

ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES DOMÉSTICOS RECICLADOS EN EL CENTRO POBLADO LAS AMÉRICAS, ABANCAY- APURÍMAC

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM RECYCLED DOMESTIC OILS IN THE POPULATION
CENTER OF THE AMERICAS, ABANCAY- APURÍMAC

Bhissett Pilar Arias Bedia¹  Anjhela Rosa Callo Mamani¹ 

¹Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú

Correspondencia:

Mag. Anjhela Rosa Callo Mamani
acallom@utea.edu.pe

Como citar este artículo: Arias, P., & Callo, A. (2025). Elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado Las Américas, Abancay-Apurímac. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(1), 62-73. <https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.86>

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue elaborar biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados (ADR) en el centro poblado de las Américas, Abancay- Apurímac. La investigación fue descriptiva, aplicada, con un diseño pre- experimental. Se recolectaron 14 L de ADR de tres pollerías; sin embargo, la muestra final fue 3 L. Los resultados se compararon con la NTP 321.125 para biocombustibles y biodiésel; ASTM D 6751 y la EN 14214; para el índice de acidez del aceite, el *Codex Alimentarius* y para el Poder Calorífico Inferior (PCI) se utilizó la normativa argentina (2016). Para el ADR, se determinaron densidad aparente (923 kg/m^3) e índice de acidez ($1,823 \text{ mg KOH/g}$). Se realizó el proceso de transesterificación produciendo el biodiesel y glicerina. El biodiesel obtuvo un rendimiento de 39 %. y se determinaron parámetros fisicoquímicos: número de acidez ($0,42 \text{ mg KOH/ g}$); residuo de carbón Conradson ($0,06 \text{ \% m/m}$); viscosidad cinemática a 40°C ($5,27 \text{ mm}^2/\text{seg}$); glicerol total ($0,18 \text{ \% m/m}$); glicerol libre ($0,0 \text{ \% m/m}$); contenido de humedad ($0,06 \text{ \% m/m}$); azufre ($0,01 \text{ \% m/m}$) y poder calorífico inferior ($8.633,75 \text{ kcal/ kg}$); de los cuales, el contenido de humedad y el PCI no cumplen con las normas de referencia. El biodiesel obtenido se puede considerar un potencial de biocombustible.

Palabras clave: biodiesel, aceite doméstico reciclado, transesterificación

ABSTRACT

The aim of this research was to produce biodiesel from recycled domestic oils (RDO) in the town of Las Americas, Abancay-Apurímac. The research was descriptive, applied, with a pre-experimental design. 14 L of RDO were collected from three poultry farms; however, the final sample was 3 L. The results were compared with the NTP 321.125 for biofuels and biodiesel; ASTM D 6751 and EN 14214; for the acidity index of the oil, the *Codex Alimentarius* and for the Lower Calorific Value (PCI) the Argentine regulations (2016) were used. For the RDO, apparent density (923 kg/m^3) and acidity index ($1,823 \text{ mg KOH/g}$) were determined. The transesterification process was carried out producing biodiesel and glycerin. The biodiesel obtained a yield of 39 %. and the following physicochemical parameters were determined: acid number (0.42 mg KOH/g); Conradson carbon residue (0.06 \% m/m); kinematic viscosity at 40°C ($5.27 \text{ mm}^2/\text{sec}$); total glycerol (0.18 \% m/m); free glycerol (0.0 \% m/m); moisture



content (0.06 % m/m); sulfur (0.01 % m/m) and lower calorific value (8,633.75 kcal/kg); of which, moisture content and PCI do not meet the reference standards. The biodiesel obtained can be considered a potential biofuel.

Keywords: biodiesel, recycled domestic oil, transesterification

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 20 años, la demanda y el consumo global de aceites vegetales han experimentado un rápido incremento, pasando de 90,5 millones de toneladas en el año 2000 a 217,62 millones de toneladas en enero de 2023 (Statista, 2023). Estos aceites son principalmente utilizados para la alimentación humana; sin embargo, en la última década se ha observado un notable aumento en su uso para otros fines, creciendo del 7,5 % en 2000/2001 al 34,7 % en 2016/2017. Este cambio en el uso de aceites vegetales se debe, en gran medida, a políticas ambientales orientadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como a consideraciones económicas que han promovido el empleo de biodiésel y etanol como sustitutos parciales o totales de los combustibles fósiles. Como resultado, la tasa de crecimiento en el consumo de aceites vegetales ha superado el ritmo de crecimiento de la población mundial (TWB, 2017, como se cita en Teixeira et al., 2018).

El biodiésel reduce significativamente la emisión de muchos contaminantes atmosféricos, incluyendo partículas menores a 10 micrones (PM10), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SOx). Además, no contiene benceno ni otras sustancias cancerígenas relacionadas con los hidrocarburos aromáticos policíclicos, y se caracteriza por ser altamente biodegradable y tener baja toxicidad (Espinoza, 2017). En 2022, la producción mundial de biodiésel alcanzó los 19.200 millones de litros anuales, con una tasa de crecimiento anual del 7 %. Europa lideró la producción con 17.700 millones de litros anuales, seguida por Estados Unidos con 14.500 millones de litros e Indonesia con 9.300 millones de litros anuales (International Energy Agency [IEA], 2022).

De acuerdo con las especificaciones establecidas por la norma ASTM (*American Society for Testing and Material Standard*), el biodiésel se compone de ésteres metílicos de ácidos grasos o ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos naturales como aceites vegetales, grasas animales y residuos de frituras usadas en restaurantes. Estos se utilizan en motores de ignición por compresión, entre otras aplicaciones (Alleman et al., 2016; García-Muentes et al., 2018). Sin embargo, los aceites vegetales usados son clasificados como residuos no peligrosos bajo el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo (D.S. N° 014-2017/Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). Asimismo, se ha establecido un Valor Máximo Admisible (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas, específicamente para aceites y grasas, que no debe superar los 100 mg/L en sistemas de alcantarillado.

Sanaguano et al. (2019) analizaron los componentes presentes en aceite de fritura usado, proveniente de tres restaurantes de comida rápida en Guaranda, Bolívar-Ecuador, antes de convertirlo en biodiésel. Se llevaron a cabo mediciones de densidad, acidez, humedad o pérdida por calentamiento e índice de refracción, comparando los resultados con parámetros normativos. El promedio de densidad de las muestras fue de 0,918 a 0,920 gr/mL. En cuanto a la acidez, se registraron valores entre 3,006 % y 3,293 %, la humedad fue de 0,099 %, y el índice de refracción fue de 1,459. Estos valores no cumplen las normativas para un aceite puro apto para consumo alimentario; sin embargo, estos aceites residuales, dadas sus características, pueden ser aprovechados para su conversión en biodiésel.

Por otro lado, Maser et al. (2019) evaluaron la viabilidad tecno-económica del proceso de transesterificación de aceites usados provenientes de restaurantes para producir biodiésel destinado al transporte dentro del campus de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados indicaron que el biodiésel producido cumple con la mayoría de los parámetros clave establecidos por las normas de calidad, tanto estadounidenses (ASTM D5671) como los lineamientos mexicanos.

De igual manera, Vera et al. (2019) investigaron la producción de biodiésel a partir de aceite de cocina usado, obtenido de un restaurante de hamburguesas. El aceite presentó una cantidad de ácidos grasos libres de 4,73 mg KOH/g y un índice de peróxido del 4,74 %. Durante el proceso, se llevó a cabo la neutralización del catalizador ácido y una etapa secundaria de transesterificación en un medio básico, lo que resultó en una disminución tanto del índice de acidez del biodiésel como de su viscosidad, obteniendo valores de 0,21 mg KOH/g y 29,26 mPa·s, respectivamente. Se concluyó que estas cifras se encuentran dentro de los rangos exigidos por la norma ASTM para biodiésel, lo que indica que el biodiésel producido a partir de aceite de cocina usado puede ser utilizado en automóviles.

Debido a la importancia de aprovechar los aceites

de cocina usados, esta investigación tuvo como objetivo elaborar biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de las Américas, Abancay- Apurímac.

MATERIALES y MÉTODOS

El tipo de investigación fue descriptiva, aplicada, con un diseño pre-experimental.

Población

Estuvo conformada por 13 pollerías del Centro Poblado las Américas, donde se recolectaron los aceites domésticos reciclados.

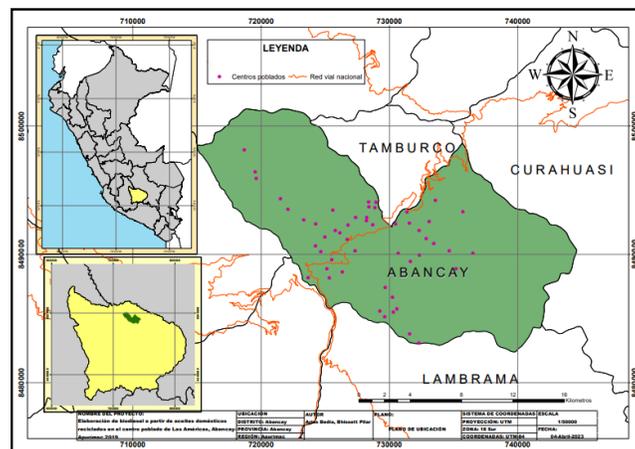
Muestra

La muestra final quedó constituida por tres pollerías, recolectándose 14 L de aceite doméstico reciclado (ADR), durante los meses marzo a mayo, 2023, de los cuales se utilizaron 3 L. Los ADRs se recogieron en baldes oscuros, previamente rotulados y posteriormente se almacenaron en un lugar oscuro y fresco, para su conservación y evitar su oxidación.

El *muestreo* fue no probabilístico, por conveniencia según los siguientes criterios de inclusión:

- Pollería localizada en el centro poblado Las Américas, Abancay.
- Participación voluntaria del dueño del establecimiento

Ubicación geográfica



Nota: ArcGIS, 2022

Pré- tratamiento del aceite

Obtenidos la muestra de aceites, se llevaron al laboratorio para un pretratamiento, el cual consistió en un filtrado, mediante la bomba de vacío y papel filtro, para eliminar los restos de alimentos y sedimentos que contenga con la finalidad de evitar obstrucciones; posteriormente, se precalentó el aceite para eliminar restos de agua del aceite e impedir emulsiones. Para la extracción de restos de agua, se colocó el aceite muestra en la estufa del laboratorio con la finalidad de evaporarla. Después de tener el aceite libre de impurezas, se procedió a calcular el índice de acidez.

Cálculo del índice de acidez (IA). Según Acosta et al. (2008):

$$IA: \frac{V \times N \times \text{peso equivalente del KOH}}{p}$$

Donde:

V: volumen gastado del KOH: 1,625 mL

N: normalidad del NaOH 0,1 N

Peso equivalente de KOH: 56,1

P: 5 g

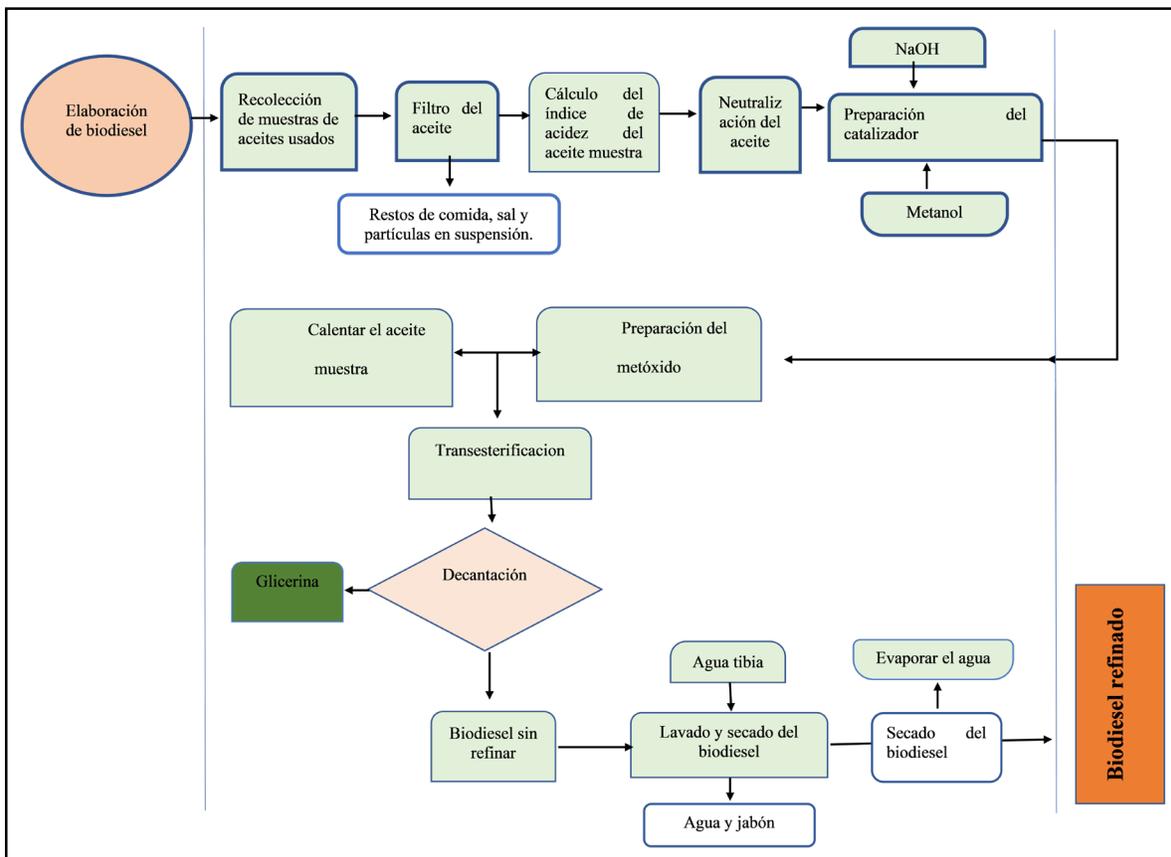
$$IA: \frac{1,625 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} \times 56,1}{5 \text{ g}} = 1,823$$

La acidez del aceite indica la cantidad de KOH gastado en la titulación causada por la presencia de ácidos grasos libres, liberados cuando se fríe en exceso.

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados (ADR).

FIGURA 1

Diagrama de flujo de elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados



Luego, se determinó la cantidad del catalizador (NaOH) para neutralizar la acidez del aceite, mediante la siguiente fórmula (Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria de La Molina[UNALM]).

$$(3,5 + IA) \times L. \text{ muestra} \\ 3,5 + 1,8283 \times 0,2 = 1.0656 \text{ g NaOH}$$

El NaOH se utilizó debido a la facilidad y disponibilidad de conseguir, mediante la balanza analítica y se diluyó en el metanol, constituyendo el metóxido; este se mezcló con el aceite previamente calentado, agitándola de manera constante (proceso de transesterificación). Este proceso tuvo una duración de dos horas; esta mezcla se colocó en una pera de decantación. Al cabo de 12 h se observó la separación de los productos biodiésel (final) y glicerina (subproducto).

Posteriormente, se extrajo el glicerol de la pera de decantación, quedando el biodiésel y se procedió a su lavado con agua tibia. Esto se repitió en tres ocasiones, hasta quedar el biodiésel libre de jabones y emulsiones; luego se colocó en la estufa para la evaporación del agua, si hubiere. A continuación, se realizó la transesterificación (Acosta et al., 2008), obteniéndose el diésel y la glicerina.

Proceso del lavado y secado del biodiesel

El biodiesel obtenido se lavó con agua tibia y agitación suave, para eliminar emulsiones, jabones, restos de glicerina o incluso el catalizador; después se colocó en la hornilla para evaporar el agua.

Determinación de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel

Las propiedades fisicoquímicas se determinaron según los métodos ASTM (1997), AOCS (*American Oil Chemistry Society*) y Fischer en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria de La Molina, Lima. Los parámetros determinados fueron: valor de acidez, viscosidad

cinemática, glicerol total, glicerol libre, humedad, azufre y poder calorífico inferior. Se midieron por triplicado cada parámetro; así mismo, se determinó su rendimiento dividiendo su volumen sobre el volumen del aceite muestra inicial, multiplicado por 100, obteniéndose un rendimiento de 39 %.

Consideraciones éticas

Esta investigación se basa sobre los principios éticos y legales, bajo el comité de ética de la Universidad Tecnológica de los Andes. Así mismo, para el acceso al metanol como compuesto base para el proceso de transesterificación, se obtuvo mediante una solicitud de autorización debido a los altos niveles de la peligrosidad y toxicidad.

Análisis de datos

La interpretación de los datos se realizó por estadística descriptiva comparando cada uno de los componentes y propiedades fisicoquímicas del producto final con la Norma Técnica Peruana. Los datos se analizaron por el laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado. Para la densidad aparente, se utilizó la metodología AOCS Cc 10c-95 empleado para aceites vegetales de consumo, obteniendo un resultado de 923 kg/m³; según el *Codex alimentarius* para grasas y aceites se encuentra dentro del rango establecido.

El índice de acidez del ADR, mediante la metodología AOCS Cd 3d-63, resultó 3,473 mg KOH/g; el *Codex alimentarius* para grasas y aceites determina el rango de 2 mg KOH/g, para lo cual se realizó una primera neutralización resultando 2,137 mg KOH/g; mientras que, con la segunda neutralización, 1,823 mg KOH/g.

TABLA 1*Parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado*

Parámetro	Valor	Metodología	Codex alimentarius**	Observación
Densidad aparente* (Kg/m ³)	923	AOCS Cc 10c-95	920-930	-
Índice de acidez (mg KOH/g)	3,473	AOCS Cd 3d-63	2,0 mg de KOH/g	-
Índice de acidez (mg KOH/g)	2,137	AOCS Cd 3d-63	2,0	1ra neutralización
Índice de acidez (mg KOH/g)	1,823	AOCS Cd 3d-63	2,0	2da neutralización

Nota: * Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria de La Molina [UNALM]

Se consideraron dos parámetros representativos para el aceite reciclado densidad aparente: método AOCS Cc 10c-95 (998,2 kg/m³)

** Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], (2021).

La Tabla 2 evidencia los resultados de los factores intervinientes en el proceso de transesterificación del aceite reciclado. Para el desarrollo o proceso de la transesterificación, se usó de catalizador el hidróxido de sodio (1,064 g), metanol (20 mL), para formar el metóxido a una temperatura de 60-65°C, durante dos horas y se calculó el rendimiento del biodiésel.

TABLA 2*Factores intervinientes en el proceso de transesterificación.*

Factores	
Catalizador (g)	1,064
Tiempo de reacción (h)	2
Temperatura (°C)	60-65
Metanol (mL)	20

En la Tabla 3 se muestran los parámetros fisicoquímicos del biodiésel obtenido y normativas de referencia. El valor del número de acidez del biodiésel, aunque fue menor, se encontró dentro del rango de las normas de referencias empleadas.

El valor obtenido del residuo de carbón Conradson fue mayor a los rangos establecidos por las normativas NTP 321.125 y la ASTM D 6751 y menor a la norma de EN 14214.

En relación con la viscosidad cinemática a 40°C

mm²/s, el resultado estuvo dentro de la normativa NTP 321.125 y la ASTM D 6751; mientras que, al comparar con la EN 14214, supera los límites establecidos.

Aunque fue menor, tanto el valor del glicerol total como el glicerol libre estuvieron dentro de los rasgos establecidos por las normativas de referencias.

El contenido de humedad resultó 0,06 % (m/m), siendo superior a las normativas peruanas y

Europea, debido a que ambas establecen un rango de 500 máx.mg/kg, que es equivalente a 0,05 % (m/m). Así mismo, el azufre tuvo un valor de 0,01 % (m/m), el cual excede las normativas establecidas.

El resultado del poder calorífico interno (PCI) se comparó con la normativa del Ministerio de Energía y Minería de Argentina.

TABLA 3

Parámetros fisicoquímicos del biodiesel obtenido y normativas de referencia

Parámetro	Valor	NTP 321.125	ASTM D-6751 (USA)	EN14214 (Europa)
Número de acidez (mg KOH/g)	0.42	0,5 máx.	0,5 máx.	0,5 máx.
Residuo de carbón Conradson % (m/m)	0.06	0,050 máx.	0,050 máx.	0,30 máx.
Viscosidad cinemática a 40°C mm ² /s	5.27	1,9 - 6,0	1,9 - 6,0	3,5- 5,0
Glicerol (Total)* (% masa)	0,18	0,240 máx.	0,240 máx.	0,240 máx.
Glicerol (Libre)* % (m/m)	0,00	0.020 máx.	0.020 máx.	0,020 máx.
Contenido de humedad % (m/m)	0,06	500 máx. mg/kg	---	500 máx. mg/kg
Azufre % (m/m) **	0,01	0,0015 máx.	0,0015 máx.	10 mg/kg
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	8,633.75	---	---	---

Nota: Datos obtenidos del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina

*Glicerol libre y total se obtuvieron mediante el método AOCs Ca 14-56

**Azufre determinado bajo el método ASTM D-1552

DISCUSIÓN

Los aceites vegetales comestibles, como el de soja, girasol y palma, son comúnmente utilizados como materia prima en la producción de biodiésel. Sin embargo, el elevado costo de estos aceites, que constituye aproximadamente el 70 % del costo total de producción de biodiésel, junto con la competencia con la producción de alimentos y la degradación del suelo, debido a las extensas plantaciones, representan desafíos significativos para la producción y comercialización de biodiésel (Fonseca et al., 2019). Como alternativa, el uso de aceites y grasas reciclados, principalmente

provenientes de restaurantes y plantas procesadoras de alimentos, se ha convertido en una opción viable, para la producción de biodiésel, ya que no solo reduce los costos, sino que también contribuye a mitigar los problemas ambientales al facilitar la gestión de estos residuos (Kalita et al., 2022).

El aceite de origen vegetal puede transformarse en biodiésel a través del proceso de transesterificación. Esta reacción química convierte los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal en ésteres metílicos de ácidos grasos, mediante la adición de metanol

o etanol y catalizadores básicos (Sukasem & Manophan, 2017).

Los parámetros fisicoquímicos analizados para los ADRs incluyeron la densidad aparente y el índice de acidez. La densidad es un factor clave para determinar el estado del aceite, ya que tiende a aumentar cuando el aceite es sometido a altas temperaturas y reutilizado en varias cocciones. En este estudio, la densidad del ADR fue inferior a la reportada por García et al. (2018), quienes obtuvieron un valor de 938 kg/m^3 utilizando aceite de *Jatropha curcas* L., un aceite no comestible. Sin embargo, ambos valores superaron el rango especificado por la norma EN 14214, que es de $860\text{--}900 \text{ kg/m}^3$ (Fonseca et al., 2019). Aun así, el valor obtenido en este estudio se encuentra dentro de los rangos establecidos por el *Codex Alimentarius* (Food and Agriculture Organization [FAO], 2015).

Por otro lado, se observó que, tras la segunda neutralización, el índice de acidez fue superior al reportado por Adekunle et al. (2020), quienes encontraron un valor de 0.74 mg KOH/g . Estos autores exploraron la posibilidad de reducir los costos de producción de biodiesel utilizando materiales biológicos como cáscara de huevo, cáscara de piña y hueso de vaca como catalizadores. La variación en el índice de acidez podría atribuirse a que las muestras de aceite vegetal usado para freír, provenientes de varios establecimientos de comida rápida, eran aceites que se habían utilizado en frituras durante menos de una semana; en cambio, en este estudio, los ADRs tenían un tiempo de uso más prolongado (Adekunle et al., 2020).

De manera similar, en un estudio llevado a cabo en el mercado municipal de Huamachuco, se encontró que el índice de acidez del ADR oscilaba entre 1.965 mg KOH/g y 2.923 mg KOH/g , lo que confirma que estos aceites no son aptos para el consumo humano y pueden ser perjudiciales para la salud (Zárate et al., 2021). Un índice de acidez

elevado indica que el aceite ha sido sobrecalentado en mayor medida, lo que provoca la liberación de ácidos grasos a partir de los triglicéridos presentes en los diferentes aceites, favoreciendo la emisión de humo y la rancidez hidrolítica (Sanaguano et al., 2019). El uso repetido de los aceites aumenta su estado de oxidación y promueve su deterioro, lo que genera radicales libres e, incluso, en ocasiones, ácidos grasos trans (Segurondo & Cortez, 2020).

En este estudio, el rendimiento del biodiesel fue del 39 %, mientras que Vera et al. (2018) lograron un rendimiento del 70 %. Esta discrepancia puede deberse a que los ADR utilizados en este estudio habían sido reutilizados en múltiples ocasiones y presentaban un índice de acidez elevado, en contraste con el estudio de Vera, donde el aceite utilizado provenía de un único restaurante.

Entre los parámetros fisicoquímicos del biodiesel producido se encuentra el índice de acidez, que indica la cantidad de ácidos libres presentes en el biodiesel. Este índice también es un indicador del potencial oxidativo, por lo que un valor alto podría causar corrosión en los tanques de aceite de los automóviles (Adekunle et al., 2020). Los resultados de esta investigación mostraron que el valor del índice de acidez fue inferior al límite establecido por la Norma Técnica Peruana (NTP 321.125, 2008), que es de $0,50 \text{ mg KOH/g}$ como máximo, un rango similar al de la Unión Europea. En contraste, la norma americana permite un valor máximo de $0,80 \text{ mg KOH/g}$ (Adekunle et al., 2020). El estudio de Adekunle et al. (2020) reportó índices de acidez de $0,65 \text{ mg KOH/g}$, $0,58 \text{ mg KOH/g}$ y $0,32 \text{ mg KOH/g}$ para el biodiesel obtenido utilizando cáscara de huevo, cáscara de piña y hueso de vaca como catalizadores, respectivamente.

El parámetro de residuo de carbón se emplea para evaluar la tendencia de un combustible a formar depósitos de carbón, lo cual puede ocurrir debido a una transesterificación incompleta o a la oxidación

del B100 durante su almacenamiento, según la metodología ASTM D 4530. En esta investigación, el valor obtenido fue superior al reportado por Echeverría et al. (2018), quienes registraron un 0,02 % m/m al producir biodiesel a partir de aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.). La *jatropha*, siendo un aceite vegetal no comestible, se ha considerado una alternativa comercialmente viable al aceite comestible para la producción de biodiesel, gracias a sus propiedades fisicoquímicas (Rezania et al., 2019).

Otro parámetro fisicoquímico crucial que influye en el rendimiento del biodiesel es la viscosidad cinemática. Esta se mide generalmente como el tiempo que tarda un volumen de líquido en fluir por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado a 40 °C. La transesterificación tiene como finalidad reducir la viscosidad del aceite (ya sea aceite vegetal o grasas animales) para que pueda ser utilizado como un combustible diésel alternativo. La viscosidad disminuye con el aumento del nivel de insaturación y se incrementa con la longitud de la cadena del éster (Sajjadi et al., 2016). La viscosidad cinemática a 40 °C reportada en este estudio, aunque estuvo dentro del rango establecido por la NTP 321.125 (2008), fue superior a la reportada por Folyan et al. (2019) y Adekunle et al. (2020). Además, Adhikesavan et al. (2022) mostraron valores de viscosidad enzimática de 4,4 y 4,1 para el biodiesel producido a partir de aceite de palma y girasol.

Otro parámetro fisicoquímico importante que afecta el rendimiento del biodiesel es la viscosidad cinemática, la cual se estima generalmente como el tiempo que demora fluir por gravedad un volumen de líquido, mediante un viscosímetro capilar de vidrio calibrado a 40 °C. La transesterificación tiene como objetivo disminuir la viscosidad del aceite (es decir, aceite vegetal y grasas animales), para ser empleado como combustible diésel alternativo. La viscosidad disminuye con el nivel de insaturación y

se incrementa con el largo de la cadena del éster (Sajjadi et al., 2016). La viscosidad cinemática a 40°C reportada en este estudio, aunque estuvo dentro del rango establecido por la NTP 321.125 (2008), fue mayor a los reportados por Folyan et al. (2019) y Adekunle et al. (2020). También, Adhikesavan et al. (2022) mostraron resultados de 4,4 y 4,1 de viscosidad enzimática, para el biodiesel producto de aceite de palma y girasol, respectivamente, valores que están dentro del rango aceptado por las normas de referencias. Así mismo, Sanaguano et al. (2019) determinaron este parámetro en ADR recolectados en tres restaurantes de comida rápida en Guaranda, Ecuador, según norma ecuatoriana NTE INEN 39, reportando un rango de 1,15-4,66, cifras que sobrepasan el valor máximo de esta norma.

El parámetro glicerol total mide el nivel de glicerina tanto enlazada como no enlazada en el combustible, y de acuerdo con la NTP 321.125, ASTM D 6751 y la normativa EN 14214, este parámetro se halló dentro de los valores establecidos para este biodiesel. Además, se determinó el glicerol total utilizando la norma AOCS Ca 14-56, obteniendo un resultado de 0,18. La norma peruana (NTP 321.125, 2008) establece un valor máximo de 0,240 de masa, por lo que este resultado se considera normal. Por otro lado, se analizó el glicerol libre utilizando la misma metodología, obteniendo un resultado de 0,00 % de masa, lo cual es un valor aceptable según la norma peruana mencionada.

El contenido de humedad se analizó utilizando la metodología de Karl Fischer, obteniendo un resultado del 0,06 % (m/m). Para este parámetro, la norma técnica establece un límite máximo de 0,05 %, ya que durante el proceso de lavado y secado del biodiesel pueden quedar trazas de agua. Martínez et al. (2014) reportaron valores de humedad entre 0,01 y 0,03 %. Este autor menciona que la presencia de agua en el biodiesel puede provocar la formación de óxido y corrosión; además, de favorecer el

crecimiento microbiano que puede ocurrir en la interfase entre el biodiesel y el agua libre. Los valores de humedad reportados por Sanaguano et al. (2019) mostraron un promedio de 0,099 %.

Además, se evaluó el contenido de azufre utilizando la metodología ASTM D-1552, obteniendo un valor de 0,01, que es superior a los límites establecidos por las normas peruanas y americanas, pero inferior al de la norma europea. La norma técnica peruana fija un límite de 0,0015 % para el azufre, por lo que el resultado supera este estándar. Hernández et al. (2018) reportaron un contenido de azufre de 0,0 (% m/m) al utilizar aceite de *Jatropha curcas* L., un valor que es menor al especificado en la norma europea EN 14214 (2003), que es de 0,01. Esto sugiere que las emisiones de SO₂ del biocombustible son casi nulas y que la combustión es considerablemente más eficiente, ya que presenta un mayor contenido de oxígeno (Hernández et al., 2018).

El Poder Calorífico Inferior (PCI) se refiere a la cantidad de calor liberada durante la combustión de un gramo de combustible para producir H₂O y CO₂ a su temperatura inicial; este valor representa el contenido energético de los combustibles y, por lo tanto, su eficiencia (Rezania et al., 2019). En este estudio, se obtuvo un PCI de 8633,75 kcal/kg. Debido a que no hay un valor establecido en las normas de referencia utilizadas en esta investigación, se tomó como base el PCI estipulado en la normativa argentina para biodiesel, que es de 8900 kcal/kg (Ministerio de Energía y Minería, 2016). Por lo tanto, se puede concluir que el biodiesel producido en este estudio tiene un potencial significativo como biocombustible.

CONCLUSIONES

Se elaboró biodiesel a partir de los aceites domésticos reciclados, con un rendimiento de 39 %. El biodiesel obtenido puede considerarse potencialmente como biocombustible. Los parámetros fisicoquímicos que cumplieron

con la Norma Técnica Peruana fueron: número de acidez), residuos de carbón Conradson, viscosidad cinemática a 40°C, glicerol total, glicerol libre y azufre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F., Castro, P., & Cortijo, E. (2008). Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala- Lima: Soluciones Prácticas-ITDG. <https://www.funsepa.net/soluciones/pubs/Mzly.pdf>
- Adekunle, A., Oyekunle, J., Oduwale, A., Owootomo, Y., Obisesan, O., Elugoke, S., Durodola, S., Akintunde, S., & Oluwafemi, O. (2020). Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts. *Energy Reports*, 6, 2861-2871. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.10.019
- Adhikesavana, C., Ganesha, D., & Charles, V. (2022). Effect of quality of waste cooking oil on the properties of biodiesel, engine performance and emissions. *Cleaner Chemical Engineering*, 4, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100070>.
- Alleman, T., McCormick, R., Christensen, E., Fioroni, G., & Moriarty, K. (2016). Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition). https://afdc.energy.gov/files/u/publication/biodiesel_handling_use_guide.pdf
- ArcGis. ArcGis versión 10.3. <https://enterprise.arcgis.com/es/portal/10.3/use/deploy-app-portal-obsolete.htm>
- Echeverria, R., Ñique, T., & Guerrero, Y. (2018). Optimización de la producción de Biodiesel a partir de las semillas de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) en la Región San Martín. Ministerio de Agricultura y Riego. Primera Edición. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/881/1/>

- Echeverr%C3%ADa-Momento_Pi%C3%B1on_blanco.pdf.
- Espinoza, M. (2017). Problemática de la producción de biocombustibles en Perú. Primer Congreso de Energías Renovables y Arquitectura Bioclimática. I CABER 2017. Lima. https://congreso.pucp.edu.pe/caber/wp-content/uploads/sites/65/2019/02/M.Espinoza_Problem%C3%A1tica-de-la-producci%C3%B3n-de-biocombustibles-en-Per%C3%BA.pdf
- Food and Agriculture Organization [FAO] (2015). CODEX ALIMENTARIUS. Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. <https://www.fao.org>.
- Folayan, A., Lucky, P., Aladejare, A., & Omoniyi, A. (2021). Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass. *Energy Reports*, 5, 793-806. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.06.013>
- Fonseca, J., Teleken, J., de Cinque, V., & da Silva, C. (2019). Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. *Energy Conversion and Management*, 184, 205–218. doi: 10.1016/j.enconman.2019.01.06
- García, S., Lafargue, F., Labrada, B., Díaz, M., & del Campo, A. (2018). Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Química*, 30 (1),142-158 <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind12118.pdf>
- Hernández, L., Benítez, M., & Aguilera, B. (2018). Obtención y caracterización del biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* L *Ciencia en su PC*, 1(1), 1-11. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358269004/html/>
- International Energy Agency (IEA) (2022). Biofuel production by country/region and fuel type, 2016-2022. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/biofuel-production-by-country-region-and-fuel-type-2016-2022>
- Kalita, P., Basumatary, B., Saikiam P., Das B., & Basumatary, S. (2022). Biodiesel as renewable biofuel produced via enzyme-based catalyzed transesterification. *Energy Nexus*, 6, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100087>.
- Martínez, G., Sánchez, N., Encinar, J., & González, J. (2014). Fuel properties of biodiesel from vegetable oils and oil mixtures. Influence of methyl esters distribution. *Biomass and Bioenergy*, 63, 22–32. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.01.03
- Masera, O., Arenas, E., Sandoval G., Villafán, S., Castro, A., Hernández, L., & Fuentes, A. (2019). Producción de biodiésel a partir de aceites usados de comercios en México: estudio de caso UNAM campus Morelia. <https://www.pincc.unam.mx/wp-content/uploads/2021/06/reporte-final-2018-2019.pdf>
- Ministerio de Energía y Minería (2016). Balance Energético Nacional 2015. Argentina. https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_2016/documento-metodologico-balance-energetico-nacional-final-2015.pdf
- Ministerio del Ambiente (2017). DECRETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf

- Norma Técnica Peruana. NTP 321.125 Biocombustibles. Biodiesel. <https://dokumen.tips/documents/ntp-321125-biocombustiblesbiodiesel.html>
- Rezania, S., Oryani, B., Park J., Hashemi, B., Yadav, K., Kwon E., Hur, J., & Cho, J. (2019). Review on transesterification of non-edible sources for biodiesel production with a focus on economic aspects, fuel properties and by-product applications. *Energy Conversion and Management*, 201, 112155. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112155>.
- Sanaguano, H., Bayas, F., & Cabrera, C. (2019). Componentes presentes en el aceite de fritura usado y determinantes previos a su conversión en biodiesel. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 22(44), 33–38. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17283>.
- Segurondo, R., & Cortez, V. (2020). Determinación de la rancidez en aceites usados en el proceso de frituras en establecimientos de expendio de comida rápida. *Revista Con-ciencia*, 8 (2), 21-28. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652020000200009
- Statista (2023). Volumen de la producción mundial de los principales aceites vegetales de 2000 a 2023 <https://es.statista.com/estadisticas/564745/produccion-mundial-de-los-principales-aceites-vegetales/>
- Sajjadi, B., Raman, A., & Arandiyan, H. (2016). A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications, and prediction models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 62–92. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.035
- Sukasem, N., & Manophana, S. (25-26 May 2017). *The Development of Biodiesel Production from Vegetable Oils by Using Different Proportions of Lime Catalyst and Sodium Hydroxide* *Energy Procedia* 138. 991–997. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies 2017 AEDCEE, Bangkok, Thailand.
- Teixeira, M., Nogueira, R., & Nunes, L. (2018). Evaluación cuantitativa de la valorización de aceites de cocina usados en 23 países. *Gestión de residuos*, 78, 611–620. doi: 10.1016/j.wasman.2018.06.039
- Vera, M., Vargas, F., & Buitrago, J. (2019). Producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado. *Germina*, 2 (2), 117-145. <https://cipres.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/germina/article/view/214>
- Zarate, A., Luján, J., & Llaque, G. (December 9 – 10, 2021). *Índice de aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel en las provincias de Lima y Trujillo. 2020*. 1er LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2021: “Ideas to Overcome and Emerge from the Pandemic Crisis”, Virtual Edition, DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2021.1.1.35>