

Analysis of the use of waste cooking oil as an alternative fuel

Análisis del uso de aceite de cocina usado como combustible alternativo

Josué Pilicita¹, Josué Domínguez¹, Carlos Torresano¹, Byron Salazar¹

¹Universidad de las Fuerzas Armadas. Quito, Ecuador.

Cite as

Pilicita J, Domínguez J, Torresano C, Salazar B. Analysis of the use of waste cooking oil as an alternative fuel. SAP Multidisciplinary Open. 2025; 3:204. <https://doi.org/10.62486/mo2025204>

Publication History

Submitted: 03-06-2024

Revised: 16-09-2024

Accepted: 31-12-2024

Published: 01-01-2025

ABSTRACT

This paper analyzes the use of used cooking oil as a sustainable alternative for biodiesel production, highlighting its potential to reduce dependence on fossil fuels and mitigate environmental problems. Used cooking oil, abundant and inexpensive, offers a solution for waste management by aligning with the principles of the circular economy. Through methods such as transesterification, biodiesel derived from used cooking oil shows advantages such as biodegradability and lower greenhouse gas emissions, although it presents challenges such as high viscosity and nitrogen oxide emissions. The study reviews research that employs additives and advanced technologies to improve biodiesel properties and engine performance. Strategies such as blending with other fuels and incorporating nanoparticles have been shown to optimize thermal efficiency and reduce pollutant emissions. Despite its limitations, biodiesel from used cooking oil represents a technically and environmentally viable alternative, especially if support policies and improvements in its production are implemented. Used cooking oil is a promising feedstock for moving towards a sustainable energy transition, with significant benefits in waste management and reduction of the environmental footprint.

Keywords: Combustion Engine; Cooking Oil Biodiesel; Efficacy; Performance.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el uso de aceite de cocina usado como una alternativa sostenible para la producción de biodiésel, destacando su potencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar problemas ambientales. El aceite de cocina usado, abundante y económico ofrece una solución para la gestión de residuos al alinearse con los principios de la economía circular. A través de métodos como la transesterificación, el biodiésel derivado este, muestra ventajas como la biodegradabilidad y menores emisiones de gases de efecto invernadero, aunque presenta desafíos como su alta viscosidad y emisiones de óxidos de nitrógeno. El estudio revisa investigaciones que emplean aditivos y tecnologías avanzadas para mejorar las propiedades del biodiésel y su rendimiento en motores. Estrategias como la mezcla con otros combustibles y la incorporación de nanopartículas han demostrado optimizar la eficiencia térmica y reducir emisiones contaminantes. A pesar de sus limitaciones, el biodiésel de aceite de cocina usado representa una alternativa técnica y ambientalmente viable, especialmente si se implementan políticas de apoyo y mejoras en su producción. El aceite de cocina usado una materia prima prometedora para avanzar hacia una transición energética sostenible, con beneficios significativos en la gestión de residuos y la reducción de la huella ambiental.

Palabras clave: Motor de Combustión; Biodiésel de Aceite de Cocina; Eficacia; Rendimiento.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética global y la creciente presión para mitigar los efectos del cambio climático han llevado a un enfoque más significativo hacia el desarrollo de fuentes de energía renovables y sostenibles.⁽¹⁾ Los combustibles fósiles, que actualmente dominan el panorama energético mundial, están asociados con una serie de problemas ambientales, económicos y sociales, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), el agotamiento de recursos naturales no renovables y la volatilidad de los precios internacionales. En este contexto, los biocombustibles han surgido como una alternativa viable para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la sostenibilidad energética.^(2,3)

Entre las diversas materias primas utilizadas para la producción de biocombustibles, el aceite de cocina usado (ACU) representa una opción particularmente prometedora. Este subproducto, generado en grandes volúmenes por hogares, restaurantes e industrias alimentarias, es un residuo de fácil acceso y bajo costo.⁽⁴⁾ Sin embargo, su gestión inadecuada ha sido históricamente una fuente de problemas ambientales, incluyendo la contaminación del agua y el suelo, y ha contribuido a prácticas de eliminación insostenibles. La conversión del ACU en biocombustibles no solo proporciona una forma efectiva de reutilización de residuos, sino que también alinea esta actividad con los principios de la economía circular, maximizando el valor de los recursos y reduciendo los desechos.^(5,6,7)

El biodiésel producido a partir de ACU es químicamente similar al diésel convencional, pero tiene varias ventajas clave. Se caracteriza por ser biodegradable, renovable y tener un menor impacto en las emisiones de GEI. Además, el proceso de conversión mediante transesterificación es relativamente simple y ha sido ampliamente adoptado en diversos contextos.^(8,9,10,11) Sin embargo, el uso del biodiésel derivado del ACU no está exento de desafíos. Los problemas técnicos incluyen una mayor viscosidad en comparación con el diésel fósil, lo que puede afectar el rendimiento de los motores, así como una tendencia a aumentar las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), un contaminante atmosférico importante. Por lo tanto, la investigación sobre métodos para mejorar las propiedades físicas y de combustión del biodiésel sigue siendo un área activa de estudio.⁽¹²⁾

A nivel global, el interés en el ACU como materia prima para biocombustibles ha crecido considerablemente. Varios estudios han demostrado que, con el uso de tecnologías modernas y aditivos innovadores, es posible optimizar el rendimiento del biodiésel y minimizar sus emisiones. Además, la combinación del biodiésel de ACU con otros combustibles, como el diésel fósil, el bioetanol e incluso el hidrógeno, ha demostrado ser una estrategia efectiva para abordar los desafíos técnicos y mejorar las características de combustión. Estos avances tecnológicos tienen el potencial de hacer que el uso del ACU como combustible sea económicamente competitivo, ambientalmente beneficioso y técnicamente viable.^(13,14,15)

Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión del estado actual de la investigación sobre el uso de aceite de cocina usado como fuente para la producción de biocombustibles.

En un mundo donde la gestión adecuada de los recursos y la transición energética son más cruciales que nunca, el aceite de cocina usado emerge como una solución innovadora y práctica. Este análisis integral busca proporcionar una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones industriales, destacando las oportunidades y desafíos en la implementación de esta tecnología para transformar residuos en recursos energéticos valiosos.

MÉTODO

La presente revisión se realizó mediante una búsqueda sistemática en la base de datos Scopus, reconocida por su amplio alcance y calidad en publicaciones científicas revisadas por pares. La búsqueda se llevó a cabo utilizando la expresión booleana: combustion engine AND “cooking oil biodiesel” AND (efficacy OR effectiveness OR performance OR optimization), con el objetivo de identificar artículos relacionados con el uso de biodiésel derivado de aceite de cocina usado en motores de combustión interna. Se definieron criterios de inclusión para garantizar la relevancia de los estudios seleccionados. Los artículos debían haber sido publicados entre 2019 y 2025, estar redactados en inglés y corresponder exclusivamente a la tipología documental de artículo académico. Se excluyeron otros tipos de publicaciones, como resúmenes de conferencias, revisiones breves y literatura gris.

La selección inicial se basó en la revisión de títulos y resúmenes para determinar la pertinencia de los estudios. Posteriormente, se realizó una lectura detallada de los textos completos de los artículos que cumplían con los criterios de inclusión. Los datos extraídos de los estudios seleccionados fueron organizados en categorías temáticas. Esta organización permitió identificar patrones, resultados clave y áreas de oportunidad en el campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación sobre el uso de ACU como materia prima para la producción de biodiésel ha ganado un interés creciente debido a su potencial para abordar problemas de sostenibilidad ambiental, gestión de residuos y dependencia de los combustibles fósiles. Aunque los resultados evidencian la viabilidad del biodiésel de ACU, también destacan desafíos específicos, especialmente relacionados con la eficiencia térmica y las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

Métodos de producción y propiedades del combustible

Los métodos de conversión, como la transesterificación y la pirólisis, juegan un papel crucial en la determinación de las propiedades y el comportamiento del biodiésel. Según Gad et al., el biodiésel producido mediante transesterificación presenta una mayor reducción de emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y humo en comparación con el diésel convencional.⁽¹⁶⁾ Esto se atribuye al alto contenido de oxígeno del biodiésel, que mejora la combustión. Sin embargo, este proceso también conlleva un incremento en las emisiones de NOx, lo que constituye un desafío significativo para su adopción generalizada. Por otro lado, los aceites pirolíticos, aunque producen menores niveles de NOx, muestran una combustión menos eficiente y mayores emisiones de CO y HC, lo que limita su aplicabilidad en motores de combustión interna.^(16,17)

La adición de aditivos ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar las propiedades del biodiésel de ACU. Masera et al. evaluaron la mezcla de biodiésel con 2-butoxietanol, lo que resultó en una reducción del 12,5 % en la viscosidad del combustible y un aumento del 3,7 % en la eficiencia térmica en comparación con el diésel fósil.⁽¹⁸⁾ Este hallazgo es significativo, ya que la alta viscosidad del biodiésel puro a menudo dificulta su uso en motores de encendido por compresión. Además, la incorporación de nanopartículas, como las de óxido de cerio (CeO₂), ha permitido mejorar la combustión y reducir las emisiones de manera notable. Dinesha et al. reportaron que estas nanopartículas no solo redujeron el consumo específico de combustible en un 2,5 %, sino que también disminuyeron las emisiones de NO_x en un 15,7 % y la opacidad del humo en un 34,7 %.⁽¹⁹⁾

Impacto en el rendimiento y emisiones

El biodiésel de ACU ha demostrado ser eficaz en la reducción de emisiones contaminantes en comparación con el diésel convencional. Kaya et al. encontraron que las mezclas B20 (20 % biodiésel de ACU y 80 % diésel fósil) lograron reducciones significativas en las emisiones de CO (29,27 %), HC (39,06 %) y opacidad del humo (25 %).⁽²⁰⁾ Sin embargo, las emisiones de NO_x aumentaron ligeramente, lo que sugiere que las propiedades oxidantes del biodiésel favorecen la formación de estos compuestos durante la combustión. Maksim et al. también destacaron que el ajuste en el tiempo de inyección de combustible puede ayudar a mitigar este aumento de NO_x, especialmente en mezclas puras de biodiesel.⁽²¹⁾

Un aspecto importante que considerar es el impacto de los aditivos y las estrategias de combustión en el rendimiento de los motores. Thomas et al. exploraron el uso de biodiésel de ACU en motores RCCI (Reactively Controlled Compression Ignition) con estrategias de inyección dual y recirculación de gases de escape (EGR).⁽²²⁾ Estas técnicas lograron una reducción del 96 % en las emisiones de NO_x y del 80 % en humo, lo que demuestra su efectividad en la optimización del rendimiento y la reducción de contaminantes. Por otro lado, la inducción de hidrógeno en mezclas de biodiésel también mostró resultados prometedores. Thiagarajan et al. informaron que la combinación de biodiésel con hidrógeno mejoró la eficiencia térmica en un 3 % y redujo las emisiones de HC, CO y opacidad del humo en un 10 %.^(23,24)

Viabilidad técnica y ambiental

La investigación también pone de manifiesto la importancia de equilibrar la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental. Aunque el biodiésel de ACU muestra un menor contenido energético en comparación con el diésel convencional, su alto contenido de oxígeno favorece una combustión más completa y una reducción de las emisiones de HC y CO. Sin embargo, los desafíos asociados con las emisiones de NO_x y la disminución de la eficiencia térmica requieren soluciones innovadoras. Por ejemplo, la adición de aditivos como los nanotubos de carbono o la optimización de las condiciones de operación del motor pueden mitigar estos efectos adversos.⁽²⁵⁾

CONCLUSIONES

El ACU como materia prima para la producción de biodiésel representa una alternativa sostenible y prometedora frente a la creciente demanda energética y los desafíos ambientales asociados con los combustibles fósiles. Los hallazgos revisados en este trabajo confirman que el biodiésel de ACU puede reducir significativamente las emisiones contaminantes, particularmente de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y opacidad del humo, contribuyendo a un aire más limpio y una menor huella ambiental.

No obstante, se identifican desafíos importantes que requieren atención. Entre estos, destacan las emisiones de óxidos de nitrógeno, que suelen incrementarse debido al alto contenido de oxígeno del biodiésel. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias complementarias, como la recirculación de gases de escape, el ajuste del tiempo de inyección y el uso de aditivos avanzados, para mitigar este efecto. Además, la menor eficiencia térmica del biodiésel en comparación con el diésel convencional subraya la importancia de seguir investigando métodos de mejora, como la adición de nanoaditivos o mezclas ternarias con alcoholes.

La integración de tecnologías avanzadas, como los aditivos nanotecnológicos y las estrategias de combustión mejoradas, ha demostrado ser efectiva para optimizar el rendimiento del biodiésel de ACU. Estos avances no solo compensan las limitaciones intrínsecas del biodiésel, como su menor densidad energética y mayor viscosidad, sino que también potencian sus ventajas ambientales, haciendo posible su adopción en una variedad de aplicaciones, desde motores diésel convencionales hasta sistemas más sofisticados como los motores RCCI.

A nivel práctico, la implementación del biodiésel de ACU debe considerar su disponibilidad y los costos asociados con su producción y mejora. La infraestructura existente para el reciclaje y procesamiento del ACU debe fortalecerse para garantizar un suministro constante y de calidad, particularmente en regiones donde la generación de residuos de aceite es elevada. Asimismo, el apoyo gubernamental y la implementación de políticas de incentivos, como subsidios para la producción de biodiésel y regulaciones que promuevan su uso, serán cruciales para su adopción a gran escala.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Curación de datos: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Análisis formal: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Investigación: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Metodología: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Administración del proyecto: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Recursos: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Software: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Supervisión: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Validación: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Visualización: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Redacción – borrador original: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

Redacción – revisión y edición: Josué Pilicita, Josué Domínguez, Carlos Torresano, Byron Salazar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdollahi M, Ghobadian B, Najafi G, Hoseini SS, Mofijur M, Mazlan M. Impact of water – biodiesel – diesel nano-emulsion fuel on performance parameters and diesel engine emission. *Fuel* 2020;280. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118576>.
2. Yamin J, Abu Mushref AJ. Performance and mapping of direct injection diesel engine using waste cooking oil biodiesel fuel. *Adv Mech Eng* 2019;11. <https://doi.org/10.1177/1687814019851679>.
3. Yadav PS, Ahmed SFA, Gautam R, Caliskan H, Caliskan N, Hong H. Nozzle effects on spray combustion and emissions in compression ignition engines using waste cooking oil biodiesel: A computational fluid dynamics analysis at varying injection pressures. *IET Renew Power Gener* 2024;18:2340-59. <https://doi.org/10.1049/rpg2.12979>.
4. Wu G, Li J, Guo H, Wang X, Jiang G. Numerical Method for Predicting Emissions from Biodiesel Blend Fuels in Diesel Engines of Inland Waterway Vessels. *J Mar Sci Eng* 2023;11. <https://doi.org/10.3390/jmse11010086>.
5. Venugopal IP, Balasubramanian D, Rajarajan A. Potential improvement in conventional diesel combustion mode on a common rail direct injection diesel engine with PODE/WCO blend as a high reactive fuel to achieve effective Soot-NOx trade-off. *J Clean Prod* 2021;327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129495>.
6. Uttam GP, Senthilkumar G, Bobade SN. Performance and emission analysis of waste cooking oil biodiesel added with AL2O3 nanoadditive using VCR engine. *Int J Adv Sci Technol* 2019;28:122-32.
7. Subrahmanyam DVSRBM, Jegathesan M. Experimental Investigation of Performance, Combustion and Emission Characteristics of A Variable Compression Ratio Engine Using Waste Cooking Oil Biodiesel Blends. *Int J Renew Energy Res* 2024;14. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v14i2.14198.g8901>.
8. Anandavelu T, Rajkumar S, Thangarasu V. Dual fuel combustion of 1-hexanol with diesel and biodiesel fuels in a diesel engine: An experimental investigation and multi criteria optimization using artificial neural network and TOPSIS algorithm. *Fuel* 2023;338. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127318>.
9. Chiatti G, Chiavola O, Palmieri F. Impact on combustion and emissions of jet fuel as additive in diesel engine fueled with blends of petrol diesel, renewable diesel and waste cooking oil biodiesel. *Energies* 2019;12. <https://doi.org/10.3390/en12132488>.
10. Elkelawy M, Bastawissi HA-E, Abdel-Rahman AK, Abou El-Yazied A, Mostafa El malla S. Effect of multifunctional fuel additive in diesel/waste oil biodiesel blends on industrial burner flame performance and emission characteristics. *Int J Ambient Energy* 2023;44:1382-95. <https://doi.org/10.1080/01430750.2023.2173652>.
11. Elkelawy M, El Shenawy EA, Almonem S khalaf A, Nasef MH, Panchal H, Bastawissi HA-E, et al. Experimental study on combustion, performance, and emission behaviours of diesel /WCO biodiesel/Cyclohexane blends in DI-CI engine. *Process Saf Environ Prot* 2021;149:684-97. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.03.028>.
12. Sharma V, Duraisamy G, Cho HM, Arumugam K, Alosius MA. Production, combustion and emission impact of bio-mix methyl ester fuel on a stationary light duty diesel engine. *J Clean Prod* 2019;233:147-59. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.003>.
13. Ağbulut Ü, Yeşilyurt MK, Sarıdemir S. Wastes to energy: Improving the poor properties of waste tire pyrolysis oil with waste cooking oil methyl ester and waste fusel alcohol – A detailed assessment on the combustion, emission, and performance characteristics of a CI engine. *Energy* 2021;222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119942>.

14. Örs İ, Sarıkoç S, Atabani AE, Ünal S. Experimental investigation of effects on performance, emissions and combustion parameters of biodiesel–diesel–butanol blends in a direct-injection CI engine. *Biofuels* 2020;11:121-34. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1608682>.

15. Balasubramanian D, Wongwuttanasatian T, Venugopal IP, Rajarajan A. Exploration of combustion behavior in a compression ignition engine fuelled with low-viscous Pimpinella anisum and waste cooking oil biodiesel blends. *J Clean Prod* 2022;331. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129999>.

16. Gad MS, Panchal H, Ağbulut Ü. Waste to Energy: An experimental comparison of burning the waste-derived bio-oils produced by transesterification and pyrolysis methods. *Energy* 2022;242. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122945>.

17. Gad MS, Ismail MA. Effect of waste cooking oil biodiesel blending with gasoline and kerosene on diesel engine performance, emissions and combustion characteristics. *Process Saf Environ Prot* 2021;149:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.10.040>.

18. Masera K, Hossain AK, Davies PA, Doudin K. Investigation of 2-butoxyethanol as biodiesel additive on fuel property and combustion characteristics of two neat biodiesels. *Renew Energy* 2021;164:285-97. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.064>.

19. Dinesha P, Kumar S, Rosen MA. Effects of particle size of cerium oxide nanoparticles on the combustion behavior and exhaust emissions of a diesel engine powered by biodiesel/diesel blend. *Biofuel Res J* 2021;8:1374-83. <https://doi.org/10.18331/BRJ2021.8.2.3>.

20. Kaya C, Kökkülünk G. Biodiesel as alternative additive fuel for diesel engines: An experimental and theoretical investigation on emissions and performance characteristics. *Energy Sources Part Recovery Util Environ Eff* 2023;45:10741-63. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1774685>.

21. Maksum H, Purwanto W, Pulungan AB. The effect of waste cooking oil biodiesel to the diesel engine performance. *Int J GEOMATE* 2019;17:245-51. <https://doi.org/10.21660/2019.64.77868>.

22. Thomas JJ, Nagarajan G, Sabu VR, Manojkumar CV, Sharma V. Performance and emissions of hexanol-biodiesel fuelled RCCI engine with double injection strategies. *Energy* 2022;253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124069>.

23. Thiagarajan S, Seetharaman S, Lokesh R, Prasanth G, Karthick B, Femilda Josephin JS, et al. Impact of hydrogen-assisted combustion in a toroidal re-entrant combustion chamber powered by rapeseed oil/waste cooking oil biodiesel. *Int J Hydrog Energy* 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.049>.

24. Thiagarajan S, Damodaran A, Seetharaman S, Varuvel EG. Influence of hydrogen-assisted combustion in compression ignition engines fueled with fuel blends of pine oil and waste cooking oil biodiesel using toroidal combustion chamber. *Int J Hydrog Energy* 2024;74:246-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.080>.

25. EL-Seesy AI, Waly MS, El-Batsh HM, El-Zoheiry RM. Enhancement of the waste cooking oil biodiesel usability in the diesel engine by using n-decanol, nitrogen-doped, and amino-functionalized multi-walled carbon nanotube. *Energy Convers Manag* 2023;277. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116646>.