

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y  
Recursos Naturales**



**Tesis**

Elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro  
poblado de Las Américas, Abancay - Apurímac, 2019.

Presentado por:

**Bach. BHISSETT PILAR ARIAS BEDIA**

Para optar al título profesional:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Abancay – Apurímac – Perú**

**2023**

**Tesis:**

Elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de Las Américas, Abancay- Apurímac 2019

**Línea de Investigación:**

Calidad Ambiental

**Asesor:**

Mag. Anjhela Rosa Callo Mamani.



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**“ELABORACIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITES**  
**DOMÉSTICOS RECICLADOS EN EL CENTRO POBLADO DE LAS**  
**AMÉRICAS, ABANCAY – APURÍMAC, 2019”**

Presentado por la Bach. **BHISSETT PILAR ARIAS BEDIA**, para optar el título profesional de: **INGENIERO AMBIENTAL**.

Sustentado y aprobado el **16 de octubre del 2023**, ante el jurado:

<b>Presidente</b>	: Mag. Juan Alarcón Camacho
<b>Primer Miembro</b>	: Mag. Yesica Alvarado Ramos
<b>Segundo Miembro</b>	: Ing. Mariela Rojas Cáceres
<b>Asesor</b>	: Mag. Anjhela Rosa Callo Mamani

:

# Elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de Las Américas, Abancay — Apurímac, 2019

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<b>Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes</b> Trabajo del estudiante	2%
2	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	2%
3	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	1%
4	<b>repositorio.unp.edu.pe</b> Fuente de Internet	1%
5	<b>repositorio.unapiquitos.edu.pe</b> Fuente de Internet	1%
6	<b>www.eumed.net</b> Fuente de Internet	1%
7	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	1%
8	<b>www.thefreelibrary.com</b> Fuente de Internet	1%

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto principalmente a Dios, por iluminarme y estar a mi lado en todo momento. A la Dra. Nayka Díaz W. por motivarme a seguir adelante y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida profesional y enseñarme que las cosas pasan por algo. A mi fiel compañerita Mima y a mi abuelito Maximiliano, que me acompañan desde el cielo. A mi mamá y papá por toda la paciencia, el amor y la perseverancia que me brindan, a mi hermano por motivarme, mis primos, tíos, toda mi familia y amigos, por la ayuda desinteresada que me brindaron. A mi asesora, por su apoyo en todo momento. Y a todas las personas que de una u otra manera han apoyado en este proyecto. Mil Gracias les dedico este trabajo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Con infinito cariño y estima, agradezco a mis papás por el apoyo incondicional y todo el esfuerzo y la confianza que depositaron en mí desde el primer día a pesar de todos los obstáculos de la vida y gracias a mis amigas y amigos que me ayudaron en este proceso de crecimiento personal y profesional, a todas las personas que me motivaron día a día y en especial mi gratitud completa con la Dra. Nayka Díaz W. y Mag. Vanesa Salas Peña.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ACRÓNIMOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.1 Realidad Problemática .....	15
1.2 Planteamiento del Problemas .....	18
1.2.1 Formulación de Problemas .....	18
1.2.2 Problema General.....	18
1.2.3 Problemas Específicos .....	19
1.3 Justificación de la Investigación .....	19
1.4 Objetivos de la Investigación.....	20
1.4.1 Objetivo General .....	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
1.5 Delimitación de la Investigación .....	20
1.5.1 Espacial .....	20
1.5.2 Temporal.....	21
1.5.3 Social .....	21
1.5.4 Conceptual.....	22
1.6 viabilidad de la Investigación.....	22
1.7 Limitaciones .....	23
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>24</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.1 Antecedentes de Investigación .....	24
2.1.1 A Nivel Internacional .....	24
2.1.2 A Nivel Nacional.....	26
2.1.3 A Nivel Regional y Local .....	28
2.2 Bases Teóricas .....	29
2.2.1 Aceite Doméstico Reciclado .....	29
2.2.2 Refinamiento del aceite sado de origen vegetal .....	29
2.2.3 Características fisicoquímicas del aceite usado.....	30
2.2.3.1 Índice de acidez.....	30
2.2.3.2 Densidad .....	30
2.2.4 Biodiésel .....	30
2.2.5 Ventajas del biodiésel .....	31

2.2.6 Desventajas del biodiésel .....	31
2.2.7 Fuentes de materia prima para la elaboración de biodiesel.....	32
2.2.8 Tipos de biodiesel según la materia prima.....	32
2.2.8.1 Biodiésel de primera generación .....	32
2.2.8.2 Biodiésel de segunda generación.....	33
2.2.8.3 Biodiésel de tercera generación .....	33
2.2.8.4 Biodiésel de cuarta generación .....	34
2.2.9 Métodos de obtención de biodiésel.....	34
2.2.10 Proceso de elaboración del biodiesel .....	35
2.2.11 Propiedades fisicoquímicas del biodiesel .....	36
2.2.11.1 Viscosidad cinemática .....	36
2.2.11.2 Azufre .....	37
2.2.11.3 Agua .....	37
2.2.11.4 Número de acidez.....	37
2.2.11.5 Residuos de carbón.....	38
2.2.11.6 Glicerol total.....	38
2.2.11.7 Glicerol libre.....	38
2.2.11.8 Poder calorífico inferior.....	38
2.3 Marco conceptual.....	39
2.3.1 Biocombustibles.....	39
2.3.2 Biodiésel .....	40
2.3.3 Diésel.....	40
2.3.5 Hidróxido de sodio (NaOH).....	40
2.3.6 Transesterificación.....	40
2.3.7 Esterificación.....	40
2.3.7 Catalizador.....	41
2.3.9 Metanol .....	41
2.3.9 Metóxido .....	42
2.3.10 Triglicéridos.....	42
2.3.11 Glicerol.....	42
2.3.12 Combustión.....	42
2.3.13 Aceite doméstico reciclado .....	43
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>44</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
3.1 Hipótesis .....	44
3.1.1 Hipótesis General .....	44
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	44
3.2 Método .....	44
3.3 Tipo de investigación .....	44
3.4 Nivel o alcance de investigación .....	45
3.5 Diseño de investigación .....	45
3.6 Operacionalización de variables .....	46
3.7 Población, muestra y muestreo.....	47

3.8 Técnicas e instrumentos .....	47
3.9 Consideraciones éticas .....	50
3.10 Procesamiento de estadísticos .....	51
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>52</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1 RESULTADOS.....	52
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	55
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
Recursos .....	63
Cronograma de actividades .....	63
Presupuesto y financiamiento .....	64
Presupuesto .....	64
Financiamiento.....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	66
Anexos .....	¡Error! Marcador no definido.
Matriz de consistencia.....	¡Error! Marcador no definido.
Instrumento de recolección de datos .....	¡Error! Marcador no definido.
Base de datos .....	¡Error! Marcador no definido.
Evidencias.....	¡Error! Marcador no definido.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado.....	52
Tabla 2 Factores intervinientes en el proceso de transesterificación .....	53
Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos del biodiesel obtenido y normativas de referencia .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica .....	21
Figura 2. Esquema de transesterificación de triglicéridos y de esterificación de ácidos grasos libres .....	34
Figura 3. Proceso de elaboración de biodiesel a partir de ADR .....	35
Figura 4. Reacción de transesterificación con catalizadores heterogéneos ....	41
Figura 5. Diagrama de flujo de elaboración de biodiésel a partir de aceites domésticos reciclados .....	49
Figura 6. Cronograma de actividades .....	63
Figura 7. Presupuesto del proyecto de investigación .....	64

## ACRÓNIMOS

- PCI: Poder Calorífico Inferior
- ADR: Aceite Doméstico Reciclado
- ASTM: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- MINEM: Ministerio de Energía y Minas
- KOH: Hidróxido de Potasio
- NaOH: Hidróxido de Sodio
- AGL: Ácidos Grasos Libres
- NTP: Norma Técnica Peruana
- IA: Índice de Acidez
- ADR: Aceites Domésticos Reciclados
- S: Azufre.

## RESUMEN

La producción de biodiesel a partir de Aceites Domésticos Reciclados (ADR) es una alternativa potencial para las energías renovables. En este estudio se recolectó ADR de tres pollerías del centro poblado Las Américas. La recolección fue de 14L de aceite y se tomaron 3L para el estudio. 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 aceite, se determinaron densidad aparente ( $923 \text{ kg/m}^3$ ) e índice de acidez ( $1,823 \text{ mg KOH/g}$ ) del ADR; para el proceso de transesterificación se calculó el catalizador (NaOH)  $1,064 \text{ g}$ , generándose el metóxido con adición de  $20 \text{ mL}$  de metanol, el tiempo de reacción fue  $2 \text{ h}$ , a una temperatura de  $60\text{-}65 \text{ }^\circ\text{C}$ .; se calculó su rendimiento en  $39 \%$ . Después, se envió el biodiésel al Laboratorio de Energía Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la determinación de sus parámetros fisicoquímicos. Los resultados fueron número de acidez ( $0,42 \text{ mg KOH/g}$ ); residuo de carbón conradson ( $0,06 \%$  m/m); viscosidad cinemática a  $40^\circ\text{C}$  ( $5,27 \text{ mm}^2/\text{seg}$ ); glicerol total ( $0,18 \%$  m/m); glicerol libre ( $0,0 \%$  m/m); contenido de humedad ( $0,06 \%$  m/m); azufre ( $0,01 \%$  m/m) y poder calorífico inferior ( $8.633,75 \text{ kcal/kg}$ ). Se logró elaborar biodiésel a partir de aceites domésticos reciclados del centro poblado Las Américas de Abancay-Apurímac. Seis de los parámetros fisicoquímicos del biodiésel cumplen con la NTP.

**Palabras clave:** aceite doméstico reciclado, biodiesel, transesterificación.

## ABSTRACT

Biodiesel production from Recycled Domestic Oils (ADR) is a potential alternative to renewable energy. In this study, ADR was collected from three poultry shops in the Las Américas populated center. The collection was 14L of oil and 3L were taken for the study. The results were compared with 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) is governed by the Argentine regulations (2016). For the oil, the apparent density (923 kg/m<sup>3</sup>) and the acid value (1,823 mg KOH/g) of the ADR were determined; For the transesterification process, the catalyst (NaOH) was calculated at 1.064 g, generating the methoxide with the addition of 20 mL of methanol, the reaction time was 2h, at a temperature of 60-65 °C.; its yield was calculated at 39 %. Afterwards, the biodiesel was sent to the Renewable Energy Laboratory of the La Molina National Agrarian University, for the determination of its physicochemical parameters. The results were the acidity number (0,42 mg KOH/g); Conradson carbon residue (0,06% m/m); kinematic viscosity at 40°C (5,27 mm<sup>2</sup>/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). Biodiesel will be made from recycled domestic oils from the Las Américas de Abancay-Apurímac populated center. Six of the physicochemical parameters of biodiesel comply with the NTP.

**Keywords:** recycled domestic oil, biodiesel, transesterification.

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente y la búsqueda de fuentes de energía más sostenibles han llevado a investigar alternativas al combustible convencional. En este contexto, el biodiesel se ha destacado como una opción prometedora, ya que es más amigable con el medio ambiente y se produce a partir de fuentes renovables.

Esta tesis se centra en un enfoque práctico y accesible: la elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados. A lo largo de este trabajo, exploraremos los pasos necesarios para transformar los aceites de cocina usados en biodiesel un combustible renovable que hace uso de los aceites, mediante el proceso de transesterificación, siendo esto una solución a la mala disposición de los aceites domésticos usados y de esta manera reducir la contaminación al ambiente y la salud pública. Este proceso innovador presenta la oportunidad de fomentar la sostenibilidad en nuestro ambiente, abriendo nuevas perspectivas en el campo de la energía renovable y la conservación del medio ambiente.

Por esto, el presente trabajo tiene por objetivo proponer la elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado Las Américas en Abancay, Apurímac. También conoceremos la situación actual de los residuos de los aceites y la inadecuada disposición final, la importancia que cumplen cada aspecto para obtener una buena calidad de biodiesel y los parámetros establecidos por la normativa peruana para biodiesel.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Realidad Problemática

En la actualidad, los combustibles fósiles y todos sus derivados se consideran una fuente insostenible de energía por su agotamiento continuo y contaminación ambiental. Por otra parte, las energías renovables son importantes debido a la disminución de los depósitos de petróleo y por las leyes ambientales. Se estimó que la demanda energética aumentó en un 1,8 % anual a partir del 2005 hasta el 2020, lo que pudiera provocar en los próximos años una crisis energética; esto conllevaría a ser uso del biodiesel renovable como mejora del desarrollo sostenible y protección ambiental, debido a la reducción de los gases de efecto invernadero (Singh et al., 2019).

Por otra parte, la demanda y el consumo mundial de aceites vegetales han aumentado muy rápidamente durante los últimos 15 años: de 83 millones de toneladas métricas (Tm) en 1999/2000 a 172 millones en 2015/2016 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017) y para el 2022/ 2023 se ha estimado 214 millones Tm (Statista,2023). En consecuencia, la tasa de crecimiento del consumo de estos aceites ha sido mayor que el crecimiento de la población mundial, el cual fue 7,89 billones en el 2021 (World Bank, 2022). Se prevé que este comportamiento continuará durante la próxima década, es decir, el equilibrio de la productividad de biodiesel y la reducción simultánea en el comercio global dependerá del consumo de aceites vegetales vs combustible por el uso de materias primas de primera generación, logrando que las materias primas de segunda y tercera generación se vuelvan progresivamente más eficientes y competitivas; así como, su sostenibilidad en el tiempo para la producción de biocombustibles (Abomohra et al., 2020).

El Aceite Domestico Reciclado (ADR) es un residuo doméstico de aceite vegetal el cual se ha empleado, para cocinar o preparar alimentos y de limitada reutilización. Su empleo en el aspecto de la economía circular con su reciclaje y reutilización puede reducir los impactos tecnológicos y ambientales; así mismo, contribuir con la eficiencia económica (Mujica, 2018). En la actualidad, existen diversas alternativas de valorización de estos aceites, como energías renovables/uso de combustible biodiésel y producción de biogás, películas sintéticas y producción de polihidroxialcanoatos, entre otras (Teixeira et al., 2018). Por otro lado, los aceites de cocina usados también pueden ser aprovechados en la elaboración de jabones, algunos productos de cosmética, el abono orgánico o la producción de velas, pinturas o barnices (Cruz & Fernández, 2021).

Las materias primas más utilizadas en el 2020 para generar biodiésel fueron los aceites vegetales, como palma (32 %), soja (26 %) y colza (15 %). El 27 % sobrantes comprende a diferentes materias primas, tales como: aceites vegetales reciclados, grasas animales y otros aceites vegetales vírgenes (girasol); todo esto se traduce en que se produjeron 16 500 000 m<sup>3</sup> de biodiésel a partir de aceite de palma, 13000000 m<sup>3</sup> de aceite de soja y 7 500 000 m<sup>3</sup> de aceite de colza (Torroba, 2021).

En el Perú, el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) aprobó la NTP 900.050:2022, se aplica a los materiales producidos con lubricantes minerales o sintéticos destinados a la transformación, provenientes de diversas actividades económicas productivas y de servicios (empresas de transporte urbano e interregional, embarcaciones pesqueras industriales y artesanales, empresas agroindustriales, gasolineras, centros de lubricación, etc.); la norma no se aplica a los aceites vegetales o animales (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2022).

Cabe resaltar que, en el reglamento del DL 1278 (DS 014, 2017) en la Lista B: Residuos no peligrosos del Anexo V se muestran a las grasas y aceites con el numeral B3065: «Grasas y aceites comestibles de origen animal o vegetal para desecho (p. ej. aceite de freír), siempre que

no exhiban las características del Anexo IV lista de características peligrosas». Según la Resolución Legislativa nro. 26234, Convenio de Basilea (RL 26234, 1993), a menos que contengan materiales o sustancias enumeradas en el Anexo I de este Convenio en cantidades suficientes para conferir alguna de las propiedades enumeradas en el Anexo IV, enumera propiedades peligrosas. En este caso, esta sección de la regla usa el aceite de cocina como ejemplo. Por lo tanto, los ADR son líquidos regulados por esta ley y son considerados residuos no peligrosos ubicados en la lista B del reglamento (Mujica, 2018).

Según (Almenara, 2017) existe cerca de 50 000 restaurantes formales en el país que funcionan en la capital y, además, un lugar de comida rápida genera entre 10 y 15 galones de aceite quemado al mes. Un estudio realizado en el distrito de Piura determinó que al día generan 340,30 L/día de aceite vegetal usado, siendo las pollerías los mayores generadores con un promedio de 123,73 L/día, seguido de las chifas con un 107,54 L/día (Reyes, 2018). Por otra parte, en Ayacucho, se consume aceite aproximadamente 225,43 L/día y 6.988,29 L/mes; 87 % no realiza una disposición adecuada, 40 % lo regalan o venden a familiares o empresas informales; 26,7 % lo vierte directamente al alcantarillado público y 6,7 % lo disponen junto a otros residuos (Aparicio, 2021). La inadecuada disposición de ADR y su uso indiscriminado generan problemas como: atascamiento de tuberías; si alcanzan a las plantas de tratamiento de aguas encarecen dicho tratamiento, es decir, un litro de aceite puede contaminar hasta 40 000 L de agua, siendo equivalente al consumo de agua anual de una persona en su domicilio (Mujica, 2018).

A pesar, de que existen deficiencias y vacíos en las normativas legales sobre el manejo adecuado de los ADR en el Perú, existen tres plantas de producción de biodiesel Industrias del Espino (Depto San Martín), Heaven Petroleum (Depto Lima, Lurin) y Pure Biofuels (El Callao) (Cunza, 2011). En 2006, la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima (UNALM) se constituyó en la primera planta piloto, para la producción de

biodiesel a mediana escala, con una capacidad de elaboración un promedio de 2 000 galones de biodiesel mensuales (UNALM, 2006).

En este sentido, en Lima a través de la municipalidad se promueve el aprovechamiento de aceites mediante el programa piloto Reciclaceite, creada para el reciclaje del aceite vegetal en el Cercado de Lima. Recolectándose 4 385 litros de aceites usados, reduciendo así la contaminación hídrica por este tipo de residuos (Sistema Metropolitano de Información Ambiental [SMIA], 2021). El aumento de la concientización ambiental en lo que respecta a los efectos de la inadecuada disposición de los residuos en el ambiente están fomentando a la adopción de nuevas conductas y hábitos por parte de organizaciones y de la sociedad, evidenciando un mejor aprovechamiento en el proceso de valorización de los residuos (Zanchett et al., 2016).

Mientras que a nivel local algunas veces las pollerías de Abancay reutilizan el aceite usado en el mismo proceso de fritura, por más de tres o cuatro veces y son sometidos a altas temperaturas, oxidándose y produciendo sustancias poliméricas y óxidos. Estas últimas sustancias dañinas para los humanos; por lo que, en lugar de desechar este aceite, este puede ser reutilizado para diferentes aplicaciones, una de ellas es la elaboración de biocombustibles, como el biodiésel, siendo ecoamigables con el medio ambiente (Khan et al., 2022). En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo proponer la elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado Las Américas en Abancay, Apurímac.

## **1.2 Planteamiento del Problemas**

### **1.2.1 Formulación de Problemas**

#### **1.2.2 Problema General**

¿Es posible la elaboración del biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado Las Américas, Abancay-Apurímac, 2019?

### **1.2.3 Problemas Específicos**

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado en el centro poblado las Américas, Abancay – Apurímac, 2019?
- ¿Cómo es el proceso de transesterificación para la elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de las Américas, Abancay – Apurímac, 2019?
- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos evaluados del biodiesel elaborado a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de las Américas, Abancay – Apurímac, 2019?

### **1.3 Justificación de la Investigación**

En la presente investigación se realizó un estudio para elaborar biodiesel a partir de ADR recolectado en tres pollerías del centro poblado de Las Américas, Abancay. Las pollerías no cuentan con un sistema de recolección de aceites usados para su disposición final, por lo que estos son descargados directamente a través del alcantarillado (González, 2015; Reyes, 2018) y llegan a la cuenca del río Mariño contaminando el agua.

La presente investigación pretende beneficiar a los pobladores de este sector mediante la concientización sobre la polución que generan los ADR en el medio ambiente, los efectos deletéreos sobre la salud que genera su consumo y su valor como materia prima para la generación de biodiesel.

Debido a la disminución de las reservas de petróleo por la sobreexplotación de este recurso no renovable y exportar a mercados internacionales, además del elevado grado de contaminación ambiental y responsable del calentamiento global (Aponte, 2017). Se hace necesario buscar otras alternativas para reducir los gases de efecto invernadero, producto de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por lo que los biocombustibles, en este caso, el biodiesel obtenido a partir de ADR, representan una opción amigable en el aspecto de utilización de energías

renovables en su reutilización, reciclaje y valorización energética (González, 2016).

Además, la presente investigación pretende reflexionar sobre el proceso de transformación de los aceites domésticos en biodiesel mediante el método de transesterificación en un contexto específico con miras a evaluar la posible aplicación de un procedimiento similar en otras áreas geográficas con condiciones similares.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar el biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de las Américas – Abancay- Apurímac 2019.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado.
- Obtener biodiésel por medio de transesterificación de aceites domésticos.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del biodiesel elaborado a partir de aceites domésticos reciclados.

## **1.5 Delimitación de la Investigación**

### **1.5.1 Espacial**

Este centro poblado está ubicado en el distrito de Abancay, provincia de Abancay, en la región de Apurímac.

Ubigeo: 030101

Latitud Sur : 13 ° 38' 2.2" S

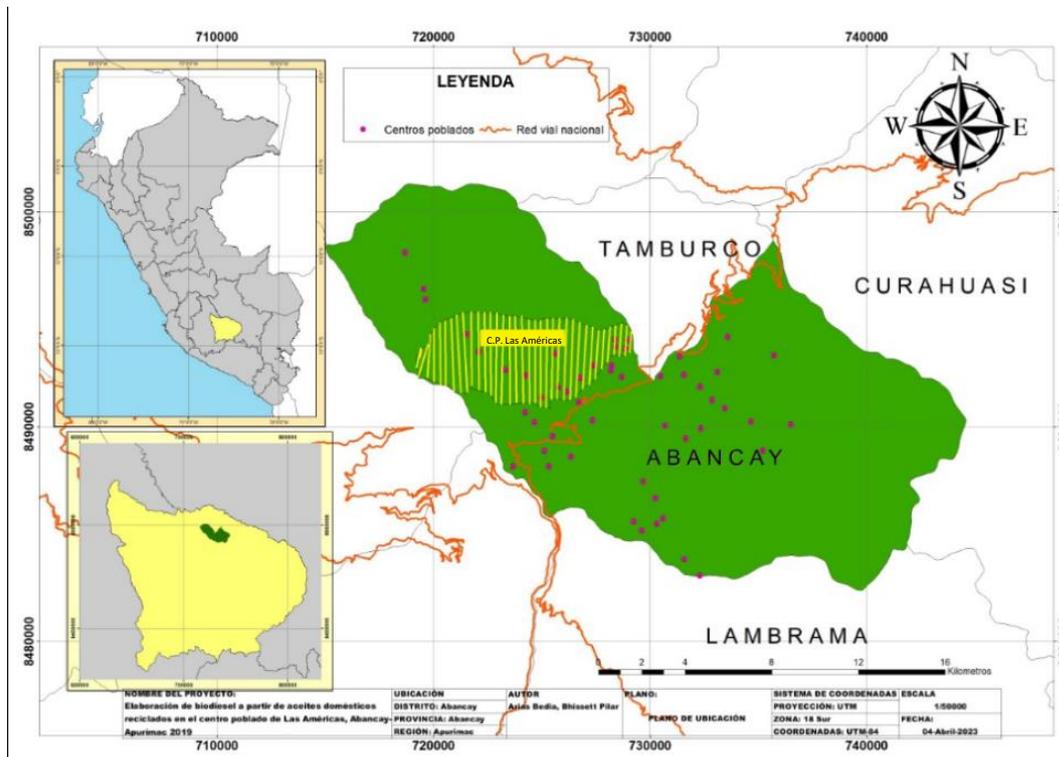
Longitud Oeste: 72° 53' 15.6" W

Altitud: 2405 m s.n.m.

La investigación se realizó en el centro poblado Las Américas, Abancay, Apurímac, debido a que en este sector se encuentran localizadas una mayor densidad de pollerías.

**Figura 1**

Ubicación geográfica



Nota: ArcGis (2022)

### 1.5.2 Temporal

Este trabajo de investigación se realizó a partir de abril 2019 hasta diciembre 2022, el año 2021 se recogió la muestra del ADR, todos los sábados de la semana durante tres meses.

### 1.5.3 Social

La presente investigación se centra en el Centro Poblado Las Américas, el cual corresponde a una zona ampliamente comercial, por lo que el estudio está ambientado en ese grupo social específico.

#### **1.5.4 Conceptual**

La delimitación conceptual de la investigación se basó en el método de la transesterificación para la transformación de los aceites domésticos en biodiesel. Se obtuvo como resultado glicerina y biodiesel, los cuales son separados por capas debido a la decantación. Seguidamente se produce el proceso de lavado, en el cual se eliminan los compuestos que no reaccionaron en el proceso anterior y quedan trazas en el biocombustible, bien sea alcohol, glicerina, soda cáustica o jabón. Finalmente, se realiza el secado, en el cual se eliminan los remanentes de agua del biodiesel.

#### **1.6 Viabilidad de la Investigación**

Económicamente este trabajo de investigación es viable, debido a que se hace uso de ADR que la mayoría de las veces son descargados directamente al desagüe o en algunos casos son reutilizados hasta su absorción total en el proceso de cocción de alimentos. En este estudio se realizó el aprovechamiento de estos aceites mediante un sistema de recolección, hasta la elaboración del biodiésel.

A nivel social, la viabilidad de la investigación involucró al Centro Poblado de las Américas, Abancay, Apurímac notificando los beneficios económicos y prácticos del uso de biodiésel; además, de la reducción de los niveles de contaminación ambiental.

La viabilidad técnica de esta investigación se obtuvo mediante estudios y análisis previos del método de la transesterificación para obtener biodiésel, el cual se produce mediante la reacción de lípidos con alcohol (Echeverría et al., 2018). Los principales constituyentes de los lípidos son triglicéridos (ésteres de tres ácidos grasos y un glicerol), por lo que su hidrólisis da como resultado biodiesel y glicerol un subproducto de este proceso. El proceso general de transesterificación son tres secuencias y reacciones reversibles en las que se forman di y monoglicéridos como productos intermedios. La reacción

estequiométrica requiere un mol de triglicérido y tres moles de alcohol (Salaheldeen et al., 2021).

### **1.7 Limitaciones**

En lo que refiere a las limitaciones de la investigación, está la participación de la comunidad en el reciclado y acopio de los aceites de uso doméstico, debido a que muchas veces no cuentan con la disponibilidad de tiempo que se requiere para concientizar y obtener los aceites usados; sin embargo, se llevó a cabo la recolección de manera personalizada.

Así mismo, para el acceso al metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) como compuesto base para la transesterificación se obtuvo mediante la compra directa en un local de venta de equipos y materiales (reactivos de laboratorios, debido a que este compuesto presenta altos niveles de peligrosidad y toxicidad.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de Investigación

##### 2.1.1 A Nivel Internacional

Adhikesavana et al. (2022) evaluaron el efecto de los ADR sobre la calidad del biodiésel producido en términos de rendimiento del motor y emisiones del motor. La materia polar total (TPM) se consideró como una medida de calidad para los residuos de aceite de cocción. El aceite de girasol y la oleína de palma fueron usados en este estudio para comparar, debido a que ellos exhiben diferente composición de ácidos grasos. Los resultados encontraron que la viscosidad cinemática del biodiesel se altera por el contenido total de materia polar del aceite de cocina usado. No hubo diferencias significativas en el rendimiento del motor durante las pruebas del motor entre los biodiesel producidos de aceites frescos y los aceites de cocina usados. Sin embargo, los biodiesel producidos a partir de ADR emitieron un poco más de monóxido de carbono que el producido a partir de aceites frescos. Las emisiones de óxido nítrico y humo de biodiesel producido a partir de aceites de cocina usados y aceites frescos fueron similares. Aunque el aceite de cocina usado es una materia prima degradada, el biodiésel producido a partir de ella no tiene ningún efecto adverso sobre el rendimiento del motor y las emisiones, por lo que el ADR se considera una materia prima prometedora en la producción sostenible de biodiesel.

Adekunle et al. (2020) investigó la posibilidad de disminuir el costo de producción de biodiesel usando materiales biológicos fácilmente disponibles, como cáscara de huevo (ES), cáscara de piña (PP) y hueso de vaca (CB) como catalizadores. Se examinó el efecto del proceso de refinación sobre las propiedades químicas de los aceites vegetales usados. El aceite refinado se transesterificó y se obtuvo un rendimiento de biodiesel de 76 %, 78 % y 88,3 % para las muestras de biodiésel catalizado con ES, PP y CB, respectivamente. Se encontró que las

muestras tenían propiedades fisicoquímicas similares y buenos potenciales de biodiesel según normas ASTM y EN. También se observó que las propiedades químicas como ácidos grasos libres y el índice de yodo de los aceites vegetales usados mejoró mucho después del proceso de desgomado.

Santana (2019) elaboró biodiesel de aceite vegetal usado en frituras de alimentos haciendo uso de diferentes concentraciones de lejía. Empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo factorial AxB y por triplicado, de esta manera realizar una comparación: Factor A (concentraciones de lejía) y Factor B (temperaturas) y la inferencia que ejerce al interactuar los dos factores, lo que permitió determinar diferencias en cuanto al rendimiento. Los resultados mostraron que los distintos tratamientos cumplen de cierta forma con otras investigaciones realizadas en la producción de biodiesel; además, tuvo características similares a otros biodiesel de buena calidad. Se pueden utilizar dos porcentajes de lejía (0,8 -1 %); dieron mejores resultados en calorimetría y viscosidad. Mientras que en las temperaturas (50 - 60°C), en densidad y punto ebullición. En cuanto al mejor rendimiento del resultado fue 49 %.

Dávila & Cortés, (2017) evaluaron la generación de Biodiesel mediante el aceite vegetal de frituras en la planta piloto de la Universidad Libre - Colombia, mediante el proceso de transesterificación. Se concluyó que la materia prima influye en la elaboración del biodiesel, para este proceso es importante realizar un pre tratamiento del aceite de fritura; así mismo, según los resultados obtenidos, el rango idóneo de la temperatura para la obtención de biodiesel a partir de aceite de frituras se encuentra de 55°C y 60°C. También es importante realizar el análisis de la viscosidad del biodiesel pues presenta niveles elevados por las propiedades físicas que contiene el aceite utilizado.

Bonilla et al. (2017) analizaron los factores que intervienen en la transesterificación de aceites de cocina para producir biodiesel, siendo importantes los siguientes factores: contenido de aceite, contenido de ácidos grasos libres (AGL), tipo de alcohol, relación molar de alcohol a aceite, tipo de alcohol y concentración de catalizador, temperatura, reacción, mezcla tiempo y potencia. Los resultados mostraron que la reacción de transesterificación utilizando un catalizador base se puede obtener con un rendimiento del 98 % utilizando un porcentaje de AGL o un índice de acidez inferior al 1 %, metanol con una relación molar de alcohol a aceite de 12:1 y KOH como catalizador. La concentración fue del 1%, la temperatura fue de 60 °C, durante 120 minutos. El factor más efectivo está determinado por el índice de acidez, ya que estos aceites se usan repetidamente con múltiples álcalis, por lo que tienen un alto contenido AGL y se debe hacer una prioridad llamada esterización para reducir la acidez. Por lo tanto, el alto rendimiento del combustible diesel biológico, que también ayuda a la atención ambiental. Utilizando equipos y elementos, el proceso de fabricación es más económico y puede proporcionar una producción más eficiente.

### **2.1.2 A Nivel Nacional**

Rodríguez et al. (2022) evaluaron el rendimiento de obtención de biodiesel generado del aceite de soja usado mediante la transesterificación, para esto utilizaron el óxido de calcio (2 y 6 %) y una relación molar de etanol: aceite (9:1 y 15:1). Se elaboró un diseño experimental factorial 22 con cinco puntos centrales, para un análisis del efecto sobre los parámetros: la relación molar etanol: aceite y el porcentaje de concentración de óxido de calcio. El biodiesel con un mayor rendimiento fue de 60.9 %, a una relación molar de 15:1 etanol: aceite y concentración de óxido de calcio 6 %. La viscosidad fue de 8,70 cSt, resultado aproximado de la normativa ASTM D6751. Finalmente para obtener un buen rendimiento de la producción de biodiesel es importante ver los factores de relación molar mayor a 15:1 con una concentración de catalizador a 6 %.

Miranda (2021), estudió la influencia del aceite vegetal residual en el rendimiento del biodiésel. Generó encuesta a los responsables de los establecimientos de comida rápida para precisar la marca, cantidad de aceite vegetal utilizado, generación de aceite usado y la disposición final de estos residuos. Seleccionó el aceite vegetal utilizada de la cevichería Irma marca primor con un porcentaje de ácidos grasos libres de 0.21 g/100 g de ácido oleico y HA40-Hamburguesería Pimo's de marca Bell's con un porcentaje de ácidos grasos libres de 0.141 g/100 g de ácido oleico. Se determinó que los aceites vegetal residuales si influyen en el rendimiento del biodiésel. El mayor rendimiento se obtuvo mediante la relación molar de 6:1 metanol-aceite, 0.5 % de KOH y el aceite residual seleccionado de la Cevichería Irma marca Primor generó un rendimiento de 91.7%, y el aceite residual de la Hamburguesería Pimo's de marca Bell's dio un rendimiento fue 91.6%. Finalmente, se analizó las características fisicoquímicas indicando que el biodiésel cumplió con los estándares de calidad según la norma ASTM D6751.

Rivas & Matamorros, (2020) realizaron biodiésel de aceites de frituras usado los cuales fueron recolectados en los centros de establecimiento de comida rápida de la ciudad de Iquitos. Como primer procedimiento fue el pretratamiento el cual consistió en la decantación, filtración y secado, para eliminar partículas en suplección o impurezas que podría contener el aceite usado, posteriormente analizaron los parámetros de humedad, índice de acidez, densidad, viscosidad, índice de peróxido e índice de saponificación. El proceso de la transesterificación se realizó mediante la transesterificación usando el metanol como alcohol y catalizador el hidróxido de sodio (NaOH). Las variables analizadas fueron: relación molar aceite/metanol (1/6,1/9), tiempo de reacción (30 y 60 minutos) y concentración del catalizador (0,5 % y 1 %). La variable que tuvo mayor influencia en el rendimiento fue la concentración del catalizador obteniendo a baja concentración (0,5 %) el mayor rendimiento (90,1 %). El biodiésel obtenido presentó buenas características de densidad y viscosidad

Gaspar & Zorrilla, (2019) evaluaron el efecto de la dosis de Na(OH) y metanol en la producción de biodiésel a partir de los aceites usados en las pollerías. Se realizó un pretratamiento al aceite; luego, se caracterizó fisicoquímicamente, donde la densidad dio un resultado de 0,893 g/mL, la viscosidad 106,7393 mm<sup>2</sup>/s y el índice de acidez 1 mg NaOH/g. Se obtuvo el biodiésel mediante el proceso de la transesterificación alcalina, la cantidad de metanol usado fue de 15 mL y una cantidad de 0,7 % de NaOH en peso de aceite, obteniendo un rendimiento de biodiésel del 78 %, se realizó un análisis del biodiesel obtenido y los resultados para la densidad fue 0,874 g/mL y para la viscosidad fue 5,5366 mm<sup>2</sup>/s, estos valores cumplen con lo establecido en la norma técnica peruana (NTP), norma ASTM y la norma europea EN 14214.

Rodríguez, (2018) evaluó el rendimiento porcentual de biodiesel proveniente de la transesterificación de aceite de soya usado recolectado en la cafetería de la Universidad Unión en Perú. La evaluación arrojó un rendimiento mayor del 60,9 % con relación molar de etanol:aceite de 15:1 utilizando un catalizador de óxido de calcio al 6 %. Luego se midió la viscosidad del biodiesel y se encontró que era de 8.70 cSt, la cual se comparó con la del diesel B5 S-50 de Refinería La Pampilla, confirmando el cumplimiento de la norma ASTM D6751. Sin embargo, el biodiesel no cumple con la normativa. En resumen, los parámetros importantes para optimizar el rendimiento de obtención de biodiesel es importante aplicar una relación molar mayo de 15:1 y concentraciones de catalizador próximas al 6%.

### **2.1.3 A Nivel Regional y Local**

Actualmente en la región y a nivel local no existen investigaciones publicadas sobre la transformación de los aceites domésticos en biodiésel.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Aceite Doméstico Reciclado**

Los ADR son residuos que, por sus propiedades formar capas sobre el agua, evitando la oxigenación y obstaculizan una adecuada refinación, si esto no acontece, cuando el agua retorna al ambiente junto con estos residuos, se genera la contaminación de los ríos, mar y los acuíferos; alterando el ciclo natural y el deterioro del ambiente; así mismo, se observa proliferación de microorganismos nocivos para la salud (Villabona et al., 2017).

El ADR es una materia líquida desnaturalizada producto del proceso de fritura generados en los centros de establecimiento de comidas como restaurantes, comidas rápidas y en los hogares, los cuales fueron sometido a cambios de temperatura y en sus características organolépticas y fisicoquímicas iniciales (Amorós, 2017).

Muchas veces los aceites usados restantes de cadenas de restaurantes, pollerías, puestos de comidas rápidas, salchipaperías, etc. no cuentan con un sistema de recolección para despojarse de los aceites usados, llevándolos a costumbres peligrosas que atentan contra la salud humana y el medio ambiente.

Por otro parte, los aceites vegetales que son consumidos en estado de oxidación debido a la exposición de calor, al aire, y a la humedad, es decir, reutilizar de manera desmesurada los aceites de fritura, generan compuestos cancerosos tales como los radicales libres y acrilamidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos como el benzo- $\alpha$ -pireno, por la variabilidad de las propiedades iniciales y los efectos dañinas en la salud humana (Valdiviezo, 2014).

### **2.2.2 Refinamiento del aceite sado de origen vegetal**

Para este proceso el aceite usado pasara por un proceso de filtración, debido al contenido de restos de comida y sal. Una vez concluida

se elimina el agua contenida en el aceite, calentándolo a 65 °C (Echeverría et al., 2018).

### **2.2.3 Características fisicoquímicas del aceite usado**

De los parámetros fisicoquímicos del aceite se seleccionaron dos parámetros (índice de acidez y densidad) los cuales fueron evaluados:

#### **2.2.3.1 Índice de acidez**

Es el número de miligramos de hidróxido de potasio preciso para neutralizar los ácidos grasos libres encontrados en un gramo de aceite o grasa y proporciona una medida del grado de hidrólisis de la grasa. (Rodríguez et al., 2016).

#### **2.2.3.2 Densidad**

La densidad de los aceites vegetales antes de la transesterificación es mayor (alrededor de 0,91–0,93 g/cm<sup>3</sup> como valores normales a una temperatura media de 15 °C). Los aceites de palma, coco y los ésteres metilo de ácidos grasos (FAME del inglés *Fatty Acid Methyl Ester*) derivados del ajonjolí tienen la densidad del biodiésel más baja a base de aceite vegetal comestible, mientras que los FAME derivados de linaza poseen la densidad más baja entre los biodiésel a base de aceite vegetal no comestible (Sajjadi et al., 2016).

#### **2.2.4 Biodiésel**

El biodiésel se considera un combustible ecológico, biodegradable, no tóxico y neutro en carbono (Brahma et al., 2022). Según las especificaciones de la norma ASTM (*American Society for Testing and Material Standard*), “son ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos naturales, como aceites vegetales o grasas de animales, y residuos de frituras usadas en restaurantes, que se emplean en motores de ignición por compresión, entre otras aplicaciones” (García-Muentes et al., 2018).

### **2.2.5 Ventajas del biodiésel**

- Es un combustible fácilmente biodegradable y no tóxico a comparación del combustible de origen fósil (de La Cruz & Trujillo, 2017).
- Está libre de azufre, lo que puede prevenir la producción de dióxido de azufre (de La Cruz & Trujillo, 2017).
- Debido a que el oxígeno presente en su composición química se quema por completo, no se producirá monóxido de carbono (CO) (de La Cruz & Trujillo, 2017).
- Tiene un punto de inflamación alto bordea los 130 °C (de La Cruz & Trujillo, 2017).
- No genera vapores explosivos (de La Cruz & Trujillo, 2017).
- La combustión o ignición genera una disminución de los gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y material particulado. (MP) (Llanes et al., 2017).

### **2.2.6 Desventajas del biodiésel**

Las principales desventajas son: anillos de aceite atascados, aceite lubricante espesado o gelificado debido a la contaminación del aceite vegetal, problemas de lubricación, alta viscosidad (alrededor de 11 a 17 veces mayor que el diesel), características de vaporización incorrectas y las volatilidades más bajas que forman depósitos en los motores por la combustión incompleta (Gaspar & Zorrilla, 2019).

Es sensible a la oxidación cuando se expone a la atmósfera (aire, luz y humedad, etc.); el biodiesel se descompone en compuestos de cadena más pequeña como aldehídos, ésteres de cadena pequeña, etc. más allá de los límites tolerables; por lo que se vuelve químicamente inestable. Esta oxidación causa problemas como la obstrucción del inyector del filtro de combustible y formación de depósitos en varios componentes del sistema de combustible, incluida la cámara de combustión (Saluja et al., 2016).

### **2.2.7 Fuentes de materia prima para la elaboración de biodiesel**

El biodiésel puede derivarse de fuente animal, vegetal, y ADR mediante varios métodos, los cuales pueden ser utilizados en motores diésel de manera pura o mezclados en una proporción adecuada (Simsek & Uslu, 2020). El biodiesel puede ser elaborado a partir de triglicéridos de diferente biomasa, como aceites vegetales (por ejemplo, maíz, palma), grasas animales, colza, aceite de soja, aceite de *Ceiba pentandra* y aceite de microalgas (Adekunle et al., 2020).

Para las materias primas utilizadas, en Austria, Alemania y otros países de Europa utilizan las semillas de girasol y colza. En Estados Unidos y Argentina, aceite de soja. En Malasia, Indonesia y otros países de América Latina, hacen uso del aceite de palma. Otra materia prima es el ADR, debido a que permite disminuir costos, lo que lleva a reducir la contaminación en las zonas donde son descargados este tipo de aceites (Bonilla et al., 2017).

### **2.2.8 Tipos de biodiesel según la materia prima**

Los tipos de materias primas de biodiésel varían a través de los países; se consideran fuentes de combustibles alternativos diversos cultivos oleaginosos, como la palma, girasol, cártamo, soja, colza, cacahuete, semilla de algodón, jojoba, *Jatropha curcas*, etc. El Consejo Asesor de Ciencias de las Academias Europeas (EASAC) clasificó el biodiesel en cuatro generaciones dependiendo del tipo de materia prima (Singh et al., 2021):

#### **2.2.8.1 Biodiésel de primera generación**

Las materias primas empleadas en la elaboración de biodiesel de primera generación se derivan de aceites comestibles, como canola y aceite de soja (EE. UU.), aceite de colza (Europa), aceite de palma (Malasia), etc. (Singh et al., 2021).

Este biodiésel tiene sus beneficios porque reduce el efecto invernadero y la emisión de CO<sub>2</sub>, mientras que, por otro lado, algunos producen un efecto adverso. El problema primordial que enfrenta el biodiésel de esta generación es la seguridad de "combustible vs alimento", es decir, que debido a la demanda de biocombustibles ha habido un incremento del volumen de cultivos, por lo que se desvían del mercado de alimentos, llevando a un incremento del valor económico de los productos alimentarios a nivel mundial en los últimos dos años (Verma et al., 2021).

#### **2.2.8.2 Biodiésel de segunda generación**

Estos biocombustibles surgieron para superar algunas limitaciones de los biocombustibles de la primera generación. Son producidos principalmente de las semillas no comestibles, residuos orgánicos, de cultivos alimentarios, madera, etc., Son considerados como un sustituto potencial para los cultivos alimentarios comestibles convencionales (Verma et al., 2021).

Las materias primas de segunda generación incluyen *Jatropha curcas* (Ratanjyote), *Pongamia pinnata* (Karanja o Mongo), *Madhuca indica* (Mahua), etc, las cuales se utilizan para producir biodiesel en la India (Singh et al., 2021).

#### **2.2.8.3 Biodiésel de tercera generación**

El biocombustible de tercera generación se basa en la mejora de la producción de biomasa. La fuente principal del biodiésel de tercera generación son las algas, debido a su elevada eficiencia energética, bajo costo, y es una materia prima de energía renovable. Las algas pueden crecer en la tierra y el agua, por lo tanto, se disminuye la tensión de los cultivos alimentarios, debido a que las fuentes de agua se están agotando (Verma et al., 2021).

#### 2.2.8.4 Biodiésel de cuarta generación

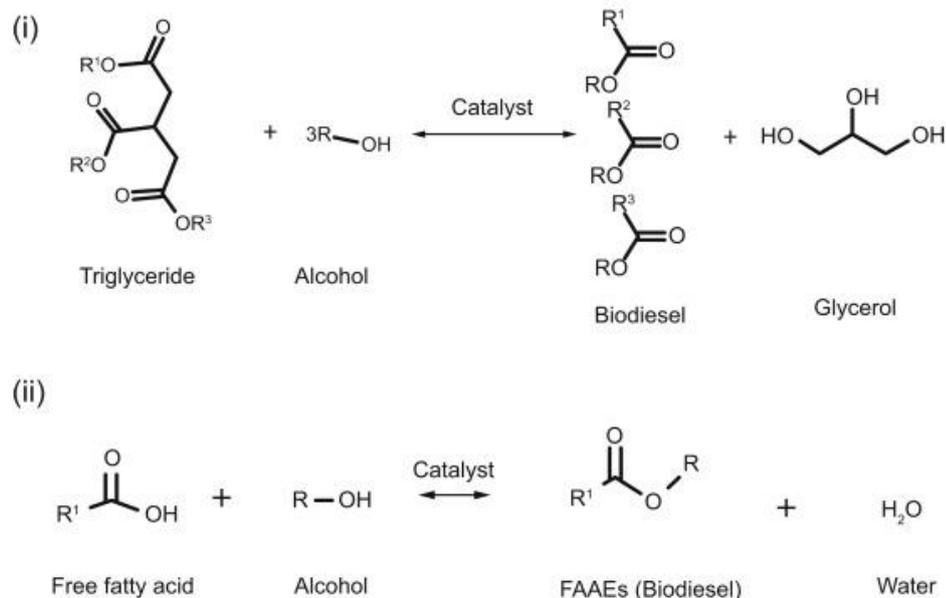
Las materias primas de esta generación de biodiésel se denominan combustibles solares fotobiológicos y combustibles eléctricos. La conversión de energía solar a biodiesel utiliza materias primas con una tasa elevada de fotosíntesis y produce biocombustibles solares (Singh et al., 2021).

#### 2.2.9 Método de elaboración de biodiésel

El método más empleado y conocido para este proceso es la transesterificación (pues hace uso de las grasas ya sea de origen natural o animal para obtener biodiesel), los cuales se han desarrollado en numerosas investigaciones, para producir biodiésel sostenible relacionado con la viabilidad económica de la producción a gran escala (Brahma et al., 2022).

**Figura 2**

*Esquema de transesterificación de triglicéridos y de esterificación de ácidos grasos libres*



Nota: Gaurav et al. (2019)

La transesterificación es el proceso de una reacción química donde el aceite vegetal o cualquier triglicérido se junta con el alcohol en presencia

de un catalizador que forma ésteres de alquilo (biodiésel) y glicerol. Estequiométricamente, se necesita una proporción de alcohol a aceite de 3:1 para finalización de la reacción. Es una reacción reversible y se necesita una cantidad excesiva de alcohol para cambiar el equilibrio al lado del producto. Los alcoholes usados en la biosíntesis de biodiésel son metanol, etanol, propanol y butanol; sin embargo, el más utilizado es el metanol, debido a la propiedad de inflamabilidad y bajo costo, polaridad, y tener la cadena más corta (Brahma et al., 2022; Salaheldeen et al., 2021).

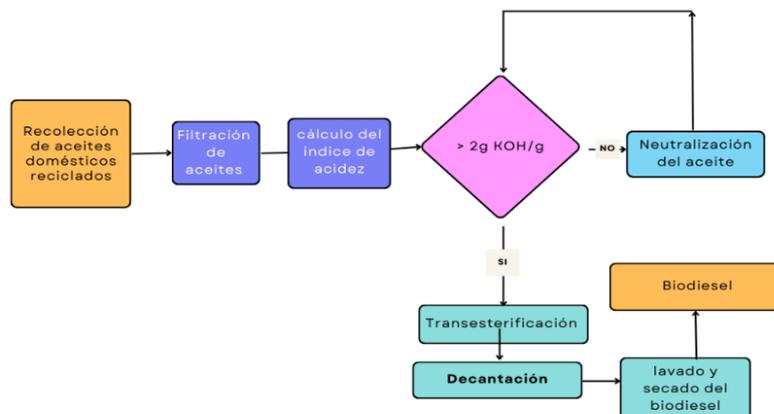
En el proceso de transesterificación pueden ser utilizados dos categorías de catalizadores: homogéneos como el hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) y catalizadores heterogéneos (como ácido/base sólido, polímero y zeolitas) (Rezania et al., 2019).

La transesterificación en aceites vegetales con el metanol en presencia de catalizadores produce biodiésel conocido como éster metílico de (FAME) y glicerol (subproducto). La reacción de esterificación de las materias primas de aceite con alto contenido de ácidos grasos libres al unirse con metanol produce FAME y agua como producto final (Fig. 1) (Gaurav et al., 2019).

### 2.2.10 Proceso de elaboración del biodiesel

**Figura 3**

*Proceso de elaboración de biodiesel a partir de ADR*



Nota: Elaboración propia

### **2.2.11 Propiedades fisicoquímicas del biodiesel**

El cumplimiento con las normativas del biodiesel será influenciado por la composición del contenido del éster del ácido graso, por lo tanto, de la materia prima, bien sea, aceites o grasas. Existen características estructurales que influyen en las propiedades físicas del biodiésel como el largo de la cadena, el número de insaturaciones y ramificación de la cadena. Las especificaciones que dependen de la composición química son número de cetano (CN), viscosidad cinemática, densidad, estabilidad oxidativa, punto de nube (CP), punto de fluidez (PP) y punto de obstrucción del filtro en frío (CFPP), valores de yodo y saponificación (IV y SV), emisiones de escape, lubricidad y calor de combustión (Martínez et al., 2014).

Los parámetros fisicoquímicos mencionados en la norma técnica peruana (NTP 321:125 (2019)) son 39 parámetros; sin embargo, para esta investigación se consideraron ocho parámetros (número de acidez, residuos de carbón, viscosidad, glicerol total, glicerol libre, contenido de humedad, azufre y poder calorífico inferior) (Cunza, 2011).

#### **2.2.11.1 Viscosidad cinemática**

Este parámetro evalúa la resistencia para el flujo libre de combustible a una determinada temperatura (Krishnasamy & Bukkarapu, 2021). Siendo una característica importante del biodiesel. Altera el proceso de inyección del combustible, formación de mezclas y procesos de combustión (García et al., 2018).

Generalmente, los combustibles con alta viscosidad tienden a formar gotas más grandes después de la inyección, resultando una atomización más pobre y causan problemas como una reacción de polimerización mejorada y más depósitos de carbono. Además, se mezcla con el aire más lentamente y origina una combustión débil, humo de escape y emisiones; así mismo, problemas causados por el incremento de la viscosidad en climas fríos. Al contrario, un combustible con poca viscosidad no aporta adecuada lubricación para el ajuste preciso de las

bombas de inyección de combustible, provocando mayor desgaste o fugas (Sajjadi et al., 2016).

#### **2.2.11.2 Azufre**

La presencia de azufre genera un deterioro del motor y en los depósitos del motor tiene diferentes significados y someterse en gran medida de las condiciones de funcionamiento. El azufre en el combustible también puede interferir con los sistemas de control de emisiones y se han introducido varios límites de azufre por razones ambientales. El B100 es esencialmente libre de azufre (Norma Técnica Peruana [NTP], 2008).

Los límites permisibles según la NTP es 0,0015 % masa y 15 ppm (NTP, 2008); para FAME es < 2 ppm mientras que la norma europea EN 14214:2003 permite como límite 10 mg·kg<sup>-1</sup> (Vignesh et al, 2020).

#### **2.2.11.3 Agua**

Las trazas de agua en el biodiésel logran formar óxido y corrosión. Además, ayuda al crecimiento microbiano que puede ocurrir en la interfase entre el biodiésel y el agua libre. La norma EN 14214 permite un contenido de agua de 500 mg kg<sup>-1</sup>, lo que significa, un 0,05% en peso, para no exceder la solubilidad del agua en biodiésel (w1500 mg kg<sup>-1</sup>) y así impedir que el agua permanezca suspendida (Martínez et al., 2014).

#### **2.2.11.4 Número de acidez**

El número de acidez del biodiésel cuantifica los ácidos grasos libres o los productos derivados de degradación que no están presentes en el gasóleo. Los nuevos diseños de sistemas de combustible a altas temperaturas de recirculación logran aumentar la degradación, lo que puede generar altos valores de acidez y una mayor obstrucción del filtro. (NTP, 2008).

Es una medida de la concentración de ácidos grasos libres y está influenciado por varios factores como el tipo de materia prima utilizado para la producción de biodiésel y su respectivo grado de refinamiento.

Este índice se puede aumentar durante el almacenamiento, debido a la hidrólisis de los enlaces éster metílico. Así mismo, se puede producir acidez durante la transesterificación por ácidos minerales introducidos como catalizadores o por ácidos grasos libres, como resultado del tratamiento ácido de los jabones, pero, por motivos similares, también puede disminuirse durante la producción (por reacción de neutralización con catalizadores básicos minerales o por esterificación simultánea en el proceso al emplearse catalizadores ácidos) (Martínez et al., 2014).

La NTP321.125 (NTP, 2008), la ASTM de 6751 y la EN 14214 reportan valores permisibles de número de acidez como 0,5 max de mgKOH·g-1 (Vignesh et al, 2020).

#### **2.2.11.5 Residuos de carbón**

Según la norma ASTM D4530, el residuo de carbón suministra una tendencia a generar depósitos de carbono del combustible. Esta prueba está diseñada para determinar la cantidad de carbón formado posteriormente de la vaporización y pirólisis de materiales de petróleo crudo bajo condiciones específicas. (Suárez, 2019).

#### **2.2.11.6 Glicerol total**

La suma de glicerina libre y la porción de glicerina de cualquier aceite o grasa no reaccionada o parcialmente reaccionada (NTP, 2008).

#### **2.2.11.7 Glicerol libre**

Una medida de la cantidad de glicerina remanente en el combustible (NTP, 2008).

#### **2.2.11.8 Poder calorífico inferior**

El poder calorífico es la cantidad de calor o la liberación de temperatura que desprende un material durante la combustión existen dos tipos de valor calorífico: el valor superior o bruto, y el valor inferior o neto. El poder calorífico bruto, o poder calorífico bruto, es el calor producido por la

combustión del producto, incluido el calor latente de vaporización del agua, que se forma cuando el hidrógeno del producto se combina con el oxígeno del aire. Estos vapores se liberan a la atmósfera y no se tienen en cuenta a la hora de asignarles un poder calorífico inferior. El poder calorífico de los combustibles sólidos y líquidos difiere en aproximadamente un 5%; para gas natural o gas de proceso, la diferencia entre estos dos valores puede ser del 10% (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

Las variaciones en el valor calorífico dependen de las diferencias en la composición y propiedades de los biodiesel producidos a partir de las diferentes materias primas (Krishnasamy & Bukkarapu, 2021). Es una característica significativa para producir la potencia del motor. Diversas mezclas de biodiésel de última generación disminuyen la potencia del motor por los valores caloríficos más bajos del combustible que el diésel. Para algunos biodiésel, el poder calorífico del combustible es mayor, tales como 42,76; 45,76; 43,60; 46,20; 42,83 y 42,80 MJ/kg para jojoba, eucalipto, aceite de ceiba pentandra, oleína de karité, aceite de pirólisis de neumáticos de desecho, y aceite de pino; de bajo poder calorífico existen valores de 26,80, 29,00, 35,10, 34,65 y 30,80 MJ/kg para etanol, éster metílico de aceite de desecho de aves de corral, aceite de maíz, n-pentanol y bisetoximetilfurano en comparación con el diésel (42,50 MJ/kg), respectivamente (Verma et al., 2021); así mismo, el aceite de colza y de linaza/girasol, presentan valores inferiores al diésel (40 y 42 MJ/kg, respectivamente) (Krishnasamy & Bukkarapu, 2021).

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Biocombustibles**

Son combustibles líquidos renovables derivados de materias primas biológicas y han mostrado ser buenos sustitutos de petróleo en el sector del transporte, la agricultura y la energía (Chauhan et al., 2016). Son productos químicos enriquecidos con energía generados mediante procesos biológicos de la biomasa de organismos o seres vivos, como microalgas, plantas y bacterias (Rodionova et al., 2017).

### **2.3.2 Biodiésel**

Son los ésteres de alcohol de la mezcla de ácidos grasos comúnmente conocidos como FAME (ésteres metílicos de ácidos grasos) preparados a partir de aceites vegetales, aceites domésticos reciclados lípidos de microalgas, grasas animales mediante varios métodos, siendo la más utilizada la transesterificación (Brahma et al., 2022; Martínez et al., 2014).

### **2.3.3 Diésel**

Son hidrocarburos de cadenas largas de carbono referidos con los combustibles fósiles (NTP 321.125, 2008).

### **2.3.5 Hidróxido de sodio (NaOH)**

Es una sustancia blanca, inodora, cristalina e higroscópica es decir tiene la facilidad de absorber la humedad del ambiente. Esta es una sustancia industrial. Al momento de disolver el hidróxido de sodio en el agua libera gran cantidad de calor, necesario para generar un combustible. Usualmente se usa en forma sólida o solución al 50%; también conocida como sosa cáustica (Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades). [ATSDR], 2016).

### **2.3.6 Transesterificación**

Es un proceso de transesterificación en el que el grupo alcoxi del éster se reemplaza por un alcohol y se usa un ácido o base como catalizador. (Orege et al., 2022).

### **2.3.7 Esterificación**

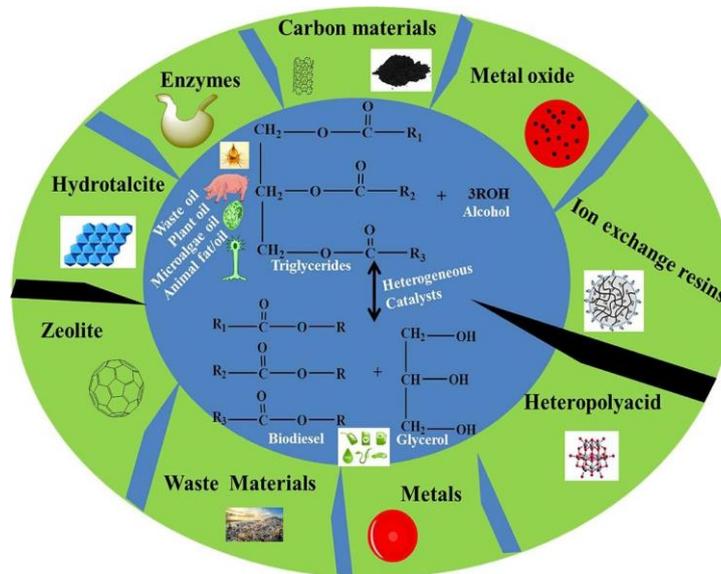
Esta es la síntesis de éster, un compuesto obtenido de la reacción química de un ácido carboxílico con un alcohol. Estos son ésteres de ácidos carboxílicos, sustancias con la estructura es  $R-COOR'$ , donde R y R' son grupos alquilo (Sánchez et al., 2018).

### 2.3.7 Catalizador

Son muy esenciales en la producción de biodiesel debido a que aceleran la conversión de la materia prima en biodiesel incrementando la solubilidad del alcohol, conllevando a mayores velocidades de reacción, procesos más rápidos y costos muy bajos de producción de biodiésel (Mahlia et al., 2020).

**Figura 4**

*Reacción de transesterificación con catalizadores heterogéneos*



Nota: Orege et al. (2022).

Los catalizadores utilizados en la transesterificación se pueden clasificar según a su presencia física en esa reacción. Los catalizadores homogéneos ocurren en la misma fase líquida como la mezcla de reacción; mientras que. los heterogéneos aparecen en una fase diferente de la mezcla de reacción, por lo general como sólidos (Rezania et al., 2019).

### 2.3.8 Metanol

El metanol es un producto en estado líquido el cual es inflamable y muy volátil e incluso letal para el consumo humano. Debido a la característica de la inflamabilidad es usado en la elaboración del biodiesel, un combustible renovable elaborado a partir de grasas vegetales o

animales que se utilizan en lugar o en combinación con los combustibles tradicionales. (Chemical Safety Facts, 2023).

### **2.3.9 Metóxido**

Los iones de metóxido son el producto de la disociación de la sal de metóxido



o cuando el metanol reacciona con el hidróxido de metal alcalino



Los iones metóxido son nucleófilos fuertes y atacan la fracción carbonilo en las moléculas de glicerol, para producir éster de alquilo (Salaheldeen et al., 2021).

### **2.3.10 Triglicéridos**

Son los principales componentes de los lípidos (aceites/grasas). Son ésteres de tres ácidos grasos y una molécula de glicerol (Salaheldeen et al., 2021; Murray et al., 2013).

### **2.3.11 Glicerol**

Es el principal subproducto de la producción de biodiésel en grandes cantidades (8% a 10%), que se produce en el proceso de transesterificación (Rezania et al., 2019).

### **2.3.12 Combustión**

La combustión es una reacción química de un combustible y comburente (generalmente oxígeno en forma de gas O<sub>2</sub>), liberando calor y formando óxidos; La combustión es una reacción exotérmica que produce calor y energía luminosa a medida que se quema. (Álvarez, 2021).

### **2.3.13 Aceite doméstico reciclado**

Son aceites obtenidos o producidos de forma continua o discontinua, friendo total o parcialmente alimentos durante operaciones culinarias o de cocción y que no son adecuados a la composición fisicoquímica del producto (grado de estabilidad, propiedades organolépticas, nivel de valor nutritivo) y origen que no resulten idóneo para el consumo humana (Nasello, 2019).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis General**

El biodiesel se puede elaborar a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado Las Américas, Abancay- Apurímac 2019.

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

Los parámetros fisicoquímicos del biodiesel elaborado de los aceites domésticos reciclados del centro poblado de las Américas Abancay- Apurímac 2019, cumplen con la norma técnica peruana (NTP) establecida.

#### **3.2 Método**

La investigación es científica pues es “un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna para entender, unificar, corregir o aplicar el conocimiento” (Baena, 2017).

Se define a la investigación científica como una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuestas a preguntas mediante procesos científicos (Baena, 2017).

#### **3.3 Tipo de investigación**

La investigación es de tipo aplicada, lo que significa que soluciona problemas prácticos siguiendo una tipología de evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar causalidad y sus implicaciones (Hernández et al., 2014).

Por ello, este estudio se buscó aplicar conocimientos teóricos sobre biodiésel, con la finalidad de solucionar una problemática existente en el

Centro Poblado Las Américas, referente al reciclado o reutilización de los aceites domésticos.

### **3.4 Nivel o alcance de investigación**

Como indica Hernández et al. (2014) La investigación es descriptiva porque da a conocer las características de ciertos grupos o cualquier fenómeno. Esto quiere decir que solo tiene por objetivo calcular o recopilar información de los conceptos, factores o variables que interfieren en la investigación, de forma independiente o en conjunto, es decir, no pretende mostrar cómo se relacionan. Pues se describe el proceso de elaboración del biodiesel y todas sus características.

### **3.5 Diseño de investigación**

El diseño es pre- experimental debido a que el grado de control es mínimo, no hay manipulación de la variable independiente o grupos de contraste. Tampoco hay una referencia previa de cuál era el nivel que tenía el grupo en la o las variables dependientes antes del estímulo (Hernández et al., 2014).

### 3.6 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidad de medición
Elaboración de biodiésel a partir de aceites domésticos reciclados	La elaboración de biodiesel se realiza mediante el proceso de la transesterificación, el biodiesel es un tipo de biocombustible, que se produce a partir de aceites y grasas	Método de transesterificación	parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado	Densidad aparente	Kg/m <sup>3</sup>
				índice de acidez	mg KOH/g
				Catalizador	g
				Tiempo de reacción	h
				Temperatura	°C
				Metanol	mL
				Número de acidez	mg KOH/g
			parámetros fisicoquímicos del biodiesel	Residuos de carbón Conradson	%(m/m)
				Viscosidad cinemática a 40° c	mm <sup>2</sup> /s
				Glicerol total	%(m/m)
				Glicerol libre	%(m/m)
				Contenido de humedad	%(m/m)
				Azufre	%(m/m)
				Poder calorífico inferior	kcal/kg

NOTA: Elaboración propia.

### **3.7 Población, muestra y muestreo**

La población está conformada por 13 pollerías del centro poblado Las Américas, donde se recolectó los aceites domésticos reciclados.

La muestra estuvo conformada por 3 pollerías del Centro Poblado las Américas, donde se recolectó 14 L de aceites domésticos reciclados.

El muestreo fue no probabilístico pues “Permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador” (Otzen, T. & Manterola, C.,2017) por conveniencia según los siguientes criterios de inclusión:

- Temor por parte del dueño de las pollerías y que los ADR pasen por un proceso de justificación.
- Pollería localizada en el centro poblado Las Américas.
- Participación voluntaria del dueño del establecimiento.

Al final, la muestra quedó conformada por tres pollerías, recolectándose 14 L de aceite doméstico reciclado durante los meses de marzo, abril y mayo.

### **3.8 Técnicas e instrumentos**

Previamente a la realización de la investigación se identificó los establecimientos de pollerías en el área del centro poblado Las Américas, resultando 13, de las cuales solo tres estuvieron disponibles para participar en la investigación.

Una vez identificadas se recogió los aceites de frituras de las papas. La muestra se recogió en baldes oscuros, previamente rotulados y posterior a esto se almacenó en un lugar oscuro y fresco, para su conservación y evitar que se oxiden (Anexo 1).

A continuación, se solicitó el ingreso al laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes (Anexo 2) para el inicio de la primera etapa del

experimento, la cual consiste en la filtración del aceite (Anexo 3), debido a que son ADR contienen restos de comida, sal y algunas partículas en suspensión; para esto se hizo uso de la bomba de vacío y papel filtro. Para la extracción de restos de agua (Anexo 4) 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 (Anexo 5). Posteriormente, se neutralizó el aceite, el hidróxido de potasio se mezcla con el agua y esta mezcla se diluye en el aceite a una agitación constante, donde se observa grumos de jabón y se filtra para quitar estos restos y se titula para ver el índice de acidez (Anexo 6). La fórmula aplicada fue:

$$IA = \frac{Y \times Normalidad \times Peso\ equivalente\ del\ KOH}{xgr}$$

Donde:

Y: volumen gastado del KOH 0.1N

X: Volumen muestra del ADR.

Normalidad: 0.1 N

Peso equivalente del KOH: 56.1

$$IA = \frac{1.625\ ml \times 0.1\ N \times 56.1}{5gr}$$

$$IA = 1.8283$$

Luego, se calculó la cantidad del catalizador (NaOH) (Anexo 7) usando la siguiente fórmula  $(3,5 + 1,8283) \times 0,2 = 1.0656gr\ NaOH$ , este se utilizó debido a la facilidad y disponibilidad de conseguir, mediante la balanza analítica y se diluyó en el metanol, constituyendo el metóxido (Anexo 8); este se mezcló con el aceite previamente calentado agitándola de manera constante (proceso de transesterificación) (Anexo 9). Este proceso tuvo una duración dos horas; esta mezcla se colocó en una pera de decantación (Anexo 10). Al cabo de 12 h se pudo observar la

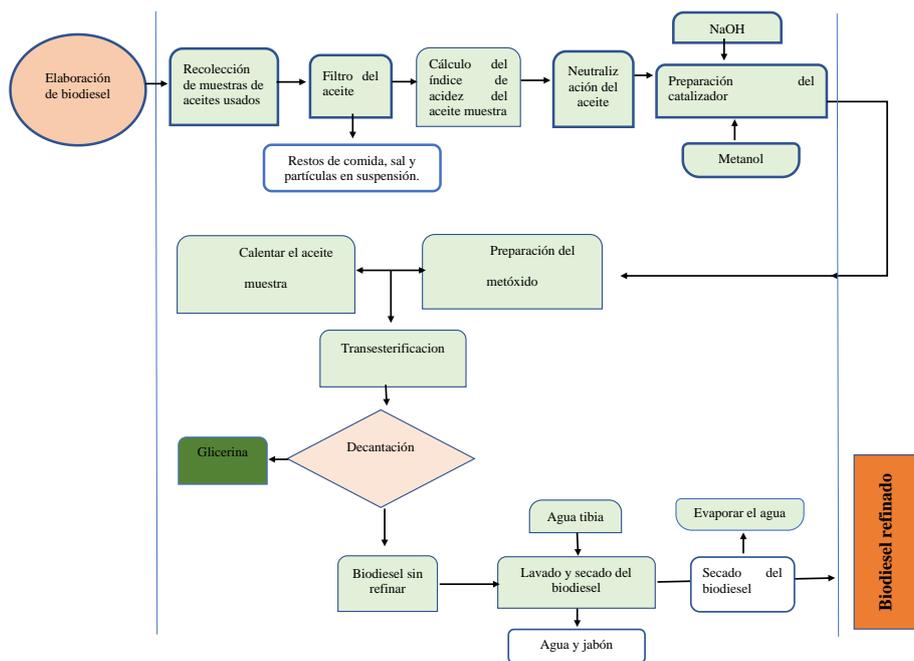
separación de los productos biodiésel (final) y glicerina (subproducto) (Anexo 11).

Posteriormente, se extrajo el glicerol de la pera de decantación (Anexo 12) quedando el biodiésel y se procedió a su lavado con agua tibia (Anexo 13), 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.

Finalmente, se realizó el cálculo del rendimiento del biodiésel dividiendo su volumen sobre el volumen del aceite muestra inicial todo multiplicado por 100, obteniéndose un rendimiento de 39 % biodiésel a partir de aceites domésticos reciclados del centro poblado Las Américas. El biodiésel obtenido se envió al Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) (Anexo 14). La Figura 5 muestra el diagrama de flujo de la elaboración de biodiésel a partir de aceites domésticos reciclados.

**Figura 5**

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



Nota: elaboración propia.

### **Instrumentos utilizados**

- Vaso de precipitado
- Matraz Erlenmeyer
- Fiola
- Pera de decantación
- Estufa eléctrica
- Agitadores magnéticos
- Bomba de filtración
- Embudo
- Crisol
- Vidrio de Reloj
- Papel filtro
- Bureta, probeta, pipetas graduadas
- Termómetro

### **Reactivos utilizados**

- Etanol (96 °)
- Metanol (99.9 grado de pureza)
- Fenolftaleína al 1 %
- KOH (0,1 N)
- NaOH (98 %)

### **Equipos de laboratorio**

- Campana de extracción de gases
- Balanza analítica

### **3.9 Consideraciones éticas**

La investigación esta soportada sobre los principios éticos y legales, donde se desarrolla información autentica y verificable, la cual proviene de fuentes auténticas y confiables, respetando los derechos de autor nacionales e internacionales bajo normas APA, se citan todas las referencias. De igual forma se realizó la investigación bajo la estructura que indica la universidad y especialidad. Esta investigación cumplió con

la Ley Universitaria 28289 en su artículo 219, por la que fue revisada por el programa antiplagio TURNITIN.

### **3.10 Procesamiento de estadísticos**

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 (Anexo 15).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los parámetros fisicoquímicos del aceite doméstico reciclado

**Tabla 1**

*Parámetros fisicoquímicos del aceite domestico reciclado*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Metodología</b>	<b>Codex alimentarius</b>	<b>Observación</b>
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	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: elaboración Propia.

Se consideraron dos parámetros representativos para el aceite reciclado

Método: densidad aparente: AOCS Cc 10c-95 (998,2 kg/m<sup>3</sup>);

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

El primer parámetro estudiado para el aceite domestico reciclado es la densidad aparente, se empleó la metodología AOCS cc 10c-95 empleado para aceites vegetales de consumo, obteniendo un resultado de 923 kg/m<sup>3</sup>, según el Codex alimentarius para grasas y aceites el rango establecido es como mínimo 920 kg/m<sup>3</sup> y máximo valor 930 kg/m<sup>3</sup>, manteniéndose dentro del rango establecido.

El índice de acidez para el ADR se realizó mediante la metodología AOCS Cd 3d-63, resultando 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.

En la Tabla 2 se evidencian los resultados de los factores intervinientes en el proceso de transesterificación del aceite reciclado. El rendimiento del biodiesel fue 39 %.

**Tabla 2**

*Factores intervinientes en el proceso de transesterificación.*

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

Nota: elaboración propia.

Para el desarrollo o proceso de la transesterificación, se usó de catalizador el hidróxido de sodio 1,064 g, 20 mL de metanol para formar el metóxido, a una temperatura de 60-65°C; durante dos horas y se calculó el rendimiento del biodiésel, dando 39 % de rendimiento.

**Tabla 3***Parámetros fisicoquímicos del biodiesel obtenido y normativas de referencia.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>NTP 321.125</b>	<b>ASTM D-6751 (USA)</b>	<b>EN14214 (Europa)</b>
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 <sup>2</sup> /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. Elaboración propia.

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

\*\*Azufre determinado bajo el método ASTM D-1552

El valor del número de acidez del biodiesel se determinó mediante la metodología ASTM D-664 (consta de los pasos de preparación de muestras y solución, titulación de la acidez, determinación de la acidez), cuyo valor es de 0.42 mg KOH/g, este parámetro se encuentra dentro del rango según la NTP 321.125, ASTM D 6751 y la normativa EN14214.

Así mismo, se observó que el valor obtenido del residuo de carbón Conradson mediante la metodología ASTM D- 189 fue superior a los rangos

establecidos de las normativas de NTP 321.125, ASTM D 6751 y EN 14214 supera los niveles establecidos.

En relación con la viscosidad cinemática a 40°C el resultado estuvo dentro de la normativa establecida de la NTP 321.125 y la ASTM D 6751, mientras que al comparar con la EN 14214, supera los límites establecidos.

El cálculo el glicerol total se realizó mediante la metodología AOCS Ca 14-56, dando un valor de 0,18, este parámetro calcula el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible y según la NTP 321.125, ASTM D 6751 y la normativa EN 14214, este parámetro se encontró dentro de los valores establecidos para este biodiesel.

También se hizo el análisis para el glicerol libre haciendo uso de la misma metodología anterior AOCS Ca 14-56, resultado de 0,00 % masa; el cual se puede observar que cumple según la normativa peruana, de USA y Europa.

Se realizó el análisis para el contenido de humedad por la metodología Karl Fischer resultando 0,06 % (m/m), la NTP 321.125 establece un rango de 500 máx. mg/kg, que es equivalente a 0,05 % (m/m) al igual que la normativa EN14214, por lo que, el resultado excede a estos rangos.

Por otra parte, se analizó el azufre en función a la metodología ASTM D-1552 resultando 0,01% (m/m), valor que excede las normativas establecidas.

Por último, se hizo el análisis para el poder calorífico interno (PCI) mediante la norma ASTM D- 240 cuyo resultado se comparó con la normativa del Ministerio de Energía y Minería de Argentina.

## **4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El biodiésel es una mezcla de ésteres de alquilo de ácidos grasos el cual se puede generar a partir de materias primas como aceite vegetal, ADR, algas o grasas de origen animal (Garauv et al., 2019; Rezanía et al., 2019); en esta investigación se utilizó el ADR, para la elaboración del biodiésel.

Los parámetros fisicoquímicos estudiados para el aceite doméstico reciclado (ADR) fueron la densidad aparente y el índice de acidez. Las propiedades de los ADR van a depender del tratamiento al que son sometidos. Existen factores, tales como tipo y temperatura del aceite, tiempo de cocción, exhibirse al aire, duración de almacenamiento y el tipo de alimento cocinado, establecen la presencia de ciertos contaminantes, que le conferirán características finales al ADR (Tacias et al., 2016).

La densidad del aceite es uno de los parámetros que determina el estado del aceite ya que, al someterse a altas temperaturas y cocciones repetidas, la densidad de los aceites usados es mayor que la densidad de aceites nuevos. El valor obtenido de la densidad del ADR de este estudio fue menor al del estudio de García et al. (2018), el cual fue  $938 \text{ Kg/m}^3$ , este autor utilizó aceite de *Jatropha curcas* L, el cual no es comestible.

El Índice de acidez en esta investigación estuvo por debajo de los resultados reportado por Tacias et al. (2016) quien mostró que el aceite de establecimientos de comidas rápidas (pizza, hamburguesas, papas y pollo frito), producto de restaurantes en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México fue 4,98. Se afirma que la materia prima para la elaboración alcalina de biodiésel pues debe ser anhidra (contenido de agua  $< 0.3 \%$ ) y tener un IA inferior a  $2 \text{ mg KOH/g}$  (Tacias et al., 2016).

Sin embargo, el valor del índice de acidez del ADR del mercado Municipal de Huamachuco fue superior a un rango de  $1.965 \text{ mg KOH/g}$  hasta  $2.923 \text{ mg KOH/g}$ ; esto corrobora que estos aceites no son comestibles y pueden ser nocivos para la salud (Zárate et al., 2021). Un índice de acidez elevado significa que hubo un mayor recalentamiento del aceite, por lo que se liberaron ácidos grasos desde los triglicéridos que forman los distintos aceites, favoreciendo la generación de humo y rancidez hidrolítica (Sanaguano et al., 2019). La reutilización de los aceites incrementa el estado de oxidación y el enranciamiento del aceite, produciendo radicales libres y a veces, la formación de ácidos grasos trans (Segurondo & Córtez, 2020).

En la elaboración del biodiesel se usó el proceso de transesterificación, el cual consiste en la conversión de aceite vegetal o cualquier triglicérido unido a un alcohol y la intervención de un catalizador encargado de formar ésteres de alquilo (biodiésel) y glicerol (Brahma et al., 2022).

En este estudio el catalizador empleado fue el NaOH, a una temperatura de 60-65° C, el proceso de transesterificación fue en un tiempo de 2 h y el rendimiento fue 39 %; se pudiera inferir que este porcentaje un poco bajo, pudiera ser debido a que el aceite fue reutilizado más de una vez y a la rancidez presente; mientras que Rodríguez, (2018) obtuvo biodiésel con un rendimiento de 60,9 %, mediante este mismo proceso, pero utilizó aceite de soja por el método de Superficie de Respuesta. Así mismo, Ramírez & Vejarano, (2018) obtuvo dos resultados de biodiesel a partir de ADR, el máximo fue 86 % y un mínimo de 79,4 % pues su rendimiento fue influenciado por la temperatura (45- 64°C y 55°C) respectivamente en el proceso de transesterificación; por otra parte, Santana, (2019) en su investigación usando ADR de frituras de alimentos y diferentes concentraciones de lejía obtuvo un rendimiento de 49 % de eficiencia. Los resultados de la obtención del rendimiento estarían relacionados con la temperatura de transesterificación, la cantidad de metanol, tipo u origen del aceite.

El biodiésel obtenido a partir de una sola materia prima (aceite) posee una estabilidad de oxidación deficiente e inadecuadas propiedades de fluidez en frío. La mayoría de estos biodiésel presentan puntos de inflamación superiores a 200 °C, el cual es superior en comparación con el combustible diésel (Brahma et al., 2022). Entre los parámetros del biodiesel se evaluó el número de acidez, según el método ASTM D-664, el cual estuvo dentro del rango establecido.

La generación de residuos carbonosos en el biodiesel puede ser debido a una transesterificación inadecuada u oxidación del B100 durante su almacenamiento (Echeverría et al., 2018). En este estudio, el residuo de carbón del biodiesel supera los límites de la NTP 321.125 (2008) (0,050 % m/m) y fue mayor al evidenciado por Echeverría et al. (2018), el cual fue 0,02 % m/m.

La viscosidad generalmente se estima 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, aceites y grasas animales), para ser empleado como combustible diésel alternativo. La viscosidad disminuye con el nivel de instauración y se incrementa con el largo de la cadena del éster (Sajjadi et al., 2016).

El resultado de la viscosidad cinemática estuvo dentro del rango de la NTP 321.125, (2008), aunque fue mayor que los reportados en la investigación de Adekunle et al. (2020) en tres muestras de biodiesel. El valor de la viscosidad cinemática cumple con la normativa americana (ASTM D975) (1,9–6,0 a 40 °C); sin embargo, superó el rango de la Unión Europea (EN 14214) (3,5–5,0 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C).

En la reacción de transesterificación se produce biodiesel y glicerol en una proporción de peso de 10:1. Se ha estimado que, en 2020, a partir de la generación mundial de biodiesel (más de 46 mil millones de litros), más de 3.600 millones de litros de glicerol se produjeron (Sánchez et al., 2022).

El glicerol es un componente muy estable bajo las condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante, poca toxicidad sobre el medio ambiente y, además, es compatible con muchos otros productos químicos, lo que tiene un alto potencial para utilizarlo como materia prima y obtener productos químicos de alto valor (Polich, 2019).

El glicerol crudo tiene uso limitado en la industria del biodiesel por su composición, como metales pesados, metanol residual, catalizadores usados y ácidos grasos libres. Este glicerol puede ser empleado para producción de biopolímeros, como 1,3-propanodiol, ácido láctico, 1,3-dihidroxiacetona, etanol, hidrógeno como aditivo de combustible y n-butanol (Rezania et al., 2019).

En este estudio, el glicerol total se obtuvo mediante la norma AOCS Ca 14-56, con el resultado de 0,18, la (NTP 321.125, 2008) establece 0,240 % de

masa máximo, estableciéndose el resultado dentro del rango, también se hizo el análisis para el glicerol libre haciendo uso de la misma metodología anterior con un resultado de 0,00 % masa y según la norma técnica peruana de las especificaciones para biodiesel el parámetro del glicerol libre se mantiene dentro de la norma,

También, se realizó el análisis para el contenido de humedad por la metodología Karl Fischer resultando con un 0,06 % (m/m); los resultados de Martínez et al. (2014) reportaron valores entre 0,01 y 0,03 %. Para este parámetro la NTP establece como 0,05 % máx., esto debido a que en el proceso de lavado y secado del biodiesel hayan quedado trazas de agua. La presencia de agua en el biodiesel puede causar la formación de óxido y corrosión. Además, ayuda al crecimiento microbiano que puede ocurrir en la interfase entre el biodiesel y el agua libre (Martínez et al., 2014).

Por otra parte, se evaluó la cantidad del azufre en función a la metodología ASTM D-1552 resultando 0,01 y la NTP establece para este elemento químico, 0,0015 % por lo tanto supera la norma establecida, mientras que Hernández et al. (2018) reportaron un valor de 0,00, por lo tanto, se puede inferir que las emisiones de SO<sub>2</sub> del biocombustible son casi nulas y la combustión es mucho más efectiva, debido a que contiene mayor cantidad de oxígeno (Hernández et al., 2018).

El poder calorífico inferior (PCI) es la cantidad de calor liberada durante la combustión de un gramo de combustible, para producir H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> a su temperatura inicial. Corresponde al contenido energético de los combustibles y, por tanto, su eficiencia. Se incrementa con la longitud de la cadena en las moléculas de combustible y con el aumento de la relación de carbono e hidrógeno a nitrógeno y oxígeno; sin embargo, el incremento es más significativo con compuestos de longitud de cadena más baja (C8 a C14) que los de cadenas larga, con mayor número de carbonos (C20 a C22) (Sajjadi et al., 2016).

En esta investigación el PCI mediante la norma ASTM D- 240 resultó 8,633.75 kcal/kg; Torres et al. (2015) encontró en su estudio que el poder

calorífico del biodiesel a partir de ADR fue 39157 J/g (9.358, 74 kcal/kg). En vista que dentro de la normativa (321.125) no establece un criterio específico del PCI, el valor obtenido del PCI se comparó con la normativa de Argentina para biodiésel que es de 8900 kcal/kg (Ministerio de Energía y Minería, 2016).

## CONCLUSIONES

Se determinó los parámetros fisicoquímicos del ADR donde se consideraron dos: la densidad a 15 °C el cual se encuentra dentro del rango establecido e índice de acidez que presentó niveles elevados de 3,473 mg KOH/g, no cumpliendo con la normativa del Codex Alimentarius, un indicativo que estos aceites no se pueden reutilizar para la preparación de alimentos por el alto contenido de ácidos grasos, siendo peligroso para la salud humana.

Se elaboró biodiesel mediante el proceso de transesterificación, con un rendimiento de 39% de biodiesel, generando una posibilidad de obtener este biocombustible debido a que cumple con algunos parámetros importantes establecidos y los parámetros que no cumplen se puede volver a realizar un segundo tratamiento para llegar a los rangos establecidos, sin embargo, el proceso es inviable económicamente, pues elaborar causa un alto costo en la producción, debido al origen de los ADR pues presenta un nivel alto de índice de acidez y neutralizar ocasiona gastos adicionales en el proceso.

Se determinaron ocho parámetros fisicoquímicos del biodiesel y los resultados se compararon con la Norma Técnica Peruana, para ver la calidad del biodiesel obtenido, de los cuales 6 de los parámetros fisicoquímicos cumplen con la normativa: el número de acidez (1.27mg KOH/ ), residuos de carbón conradson 0.06 %(m/m), viscosidad cinemática a 40°C (5.27), glicerol total (0.18), glicerol libre (0) y azufre (0.1), sin embargo uno de los parámetros no cumplen con la normativa, el contenido de humedad (0.6) y el Poder Calorífico inferior que determina la cantidad de energía que contiene el biodiesel sin la presencia de condensación del vapor de agua, el PCI dio un valor de 8,633.75 kcal/ kg, que representa un potencial como biocombustible.

## **RECOMENDACIONES**

Emplear equipos de protección de seguridad en la manipulación de metanol debido a la alta peligrosidad, toxicidad e incluso letalidad.

Valorizar los ADR no solo para la obtención de biodiesel, sino también en la elaboración de jabones, velas. También recomendar a las autoridades locales sobre el buen manejo de la disposición final de los ADR, con la finalidad de impedir la contaminación hídrica y ambiental de la ciudad y de esta manera no exponer en riesgo la salud de los ciudadanos.

## Recursos

### Cronograma de actividades

Figura 6

*Cronograma de actividades*

ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES DOMÉSTICOS RECICLADOS EN EL CENTRO POBLADO DE LAS AMÉRICAS, ABANCAY- APURÍMAC 2019													
N°	ACTIVIDADES	Duración en meses											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC.
1	Mejora de la presentación del trabajo	x				X	x	x	x				
2	Adecuación del plan de proyecto de investigación al nuevo plan del 2019 según el reglamento universitario.		X				x	x	x			x	x
3	Modificación de la matriz de consistencia del plan de tesis		X						x				
4	Compra de envases		X										
5	Junta y acopio de aceite			x	X	x							
6	Determinación de los parámetros de aceite												
7	Compra de materiales	x					X	x	x				
8	Elaboración de la transesterificación								x	x			
9	Decantación y separado de la glicerina y biodiesel								x	x			
10	Refinamiento del biodiesel										x		
11	Obtención de biodiesel								x	x	X		
12	Envío del biodiesel a laboratorios específicos										X	x	x
13	Obtención de datos e interpretación para obtener resultados												x

Nota: Elaboración propia.

## Presupuesto y financiamiento

### Presupuesto

#### Figura 7

#### *Presupuesto del proyecto de investigación*

CÓDIGO DEL CLASIFICADOR MEF	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO SOLES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL SOLES
<b>BIENES</b>					
<b>MATERIALES y UTILES</b>					
		5,00	2,00	Unidad	10,00
	Cintas adhesiva				
	Plumones (presentación de 4 unidades)	20,00	1,00	Estuche	20,00
	Papel bond A4 (millar)	30,00	2,00	Millar	60,00
	Papel filtro	45,00	1	Unidad	45,00
	Etiquetas adhesivas	5,00	3,00	Unidad	15,00
1.1.1	Mascarilla de doble filtro, lentes de seguridad y alcohol medicinal 1 litro	0,50	30,00	Unidad	114,00
	Guantes	10,00	3,00	Unidad	30,00
	Fenolftaleína	100,00	2,00	Unidad	200,00
	Hidróxido de sodio 1%	6,00	1	kilo	6,00
	Compra de aceites	10,00	12,00	litros	120,00
	Metanol	150,00	3	litros	450,00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>3480,00</b>
<b>COMPRA/ ALQUILER DE OTROS BIENES</b>					
	Laptop	0,00	0,00	Unidad	0,00
	Cámara fotográfica	0,00	0,00	Unidad	0,00
1.1.2	Calculadora	60,00	1,00	Unidad	60,00
	Memorias USB	0,00	0,00	Unidad	0,00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>60,00</b>
<b>SERVICIOS DE TELEFONÍA E INTERNET</b>					
1.1.3	Internet	30,00	2	mensual	60,00
	Impresiones/ anillados	200,00	0,30	Unidad	60,00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>120,00</b>
<b>MOVILIDAD</b>					
1.1.4	Movilidad local	60,00	1,00	Unidad	60,00
	Movilidad interprovincial	65,00	1,00	Unidad	65,00
<b>SERVICIOS A TERCEROS</b>					
1.1.5	Análisis de envió del biodiesel elaborado en la UTEA- Abancay	200,00	1,00	Unidad	1585,92
	<b>TOTAL</b>				<b>2950,92</b>

Fuente: Elaboración propia.

## **Financiamiento**

Esta investigación fue cofinanciada por la universidad tecnológica de los andes de la sede de Abancay y recursos económicos personales, mediante el concurso de proyectos de investigación del 2019, cuyo título es “ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES DOMÉSTICOS RECICLADOS EN EL CENTRO POBLADO DE LAS AMÉRICAS, ABANCAY- APURÍMAC 2019”.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abomohra, A., Elsayed, M., Esakkimuthu, S., El-Sheekh, M., & Hanelt, D. (2020). Potential of fat, oil and grease (FOG) for biodiesel production: A critical review on the recent progress and future perspectives. *Progress in Energy and Combustion Science*, 81, 100868. doi: 10.1016/j.pecs.2020.100868
- Adhikesavana, C., Ganesha, D., Augustin, 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>
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2016). ToxFAQs™ - Hidróxido de sodio (Sodium Hydroxide). [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts178.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts178.html)
- Almenara, J. (14 de Agosto de 2017). *El Comercio*. Obtenido de Aceite quemado en Lima, un veneno para el mar y la salud: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/aceite-quemado-lima-veneno-mar-salud-noticia-449945-noticia/>
- Álvarez, D. (2021). *Combustión*. <https://concepto.de/combustion/>
- Amorós, G. (2017). Razones de los administradores de restaurantes menú en el Cercado de Lima, para no reciclar aceite vegetal usado [Tesis de Licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/2752>
- Aparicio, A. (2021). Manejo de aceites de cocina usados (ACU) en pollerías para su valorización en el Distrito de Ayacucho, 2020. [Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61017>
- Aponte, M. (2017) Regionalismos estratégicos, empresas nacionales y transnacionales de hidrocarburos en Estados Unidos y América Latina. *Revista problemas del desarrollo*.
- ArcGis. ArcGis versión 10.3. <https://enterprise.arcgis.com/es/portal/10.3/use/deploy-app-portal-obsolete.htm>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. 3ª ed.

- Bonilla, S., Acosta, J., & Miño, G. (2017). Análisis de los factores que influyen en el proceso de transesterificación para la producción de biodiesel a partir de aceites de cocina usados. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*.  
<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-biodiesel.html>
- 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 Advances*, 10. 100284. DOI:10.1016/j.cej.2022.100284
- Chauhan, B., Singh, R., Cho, H., & Lim, H. (2016). Practice of diesel fuel blends using alternative fuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1358-1368. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.062>
- Cruz, A., & Fernández, A. (2021). Diseño de un sistema de recolección de aceite usado de cocina para la elaboración de jabón artesanal, en el distrito de Piura. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura].
- Chemical Safety Facts.org. (2023). *Metanol*.  
<https://es.chemicalsafetyfacts.org/es/metanol/>
- Cunza, H. (2011). Uso de biocombustibles en el Perú. [www.osinergmin.gob.pe](http://www.osinergmin.gob.pe)
- De La Cruz, C., & Trujillo, C. (2017). Obtención de biodiésel a partir de aceite comestible residual del comedor de la UNAC. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3595>
- Echeverría, R., Ñique, T., & Guerrero, Y. (2018). *Manual para la producción de biodiesel a partir del aceite de piñón blanco (Jatropha curcas L.)*. Ministerio de Agricultura y Riego.  
<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/845>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Codex Committee on Fats and Oils Twenty-Seventh Session Virtual, 18 - 26 October 2021
- 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>
- Gaurav, A., Dumas, S., Mai, C., & Ng, F. (2019). A Kinetic model for a Single Step Biodiesel Production from a High Free Fatty Acid (FFA) Biodiesel Feedstock

- over a Solid Heteropolyacid Catalyst. *Green Energy & Environment*. doi: 10.1016/j.gee.2019.03.004
- González, G. (2015). Valorización energética de aceites vegetales desechados para la producción catalítica heterogénea de biodiesel. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile]. URI: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133214>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta ed. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.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/>
- Instituto Nacional de Calidad (2022). *Inacal aprobó norma técnica para promover un manejo ambiental adecuado de los aceites usados en el Perú*.
- Khan, M., Rao, P., Pabla, B., & Ghotekar, S. (2022). Innovative biodiesel production plant: Design, development, and framework for the usage of biodiesel as a sustainable EDM fluid. *Journal of King Saud University-Science*, 34 (6) 102203. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102203>
- Krishnasamy, A., & Bukkarapu, K. (2021). A comprehensive review of biodiesel property prediction models for combustion modeling studies. *Fuel*, 302, 121085. doi: 10.1016/j.fuel.2021.121085
- Llanes, E., Rocha-Hoyos, J., Salazar, P., & Medrano, J. (2017). Producción e Impacto del Biodiesel: Una Revisión. *INNOVA Research Journal*. 2(7), 59-76. DOI: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n7.2017.229>
- Mahlia, T., Syazmi, Z., Mofijur, M., Abas, A., Bilad, M., Ong, H., & Silitonga, A. (2020). Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109526. doi: 10.1016/j.rser.2019.109526
- 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
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). Balance Energético Nacional 2015.
- Miranda, N. (2021). Obtención del biodiesel a partir del aceite vegetal residual mediante el proceso de transesterificación a nivel laboratorio en SULLANA,

- 2019-2020. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Piura].  
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3178>
- Mujica, S. (2018). Sustentos para que los aceites comestibles residuales (ACR) sean considerados dentro del régimen especial de gestión de residuos de bienes priorizados del Perú. *Espacio y Desarrollo*, 32, 25-136  
<https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201802.006>
- Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V., & Weil, P. (2013). Harper Bioquímica Ilustrada. 29a edición.  
[https://bibliotecavirtualaserena.files.wordpress.com/2018/02/harper\\_bioquimica\\_ilustrada\\_29c2aa\\_ed\\_booksmedicos-org.pdf](https://bibliotecavirtualaserena.files.wordpress.com/2018/02/harper_bioquimica_ilustrada_29c2aa_ed_booksmedicos-org.pdf)
- Nasello, M. (2019). Tratamiento de los Aceites Vegetales Usados y evaluación de su factibilidad técnica como materia prima en una planta de biodiesel en la ciudad de Tandil. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires].  
<https://www.ridaa.unicen.edu.ar/handle/123456789/2256>
- Norma Técnica Peruana (2008). NTP 321. 125. Biocombustibles. Biodiesel  
<https://dokumen.tips/documents/ntp-321125-biocombustiblesbiodiesel.html>
- Orege, J., Oderinde, O., Kifle, G., Ibikunle, A., Raheem, S., Ejeromedoghene, O., Okeke, E., Olukowi, O., Orege, O., Fagbohun, E., Ogundipe, T., Avor, E., Ajayi, O., & Daramola, M. (2022). Recent advances in heterogeneous catalysis for green biodiesel production by transesterification. *Energy Conversion and Management*, 258, 115406.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115406>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*, 35(1), 227-232.  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071795022017000100037&script=sci\\_arttext&tIng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071795022017000100037&script=sci_arttext&tIng=pt)
- Polich, N. (2019). Glicerol, residuo de la producción de biodiesel: posibles alternativas como materia prima para productos de mayor valor agregado. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Litoral].
- Reyes, H. (2018). Estudio de la generación de aceites usados en los diferentes establecimientos de comida y su reutilización industrial.[Tesis de

- Licenciatura, Universidad Nacional de Piura].  
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1381>
- Rezania, S., Oryanib, B., Park, J., Hashemid, B., Yadave, K., Kwona, E., Hura, 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. doi: 10.1016/j.enconman.2019.11215
- Rivas, J., & Matamorros, R. (2020). Obtención de biodiesel a partir de aceite de fritura usado en establecimientos de comida rápida en Iquitos.[Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].  
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/7047>
- Rodionova, M., Poudyal, R., Tiwari, I., Voloshin, R., Zharmukhamedov, S., Nam, H., Zayadan, B., Bruce, B., Hou, H., & Allakhverdiev, S. (2017). Biofuel production: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 8450-8461. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>
- 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.[Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1381>
- Rodríguez, J., Meza, D., & Gutiérrez, I. (2022). Rendimiento de producción de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de soja usado. *Fides Et Ratio*, 23, 149-175 [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v23n23/v23n23\\_a08.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v23n23/v23n23_a08.pdf)
- Rodríguez, J., Ruiz, L., Santoyo, M., & Miranda, L. (2016). Determinación del índice de acidez y acidez total de cinco mayonesas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1 (2), 843-849  
<http://eprints.uanl.mx/23853/1/92.pdf>
- Sajjadi, B., Raman, A., & Arandiyani, 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
- Salaheldeen, M., Mariod, A., Aroua, M., Rahman, S., Soudagar, M., & Fattah, I. (2021) Current State and Perspectives on Transesterification of Triglycerides

- for Biodiesel Production. *Catalysts*, 11, 1121. <https://doi.org/10.3390/catal11091121>
- Saluja, R., Kumar, V., & Sham, R. (2016). Stability of biodiesel – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 866–881. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.001
- 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 FIGMMG-UNMSM*, 22 (44), 33-38 <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17283>
- Sánchez, J., Cabrera, J., & Hernández, S. (2022). Design and optimization of an intensified process to produce acrylic acid as added product value from glycerol generated in the biodiesel production. *Chemical Engineering Research and Design*, 184, 543-553. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.06.032>
- Sánchez, I., Oviedo, N., Juárez, V., Rivera, O., & Aranda, A. (2018). Esterificación del ácido acético con metanol obteniendo acetato de metilo y agua, en una columna de destilación reactiva. *CTES Revista Electrónica sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 5 (9). <https://docplayer.es/169922997-Esterificacion-del-acido-acetico-con-metanol-obteniendo-acetato-de-metilo-y-agua-en-una-columna-de-destilacion-reactiva.html>
- Santana, V. (2019). Obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado en frituras de alimentos utilizando diferentes concentraciones de lejía. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3697>
- 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](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652020000200009)
- Simsek, S., & Uslu, S. (2020). Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 280, 118613. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118613

- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., & Kumari, D. (2019). *Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. Fuel, 253, 60–71.* doi:10.1016/j.fuel.2019.04.174
- Sistema Metropolitano de Información Ambiental. (25 de febrero de 2021). *Iniciativa de reciclaje de aceite vegetal ha recolectado mas de 4 mil litros en el Cercado de Lima.* <https://smia.munlima.gob.pe/novedades/iniciativa-de-reciclaje-de-aceite-vegetal-ha-recolectado-mas-de-cuatro-mil-litros-en-cercado-de-lima>
- Statista (2023). Consumo doméstico de los principales aceites vegetales en el mundo en la campaña de 2022/2023, según tipo <https://es.statista.com/estadisticas/564768/consumo-domestico-de-los-principales-aceites-vegetales-segun-tipo/>
- Suárez, D. (2019). Estudio de los efectos de la mezcla de biodiésel y aditivos en la eficiencia de motores diésel. [Tesis de Licenciatura, Universidad Internacional SEK].
- 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. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32 (3)* 303-313, 2016 DOI: 10.20937/RICA.2016.32.03.05
- Torres, A., Castillo, V., Lugo, R., Lugo, H., Cervantes, J., & Aguilar, R. (2015). Poder calorífico inferior de biodiesel de distintas fuentes y su desempeño en el motor. Memorias del XXX Congreso Nacional de Termodinámica. Pachuca, Hidalgo. 7-11 de septiembre de 2015.
- Torroba, A. (2021). Atlas de los biocombustibles líquidos 2020-2021. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – San José, C.R.: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18661>.
- Universidad Nacional Agraria La Molina (2006). Opciones para la producción de Biodiésel a pequeña escala en el Perú. <http://www.lamolina.edu.pe/Gaceta/boletin/Boletin73/default.htm>
- Valdiviezo, N. (2014). Análisis del tipo de aceite y tiempo de fritura en la vida útil del Snack de Malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) procedente del Tena [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8424>

- Verma, T., Shrivastava, P., Rajak, U., Dwivedi, G., Jain, S., Zare, A., Shukla, A., & Verma, P. (2021). A comprehensive review of the influence of physicochemical properties of biodiesel on combustion characteristics, engine performance and emissions. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8 (4), 510-533. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.006>
- Vignesh, P., Pradeep, A., Shankar, N., Jayaseelan, V., & Sudhakar, K. (2020). A review of conventional and renewable biodiesel production. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. doi:10.1016/j.cjche.2020.10.025
- Villabona, A., Iriarte, R., & Tejada, C. (2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura. *Teknos Revista Científica*, 17(1), 21–29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382715>
- World Bank Population total <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- Zanchett, M., Bellé, C., Zanchett, M., Flores, M., Cericato, A. (2016). Producción y viabilidad del uso de biodiesel proveniente de aceite residual de fritura. *Agrociencia Uruguay*, 20 (2), 36-42 [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482016000200006](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200006)
- Zarate, A., Luján, J., & LLaque, G. (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, December 9 – 10, 2021 DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2021.1.1.35>