

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Valoración de residuos de aceite reciclado y grasa de pollo  
generado por restaurantes, para la obtención de Biodiésel mediante  
transesterificación**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Edith Silvana Huamani Cordova

**Asesor:**

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, agosto del 2023

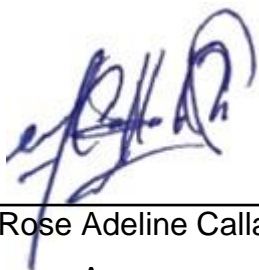
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Rose Adeline Callata Chura, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“VALORACIÓN DE RESIDUOS DE ACEITE RECICLADO Y GRASA DE POLLO GENERADO POR RESTAURANTES, PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL MEDIANTE TRANSESTERIFICACIÓN”** del autor **Edith Silvana Huamani Cordova** para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, tiene un índice de similitud de 15 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 14 días del mes de Setiembre del año 2023.



---

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 25 día(s) del mes de agosto del año 2023 siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Msc. Franklin Elard Zapana Juera el (la) secretario(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y los demás miembros Ing. Verónica Maydee Rari Mamani y el (la) asesor(a) Msc. Rose Adeline Gallata Elura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Valoración de residuos de aceite reciclado y grasa de pollo generado por restaurantes, para la obtención de Biodiesel mediante transesterificación del(los) bachiller(es): a) Edith Silvana Muamani Gordova

b) \_\_\_\_\_  
c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Edith Silvana Muamani Gordova

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Buena</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
Presidente/a

[Firma]  
Asesor/a

[Firma]  
Bachiller (a)

[Firma]  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (b)

[Firma]  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

## ÍNDICE GENERAL

1. Introducción .....	7
2. Metodología .....	10
2.1 Materia prima.....	10
2.1.1 Propiedades fisicoquímicas de la materia prima .....	11
2.1.2 Proceso de transesterificación .....	11
2.2 Rendimiento del biodiésel .....	12
2.3 Diseño experimental .....	12
3. Resultados y Discusión .....	13
3.1 Características de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima .....	13
3.1.1 Densidad.....	14
3.1.2 Índice de acidez .....	15
3.1.3 Índice de saponificación .....	15
3.1.4 Índice de yodo .....	16
3.2 Producción de biodiésel.....	16
3.2.1 Rendimiento de biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado.....	17
3.2.2 Rendimiento de biodiésel a partir de aceite de grasa de pollo .....	18
3.3 Análisis de calidad del biodiésel.....	19
3.3.1 Poder Calorífico.....	19
3.3.2 Porcentaje de cenizas.....	21
3.3.3 Porcentaje de agua y sedimentos .....	21
3.3.4 Densidad .....	23
3.4 Análisis estadístico .....	24
3.4.1 Análisis de varianza (ANOVA).....	24
3.5 Valorización del aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo .....	25
4. Conclusiones .....	26
5. Referencias .....	27

# Valoración de residuos de aceite reciclado y grasa de pollo generado por restaurantes, para la obtención de Biodiésel mediante transesterificación

*(Valuation of recycled oil and chicken fat waste generated by restaurants, to obtain Biodiésel through transesterification)*

Edith Silvana Huamani-Cordova<sup>1</sup>, Juan Eduardo Vigo Rivera<sup>2</sup>, Veronika Haydee Pari Mamani<sup>3</sup>, Rose Adeline Callata-Chura<sup>4</sup>

---

## Resumen

**[Introducción]:** Los residuos generados por establecimientos de comida, como aceites vegetales reciclados y grasa de pollo, son desechados aumentando la contaminación ambiental. La valorización de estos residuos permite su aprovechamiento como materia prima para obtener biocombustible, conocido como biodiésel. **[Objetivo]:** Se buscó valorizar el aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo generado por un chifa - pollería y seleccionar el óptimo en calidad y rendimiento para la producción de biodiésel. **[Metodología]:** Inicialmente, se recolectó y analizó las características del aceite vegetal reciclado y grasa de pollo. Seguidamente, se ejecutó la obtención de biodiésel mediante el método de transesterificación, para lo cual, se realizó un diseño experimental de 4 tratamientos, para cada uno se empleó 200 mL de la materia prima, 50 mL de metanol y concentraciones de 1 y 1.5 % de NaOH, usando un agitador magnético a 500 rpm durante 60 y 90 minutos. Luego, se dejó decantar la mezcla durante 24 horas, después, se separó el biodiésel de la glicerina y se efectuó el lavado, secado y análisis de calidad del mismo. **[Resultados]:** En el biodiésel de aceite vegetal reciclado se obtuvo un rendimiento de 97.5 % y en el biodiésel de grasa de pollo, un rendimiento de 80 %. En el análisis de calidad del biodiésel de aceite vegetal reciclado se obtuvo: Poder Calorífico 39.800 MJ/kg, cenizas 0.0038 %, Agua y sedimentos 0.34 % y densidad 887.2 kg/m<sup>3</sup>. Por otra parte, en el biodiésel de aceite de grasa de pollo se obtuvo: Poder Calorífico 39.367 MJ/kg, cenizas 0.0022 %, Agua y sedimentos 0.356 % y densidad 873.3 kg/m<sup>3</sup>. **[Conclusiones]:** Es posible la valorización de aceite vegetal reciclado y grasa de pollo para la obtención de biodiésel, sin embargo, el aceite vegetal reciclado tiene mejor rendimiento y calidad.

**Palabras clave:** aceite; biocombustible; grasa; transesterificación; valorización.

---

<sup>1</sup> Investigador, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú. [edith.huamani@upeu.edu.pe](mailto:edith.huamani@upeu.edu.pe) <https://orcid.org/0000-0003-0506-6650>

<sup>2</sup> Docente, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú. [eduardo.vigo@upeu.edu.pe](mailto:eduardo.vigo@upeu.edu.pe) <https://orcid.org/0000-0002-6597-7336>

<sup>3</sup> Docente, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú. [veronika.pari@upeu.edu.pe](mailto:veronika.pari@upeu.edu.pe) <https://orcid.org/0000-0002-3540-3913>

<sup>4</sup> Docente, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú. [rose.callata@upeu.edu.pe](mailto:rose.callata@upeu.edu.pe) <https://orcid.org/0000-0002-0430-9502>

## **Abstract**

**[Introduction]:** Waste generated by food establishments, such as recycled vegetable oils and chicken fat, are discarded increasing environmental pollution. The valorization of these wastes allows them to be used as raw material to obtain biofuel, known as biodiesel. **[Objective]:** The aim was to valorize the recycled vegetable oil and chicken fat generated by a chifa - poultry shop and to select the optimum in quality and yield for the production of biodiesel. **[Methodology]:** Initially, the characteristics of recycled vegetable oil and chicken fat were collected and analyzed. Next, biodiesel was obtained by the transesterification method, for which an experimental design of 4 treatments was carried out, for each of which 200 mL of raw material, 50 mL of methanol and concentrations of 1 and 1.5 % NaOH were used, using a magnetic stirrer at 500 rpm for 60 and 90 minutes. Then, the mixture was left to decant for 24 hours, after which the biodiesel was separated from the glycerin and the biodiesel was washed, dried and analyzed for quality. **[Results]:** In the recycled vegetable oil biodiesel, a yield of 97.5 % was obtained and in the chicken fat biodiesel, a yield of 80 %. The quality analysis of the recycled vegetable oil biodiesel showed: Calorific value 39,800 MJ/kg, ash 0.0038 %, water and sediments 0.34 % and density 887.2 kg/m<sup>3</sup>. On the other hand, in the chicken fat oil biodiesel, the following was obtained: Calorific value 39.367 MJ/kg, ashes 0.0022 %, water and sediments 0.356 % and density 873.3 kg/m<sup>3</sup>. **[Conclusions]:** It is possible the valorization of recycled vegetable oil and chicken fat to obtain biodiesel, however, recycled vegetable oil has better yield and quality.

***Keywords:*** *biofuel; fat; oil; transesterification; valorization.*

---

## 1. Introducción

Los hidrocarburos solventan el consumo energético a nivel mundial (Torres, 2023). Sin embargo, el más explotado en la vida diaria es el petróleo, este hidrocarburo se utiliza en el sector de transporte que genera una dependencia del petróleo (Tapia, 2021). Por otra parte, el 88 % del consumo energético se deriva del petróleo, un 5 % de la energía nuclear y un 6% de la energía hidroeléctrica (Mora, 2019; Rodionova et al., 2017; Santillán et al., 2019). No obstante, el consumo del petróleo registrado en las estadísticas, produce problemas ambientales (emisión de gases de efecto invernadero) y problemas socio económicos asociados al incremento del precio y escases del petróleo (Hernandez, 2013; Lara, 2016).

La situación actual ha estimulado la búsqueda de alternativas, por esta razón, adquirieron importancia los combustibles renovables, con el objetivo de reducir o sustituir en grandes cantidades a los combustibles derivados del petróleo (Asif et al., 2017; Jacyna et al., 2017).

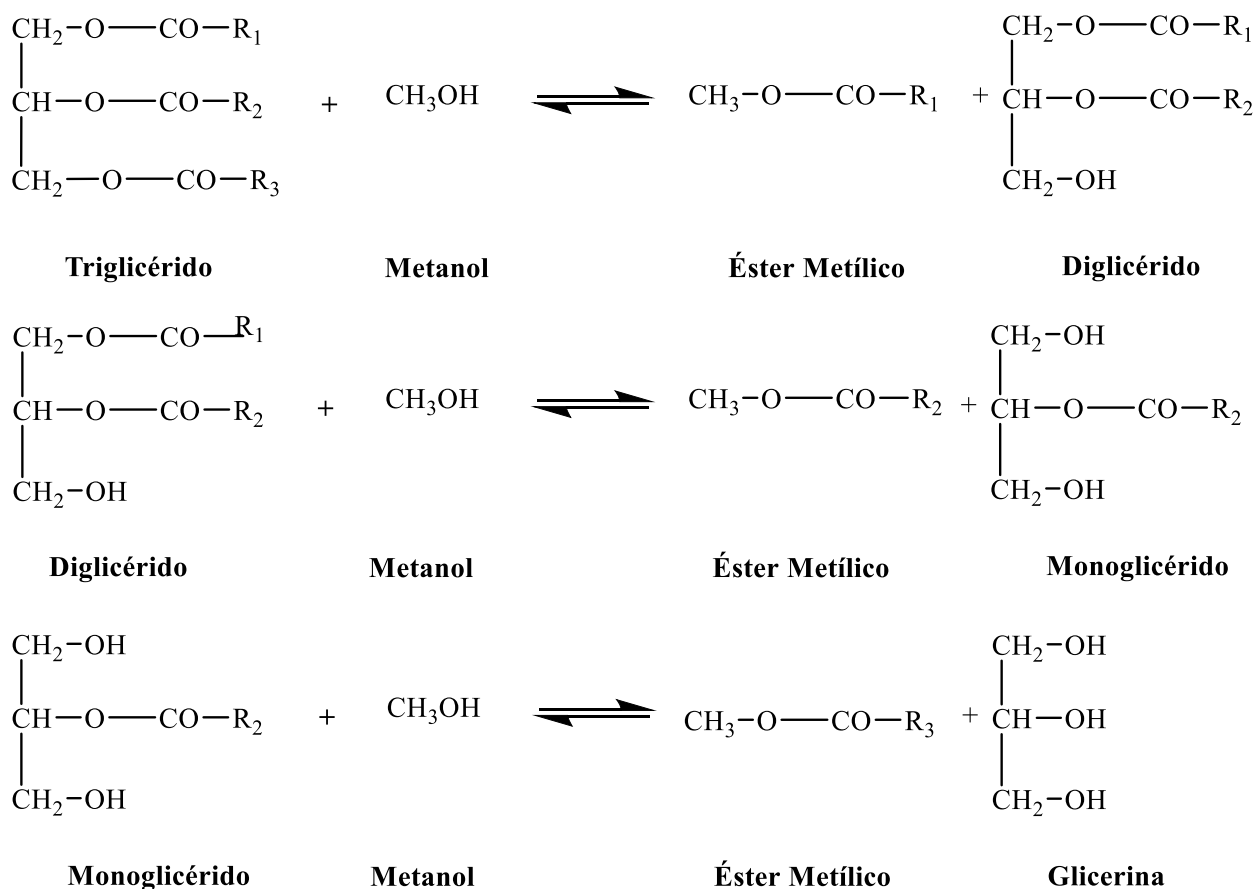
Según estudios las alternativas que existen como fuentes de energía, tienen emisiones bajas y tienen potencial para reemplazar el petróleo y generar la propulsión de automóviles. Entre las alternativas destacan: gas natural, hidrogeno, alcoholes y biodiésel (Kalita et al., 2022; Mahmudul et al., 2017). Sin embargo, el biodiésel resalta entre las alternativas, gracias a la gran variedad de opciones que se utiliza como materia prima, incluido el aceite residual y grasa de animales (Kumar et al., 2018; Salinas, 2015). Hoy en día esta opción muestra un gran potencial, por el aprovechamiento de un residuo que, por lo general, desechan las industrias, empresas y establecimientos dedicados a la producción de alimentos, aunado a un bajo costo de producción (Angulo et al., 2021; Srinivasan & Jambulingam, 2018).

El biodiésel se define como un compuesto de monoalquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales”. Así mismo, comprende beneficios; destacando que es un producto biodegradable, no es tóxico, menos perjudicial para el ambiente y están libres de azúfrela (Acosta, 2020; ASTM, 2012; Singh et al., 2021).

En la actualidad, países como Suecia, Alemania, Austria, Francia, Italia, Bélgica, Inglaterra y Checoslovaquia aplican la iniciativa de la producción de biodiésel, reemplazando el petróleo de forma parcial o en su totalidad. El reemplazo parcial se denomina como “corte” y se cuantifica en porcentaje, el corte actual es el 10 % esto implica un ahorro de 4.2 millones de toneladas de dióxido

de carbono y una reducción de emisiones del 6 %, en un escenario de demanda del sector de transporte hacia el 2030. Sin embargo, con un corte de 50 % de biodiésel, implicaría una reducción de 31% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si el reemplazo se daría por completo, la reducción de emisiones alcanzaría el 66 %, esta proyección representa la oportunidad de descarbonización y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, con un costo menor al combustible utilizado en la actualidad (Bleger et al., 2021; Caratori & DI Tella, 2020; Tacias et al., 2016).

Por otra parte, para estimar la producción de biodiésel que puede llegar a ser producido en un proyecto o aplicado a una planta, se afirma que en óptimas condiciones se lograría obtener un aproximado de 920 mL de biodiésel por cada 1 litro de aceite (Angulo et al., 2021; Romero & Fierro, 2019).

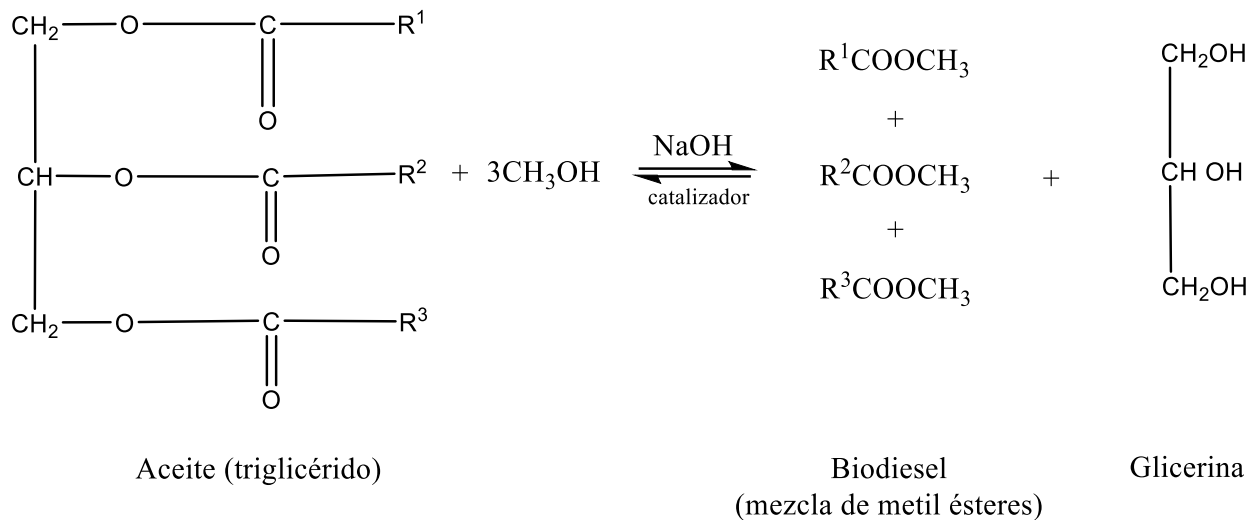


**Figura 1.** Mecanismo de la transesterificación de triglicéridos (TG).

Figure 1. Mechanism of triglycerides Transesterification (TG).

Fuente: Elaborado en ChemDraw extraído de (Amini et al., 2017).





**Figura 2.** *Reacción General de transesterificación de Triglicéridos (TG).*  
 Figure 2. *General chemical reaction for the transesterification of triglycerides (TG).*

Fuente: Elaborado en ChemDraw extraído de (Amini et al., 2017).

En la figura 1 y 2 se describe la reacción de transesterificación (alcoholisis) de grasas y aceites (Triglicéridos) con un alcohol de bajo peso molecular en una relación molar de 3:1 (Lárez & Márquez, 2013). Donde la acción del radical metil del metanol es desplazar a otro del éster de los triglicéridos de la grasa animal o vegetal en presencia de un catalizador de Hidróxido de Sodio (NaOH) para la obtención de ésteres metilados, es decir, 3 moléculas de biodiésel (Ye et al., 2016). Así mismo, como un subproducto se obtiene glicerina a partir del alcóxido sobrante de la sustitución inicial, componente que en reacción con la existencia de agua se obtiene 1 mol de glicerina (Amini et al., 2017; Cabello et al., 2017).

A lo largo del tiempo, se han realizado estudios con intenciones de obtener más información de la producción de biodiésel, realizando pruebas y experimentos. De esta manera, surge una investigación en España, donde se realizó una prueba de viabilidad técnica para una planta piloto para la reacción de transesterificación, con una mezcla de aceites de alperujo y granilla de uva, donde se comprobó que los parámetros analizados de esta mezcla cumplían con la norma UNE-EN 14214 (Álvarez et al., 2019; LLanos, 2019). Así mismo, se realizó en Colombia utilizando grasa de pollo y cerdo, obteniendo un rendimiento de 96 y 91.2 % respectivamente (Sadaf et al., 2018; Tejada et al., 2013).

En Perú se realizó una investigación con la finalidad de comparar los catalizadores y alcoholes empleados para la reacción de transesterificación y obtener la producción de biodiésel más óptima. Por este motivo, se demostró que el alcohol recomendado es el metanol y el catalizador con mejores resultados es el hidróxido de Sodio (Medrano, 2018; Rodríguez, 2018; Zarate et al., 2022). No obstante, para complementar la información e investigaciones de distintos autores, se considera que es necesario realizar una comparación entre las materias primas (aceites y grasas), con la finalidad de obtener mejores resultados de rendimiento, cantidad y calidad. Es necesaria la información que puede brindar este tipo de investigaciones, para que en un futuro se pueda establecer una información madura, dirigida a personas con intereses de producción de biodiésel en proyectos o plantas.

Por otra parte, la valorización de aceites y grasas contribuye con la disminución de la contaminación ambiental, debido a que el concepto de valorización se basa en recuperar un residuo y reutilizarlo como materia prima mediante el proceso de transformación química y física para obtener un recurso energético. (P.C.M., 2016; P.C.M., 2017).

La presente investigación se efectuó bajo el objetivo de valorizar el aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo generado por un establecimiento de comida y seleccionar el más óptimo para la producción de biodiésel con mejor calidad y rendimiento, de esta manera se puede recomendar su reproducción en investigaciones, proyectos o programas.

## **2. Metodología**

### **2.1 Materia prima**

La materia prima se recolectó de un establecimiento de chifa y pollería, ubicado en el distrito de Challhuahuacho, departamento de Apurímac. La recolección del aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo se realizó durante 1 mes, durante este tiempo se logró recopilar 30 litros de aceite vegetal reciclado y 12 kg de grasa de pollo (equivalente a 10 litros de la grasa derretida). Los procesos de fritura de papas y preparado de alimentos, generan residuos de aceite vegetal reciclado y grasa desprendida del pollo. Los cuales se vierten en el alcantarillado o en los recolectores de basura. Los residuos se reunieron con la finalidad de realizar la valorización como materia prima, en la producción de biodiésel.

### 2.1.1 *Propiedades fisicoquímicas de la materia prima*

El aceite vegetal y las grasas se desnaturalizan después de ser usado para frituras, debido a que son expuestos a temperaturas altas, a la luz y el contacto con los alimentos, surgiendo la modificación de sus características (Rabie et al., 2018; Solis, 2018). El análisis de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima, explica de manera óptima la reacción y posibles complicaciones en el proceso de obtención de biodiésel. El aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo, como materia prima, se caracterizan mediante el análisis de los parámetros presentados en la normativa ASTM y Normas Europeas (EN), detallados en el Cuadro 1.

En cuanto a la preparación de muestras, con respecto al aceite vegetal reciclado es necesario elevar su temperatura sin llegar a la ebullición, con motivos de eliminar la existencia de humedad (Alejos & Calvo, 2015). En cambio, para las muestras de grasa de pollo, es necesario exponer la grasa del pollo a una temperatura de ebullición, durante 1 hora aproximadamente, hasta que se obtenga una consistencia de aceite (Donoso, 2015; Tejada et al., 2013).

**Cuadro 1.** *Parámetros analizados para la caracterización del aceite residual y aceite de pollo.*

**Table 1.** *Parameters analyzed for the characterization of residual oil and chicken oil.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método estándar</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1298-99
Índice de acidez	%	ASTM D 664
Índice de saponificación	Mg KOH/g	ASTM D
Índice de Yodo	%	EN 41111

### 2.1.2 *Proceso de transesterificación*

Se utilizó 200 mL de la materia prima en cada tratamiento, para lo cual se preparó el metóxido, disolviendo 50 mL de metanol con Hidróxido de Sodio al 1 % (2.5 g) y al 1.5 % (3.75 g), después, se adicionó la materia prima (aceite vegetal reciclado y grasa de pollo) a la solución de metóxido, usando un agitador magnético a 500 rpm (Kumar et al., 2022), con las condiciones que indica el diseño experimental en el Cuadro 2.

Se colocó la solución en peras de decantación, durante 24 horas. Transcurrido el tiempo, se inició la separación de la glicerina (consistencia espesa y color oscuro) y el biodiésel (consistencia

líquida y color dorado). Finalmente, se lavó el biodiésel con agua destilada, cuatro veces y se realizó el respectivo secado en una estufa a 105 °C durante 30 minutos (Falcón & Guerrero, 2016; Monsefu, 2019).

## 2.2 Rendimiento del biodiésel

El rendimiento del biodiésel se calcula mediante la siguiente Ecuación 1 (Bateni y Karimi 2016). Con la ecuación se determina el porcentaje de rendimiento a partir de la cantidad de biodiésel obtenido en cada tratamiento a diferentes condiciones, sobre el volumen de la materia prima utilizada (Alarcón, 2014).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Biodiésel obtenido}}{\text{Muestra de aceite}} * 100$$

(E. 1)

## 2.3 Diseño experimental

Se utilizó el diseño de arreglo factorial 2<sup>3</sup>, utilizando dos niveles en cada uno de los 3 factores: tipo de aceite, porcentaje de hidróxido de sodio y tiempo de contacto. Se aplicaron 8 tratamientos, cada uno con 3 bloques, también expresados como repeticiones. Sumando un total de 24 unidades experimentales.

Arreglo factorial 2A x 2B x 2C con 3 réplicas = 24 unidades experimentales

- **Factor A: Tipo de aceite**  
a1: Aceite vegetal reciclado a2: aceite de grasa de pollo
- **Factor B: % de NaOH (Catalizador)**  
b1: 1% y b2: 1.5%
- **Factor C: Tiempo de agitación (500 rpm)**  
c1: 60 min c2: 90 min

El cuadro 2. presenta el diseño experimental, desarrollado en el software estadístico Minitab 20, utilizando la herramienta de diseño arreglo factorial 23 (Bautista & López, 2018; Bulla et al., 2015).

**Cuadro 2.** *Diseño experimental para la obtención de Biodiésel de Aceite vegetal reciclado y Biodiésel de Aceite de grasa de pollo.*

**Table 2.** *Experimental design for obtaining biodiesel from used vegetable oil and biodiesel from chicken fat oil.*

<b>N° de Tratamiento</b>	<b>Aceite residual</b>	<b>% NaOH</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>
1	Aceite Vegetal reciclado	1	60
2	Aceite Vegetal reciclado	1	90
3	Aceite Vegetal reciclado	1.5	60
4	Aceite Vegetal reciclado	1.5	90
5	Aceite de grasa de pollo	1	60
6	Aceite de grasa de pollo	1	90
7	Aceite de grasa de pollo	1.5	60
8	Aceite de grasa de pollo	1.5	90

Los resultados de rendimiento para la obtención del biodiésel se procesaron utilizando el software Minitab 20. El análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo con esta herramienta estadística, donde se evaluó la significancia de los factores en el rendimiento, usando el indicador p que debería ser inferior a 0.05 si se denota afectación. Por otro lado, también es importante determinar el valor R2 conocido como coeficiente de determinación, encargado de atestiguar la relación entre los factores y el rendimiento, presentando la tasa de cambio (%) (Ferreira & Patino, 2015; Garmendia & Monserrat, 2018)

### **3. Resultados y Discusión**

#### **3.1 Características de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima**

En la producción de biodiésel se puede utilizar una variedad de aceites y grasas como materia prima. En particular, el índice de acidez ayuda en la elección del aceite y determina su potencial, un exceso afectaría la calidad del biodiésel y sus propiedades. Por lo tanto, surgió necesario considerar una evaluación del aceite y grasa a emplear (Baskar & Aiswarya, 2016; Khethiwe et al., 2020).

Se realizó el análisis de las características fisicoquímicas del aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo, determinando: densidad, índice de acidez, índice de saponificación e índice de yodo. Estos parámetros permiten obtener información de las características iniciales del aceite residual y la grasa de pollo, utilizados como materia prima. Los datos contribuyen en la evaluación del rendimiento obtenido. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** *Propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal reciclado y aceite de grasa de pollo.*

**Table 3.** *Physicochemical properties of recycled vegetable oil and chicken fat oil.*

Parámetros	Unidades	Método Estandar	Resultado		Valores
			Aceite vegetal reciclado	Aceite de grasa de pollo	Referenciales (Amini et al., 2017; García et al., 2018)
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1298-99	0.917	0.915	0.860 -0.938
Índice de acidez	%	ASTM D 664	3.3	4.0	5.0 máx
Índice de saponificación	Mg KOH/g	ASTM D 94	200.32	202.72	189 máx
Índice de Yodo	%	EN 41111	130.68	84.31	115 máx

### 3.1.1 Densidad

La densidad resultó con valores de 0.9176 g/cm<sup>3</sup> para el aceite vegetal reciclado y 0.9154 g/cm<sup>3</sup> para el aceite de grasa de pollo, indicando que se encuentran dentro del rango según los valores referenciales. Los resultados se contrastaron con las investigaciones de Gabriel & Pérez (2019); Sanaguano et al. (2019) donde se presentaron resultados similares, con una densidad de 0.844 g/cm<sup>3</sup>, 0.918 g/cm<sup>3</sup> en aceite de grasa de pollo y densidades de 0.920 g/cm<sup>3</sup> y 0.940 g/cm<sup>3</sup> para aceite vegetal reciclado. Los resultados dependen de la pureza, el uso y diferentes procesos a los que puede ser sometido el aceite y grasa utilizada. La densidad influye en el comportamiento del biodiésel cuando es inyectado, puesto que, un exceso de densidad aumenta los valores de desintegración del combustible, provocando un mayor gasto de biodiésel (Silitonga et al., 2013).

### **3.1.2 Índice de acidez**

El índice de acidez, según el análisis de aceite vegetal reciclado y aceite de grasa de pollo, tiene valores de 3.3 y 4.0 % respectivamente, estos resultados se encuentran dentro del rango establecido por las referencias, indicando un máximo de 5 %. Los valores obtenidos por (Gabriel & Pérez, 2019; Guldhe et al., 2015; Khounani et al., 2020) son de 7.25, 4.37 y 2.47 %, el primer valor presenta dificultades para el proceso y el tercer valor presenta una condición favorable para la reacción. Debido a que se considera que valores menores son los más óptimos.

Un índice de acidez bajo permite obtener resultados óptimos en la reacción de transesterificación, debido a que un catalizador básico en conjunto con la materia prima de baja acidez, esto facilita la separación de la glicerina con el biodiésel. Por el contrario, un exceso puede generar un rendimiento bajo, repercutir en el equipo de inyección del motor, obstrucción del filtro y formación de depósitos (Aniołowska & Kita, 2016).

### **3.1.3 Índice de saponificación**

En los resultados de índice de saponificación se obtuvo un valor de 200.32 mg KOH/g para el aceite vegetal reciclado y 202.72 mg KOH/g para el aceite de grasa de pollo, estos valores son considerados altos, según las referencias presentadas en el Cuadro 4., donde el valor como máximo indica 189 mg KOH/g. Sin embargo, con el contraste con (Amez & López, 2013; Bahador et al., 2021) se determinó un índice de saponificación menor para la grasa de pollo, con valores de 170.94 mg KOH/g y 194.8 mg KOH/g. Por otro lado, García et al. (2013) determinó en su estudio un índice de saponificación de 189 mg KOH/g para aceite vegetal reciclado, demostrando que existe un exceso del índice de saponificación con respecto al valor referencial.

El exceso de este parámetro está directamente relacionado con la formación de glicerina, provocando una producción de biodiésel baja. La causa de estos valores elevados surge por la degradación del aceite, producto de su uso, presencia de azúcares, humedad y otros componentes (Rincón, 2018). Por otra parte, los resultados de índice de saponificación del aceite de grasa de pollo tienen un valor más alto que los resultados del aceite vegetal reciclado, los cuales se adjudicarían al proceso por el que se obtiene este aceite de grasa de pollo, debido a que es necesario

un tiempo aproximado de 2 a 3 horas de ebullición de la grasa de pollo, para la formación del aceite, lo que ocasionó la degradación del mismo.

#### **3.1.4 Índice de yodo**

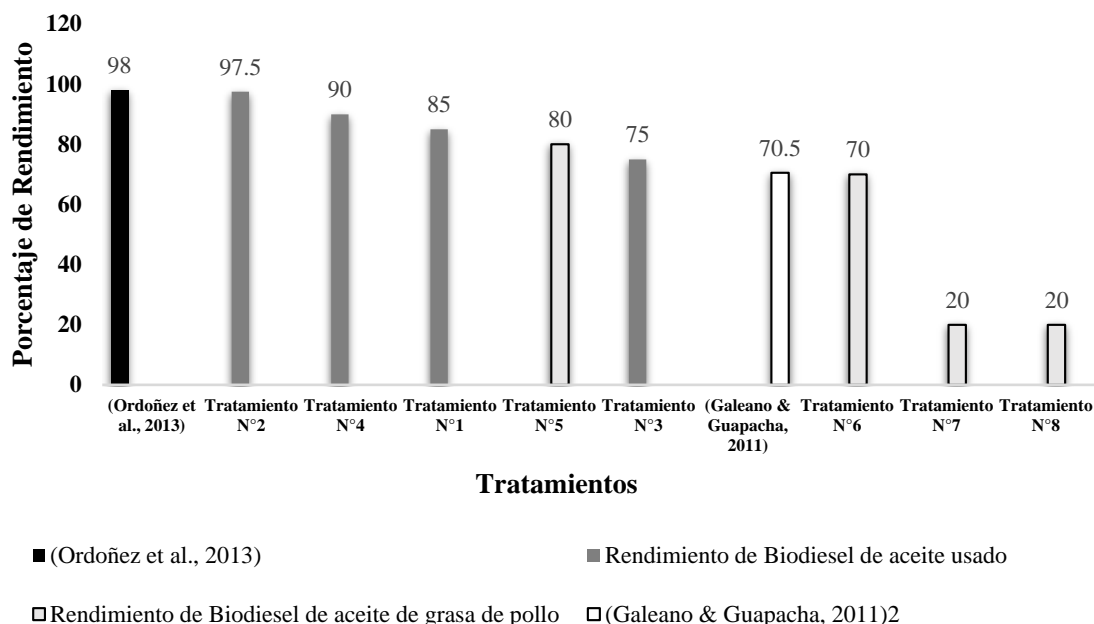
El índice de yodo presenta un valor alto de 130.68 % para el aceite vegetal reciclado y un valor bajo de 84.31 % para el aceite de grasa de pollo, considerando un valor máximo de 115% según los valores referenciales. Autores como (García et al., 2018; Khounani et al., 2020) determinaron valores de 110.06 y 83.5 % para índice de yodo, demostrando un comportamiento similar en los resultados de grasa de pollo. Por otra parte, (Amini et al., 2017) determinó un índice de yodo de 115% para aceite vegetal reciclado.

El índice de yodo disminuye de acuerdo a los procesos de fritura a los que es sometido el aceite y grasa, un exceso significaría un valor alto de ácidos grasos, dificultando la conversión a biodiésel, los valores dentro del rango denotan que el biodiésel no se oxidará con facilidad, puesto que, la literatura afirma que este parámetro indica la estabilidad, tendencia a la oxidación y el grado de insaturaciones que poseen sus ésteres (Khounani et al., 2020; LLanos, 2019).

### **3.2 Producción de biodiésel**

De acuerdo con la metodología propuesta para la producción de biodiésel, se determinó el rendimiento, siendo un factor que evalúa la cantidad de biodiésel obtenido con respecto a la materia prima (Alarcón, 2014). Las variables que influyen en los resultados de rendimiento, son las características de la materia prima, el porcentaje de catalizador, tipo de alcohol y las condiciones durante la reacción (Khounani et al., 2020). Los resultados del rendimiento de biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado y grasa de pollo, se obtuvieron utilizando la Ecuación 1., expresados en la figura 3.





**Figura 3.** *Rendimiento de Biodiesel de aceite vegetal reciclado y grasa de pollo.*  
 Figure 3. *Biodiesel yields from used oil and chicken fat.*

### 3.2.1 Rendimiento de biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado

El rendimiento obtenido en los cuatro tratamientos a partir de aceite vegetal reciclado, tienen un valor significativo, sin embargo, el valor más alto se puede observar en el tratamiento N°2 con un 97.5 % de rendimiento, el cual se realizó con el porcentaje mínimo de catalizador, 1 % y con mayor tiempo de agitación, 90 minutos. El resultado indica que la reacción de transesterificación se desarrolló de forma óptima, puesto que, desde el análisis de las características del aceite vegetal reciclado, se evidenció que presenta un índice de acidez bajo, lo que favoreció la conversión y un rendimiento alto (Aniołowska & Kita, 2016).

El tratamiento N°4 también es significativo, con un porcentaje de 90 % de rendimiento, donde se utilizó un catalizador al 1.5 % con un tiempo de agitación de 90 minutos. Estos resultados afirman la importancia del tiempo de agitación, debido a que con ambas dosis se necesitaría un tiempo de agitación igual o mayor a 90 minutos (Pollardo et al., 2018).

Los tratamientos 2 y 4 coinciden en el tiempo de agitación de 90 minutos, puesto que, la literatura afirma que se obtiene un rendimiento elevado cuando se emplea mayor tiempo García

et al., 2013). Sin embargo, se obtiene mejores resultados con una baja concentración del catalizador, por ese motivo, el tratamiento 2 supera en 7.5 % al tratamiento 4 (López et al., 2015).

Se realizó el contraste con estudios similares, como las investigaciones de (García et al., 2013; López et al., 2015; Ordoñez et al., 2013) obteniendo valores de 75.8, 88.4 y 98 %, calificados como rendimientos altos, así mismo, las características de la materia prima fueron adecuadas de acuerdo a sus análisis.

### **3.2.2 Rendimiento de biodiésel a partir de aceite de grasa de pollo**

Los resultados de rendimiento de biodiésel a partir de grasa de pollo, tienen como rendimiento máximo un 80 y 70 % en los tratamientos N°5 y N°6 con una concentración de 1 % de catalizador y tiempo de agitación de 60 y 90 minutos. Por otra parte, se expresa un rendimiento mínimo de 20 % en los tratamientos N°7 y N°8 con concentraciones de 1.5% de catalizador, con un tiempo de agitación de 60 y 90 minutos. Los resultados afirman que la grasa de pollo tiene mejor rendimiento con concentraciones bajas de catalizador, posiblemente menores a 1% de NaOH y con concentraciones de catalizador elevados se dificulta más la reacción provocando la formación excesiva de glicerina.

La principal razón es el índice de acidez de la grasa de pollo con un valor de 4 %, considerado un valor elevado, debido a que las investigaciones presentan resultados óptimos con valores menores al 3 % (Aniołowska & Kita, 2016). La acidez elevada reacciona con el exceso de catalizador, provocando la ruptura de los enlaces ésteres del biodiésel, lo que forma capas de jabón y también ácidos grasos libres, los cuales repercuten en el equipo de inyección del motor (Gabriel & Pérez, 2019; Guldhe et al., 2015; Khounani et al., 2020).

Por otra parte, la grasa de pollo también presentó un mayor índice de saponificación, disminuyendo la velocidad de reacción, que influye en el rendimiento (Musa, 2016).

(Bahador et al., 2021; Tejada et al., 2013) en sus investigaciones presentaron valores de 70.5 y 64.7 %, los rendimientos son considerados bajos, confirmando que la grasa de pollo no sería la más adecuada, sin embargo, existe la posibilidad de realizar un pre tratamiento.

### **3.3 Análisis de calidad del biodiésel**

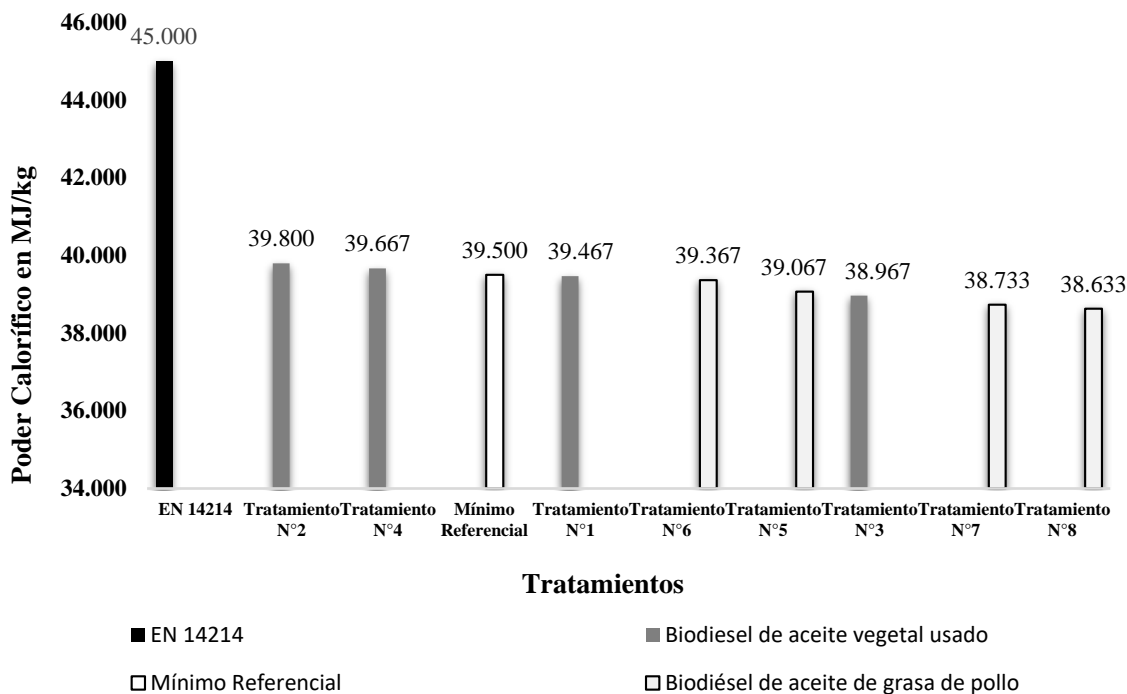
El biodiésel obtenido a partir de la reacción de transesterificación, puede presentar factores que afectarían su calidad como combustible. Los problemas comunes que enfrenta el biodiésel son problemas de flujo en frío y estabilidad de oxidación (Salinas, 2015).

El combustible debería tener un desempeño adecuado a bajas temperaturas para evitar los problemas de flujo en frío, es decir, que a medida que disminuye la temperatura, las moléculas más saturadas del combustible pueden formar cristales muy finos, que progresivamente con la disminución de la temperatura pueden formar aglomerados de un tamaño suficiente para taponear el flujo a través de los conductos y filtros donde se conduce el combustible, como consecuencia el combustible no llega a los inyectores y a la cámara de combustión, provocando que el motor no encienda (Brahma et al., 2022).

La estabilidad de oxidación suele disminuir en los aceites vegetales precisamente en el proceso de obtención de biodiesel, sin embargo, depende de diversos factores como son: la presencia de aire, la temperatura y luz (Rodrigues et al., 2020; Soleimanifar et al., 2019). Los productos resultantes de la oxidación pueden dañar los motores de combustión interna; por este motivo es importante controlar su tiempo de almacenamiento y si fuera necesario optar por la adición de antioxidantes naturales para aumentar la resistencia a la autooxidación en los derivados de ácidos grasos (Monirul et al., 2015). Estos problemas se pueden determinar a través del contraste con normas de biodiésel, como la norma ASTM D 6751 y la Norma Europea para biodiésel (EN) 14214. Estas normas serán aplicadas para evaluar el cumplimiento de los parámetros y verificar la calidad de los 2 tipos de aceite en la producción de biodiésel.

#### **3.3.1 Poder Calorífico**

El poder calorífico inferior, según ASTM D240, significa “el monto de energía por unidad de volumen de materia, que se puede generar al haber una reacción química de oxidación” (Rodríguez, 2017), el parámetro tiene como mínimo 39.500 MJ/kg según los valores referenciales y un aproximado de 45.0 MJ/Kg en la norma EN 14214.



**Figura 4.** Poder Calorífico del Biodiesel de Aceite vegetal reciclado y grasa de pollo.  
 Figure 4. Calorific Value of Biodiesel from Used Vegetable Oil and Chicken Fat.

Los resultados son presentados en la Figura 4., expresando que sólo los tratamientos 2 y 4 del biodiésel de aceite vegetal reciclado se denominarían como valores aceptables, con valores de 39.800 MJ/kg y 39.667 MJ/kg.

Los resultados de poder calorífico del biodiésel de grasa de pollo no alcanzaron el valor mínimo requerido, de acuerdo al valor referencial y la norma EN 14214 expresado en la Figura 4. La causa es el índice de acidez alto que se determinó en las características de la grasa de pollo (Aniołowska & Kita, 2016), además de un índice de saponificación elevado que complica la conversión, por la tendencia a la formación de glicerina. Sin embargo, con un pre tratamiento se puede adecuar la grasa de pollo y reducir la acidez con el método de esterificación (catálisis ácida), este procedimiento se repite hasta obtener el nivel necesario de acidez (Amini et al., 2017; Mera et al., 2019; Toala et al., 2022).

En comparación con los estudios de (Barrutia & Tarazona, 2019; López, 2022), se determinó valores de 40.61 MJ/kg y 44.76 MJ/kg, de poder calorífico para biodiesel de aceite vegetal reciclado y biodiesel de aceite de grasa de pollo, los cuales resultan superiores a los resultados de

esta investigación, consecuencia de las mejores condiciones y propiedades de la materia prima usada para la producción de biodiésel.

### 3.3.2 Porcentaje de cenizas

El porcentaje de cenizas aceptado como máximo según la norma ASTM D6751 es de 0.02 % y como se muestra en el Figura 5, todos los tratamientos de biodiésel de aceite vegetal reciclado y biodiésel de grasa de pollo, estarían por debajo del límite expresado en la norma. La determinación del porcentaje de cenizas es la medición de la cantidad de contaminación o impurezas del biodiésel (Barrutia & Tarazona, 2019). Su formación es a partir de sólidos abrasivos y una variedad de jabones metálicos solubles, que provocan problemas en el biodiésel, como saturación, taponamiento de filtros e inyectores y desgaste en el motor (Nunes et al., 2016).

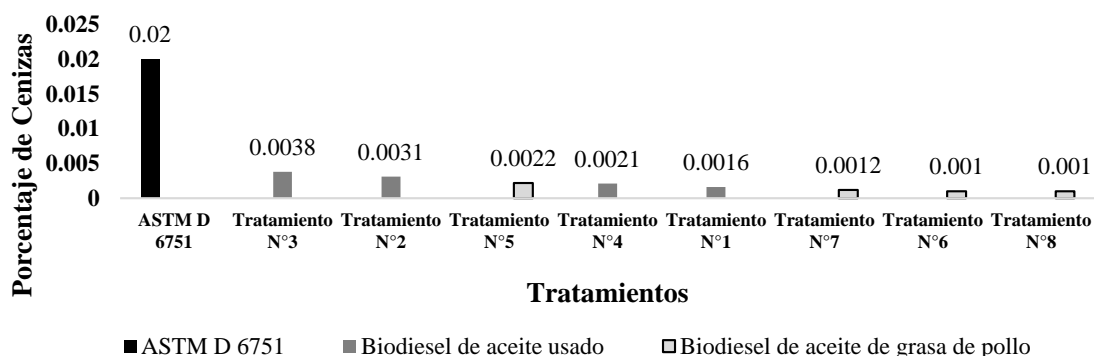


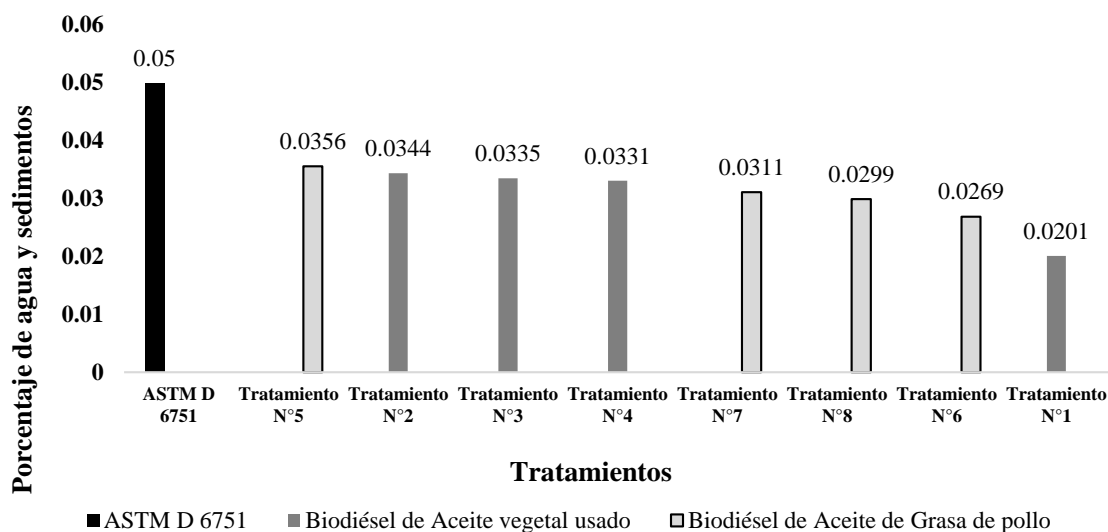
Figura 5. *Porcentaje de Cenizas en el Biodiésel de Aceite vegetal reciclado y Grasa de pollo.*  
 Figure 5. *Percentage of Ash in Biodiesel from Used Vegetable Oil and Chicken Fat.*

Los resultados significarían que los residuos sobrantes de catalizador fueron removidos con los lavados que se realizaron al biodiésel. De igual manera, los resultados de las investigaciones de (Barrutia & Tarazona, 2019; Mera et al., 2019) obtuvieron valores de 0.01 % en transesterificación con grasa de pollo y 0.020 % con aceite vegetal reciclado, por lo tanto, las investigaciones mencionadas no excedieron el límite de 0.02 % para porcentaje de Cenizas.

### 3.3.3 Porcentaje de agua y sedimentos

Por otra parte, el porcentaje de agua y sedimentos según la norma ASTM D6751 tiene como máximo el valor de 0.05 %. Los resultados que se presenta en la Figura 6, expresa que los

tratamientos de biodiésel de aceite vegetal reciclado y de biodiésel de grasa de pollo, en su totalidad cumplen con la normativa, por tener valores menores al límite.



**Figura 6.** *Porcentaje de agua y sedimentos en biodiésel de aceite vegetal reciclado y grasa de pollo.*

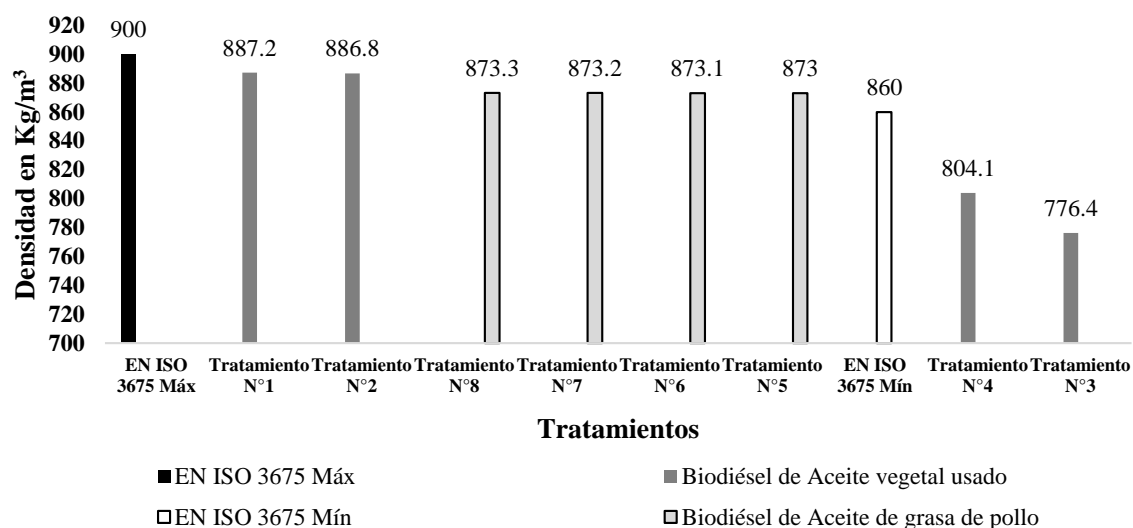
Figure 6. *Percentage of water and sediment in biodiesel from used oil and chicken fat.*

Debido a estos resultados se puede afirmar que el secado de biodiésel se realizó de manera correcta, eliminando gran parte del agua en el biodiésel. Así mismo, en las investigaciones de (Barrutia & Tarazona, 2019; Martínez, 2016; Mera et al., 2019) se obtuvieron valores de 0.0188, 0.01 y 0.2553 % los cuales están por debajo del estándar establecido por la Norma, con excepción del último valor donde el investigador sustenta que se debe a la calidad del aceite vegetal reciclado.

El contenido de agua y sedimentos se define como la relación de la masa del agua y sedimentos presente en el biodiésel, respecto a su peso anhidrido, expresado en porcentaje. Se genera en el lavado después de la decantación, otro factor es el almacenado del biodiésel, puesto que, es propenso a absorber agua al caracterizarse 40 veces más higroscópico que el diésel (Magnusson et al., 2020). La presencia de agua, se atribuye al crecimiento de microorganismos que después forman lodos y limos que pueden obstruir los filtros y corroer la superficie metálica del tanque (Khounani et al., 2020).

### 3.3.4 Densidad

La densidad es una propiedad que depende del tipo de materia prima que se utiliza, los valores estándares son de 860 kg/m<sup>3</sup> – 900 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, como se detalla en la Figura 7, los tratamientos 1 y 2 de biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado, tienen densidades de 887.2 y 886.8 kg/m<sup>3</sup>, consideradas en el rango aceptable. No obstante, los tratamientos 3 y 4 con densidades de 776.4 kg/m<sup>3</sup> y 804.1 kg/m<sup>3</sup>, señalan que no cumplen con el rango determinado. En el biodiésel de grasa de pollo, todos los tratamientos cumplen con el rango establecido, indicando que el lavado retiró el exceso de metanol, a diferencia del biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado, que evidenció un exceso de metanol que no fue eliminado en el lavado, provocando que, en la aplicación del biodiésel de baja densidad genere problemas en el motor (López, 2022).



**Figura 7.** Densidad en biodiésel de aceite vegetal reciclado y grasa de pollo.  
 Figure 7. Density in biodiésel from used oil and chicken fat.

Las investigaciones de (Bahador et al., 2021; Mera et al., 2019) reportaron densidades de 878 kg/m<sup>3</sup>, 864.3 kg/m<sup>3</sup> y 875.8 kg/m<sup>3</sup>, que cumplen con el rango establecido por la norma EN ISO 3675. Los niveles altos de densidad se consideran con mayor energía térmica del combustible.

### 3.4 Análisis estadístico

El diseño de experimento que se empleó fue el Diseño con arreglo factorial 23. La finalidad es determinar el efecto o significancia de los factores (% NaOH y Tiempo de agitación (min) con respecto al rendimiento del biodiésel. La interpretación de los resultados del análisis estadístico del biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado y aceite de grasa de pollo., se presenta en el Cuadro 4.

#### 3.4.1 Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza inició con la prueba de supuestos, donde se determinó que los residuos cumplen con la prueba de normalidad y la homogeneidad de varianzas. En el análisis de varianza se obtuvieron los siguientes resultados, expresados en el Cuadro 4, aplicado al rendimiento del biodiésel de aceite vegetal reciclado y al biodiésel de grasa de pollo.

**Cuadro 4.** Análisis de Varianza del Rendimiento de Biodiésel a partir de Aceite vegetal reciclado y Biodiésel de grasa de pollo.

**Table 4.** Analysis of Variance of Biodiésel Yield from Used Vegetable Oil and Biodiésel from Chicken Fat.

Biodiésel de Aceite vegetal reciclado						Biodiésel de aceite de grasa de pollo					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1934.1	386.82	8.00	0.012	Modelo	5	3959.42	791.88	5.07	0.036
Bloques	2	558.5	279.25	5.77	0.040	Bloques	2	630.50	315.25	2.02	0.214
Lineal	2	1206.8	603.42	12.48	0.007	Lineal	2	3238.17	1619.08	10.37	0.011
%NaOH	1	546.8	546.75	11.31	0.015	%NaOH	1	3234.08	3234.08	20.71	0.004
Tiempo	1	660.1	660.08	13.65	0.010	Tiempo	1	4.08	4.08	0.03	0.877
Interacción de 2 términos	1	168.7	168.75	3.49	0.111	Interacción de 2 términos	1	90.75	90.75	0.58	0.475
%NaOH * Tiempo	1	168.7	168.75	3.49	0.111	%NaOH * Tiempo	1	90.75	90.75	0.58	0.475
Error	6	290.2	48.36			Error	6	936.83	156.14		
Total	11	2224.3				Total	11	4896.25			

Se puede observar que los factores: % NaOH y Tiempo de agitación, resultaron ser significativos para el rendimiento obtenido de biodiésel de aceite vegetal reciclado, con valores p de 0.015 y 0.010, los cuales son menores a 0.05. Así mismo, para el biodiésel de grasa de pollo se obtuvo un valor de 0.004 menor a 0.05, no obstante, el factor Tiempo de agitación con un valor de 0.877 resultó no ser significativo.



El análisis de varianza (ANOVA) que se presentó en la Cuadro 4, demuestra que el % de NaOH (catalizador) influye en el rendimiento del biodiésel de aceite vegetal reciclado y el biodiésel de grasa de pollo. El tiempo de agitación resultó ser significativo sobre el rendimiento, sin embargo, para el rendimiento de biodiésel de grasa de pollo, el tiempo de agitación resultó no tener afectación. Los resultados se contrastaron con diversas investigaciones, donde se encontró que el porcentaje del catalizador afecta en el rendimiento para los dos tipos de aceite. En cuanto al tiempo de agitación, se determinó que se necesita una reacción de 30 – 180 mín. para alcanzar un rendimiento óptimo (López et al., 2015). Así mismo, en comparación con otro estudio, determinaron que el tiempo de agitación si tiene significancia en cuanto al rendimiento, sin embargo, solo existiría similitud en el biodiésel de aceite vegetal reciclado y no en el biodiésel de grasa de pollo. Estas diferencias podrían ser consecuencia de la falta de esterificación (pretratamiento) de la grasa de pollo, para disminuir su acidez (Gutierrez, 2022).

Los valores en el biodiésel de aceite vegetal reciclado, se alcanzaron con un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 86.95 % (R<sup>2</sup>ajustado: 76.08 %) Por otro lado, para el biodiésel de grasa de pollo, se obtuvieron con un R<sup>2</sup> de 80.87 % (R<sup>2</sup>ajustado: 64.92 %). El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) indica el nivel en que la variabilidad del rendimiento es explicada por el modelo con los factores analizados y sus valores establecidos (Mera et al., 2019).

### **3.5 Valorización del aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo**

La valorización es definida por la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos como “la operación cuyo objetivo es que el residuo, o los materiales que lo componen, sean reaprovechados y sirvan a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos. Puede ser valorización material o energética” (P.C.M., 2016; P.C.M., 2017). La valorización del aceite vegetal reciclado y la grasa de pollo se realizó mediante una recuperación de aceites con un proceso de transformación fisicoquímica, para la obtención de un recurso material, el biodiésel. Esta finalidad se logró en la investigación, debido a que, en ambos casos, se aprovechó los residuos como materia prima y se obtuvo biodiésel.

Los resultados de la valorización se pueden expresar mediante el rendimiento que se obtuvo en cada materia prima. En el biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado se alcanzó un rendimiento

97.5 %, considerando que cumple con los parámetros de calidad según la norma ASTM D 6751. Afirmando que, es recomendable su reproducción y aplicación. Los resultados del biodiésel a partir de grasa de pollo, se alcanzó un rendimiento de 80 %, así mismo, cumple con los parámetros de calidad con excepción del poder calorífico, donde no alcanza el valor mínimo requerido de 39.500 MJ/kg. Sin embargo, con una adecuación de las características de la grasa de pollo, se permitiría obtener mejores resultados.

#### **4. Conclusiones**

La presente investigación demostró que es posible la valorización del aceite vegetal reciclado y grasa de pollo para la obtención de biodiésel. Sin embargo. Se determinó que se obtendría un mejor rendimiento de biodiésel, realizando un pre tratamiento para optimizar las propiedades de la materia prima.

Las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal reciclado, demostraron condiciones óptimas para la producción de biodiésel, con un rendimiento de 97.5 %, catalizador (NaOH) al 1 %, y tiempo de agitación de 90 minutos. El biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado cumplió con los estándares mínimos de calidad de la Norma ASTM 6751 y la Norma Europea para biodiésel (EN) 14214. Las propiedades fisicoquímicas del aceite de grasa de pollo, no resultaron óptimos en la producción de biodiésel, por la acidez elevada. Presentó un rendimiento máximo de 80 % con catalizador (NaOH) al 1 % y tiempo de agitación de 60 minutos. Se concluye afirmando que, el aceite vegetal reciclado tiene mejores resultados en calidad y rendimiento para la producción de biodiésel, en comparación con el aceite de grasa de pollo.

## 5. Referencias

- Acosta, P. (2020). *Palm Oil and Biodiesel in Indonesia, Economic and Environmental Feasibility* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.62592>
- Alarcón Rodríguez, R. A. (2014). *Obtención de biodiesel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma*.
- Alejos, C., & Calvo, E. (2015). Biocombustibles de primera generación First-generation biofuels. En *Rev. Per. Quím. Ing. Quím* (Vol. 18, Número 2). Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/11784>
- Álvarez, A., García, J., Guerrero, F., Naranjo, C., Barrios, C., & Pérez, M. (2019). Valorization of a high-acidity residual oil generated in the waste cooking oils recycling industries. *Grasas Aceites*, 70(4). <https://doi.org/10.3989/gya.1179182>
- Amez, M., & López, S. (2013). *Evaluación De La Producción Y Caracterización De Biodiesel A Partir De Grasa De Pollo*.
- Amini, Z., Ilham, Z., Ong, H. C., Mazaheri, H., & Chen, W. H. (2017). State of the art and prospective of lipase-catalyzed transesterification reaction for biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 141, 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.049>
- Angulo, L., Alvarado, A., Rivas, M., Cattaneo, C., Rene, E., & García, O. (2021). Production of solid biofuels from organic waste in developing countries: A review from sustainability and economic feasibility perspectives. *Science of The Total Environment*, 795, 148816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148816>
- Aniołowska, M., & Kita, A. (2016). The effect of frying on glycidyl esters content in palm oil. *Food Chemistry*, 203, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.028>
- Asif, S., Ahmad, M., Zafar, M., & Ali, N. (2017). Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-edible seed oils for use as biodiesel in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 687-702. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.036>
- ASTM. (2012). Standard Specification for Biodiesel Fuel Blendstock (B100) for Middle Distillate Fuels. *ASTM*. <https://doi.org/10.1520/D6751-20A>
- Bahador, F., Foroutan, R., Nourafkan, E., Peighambaroust, S. J., & Esmaeili, H. (2021). Enhancement of biodiesel production from chicken fat using MgO and MgO@ Na<sub>2</sub>O nanocatalysts. *Chemical Engineering & Technology*, 44(1), 77-84. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000511>
- Barrutia, V., & Tarazona, E. (2019). *Comparación de biodiésel a partir del aceite extraído de la grasa de cerdo y de pato*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59799>
- Baskar, G., & Aiswarya, R. (2016). Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 57, 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.101>

- Batani, H., & Karimi, K. (2016). Biodiesel production from castor plant integrating ethanol production via a biorefinery approach. *Chemical Engineering Research and Design*, 107, 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.08.014>
- Bautista, G., & López, L. (2018). *Optimización Del Proceso De Producción De Biodiesel A Partir De Aceite De Cocina Usado Pre-Tratado Con Materiales Adsorbentes*.
- Bleger, D., Lasgoity, E., & Trebour, J. (2021). Potencial de los biocombustibles en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero en Argentina. *Bolsa de Comercio de Rosario - Informativo Semanal*, 1-6.
- Brahma, S., Nath, B., Basumatary, B., Das, B., Saikia, P., Patir, K., & Basumatary, S. (2022). Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards industrial biofuel production. *Chemical Engineering Journal*, 10, 100284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100284>
- Bulla, E. A., Guerrero Fajardo, C. A., & Sierra Vargas, F. E. (2015). Producción de biodiésel por etanolisis utilizando aceites de fritura de hoteles y su uso en calderas piro-tubulares. *SciELO*, 12(1), 44-53. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v12i1.820>
- Cabello, C., Rincon, S., & Zeped, A. (2017). Types of heterogeneous catalysts used for biodiesel production. *Afinidad*, 74(577), 51-59.
- Caratori, L., & DI Tella, F. (2020). *El potencial de los biocombustibles argentinos para contribuir al cumplimiento de las contribuciones de Argentina en el marco del Acuerdo de París*. <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.2.13044.48002/1>
- Donoso, L. de L. (2015). *Estudio de los principios químicos en procesos gastronómicos*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
- Falcón Ramírez, I. V., & Guerrero Vejarano, T. E. (2016). Obtencion De Biodiesel A Partir De Aceite Domestico Residual. En *Investigación y Amazonía* (Vol. 6, Número 1).
- Ferreira, J. C., & Patino, C. M. (2015). What does the p value really mean? En *Jornal Brasileiro de Pneumologia* (Vol. 41, Número 5, p. 485). Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000000215>
- Gabriel, M., & Pérez, L. (2019). *Diseño y propuesta de un sistema de gestión de aceites vegetales usados, para la elaboración de jabones en el distrito de Santiago de Chuco*.
- García, M., Gandón, J., & Maqueira, Y. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Rev. Tecnología Química*, 33(2).
- García, S., Lafargue Pérez, F., Labrada Vászquez, B., Diaz Velazquez, M., & Sanchez 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).

- Garmendia, J. G., & Monserrat, F. M. (2018). Interpretation of statistical results. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 42(6), 370-379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.medine.2018.05.005>
- Guldhe, A., Singh, B., Mutanda, T., Permaul, K., & Bux, F. (2015). Advances in synthesis of biodiesel via enzyme catalysis: Novel and sustainable approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1447-1464. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.035>
- Gutierrez, A. (2022). *Optimización de la producción de biodiésel a partir de aceites de Jatropha curcas L., Ricinus communis y Glycine max. utilizando nuevos catalizadores heterogéneos base hierro.*
- Hernandez, J. (2013). *Impactos Sociales Y Ambientales Del Cambio Climático Global En La Región Del Bío Bío. Desafíos Para La Sostenibilidad Del Siglo XXI* (Editorial Universidad de Concepción, Ed.; 1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Proyecto Anillos SOC-28.
- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., & Karoń, G. (2017). Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering*, 19(7), 5639-5655. <https://doi.org/https://doi.org/10.21595/jve.2017.19371>
- Kalita, P., Basumatary, B., Saikia, P., Das, B., & Basumatary, S. (2022). Biodiesel as renewable biofuel produced via enzyme-based catalyzed transesterification. *Energy Nexus*, 6, 100087. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100087>
- Khethiwe, E., Clever, K., & Jerekias, G. (2020). Effects of fatty acids composition on fuel properties of jatropha curcas biodiesel. *Smart Grid and Renewable Energy*, 11(10), 165. <https://doi.org/10.4236/sgre.2020.1110010>
- Khounani, Z., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A. S., Sulaiman, A., Goli, S. A. H., Tavassoli-Kafrani, E., & Tabatabaei, M. (2020). Unlocking the potential of walnut husk extract in the production of waste cooking oil-based biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109588>
- Kumar, A., Singh, V. P., & Srivastava, A. (2022). Quality biodiesel via biotransesterification from inedible renewable sources. *Journal of Cleaner Production*. *Journal of Cleaner Production*, 14(7), 1999-2008. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134653>
- Kumar, M., Babu, A., & Kumar, P. (2018). The impacts on combustion, performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine. *Engineering Journal*, 57(1), 509-516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.12.016>
- Lara, W. (2016). *Análisis multicriterio para priorización de zonas afectadas por derrames de petróleo.* [www.flacsoandes.edu.ec](http://www.flacsoandes.edu.ec)
- Lárez, L. , & Márquez, E. (2013). Estudio DFT del mecanismo de la reacción de transesterificación de varios ésteres de ácidos carboxílicos a biodiesel. *Avances en Química. Redalyc*, 8(2), 89-95. ISSN: 1856-5301. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93328462005>

- LLanos, M. (2019). *Diseño de una estrategia para la valorización del aceite usado de cocina generados en la diferentes cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente con miras a la producción de biodiésel*. [Universidad Autónoma de Occidente]. <https://doi.org/DOI:10.31876/sl.v4i1.52>
- López, L., Bocanegra, J., & Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*. <https://doi.org/doi:10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq>
- López, O. (2022). *Propuesta técnica para la producción de biodiésel a pequeña escala a partir de aceite desechado de frituras de los locales de comida de la ciudad de Chiclayo*.
- Magnusson, T., Anderberg, S., Dahlgren, S., & Svensson, N. (2020). Socio-technical scenarios and local practice—Assessing the future use of fossil-free alternatives in a regional energy and transport system. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5, 100128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100128>
- Mahmudul, H. M., Hagos, F. Y., Mamat, R., Adam, A. A., Ishak, W. F. W., & Alenezi, R. (2017). Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 497-509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.001>
- Martínez, W. (2016). *“Producción de biodiesel a partir del aceite usado en pollerías en la Urbanización Mariscal Cáceres - Distrito de San Juan de Lurigancho -2016”*. Universidad Cesar Vallejo.
- Medrano, J. (2018). *Optimización del proceso de obtención de biodiesel de una empresa, mediante simulación*.
- Mera, J., Revelo, D., Mora, M., Pérez, J., & Areiza, Y. (2019). Caracterización fisicoquímica de biodiésel derivado de grasa de pollo como alternativa de producción limpia en la Sabana de Túquerres-Nariño. *Revista SENA*, 83(1), 41-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/22565035.1783>
- Monirul, I. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Rashedul, H. K., Rashed, M. M., & Mosarof, M. H. (2015). A comprehensive review on biodiesel cold flow properties and oxidation stability along with their improvement processes. *RSC advances*, 5(105), 86631-86655. <https://doi.org/DOI> <https://doi.org/10.1039/C5RA09555G>
- Monsefu, Y. (2019). *Propuesta Técnica Para La Producción De Biodiesel A Pequeña Escala A Partir De Aceites Usados Dentro Del Campus De La Universidad Nacional De Piura*.
- Mora, O. (2019). Transición energética en Colombia. *Programa Especialización en Gestión de Proyectos*, 32-35. <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.2.29286.29765>
- Musa, I. A. (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 21-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>

- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., & Catalão, J. P. S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>
- Ordoñez, B., Chaves, L., Rodriguez, W., Murcia, M., & Alvarado, E. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1).
- Decreto Legislativo N° 1278 .- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, (2016).
- RM. N° 061-2017-PCM Disponen la publicación del proyecto de Decreto Supremo que modifica el Reglamento del Libro de Reclamaciones del Código de Protección y Defensa del Consumidor, en el portal institucional del INDECOPI., (2017). [www.indecopi.gob.pe](http://www.indecopi.gob.pe)
- Pollardo, A., Lee, H. S., Lee, D., Kim, S., & Kim, J. (2018). Solvent effect on the enzymatic production of biodiesel from waste animal fat. *Journal of Cleaner Production*, 185, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.210>
- Rabie, A. M., Mohammed, E. A., & Negm, N. A. (2018). Feasibility of modified bentonite as acidic heterogeneous catalyst in low temperature catalytic cracking process of biofuel production from nonedible vegetable oils. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.110>
- Rincón Vija, L. A. (2018). *Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>
- Rodrigues, J. S., do Valle, C. P., Uchoa, A. F. J., Ramos, D. M., da Ponte, F. A. F., de Sousa Rios, M. A., & Ricardo, N. M. P. S. (2020). Comparative study of synthetic and natural antioxidants on the oxidative stability of biodiesel from Tilapia oil. *Renewable Energy*, 156, 1100-1106. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.153>
- Rodríguez, J. (2018). *Evaluación del rendimiento de obtención de biodiesel mediante el proceso de transesterificación de aceite de soja usado por el método de Superficie de Respuesta*. Universidad Peruana Unión.
- Rodríguez Núñez, J. R. (2017). Biodiesel production from microalgae: progress and biotechnological prospects. *Hidrobiológica*, 27(3), 337-352. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/hidro/2017v27n3/Rodriguez>
- Romero, J. S., & Fierro, A. F. (2019). *Formulación De Un Plan De Negocios Para La Empresa Natural Fuel Productora Y Comercializadora De Biodiesel A Partir De Aceite De Cocina Usado En La Ciudad De Villavicencio*.

- Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., Nisar, J., & Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, *41*, 220-226. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>
- Salinas, R. (2015). *Analisis De Factibilidad Para La Obtencion De Biodiesel A Partir De Grasa Animal*. [ECCI- Escuela Colombiana de Carreras Industriales]. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1853>
- Sanaguano Salguero, H., Bayas Morejón, F., & Cabrera Carranza, 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>
- Santillán, M., Montoya, D., & Suárez, S. (2019). *Comparative analysis of ecuadorian production of crude oil and its derivatives, period 2017-2018* (Vol. 3).
- Silitonga, A., Masjuki, H., Mahlia, T., Ong, H. C., Atabani, A. E., & Chong, W. T. (2013). A global comparative review of biodiesel production from *Jatropha curcas* using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *24*, 514-533. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Inda, C. S., Sharma, S., Sharma, P. K., & Jhalani, A. (2021). A comprehensive review on 1st-generation biodiesel feedstock palm oil: production, engine performance, and exhaust emissions. *BioEnergy Research*, *14(1)*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10171-2>
- Soleimanifar, M., Niazmand, R., & Jafari, S. M. (2019). Evaluation of oxidative stability, fatty acid profile, and antioxidant properties of black cumin seed oil and extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*, 383-389. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*, 383-389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11694-018-9953-7>
- Solis, I. (2018). Impacto Al Medio Ambiente Del Aceite Doméstico Usado Y Su Reutilización En La Producción De Jabón. *Universidad Ricardo Palma*.
- Srinivasan, G., & Jambulingam, R. (2018). Comprehensive study on biodiesel produced from waste animal fats-a review. *Journal of Environmental Science and Technology*, *11(3)*, 157-166. <https://doi.org/DOI: 10.3923/jest.2018.157.166>
- Tacias, V., Rosales, A., & Torrestiana, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: un caso de estudio. *Contaminación Ambiental*, *32(3)*, 303-313.
- Tapia, E. I. (2021). Bioregionalismo, Alternativa Para La Mitigación Del Impacto Ambiental De La Industria Petrolera En La Región Llanera: Bioregionalismo, Alternativa Para La Mitigación Del Impacto Ambiental De La Industria Petrolera En La Región Llanera. *Revista Ambientellania*, *4(1)*.



- Tejada, C., Tejada, L., Villabona, Á., & Monroy, L. (2013). *Characterization and oil lipid profile of vegetable oil extracted from microalgae View project*.  
<https://www.researchgate.net/publication/250310517>
- Toala, G., Vivas Bautista, P., & García Muentes, S. (2022). Caracterización físico-química de la epoxidación de biodiesel obtenido a partir de grasa de pollo residual. *Ingeniería Energética*, XLIII. *REDALYC*, 3(31-39). ISSN: . Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329173954004>
- Torres, R. (2023). Construir la transición energética para el desarrollo / Building the energy transition for development. *Economíaunam*, 20(58).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2023.58.765>
- Ye, W., Gao, Y., Ding, H., Liu, M., Liu, S., Han, X., & Qi, J. (2016). Kinetics of transesterification of palm oil under conventional heating and microwave irradiation, using CaO as heterogeneous catalyst. *Fuel*, 180, 574-579. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.084>
- Zarate, J., Luján, J., & Llaque, G. (2022). Índice de aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel en las provincias de Lima y Trujillo. *Ish LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2021*.