

## **Biodiesel from waste cooking oil in the city of Cuenca, tested in a diesel engine with a 5% mixture.**

### **Biodiesel a partir de aceite residual de cocina en la ciudad de Cuenca, probado en un motor diésel mezcla al 5%.**

#### **Autores:**

Cabrera-Pauta, Eliana Dolores  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Maestría en Energías Renovables  
Cuenca – Ecuador



[ely.cabrera0@gmail.com](mailto:ely.cabrera0@gmail.com)



<https://orcid.org/0009-0006-4986-2017>

Sarango-Vera, Jorge Luis  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Maestría en Energías Renovables  
Cuenca – Ecuador



[jorgelu\\_187@hotmail.com](mailto:jorgelu_187@hotmail.com)



<https://orcid.org/0009-0008-5376-9768>

Alvarez-Vera, Manuel Salvador  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Docente – Investigador Posgrado  
Cuenca – Ecuador



[malvarezv@ucacue.edu.ec](mailto:malvarezv@ucacue.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-2521-0042>

Citación/como citar este artículo: Cabrera-Pauta, Eliana Dolores., Sarango-Vera, Jorge Luis., y Alvarez-Vera, Manuel Salvador. (2023). Biodiesel a partir de aceite residual de cocina en la ciudad de Cuenca, probado en un motor diésel mezcla al 5%.

MQRInvestigar, 7(3), 4594-4608.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.4594-4608>

Fechas de recepción: 15-JUL-2023 aceptación: 01-AGO-2023 publicación: 15-SEP-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

La presente investigación se realizó con el fin producir un biocarburante amigable con el medio ambiente empleando aceite residual de cocina recolectados en los locales de la ciudad de Cuenca, procesándolo con varios métodos de titulación y transesterificación en los laboratorios del Centro de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología CIITT de la Universidad Católica De Cuenca. El Biodiesel obtenido fue llevado a los laboratorios de EP PETROECUDOR, Terminal Pascuales en la ciudad de Guayaquil, para estandarizar con las Normas APA vigentes que deben cumplir los biocombustibles para ser inyectados en un motor a diésel. Posteriormente el producto restante fue probado en los Laboratorios de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, en el que se obtuvo un buen rendimiento en el encendido verificando que el sensor de temperatura subió rápidamente de 18.1 a 22,8 lo que es bueno que escale de golpe la temperatura en frío para un motor diésel. Se comprobó que el producto obtenido mezcla B5% es de alto rendimiento ya que trabaja con menor Presión Rail a 293,5 comparado con el diésel de Ecuador que trabaja a mayor presión de 317,7 demostrando que funciona en el arranque y presión Rail del Motor con una aceptación imprescindible mejorando el calentamiento del motor al momento del encendido. Se concluye que el estudio realizado durante dos años, es bueno porque durante su combustión se evidencia que reduce los gases de efecto invernadero, que hoy en día azota la incertidumbre del calentamiento Global y es un tema polémico actual.

**Palabras clave:** biodiesel, aceite residual de cocina, motor diésel, mezcla B5%.

## Abstract

The present research was carried out in order to produce an environmentally friendly biofuel using residual cooking oil collected in the premises of the city of Cuenca, processing it with various titration and transesterification methods in the laboratories of the Center for Research, Innovation and Transfer of CIITT Technology from the Catholic University of Cuenca. The Biodiesel obtained was taken to the laboratories of EP PETROECUDOR, Terminal Pascuales in the city of Guayaquil, to standardize with the current APA Standards that biofuels must comply with to be injected into a diesel engine. Subsequently, the remaining product was tested in the Automotive Mechanical Engineering Laboratories of the University of Azuay, in which good performance was obtained in the ignition, verifying that the temperature sensor rose quickly from 18.1 to 22.8, which is good for it to scale. suddenly the cold temperature for a diesel engine. It was proven that the product obtained with a B5% mixture is of high performance since it works with a lower Rail Pressure of 293.5 compared to the diesel from Ecuador that works at a higher pressure of 317.7, demonstrating that it works at the start and Rail pressure of the Engine. with essential acceptance, improving engine warm-up at ignition. It is concluded that the study carried out for two years is good because during its combustion it is evident that it reduces greenhouse gases, which today plagues the uncertainty of Global warming and is a current controversial issue.

**Keywords:** biodiesel, waste cooking oil, diesel engine, B5% mixture.

## Introducción

El aceite de cocina se considera como uno de los desechos peligrosos porque la disposición de este residuo puede causar daños ambientales significativos y problemas tales como obstrucciones de desagües y alcantarillas, así como contaminación del agua o del suelo (Foo et al., 2021). Los residuos de aceite se generan principalmente en zonas urbanas con alto consumo de aceites en viviendas, restaurantes, panaderías, industrias, etc. Cuando pierde sus propiedades, el aceite se desecha mayormente en las redes de alcantarillado, la incorrecta disposición provoca la contaminación del suelo, aguas superficiales, subterráneas en las ciudades que cuentan con tratamiento de aguas residuales, los desechos encarecen el proceso de tratamiento (Zanivan et al., 2018). El contenido de lípidos en los residuos agrícolas se utiliza para la producción de biodiesel por transesterificación de contenido de ácidos grasos presentes en los restos de aceites y grasas animales generados por la actividad humana (Dhanya, 2022).

En los últimos años, el aumento de la producción de biodiesel está en auge, ya que, este combustible es biodegradable, no tóxico y prácticamente libre de azufre y aromáticos, por tanto, es una alternativa óptima para su producción parcial en combinación con el diésel derivado del petróleo (Barboza et al., 2021). La utilización excesiva de los recursos petroleros conduce al calentamiento global por la emisión de gases altamente contaminantes, las fluctuaciones de los precios del crudo de petróleo y el rápido agotamiento de las reservas petroleras ha generado que el biodiesel cobre importancia en los últimos años como fuente de energía limpia, sostenible y renovable (Mandari & Devarai, 2021).

El uso de aceite residual es una forma ambientalmente correcta de aprovechar el aceite residual de cocina, también disminuye la competencia entre alimentos y combustibles. Sin embargo, su aplicación tiene algunas limitaciones, comprendido su alto contenido de ácidos grasos libres y agua (Fonseca et al., 2019). La producción de biodiesel puede ser la solución a la problemática de cómo tratar los residuos de aceite de cocina y los asociados problemas de contaminación ambiental, se vierten toneladas de este desecho en desagües creando problemas en plantas de tratamiento de aguas residuales (Cordero-Ravelo & Schallenberg-Rodríguez, 2018).

El biodiésel se puede preparar mediante la transesterificación de triglicéridos o la esterificación de ácidos grasos libres, generalmente se produce a través de la transesterificación de aceite vegetales o grasas animales con alcoholes de cadena corta que se lleva a cabo mediante catálisis ácida o básica (Lima & Castanheiro, 2018). La producción de biodiesel utiliza un catalizador alcalino homogéneo y alcoholes de pequeñas moléculas

para la transesterificación de ácidos grasos, estudios recientes han demostrado que los catalizadores heterogéneos tienen algunas ventajas sobre los catalizadores homogéneos para obtención de biodiesel (Jonei Marques, 2021). El costo del biodiesel es el principal obstáculo para la comercialización del producto, por otro lado, el uso extensivo de aceites de comida para la producción de biodiesel puede conducir a una crisis alimentaria, este problema puede resolverse mediante el uso de materias primas de bajo costo, como el uso de aceites no comestibles y residuos de aceite de cocina (Demirbas et al., 2016).

El uso de biodiésel en los motores diésel convencionales conduce a una reducción considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero, además, los parámetros de rendimiento del motor, incluida la eficiencia térmica del freno, el consumo de combustible específico del freno y la potencia de frenado, se mantienen (Gharehghani & Fakhari, 2022). Los biocombustibles son una de las alternativas a los combustibles fósiles, la materia prima utilizada para su producción incluye aceites vegetales, residuos madereros y agrícolas, residuos municipales y residuos de aceites de cocina, ahora bien, las tecnologías termoquímicas pueden aplicarse para producir combustibles alternativos mediante procesos de craqueo o hidrocrqueo, pirólisis y gasificación (Nascimento et al., 2022).

En este sentido, los aceites vegetales no comestibles y biodiesel producidos por el proceso de transesterificación tienen un gran potencial, su conversión catalítica les permite producir una amplia gama de productos, al mismo tiempo, el uso de ésteres metílicos de ácidos grasos tiene ventajas y son más preferibles en comparación con los aceites vegetales debido a que tienen menos impurezas, menor viscosidad (Belousov et al., 2021).

El objetivo de esta investigación fue realizar biocombustible de carácter orgánico empleando aceite residual de cocina, ya que este, al convertirse en un problema de impacto medioambiental se enfrenta a una polémica acerca de la disposición final que se pretende dar al desperdicio luego de ser empleado en la cocción de alimentos, por lo tanto, el estudio realizado abarcó elaborar biodiesel con aceite residual de cocina empleando reactivos básicos como hidróxido de sodio e hidróxido de potasio con metanol para conocer el rendimiento final del producto obtenido; finalmente se realizaron pruebas de encendido en un motor diésel en una mezcla B5 biodiesel-diésel.

## **Material y métodos**

### **Material**

#### **Recolección de aceite residual**

Para la elaboración de biodiesel, el aceite residual de cocina fue recolectado en restaurantes y locales de comida rápida ubicados en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se utilizó contenedores



debidamente identificados, libres de contaminación. Las muestras de aceite residual fueron filtradas (**Figura 1**) para evitar para eliminar impurezas sólidas. En cada sitio de muestreo se verificó el volumen recolectado. Los tratamientos aplicados en la investigación fueron: M1=Aceite residual tratado con hidróxido de potasio; M2=Aceite residual tratado con hidróxido de sodio.

**Figura 1:** Proceso de filtrado del aceite residual de cocina.



## Materiales y reactivos

Los materiales y reactivos requeridos para el proceso, se presentan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1:** Materiales y reactivos utilizados para la producción de biodiesel a partir de aceite residual de cocina

Materiales y reactivos	Cantidad
Fenolftaleína	1botella
Aceite residual de cocina	14L
Hidróxido de sodio	30g
Hidróxido de potasio	30g
Metanol	400ml
Materiales	
Soporte universal	2
Aros metálicos	2
Bureta de titulación	1
Vasos de precipitación 1000ml	2
Vasos de precipitación 500 ml	1
Vasos de precipitación 50ml	2
Varilla de agitación	2
Embudo de decantación 500ml	1
Embudo de filtración	1
Frascos de vidrio	2
Cocina eléctrica	1

## Obtención de biodiesel

Se realizó la titulación para conocer la cantidad de ácidos grasos presentes. En la muestra con un gasto de 2ml de solución, se realizó el cálculo necesario para pesar el porcentaje de hidróxido básico necesario para la reacción siendo de 5,5g. Inmediatamente se añadió la cantidad de metóxido requerida para el aceite residual previamente tratado, en un vaso de Erlenmeyer se mezcló tanto aceite como metóxido por un lapso de tiempo de una hora con treinta minutos y con agitación constante para completar el proceso de transesterificación y finalmente se colocó el medio en un embudo de decantación, seguidamente se observó la separación de fases la glicerina se ubica en la parte inferior en tanto que el biodiesel está en la superficie, se desechó la glicerina y se efectuó un proceso de lavado del producto comprobando finalmente su pH siendo neutro.

La primera muestra (M1) se realizó con el uso de hidróxido de potasio empleando este reactivo con etanol para la formación de biodiesel y la segunda muestra (M2) fue el aprovechamiento de hidróxido de sodio con metanol para la obtención del biocarburante.

Terminado el proceso el producto fue estandarizado en los laboratorios de EP Petroecuador "Terminal Pascuales" en el cual se midió estándares de calidad como su punto de inflamación, viscosidad, punto de ebullición, corrosión a la lámina de cobre, número de cetano, contenido de azufre y medición de grados API de las dos muestras obtenidas con el empleo de distintos reactivos. En la figura 2 se observa los pasos para obtener biodiesel.

**Figura 2:** Secuencia para la obtención de biodiesel a partir de aceite residual de cocina. a) Titulación de la muestra; b) Formación de metóxido; c) Transesterificación; d) Decantación; e) Lavado de biodiesel; f) Secado de biodiesel; g) Almacenado del producto.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

### Pruebas de encendido de un motor utilizando biodiesel

El biocombustible fue sometido a pruebas de motor para evaluar su rendimiento interno. La prueba se realizó en un motor diésel Hyundai Terracan año 2009 de acuerdo con el estándar dentro del centro de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay. El motor fue adaptado a una capacidad de 3 galones, en una mezcla B5% biodiesel-diésel, el motor presentó un buen encendido y apto calentamiento, se hizo una prueba de encendido con diésel puro antes de poner la mezcla B5% con el fin de determinar variabilidad en el motor.

Fue un motor a diésel de cuatro cilindros con una potencia nominal de 155 cv, para máximo 335 Nm a 1800 rpm, la velocidad máxima de 178 km/h, el consumo urbano es de 2,8G/100km, consumo en carretera 1,8G/100km, consumo medio 2,2 G/100km, las emisiones de CO<sub>2</sub> fue de 137,9 g/km, el rendimiento de combustible mixto fue de 2,5G/100km, 24,38 millas por galón y 19,75 galones, el tamaño del motor fue modificado a una capacidad de 3G, el sistema fue conectado a un dispositivo C-Scan 2 el mismo mide la corrosión interna del motor suministrando un resultado cuantitativo. Figura 3 y 4.

**Figura 3:** Encendido del motor, diésel y biodiesel B5%



**Figura 4:** Pruebas de arranque del motor



## Resultados

### Características del biodiesel

En la **Tabla 2** se presentan las características del biodiesel obtenido en las pruebas de estandarización de las muestras

**Tabla 2.** Características del biodiesel obtenido a partir de aceite residual

Características	M1	M2
Punto de Inflamación	136°C	137°C
Viscosidad 40 °C	6,59	5
Punto de ebullición	Se evapora a los 55°C (130-136°)	Se evapora a los 55°C (330-150°)
Corrosión a la lámina de "Cu"	Nº3	Nº 1a
Número de cetano	49	48
Contenido de "S"	33,4ppm	30ppm
Grados API	32,34	30

La viscosidad fue de 6,59 en la primera muestra y 5 en la segunda muestra. En otra investigación reportada por (Dubey et al., 2020) la viscosidad fue de 5,35 y de acuerdo al estándar de biodiesel ASTM el rango de aceptación es de 1,9 a 6. El punto de inflamación para los dos resultados de las muestras varía entre 136°C y 137°C, en la investigación realizada por (Kipkorir et al., 2021) muestra que es de 146°C. El número de cetano para las dos muestras varió entre 49 y 48 respectivamente, en el estudio realizado por (Inayat et al., 2021) el número de cetano alcanzado fue de 64,23 el cual supera los límites del ASTM. El número de cetano alcanzado en el experimento está dentro de los límites establecidos. El

contenido de azufre según (Hájek et al., 2021) es de 1 ppm; los resultados para las muestras fueron 33,34 y 30 respectivamente considerados dentro del rango permitido. El punto de ebullición empezó con evaporación a 50°C, para la primera muestra fue de 130 – 136 y para la segunda de 150-330, en tanto que en la investigación de (Kassem et al., 2020), el valor evaporado a los 70°C fue de 41, 4. La corrosión a la lámina de cobre para la muestra uno fue de N°3 y para siguiente muestra es N°1a, y los resultados de medición API para la primera y segunda muestra es de 32,34 y 30 respectivamente. Todos los valores descritos con anterioridad fueron reportados en el laboratorio de Petroecuador Terminal Pascuales y cumplieron rigurosamente las normas ASTM.

De acuerdo a la investigación hecha por (Arias Tamayo, 2019), se comprobó que el empleo de biodiesel contribuye a disminuir notablemente las emisiones de humo que se emana a la atmosfera, así como la cantidad de gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> lo que provoca el cambio climático y calentamiento global.

### Pruebas de encendido de un motor utilizando biodiesel obtenido a partir de aceite residual

Los resultados obtenidos en las pruebas de encendido de un motor Hyundai Terracan 2009 de la mezcla B5% biodiesel-diésel, se presentan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3: Resultados de las pruebas de encendido de motor Hyundai Terracan 2009 de la mezcla B5% biodiesel-diésel.**

Estándares de medición	Valor inicial encendido del motor	Valor de encendido del motor con la mezcla B5%	Unidad
Tensión positiva de la batería	14,3	14,3	V
Caudal de aire desde el sensor de caudal masivo de aire	18,6	13,4	g/s
Caudal de aire desde el sensor de caudal masivo de aire	2,2	2,0	v
Sensor de temperatura del aire de admisión	14,9	15,6	°C
Sensor de temperatura del aire de admisión	2,4	2,4	v
Sensor de posición del pedal del acelerador	0,0	0,0	%
Sensor de posición del pedal del acelerador-1	0,7	0,7	v
Sensor de posición del pedal del acelerador-2	0,5	0,5	v
Interruptor del freno 1	OFF	OFF	
Interruptor del freno 2	ON	ON	
Estado del piloto de agua en el combustible		OFF	
Estado de agua en el combustible		OFF	
Tensión de referencia del sensor	5,0	5,0	v
Sensor de temperatura del refrigerante del motor	33,3	50,7	°C
Sensor de temperatura del refrigerante del motor	2,5	1,7	v

Sensor de temperatura del combustible	18,1	22,8	°C
Sensor de temperatura del combustible	3,3	3,1	v
Sensor de presión barométrica	72,8	72,7	KPa
Sensor de presión barométrica	2,8	2,8	v
Presión de rail	317,7	293,5	bar
Presión de rail	1,2	1,1	v
Presión objetivo del conducto	326,9	271,9	bar
Posición cerrada del acelerador	ON	ON	
Velocidad objetivo de ralentí	929	875	rpm
Régimen del motor	932	876	rpm
Sensor de velocidad del vehículo	0,0	0,0	Km/h
Principal combustible objetivo	10,5	6,9	mg/st
Principal ajuste objetivo	BTDC 1	TDC 0	
Combustible piloto objetivo	0,0	0,0	mg/st
Ajuste piloto objetivo	BTDC40	BTDC 40	
Ciclo de control de la válvula de EGR	0,0	0,0	%
Ciclo de la válvula de medición de admisión	29,1	29,9	%
Interruptor de estacionamiento/punto muerto	OFF	OFF	
Estado de reconocimiento de MT/AT	M/T	M/T	
Interruptor de A/C	OFF	OFF	
Relé del ventilador A/C	OFF	OFF	
Relé de A/C	OFF	OFF	
Interruptor del embrague	OFF	OFF	
Señal de reducción del par	510,0	510,0	Nm
Recuento de adaptación MDP de inyector 1	187	187	mS
Recuento de adaptación MDP de inyector 2	186	186	
Recuento de adaptación MDP de inyector 3	186	186	
Recuento de adaptación MDP de inyector 4	186	186	

Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del motor, fueron viables. Se constató que en el sensor de temperatura del refrigerante existió un calentamiento con mayor rapidez con la mezcla B5% a una temperatura 50,7°C, en tanto que en la investigación de (Ramírez Duque, 2020), la temperatura del refrigerante en un motor referente con el uso de biodiesel de la misma generación fue de 52,8°C lo que ratifica que el combustible es aceptable para su aplicación; el sensor de temperatura del combustible subió de 18,1 °C a 22,8°C; que suba la temperatura de golpe es bueno, ya que mientras más rápido sube la temperatura en frío en un motor a diésel es mejor debido que calienta más rápido, esto evidencia que el biocombustible es de buena calidad; en la investigación hecha por (Riojas-González et al., 2023), corrobora que cuando se utiliza biodiesel la combustión se realiza más rápido que con el diésel, esto fue evidenciado en más de sesenta experimentaciones en motores diésel.

Presentó el último cambio en la Presión de Rail, la presión del diésel bajo con la mezcla B5% de 317,7 a 293,5 lo que demuestra que el biocombustible trabaja a baja presión, en el progreso

de inflamación espontanea de la mezcla al comprimirse y mejorando el condicionamiento del motor; de acuerdo a (Cordero Navarro, 2020) , confirma que la Presión Rail para el diésel es de 300 en tanto que para el biodiesel es de 250 debido al incremento del número de cetano presente en la mezcla B5%, unido a la baja densidad y viscosidad perfecciona el proceso de ignición haciendo menor el consumo de combustible con la mezcla B5% comparado con otras mezclas B10%, B15%, B20%, B50%, 100%. Por último, según (Nolasco et al., 2019), se evidencia que para el diésel fósil el porcentaje de opacidad incrementa considerablemente en un rango de 11,1% a diferencia de biodiesel en 1,34% aumentando tres puntos de opacidad lo que disminuye un 80% las emisiones de hollín en el motor.

### **Discusión**

Es factible realizar biodiesel con aceite vegetal residual, debido a que los costos de producción son bajos con el empleo de reactivos como el metanol con un grado de pureza de 96% para la saponificación de Hidróxido de Sodio comparado con el uso de etanol e Hidróxido de Potasio. La elaboración de este biocombustible a gran escala es viable siempre y cuando se cuente con equipos industriales para su procesamiento, medición de temperatura y un reactor térmico para la obtención rápida de biodiesel. En la prueba de funcionamiento en un motor se consiguió buenos resultados en cuanto a la velocidad de encendido del motor a diésel, además disminuyó la presión rail del motor. Para futuras investigaciones se recomienda el uso de mantecas para la obtención de biodiesel debido a que es una grasa residual, posiblemente aplicando otro proceso químico se realizaría la producción a gran escala.

### **Conclusiones**

Es factible realizar biodiesel con aceite vegetal residual, debido a que los costos de producción son bajos con el empleo de reactivos como el metanol con un grado de pureza de 96% para la saponificación de Hidróxido de Sodio comparado con el uso de etanol e Hidróxido de Potasio. La elaboración de este biocombustible a gran escala es viable siempre y cuando se cuente con equipos industriales para su procesamiento, medición de temperatura y un reactor térmico para la obtención rápida de biodiesel. En la prueba de funcionamiento en un motor se consiguió buenos resultados en cuanto a la velocidad de encendido del motor a diésel, además disminuyó la presión rail del motor. Para futuras investigaciones se recomienda el uso de mantecas para la obtención de biodiesel debido a que es una grasa residual, posiblemente aplicando otro proceso químico se realizaría la producción a gran escala.

## Referencias bibliográficas

- Arias Tamayo, A. C. (2019). *Obtención de biodiesel a partir de aceites comestibles vegetales usados (ACVUS), como una alternativa para el reciclaje de material de desecho altamente contaminante para el medioambiente.* <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1918>
- Barboza, L. D. C., Oliveira, V. S., Ribeiro, J. D. O. N., & Alvarez, C. E. C. (2021). Influence of temperature in the transesterification process for biodiesel production from residual cooking oil. *SAE Technical Papers, 2021*. <https://doi.org/10.4271/2020-36-0153>
- Belousov, A. S., Esipovich, A. L., Kanakov, E. A., & Otopkova, K. V. (2021). Recent advances in sustainable production and catalytic transformations of fatty acid methyl esters. *Sustainable Energy and Fuels, 5*(18), 4512–4545. <https://doi.org/10.1039/d1se00830g>
- Cordero Navarro, E. (2020). *UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.* <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2020/12/TFG-EduardCorderoNavarro.pdf>
- Cordero-Ravelo, V., & Schallenberg-Rodriguez, J. (2018). Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. Will any type of WCO do for a transesterification process? A quality assessment. *Journal of Environmental Management, 228*, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.106>
- Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W., & Sheikh, M. (2016). Biodiesel production from non-edible plant oils. *Energy Exploration and Exploitation, 34*(2), 290–318. <https://doi.org/10.1177/0144598716630166>
- Dhanya, M. S. (2022). Perspectives of Agro-Waste Biorefineries for Sustainable Biofuels. In *Energy, Environment, and Sustainability*. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8682-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8682-5_8)
- Dubey, A., Prasad, R. S., & Singh, J. K. (2020). An Analytical and Economical Assessment of the Waste Cooking Oil based Biodiesel using Optimized Conditions on the Process Variables. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1839600>
- Fonseca, J. M., Teleken, J. G., de Cinque Almeida, V., & da Silva, C. (2019). Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. *Energy Conversion and Management, 184*, 205–218. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2019.01.061>
- Foo, W. H., Chia, W. Y., Tang, D. Y. Y., Koay, S. S. N., Lim, S. S., & Chew, K. W. (2021). The conundrum of waste cooking oil: Transforming hazard into energy. *Journal of Hazardous Materials, 417*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126129>
- Gharehghani, A., & Fakhari, A. H. (2022). Biodiesel as a Clean Fuel for Mobility. In *Energy, Environment, and Sustainability*. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8747-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8747-1_8)
- Hájek, M., Vávra, A., de Paz Carmona, H., & Kocík, J. (2021). The catalysed transformation of vegetable oils or animal fats to biofuels and bio-lubricants: A review. *Catalysts, 11*(9). <https://doi.org/10.3390/catal11091118>

- Inayat, A., Jamil, F., Raza, M., Khurram, S., Ghenai, C., & Al-Muhateb, A. H. (2021). Upgradation of waste cooking oil to biodiesel in the presence of green catalyst derived from date seeds. *Biofuels*, 12(10), 1245–1250. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1608036>
- Jonei Marques. (2021). Transesterification of cotton oil with ethanol for biodiesel using a KF/bentonite solid catalyst. *Fuel*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120446>
- Kassem, Y., Çamur, H., & Alassi, E. (2020). Biodiesel Production from Four Residential Waste Frying Oils: Proposing Blends for Improving the Physicochemical Properties of Methyl Biodiesel. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 4111, 13(16), 4111. <https://doi.org/10.3390/EN13164111>
- Kipkorir, D., Nturanabo, F., Tewo, R., Rutto, H., & Enweremadu, C. (2021). Properties of waste-distilled engine oil and biodiesel ternary blends. *Heliyon*, 7(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07858>
- Lima, H., & Castanheiro, J. E. (2018). Valorization of waste cooking oil into biodiesel over heterogeneous catalysts. In *Recycled Cooking Oil: Processing and Uses*.
- Mandari, V., & Devarai, S. K. (2021). Biodiesel Production Using Homogeneous, Heterogeneous, and Enzyme Catalysts via Transesterification and Esterification Reactions: a Critical Review. *Bioenergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10333-w>
- Nascimento, L., Ribeiro, A., Ferreira, A., Valério, N., Pinheiro, V., Araújo, J., Vilarinho, C., & Carvalho, J. (2022). Turning waste cooking oils into biofuels—valorization technologies: A review. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010116>
- Nolasco, C., -Yépez, M., Carlos, J., Montoya, G., David, M., Aldas, R., Paúl, E., Rueda, H., Bayardo, I., Cevallos, B., & Paúl Hernández Rueda, E. (2019). Advantages of the use of biodiesel B10 (*Ricinus communis*) on Diesel fossil in the protection of the environment. *Article*, 4. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.02.4>
- Ramírez Duque, J. L. (2020). *Evaluación del uso de biodiesel obtenido a partir de aceite de cocina usado en un motor diésel*. Artículo Científico. <https://www.mendeley.com/reference-manager/library/all-references>
- Riojas-González, H.-H., Bortoni-Anzures, L.-J., Martínez-Torres, J.-J., Ruiz, H. A., Riojas-González, H.-H., Bortoni-Anzures, L.-J., Martínez-Torres, J.-J., & Ruiz, H. A. (2023). AVANCES Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL BIODIÉSEL EN MOTOR DIÉSEL. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología* , 30, 90–105. <https://doi.org/10.17163/ING.S.N30.2023.08>
- Zanivan, J., Pollon, R., Stefanski, F. S., Mulinari, J., Scapini, T., Venturin, B., Preczeski, K. P., & Treichel, H. (2018). Pre-treatment and recycling of cooking waste oil. In *Recycled Cooking Oil: Processing and Uses*.

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.