (2021) la composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla del 95 % de triglicéridos (triésteres formados por la reacción de los ácidos grasos) y el 5 % de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios, de acuerdo con Tamburini (2024), los aceites son ésteres formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol. Tal como señalan Meduri et al., (2025) a partir del uso del aceite vegetal de cocina en la industria alimentaria se pueden generar productos prometedores en materia de innovación y gestión de residuos como es el caso del biodiesel, cuya materia prima es precisamente estos residuos de aceites altamente contaminantes. Segovia (2024) sostiene que el análisis de la estructura de los ácidos grasos, los conocimientos fundamentales de catálisis y el relativo éxito del biodiésel como sustituto del petrodiesel llevaron a la idea de que se puede procesar el aceite para obtener compuestos con propiedades análogas al diésel de origen fósil. Cardenas (2025) plantea que con esta idea surgió la producción de diésel verde o diésel renovable que es un biocombustible renovable y sostenible que se ha hecho cada vez más relevante en los últimos años y se produce a partir de diversas fuentes renovables, como aceites vegetales, grasas animales y aceite de cocina usado. En palabras de Kaczor et al., (2023) la problemática de la gestión de aceites vegetales se da de la propuesta de realizar una revisión sistemática de 3 factores determinantes que expliquen su implementación, explorando las tecnologías y métodos utilizados en la producción, detallar los beneficios ambientales y los desafíos encontrados en investigaciones previas enfatizando los más recurrentes.

Ruidiaz (2025) argumenta que varios estudios han realizado investigaciones de la producción de biodiesel a partir de los aceites residuales donde abordaron métodos utilizados, sus características y las propiedades físico-químicas del biocombustible.

Dicho esto, el objetivo del presente artículo científico es analizar las estrategias de aprovechamiento de aceites residuales, evaluando sus tecnologías de conversión, beneficios ecológicos y los desafíos técnicos para su escalabilidad industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda desde noviembre de 2024 hasta marzo del 2025 a través de la metodología por etapas para una revisión sistemática cualitativa que contiene los siguientes pasos que establece (Haan & Takriff, 2022): 1) formular la pregunta de revisión, 2) definir los criterios de inclusión y exclusión, 3) desarrollar la estrategia de búsqueda y localizar estudios, 4) seleccionar estudios, 5) extraer datos, 6) evaluar la calidad de los estudios, 7) analizar e interpretar los resultados y 8) difundir los hallazgos mediante la publicación de este artículo científico.

2.1. Pregunta de revisión

¿Cuáles son las estrategias para utilizar aceites vegetales residuales en la producción de biocombustibles, incluidas las tecnologías, los beneficios ambientales y los desafíos?

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Para Siddiqui et al. (2025) se deben incluir las publicaciones en formato electrónico de los últimos cinco años con la finalidad de contribuir los avances más recientes en el tema de interés. Según Viskovic et al. (2024) se debe dar prioridad a los artículos publicados en el idioma inglés al ser la lengua franca de las investigaciones seguido del español. De acuerdo con Marín et al. (2025) debe abarcar criterios de inclusión e investigaciones que analizan tecnologías de conversión de aceites vegetales residuales en biocombustibles, así como artículos que discutieran los beneficios ambientales y la sostenibilidad de estas prácticas. Nanda et al. (2023) señalan que se deben excluir estudios que no se centraran en aceites vegetales residuales o que no presentaran datos relevantes que aporten al cumplimiento del objetivo planteado.

En palabras de Alzate-León et al. (2024) el proceso de selección de estudios se lleva a cabo en dos etapas. En la primera etapa, se revisan los títulos y resúmenes de 900 artículos encontrados, de los cuales 300 fueron seleccionados para una revisión más detallada. Finalmente se incluyeron 40 estudios que cumplieran con los criterios establecidos.

De esta manera Delgado et al. (2023) señalan que se deben clasificar las tecnologías de conversión en categorías, como transesterificación y pirólisis, y evaluar los beneficios ambientales a través de un análisis comparativo de estudios reportados. Finalmente, Andrade et al. (2025) dicen que se debe identificar y discutir los desafíos asociados con el aprovechamiento de aceites vegetales residuales en la producción de biocombustibles.

2.3. Estrategia de búsqueda y localización de estudios

La estrategia de búsqueda incluyó las palabras clave en el idioma inglés: “*residual oil*”, “*vegetable oil*”, “*biodiesel*”, “*environmental benefits*”, “*transesterification*”. Esta búsqueda se extendió al idioma español con el fin de encontrar artículos en español relacionados al tema de interés que respondan al rigor científico requerido.

2.4. Selección de estudios

La selección de estudios fue realizada en las bases de datos: Web of Science, Scopus, Google Scholar, SciELO a través del algoritmo de búsqueda se eligieron únicamente aquellos trabajos (artículos científicos) que mencionaran las tecnologías en la producción de biodiesel, sus beneficios al medio ambiente y los desafíos reconocidos por los investigadores en sus artículos de investigación por separado.

2.5. Extracción de datos

De acuerdo con Abdullah et al. (2024) cada investigación debe extraer los siguientes datos: el autor, año de publicación del artículo, revista de publicación, objetivos de las investigaciones, métodos de producción descritos y los desafíos identificados o asociados a la implementación del biodiesel. Estos datos se lograron organizar en una hoja de cálculo de *Microsoft Excel* la cual permitió tener una estructura clara y ordenada de los hallazgos considerados en el estudio.

2.6. Evaluación de la calidad de los estudios

Para evaluar la calidad científica de los artículos seleccionados, se utilizaron los criterios propuestos por Samudra et al. (2024) en su metodología de lectura crítica de la literatura científica (Ver tabla 1). Este enfoque se compone de una serie de parámetros clave diseñados para analizar la validez y relevancia de los estudios revisados, adaptándolos específicamente al campo de conocimiento del presente artículo.

Se consideraron aspectos cruciales que garanticen el rigor científico tales como:

1. La claridad en la formulación de los objetivos de cada estudio.
2. La adecuación del diseño metodológico a los objetivos planteados.
3. La validez de los datos y la consistencia de los resultados.
4. La relevancia y aplicabilidad de las conclusiones en el contexto de esta revisión.

Cada parámetro escogido fue evaluado de manera sistemática para garantizar que los estudios incluidos cumplieran con lo establecido en el objetivo planteado, fortaleciendo así la validez de los resultados de la presente revisión bibliográfica.

Tabla 1. Criterios éticos y profesionales aplicados en la evaluación de los estudios

<i>Criterio evaluado</i>	<i>Descripción del criterio</i>	<i>Aplicación en la revisión</i>
Claridad de objetivos	Definición explícita y coherente de los objetivos de investigación	Se verificó que los estudios presentaran objetivos claros y alineados con el aprovechamiento de aceites residuales
Rigor metodológico	Adecuación del diseño metodológico y técnicas empleadas	Se incluyeron únicamente estudios con metodologías reproducibles y bien fundamentadas
Validez de datos	Consistencia, confiabilidad y respaldo de los datos reportados	Se priorizaron investigaciones con resultados verificables y datos comparables
Transparencia científica	Declaración clara de métodos, limitaciones y resultados	Se excluyeron estudios con información incompleta o ambigua
Relevancia ética	Contribución al desarrollo sostenible y gestión responsable de residuos	Se consideró el impacto ambiental y social positivo reportado en los estudios
Aplicabilidad de resultados	Potencial de implementación en contextos reales	Se valoró la utilidad práctica de los hallazgos para la producción de biocombustibles

2.7. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de los resultados obtenidos fue examinado desde un enfoque cualitativo que mencionan Monteiro et al. (2024) que permita conocer sobre los métodos de producción, considerando los resultados reportados entre las diferentes investigaciones, la eficiencia reportada en cada proceso y demás. Según Prakash & Vasistha, (2023) los datos

reportados de los estudios seleccionados se deben organizar en categorías de forma que se consideraron fuentes de materia prima, tecnologías de conversión, el impacto ambiental documentado, así como las barreras técnicas identificadas.

2.8. Difusión de hallazgos

Para la realización de hallazgos de acuerdo con Kamchonemenukool et al., (2022) se busca y analiza diferentes revistas científicas y se considera una de revisión por pares que tenga relación al tema de investigación con la finalidad de garantizar la divulgación efectiva de las contribuciones realizadas en el presente artículo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados y discusión

Según Gebreegziabher et al. (2025) a partir de una revisión sistemática de la literatura sobre estrategias para el uso de residuos de aceites vegetales en la producción de biocombustibles, se determinó que las variables de investigación de este trabajo (tecnologías de conversión, beneficios y desafíos ambientales) permitieron un análisis integral del conocimiento científico actual en este campo. Como afirman Carvalho et al. (2023) los resultados obtenidos indican una tendencia creciente a utilizar aceites usados como materia prima alternativa, impulsada por la necesidad de reducir el impacto ambiental y promover modelos de economía circular.

Tal como señalan Castillo y Ruiz, (2025) los estudios analizados deben coincidir en que la valorización de estos residuos no sólo ayudó a reducir la contaminación asociada a su eliminación inadecuada, sino que también resultó una solución técnicamente viable y ambientalmente sostenible para la producción de biodiesel. En palabras de Aponte, (2022) se deben identificar limitaciones técnicas, económicas y logísticas que limitaron su uso generalizado, las cuales fueron discutidas ampliamente por los autores revisados.

3.2. Análisis e interpretación de la investigación

El análisis cualitativo de los 40 estudios seleccionados permitió identificar patrones comunes en términos de tecnologías utilizadas, impactos ambientales informados y cuestiones clave. Los resultados se organizaron en categorías temáticas para facilitar su interpretación y comparación, destacando el predominio de las tecnologías de conversión química, especialmente la transesterificación, como el método más estudiado y aplicado para la producción de biodiesel a partir de residuos de aceites vegetales.

3.3. Tecnologías

Como explican Latterini et al., (2021) las tecnologías identificadas en la literatura incluyeron principalmente transesterificación, pirólisis y, en menor medida, procesos catalíticos avanzados e hidrogenación. Entre ellas, se informó que la transesterificación es la tecnología más eficiente y extendida debido a su relativa simplicidad operativa, alta conversión de triglicéridos y compatibilidad con las infraestructuras existentes.

Bajo la óptica de Cosenza et al. (2024) los estudios revisados enfatizaron que la elección de la tecnología depende en gran medida de la calidad del aceite residual, el contenido de ácidos grasos libres y las condiciones económicas del proceso. Siguiendo la línea de

Tacias-Pascacio et al. (2025) en este sentido, los métodos previos de tratamiento del aceite, como la filtración y la neutralización, se consideraron fundamentales para mejorar el rendimiento y la calidad del biodiesel producido.

3.4. Transesterificación

Según Galaviz-Villa et al. (2025) en diversos estudios sobre las principales tecnologías para el aprovechamiento de residuos de aceites vegetales, la transesterificación fue identificada como el método dominante; estos estudios la definen como una reacción química en la que los triglicéridos. como el método dominante lo definieron como una reacción química en la que los triglicéridos que se encuentran en aceites y grasas se convierten en ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), principal componente del biodiesel. Como bien indican Derdag & Ouazzani, (2025), el proceso comienza mezclando el aceite residual con un alcohol -generalmente metanol o etanol- y un catalizador, generalmente hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, cuya función es acelerar la reacción.

Los hallazgos de Silitonga et al. (2025) durante la reacción, el alcohol reemplaza el glicerol en la estructura de los triglicéridos, creando ésteres y glicerol como subproducto. Luego el biodiesel resultante es separado y sometido a procesos de lavado y purificación para eliminar impurezas, garantizando el cumplimiento de las propiedades físico-químicas requeridas para su uso como combustible. Esta definición es consistente con Vargas & Pazmiño, (2021) quienes describieron la transesterificación como un proceso químico reversible que se lleva a cabo en varios pasos y el equilibrio puede inclinarse hacia la producción de biodiesel utilizando el exceso de alcohol. Los autores enfatizaron que el metanol es el alcohol más utilizado debido a su bajo costo, alta reactividad y fácil recuperación.

De manera similar Hernández, (2024) considera que, además, los estudios analizados mostraron que la eficiencia del proceso de transesterificación se vio afectada por factores como la relación molar alcohol-aceite, el tipo y concentración del catalizador, la temperatura de reacción y el tiempo del proceso. Mientras que Peña et al. (2025) sugieren que cuando se optimizaron estos parámetros, se lograron altos rendimientos y reducciones significativas en los costos operativos. Sin embargo, Oparanti et al. (2024) indican que también se identificaron limitaciones asociadas al uso de catalizadores homogéneos, como la generación de residuos y dificultades en la regeneración de catalizadores, lo que motivó el interés en el desarrollo de catalizadores heterogéneos más sostenibles.

3.5. Beneficios ambientales

Según Rey et al. (2021) los estudios analizados coincidieron en que el uso de residuos de aceites vegetales en la producción de biocombustibles produjo importantes beneficios ambientales, particularmente en términos de reducción de la contaminación y mitigación del cambio climático. Como afirman Ezhumalai et al. (2024), una de las contribuciones ambientales más importantes fue la reducción de la contaminación del agua, ya que se reconoció que la eliminación inadecuada de aceites usados en sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua era una de las principales fuentes de obstrucción y degradación de los ecosistemas acuáticos. Musa et al. (2025) indican que el aprovechamiento de aceites vegetales usados impulsa modelos de economía circular, transformando un residuo

contaminante en un recurso energético de alto valor. Esta estrategia optimiza la gestión de desechos y mitiga el impacto ambiental al reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, como monóxido de carbono y partículas, mejorando así la calidad del aire en comparación con el diésel fósil. Okwuosa et al. (2023) plantean que los estudios también han demostrado que el biodiesel producido a partir de aceites usados tiene una mayor biodegradabilidad y una menor toxicidad en comparación con los combustibles fósiles, lo que reduce los riesgos ambientales en caso de derrame.

3.6. Desafíos técnicos, financieros y logísticos

El escalado industrial de los aceites usados enfrenta obstáculos técnicos críticos, principalmente debido a la calidad inconsistente de la materia prima. Según Zhou et al. (2022) la presencia de humedad y ácidos grasos libres obliga a implementar etapas de pretratamiento complejas que elevan los costos. Además, el uso de catalizadores homogéneos complica la separación del biodiesel y genera residuos, lo que impulsa la necesidad de desarrollar alternativas heterogéneas o enzimáticas más eficientes. En el ámbito económico y logístico, la recolección se ve afectada por la dispersión geográfica de los puntos de origen, como hogares y restaurantes. Esta fragmentación dificulta la creación de una cadena de suministro estable y continua, necesaria para la viabilidad industrial. Asimismo, los altos costos de transporte y la falta de incentivos financieros o políticas estatales claras desincentivan la inversión en estos proyectos. Para consolidar esta tecnología, es indispensable un enfoque integral que armonice el avance científico con marcos legales sólidos. La transición hacia una economía circular efectiva depende de la coordinación entre la industria, el gobierno y la sociedad, fortaleciendo los sistemas de recolección y la conciencia pública sobre la gestión de residuos energéticos.

4. CONCLUSIONES

1. El reciclaje de aceites vegetales usados para producir biodiesel es una solución técnica y ambientalmente viable que impulsa la economía circular.
 2. La transesterificación constituye el método más eficiente y compatible para el aprovechamiento de aceites residuales, aunque su viabilidad técnica está estrechamente ligada a la calidad de la materia prima y a la precisión química de los catalizadores empleados. En términos ambientales, esta práctica no solo reduce la contaminación hídrica y las emisiones de CO₂, sino que también evita la competencia directa con la industria alimentaria, consolidándose como un pilar de la economía circular.
 3. No obstante, los desafíos actuales señalan la necesidad de transitar hacia el uso de catalizadores heterogéneos que permitan reducir costos operativos y mejorar la estabilidad de los procesos industriales. Finalmente, la escalabilidad de esta alternativa hacia el futuro dependerá de una optimización tecnológica constante, un marco de apoyo gubernamental sólido y la implementación de modelos de gestión de residuos más efectivos a nivel global.
-

REFERENCIAS

- Abdullah, M. A., Nazir, M. S., Hussein, H. A., Usman, S. M., Azra, N., Iftikhar, R., Iqbal, M. S., Qamar, Z., Ahmad, Z., Afzaal, M., Om, A. D., Shaharah, M. I., Rak, A. E., & Hung, Y-T. (2024). New perspectives on biomass conversion and circular economy based on Integrated Algal-Oil Palm Biorefinery framework for sustainable energy and bioproducts co-generation. *Industrial Crops and Products*, 213, 118452. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118452>
- Alzate-León, M. A., Bermúdez-Santaella, J. R., & Herrera-Susa, D. A. (2024). Revisión del estado del arte en tecnologías de transesterificación para la producción de biodiésel en sistemas de flujo continuo y por lotes. *Revista Ion*, 37(2), 65-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2024000200065&script=sci_arttext
- Andrade, S., Lopez, H., & Solano-Gaviño, J. (2025). Residuos de curtiembre y alternativas de aprovechamiento: Una revisión con enfoque bibliométrico. *Manglar*, 22(2), 191-202. <http://www.scielo.org.pe/pdf/mang/v22n2/2414-1046-manglar-22-02-191.pdf>
- Aponte, J. (2022). *Estrategia para la transferencia de tecnología de la academia a la industria: Caso del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/30e4d6665c6e49a296ea4ec2a05023f1/content>
- Cardenas, C. (2025). *Valorización de aceites de cocina usados para la producción de biocombustibles sostenibles: comparación de tecnologías mediante análisis de ciclo de vida*. [Máster Universitario en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad de País Vasco]. <https://addi.ehu.es/handle/10810/75422>
- Carvalho, J. C., Molina-Aulestia, D. T., Martinez-Burgos, W. J., Karp, S. G., Manzoki, M. C., Pedroni, A. B., Rodrigues, C., Scapini, T., de Souza, L. P., Vieira, S., Woiciechowski, A. L., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2023). Agro-Industrial Wastewaters for Algal Biomass Production, Bio-Based Products, and Biofuels in a Circular Bioeconomy. *Fermentation*, 8(12), 0728. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120728>
- Castillo, J. L., & Ruiz, L. R. (2025). Biorefinerías Inteligentes 4.0: Optimización de biocombustibles mediante IA, catalizadores verdes y residuos agroindustriales. *Polo del Conocimiento*, 10(12), 1759-1778. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i12.10907>
- Cosenza, G., Lima, S., Gurreri, L., Mancini, G., & Scargiali, F. (2024). Microalgae in the Mediterranean area: A geographical survey outlining the diversity and technological potential. *Algal Research*, 82, 103669. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103669>
- Delgado, S. J., Zambrano, G. J., Burgos, G. A., & Moreira-Mendoza, C. A. (2023). Evaluación de los residuos agroindustriales con potencial para biocombustibles. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 10(2), 53-73. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/4140
-

- Derdag, W., & Ouazzani, Z. (2025). Advancements in Sustainable Biochar Production from Waste: Pathways for Renewable Energy Generation and Environmental Remediation. *Biomass*, 5(2), 32. <https://doi.org/10.3390/biomass5020032>
- Ezhumalai, E., Arun, T., Manavalan, A., Rajkumar, R., & Heese, K. (2024). A Holistic Approach to Circular Bioeconomy Through the Sustainable Utilization of Microalgal Biomass for Biofuel and Other Value-Added Products. *Microbial Ecology*, 87, 61. <https://doi.org/10.1007/s00248-024-02376-1>
- Galaviz-Villa, Q., Gutiérrez-Sampieri, G. D., Pérez-Landa, I. D., Alcántara-Méndez, V., & Salcedo-Garduño, M. G. (2025). Alternativas para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el desarrollo sostenible. *Jóvenes en la Ciencia*, 34, 1-10. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4717>
- Gebreegziabher, B. W., Dubale, A. A., Adaramola, M. S., & Morken, J. (2025). Advancing Anaerobic Digestion of Biodiesel Byproducts: A Comprehensive Review. *BioEnergy Research*, 18, 15. <https://doi.org/10.1007/s12155-025-10820-4>
- Haan, T. Y., & Takriff, M. S. (2022). Tecnologías de residuos cero para el desarrollo sostenible en las plantas de beneficio de aceite de palma. *Palmas*, 43(3), 40-55. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13915/13693>
- Hernández, I. (2024). *Evaluación integral de esquemas tecnológicos de revalorización energética de la biomasa residual del proceso de extracción de aceite de palma en el departamento de Magdalena, Colombia* [Tesis doctoral, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/c5ee358ed0394a688f4c61c6a2a88cf3/content>
- Jones, I., Gibson, O., & Ricke, S. C. (2021). Critical Factors and Emerging Opportunities in Food Waste Utilization and Treatment Technologies. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 781537. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.781537>
- Kaczor, P., Bulak, A., Proc-Pietrycha, K., Kirichenko-Babko, M., & Bieganowski, A. (2023). The Variety of Applications of *Hermetia illucens* in Industrial and Agricultural Areas-Review. *Biology*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.3390/biology12010025>
- Kamchonemenukool, S., Ho, C., Boomnoun, D., Li, S., Pan M., Klangpetch, W., & Weerawatanakorn, M. (2022). High Levels of Policosanols and Phytosterols from Sugar Mill Waste by Subcritical Liquefied Dimethyl Ether. *Foods*, 11(19), 2937. <https://doi.org/10.3390/foods11192937>
- Latterini, D., Stefanoni, W., Sebastiano, S., Baldi, F., & Pari, L. (2021). Evaluating the suitability of a combine harvester equipped with the sunflower header to harvest cardoon seeds: A case study in central Italy. *Agronomy*, 10(12), 1981. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121981>
- Marín Y., Vega, M. E., & Ochoa-Correa, D. (2025). Aprovechamiento de residuos agrícolas para producción de electricidad en Latinoamérica: *Revisión literaria de casos exitosos en México, Colombia y Brasil*. *InGenio Journal*, 8(1), 46-68. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/ingenio/article/view/901/958>
- Meduri, S., Mudawath, S., Butti, P., Kanneboina, S., Tattapalli, S. D., Thoomati, S., Rathod, N. R., Kuna, A., Lavuri, K., Darshanoju, S. C., & Kalaivanan, K. (2025).
-

- Turning Waste into Taste: Effective Upcycling of By-Products for Innovative Food Solutions. *Food Technology & Biotechnology*, 62(2), 190-205. <https://doi.org/10.17113/ftb.63.02.25.8962>
- Monteiro, R. C., Luna, M. T., Lomonaco, D., Fernández-Lafuente, R., & Vieira, R. S. (2024). Improving the performance of lipases in the full hydrolysis of residual coconut oil by immobilization on hydrophobic supports. *Industrial Crops and Products*, 222(Part 5): 1120014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120014>
- Musa, N. M., Jirgi, G. M., Zango, Z. U., Isah, M. N., Abdurrazak, M., Adamu, A. A., Wadi, I. A., Adeleke, A. A., Garba, Z. N., Bello, U., Adamu, H., Hosseini-Bandegharai, A., & Bokov, D. O. (2025). A review on techno-economic assessment of Spirulina for sustainable nutraceutical, medicinal, environmental, and bioenergy applications. *Bioresour. Bioprocess.* 12, 51. <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00888-3>
- Nanda, S., Pattnaik, F., Patra, B. R., Kang, K., & Dalai, A. K. (2023). A Review of Liquid and Gaseous Biofuels from Advanced Microbial Fermentation Processes. *Fermentation*, 9(9), 813. <https://doi.org/10.3390/fermentation9090813>
- Ochoa, J. F. (2025). Biocombustibles de segunda generación en Bolivia. Oportunidades y desafíos para una transición energética sostenible. *Journal Boliviano de Ciencias*, 21(58), 156-174. <https://revistas.univalle.edu/index.php/ciencias/article/view/1371/1854>
- Okwuosa, R., Mabusela, W. T., Misseguene, R., & Petrik, L. (2023). The isolation and characterization of lipid compounds from black soldier fly larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 125(8), 2300071. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202300071>
- Oparanti, S. O., Fofana, I., Jafari, R., Zarrougui, R., & Abdelmalik, A. A. (2024). Canola oil: A renewable and sustainable green dielectric liquid for transformer insulation. *Industrial Crops and Products*, 215, 118674. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118674>
- Peña, S. E., Santamaría, A. M., Zambrano, E. M., & Castillo, K. L. (2025). Análisis de las técnicas de aprovechamiento de biomasa en América Latina. *Revista Iberoamericana de educación*, 9(1), 73-94. <https://www.revista-iberoamericana.org/index.php/es/article/view/289/668>
- Prakash, M., & Vasistha, S. (2023). *Microalgae Biotechnology for Wastewater Treatment, Resource Recovery and Biofuels. Towards Sustainable Biorefinery*. Springer Cham, First edition. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31674-6>
- Rey, K., Leguizamón, G., González, E., & Becerra, M. (2021). Análisis de brechas del sector de biocombustibles en Colombia. *Inventum*, 16(30), 61-90. <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2636/2196>
- Ruidiaz, A. (2025). *Análisis de la integración de tecnologías de fermentación y gasificación de biomasa que articula perspectivas académicas, enfoques sostenibles y tendencias emergentes* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB]. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/32361/2025_Tesis_Alvaro_Anaya.pdf?sequence=1
- Samudra, R. P. Susilo, B., Hawa, L. C., & Faida, W. N. (2024). Transesterification of
-

- Kapok (*Ceiba pentandra*) Oil Using Sonication. *BIO Web Conferences*, 123(Innovative Technologies in Bioresource Science and Engineering), 04008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412304008>
- Segovia, J. G. (2024). Avances en la producción de bioturbosina a partir de biomasa agrícola: Desafíos y oportunidades en la economía circular hacia la agenda 2030 de las Naciones Unidas. *Naturaleza y Tecnología*, 2, 35-44. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/12553>
- Siddiqui, S. A., Zeiri, A., & Shad, M. A. (2025). Insect Lipids as Novel Source for Future Applications: Chemical Composition and Industry Applications-A Comprehensive Review. *Food Science & Nutrition*, 13(7), 70553. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70553>
- Silitonga, A. S., Milano, J., Riayatsyah, T.M.I., Kalam M. A., Tiong S. K., Fattah, I. M. R., Zulkifli, N. W. M., & Sebayang, A.H. (2025). ANN-ACO optimized biolubricant production from sewage sludge and waste cooking Oil: Dual waste valorisation for high-performance sustainable lubricants. *Biomass and Bioenergy*, 202, 108211. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108211>
- Tacias-Pascacio, V. G., Abellanas-Perez, P., de Andrades, D., Tavano, O., Mendes, A. A., Berenguer-Murcia, Á., & Fernandez-Lafuente, R. (2025). A comprehensive review of lipase-catalyzed acidolysis as a method for producing structured glycerides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 309, 142878. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142878>
- Tamburini, E. (2024). The Blue Treasure: Comprehensive Biorefinery of Blue Crab (*Callinectes sapidus*). *Food*, 13(13), 2018. <https://doi.org/10.3390/foods13132018>
- Vargas, Y., & Pazmiño, O. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(2), 7-20. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000400007
- Viskovic, V., Dunderski, M., Adamović, B., Jaćimović, G., Latković, D., & Vojnović, D. (2024). Toward an Environmentally Friendly Future: An Overview of Biofuels from Corn and Potential Alternatives in Hemp and Cucurbits. *Agronomy*, 14(6), 1195. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061195>
- Zhou, J., Wang, M., Berrada, H., Zhu, Z., Grimi, N., & Barba, F. J. (2022). Pulsed electric fields (PEF), pressurized liquid extraction (PLE) and combined PEF + PLE process evaluation: Effects on *Spirulina* microstructure, biomolecules recovery and Triple TOF-LC-MS-MS polyphenol composition. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 77, 102989. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102989>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Estud. Anthony Casanova Pazmiño. Análisis formal, conceptualización, redacción, revisión y edición, investigación, metodología.
 - Dr.C. Alex Alberto Dueñas Rivadeneira. Conceptualización, redacción-revisión y edición, supervisión.
-