



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Extracción de aceite de residuos de café para la producción de  
biodiésel

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Alverca Ortiz, Efren ([orcid.org/0000-0002-3166-3400](https://orcid.org/0000-0002-3166-3400))

Flores Ipanaque, Cecilia Vanessa ([orcid.org/0000-0002-0258-3751](https://orcid.org/0000-0002-0258-3751))

**ASESOR:**

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto ([orcid.org/0000-0003-2052-6707](https://orcid.org/0000-0003-2052-6707))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO — PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

Dedico este pequeño logro a mi familia, por ser mi soporte en cada obstáculo.

A mi papá por el apoyo y el gran ejemplo que me brinda, a mi mamá por el amor, la paciencia y el cuidado que me da y a mis hermanas por ser las mejores compañeras y ser mi gran inspiración, eternamente agradecida.

*Cecilia Vanessa*

Dedico mi trabajo de investigación a Dios y mi madre la Virgen María por brindarme la fortaleza, la sabiduría y guiar mi caminar día a día.

Con amor y admiración a mis padres Efraín y Juana, quienes, con su amor, paciencia y sacrificio me han permitido cumplir uno de mis objetivos trazados, a mis hermanos por su cariño, apoyo incondicional y estar siempre para mí.

*Efrén*

## AGRADECIMIENTO

A nuestro Padre celestial por guiarnos en el camino del conocimiento y superación personal, y estar presente en cada paso que damos.

A nuestro asesor Dr. Monteza Arbulú César Augusto por su dedicación, compromiso en la investigación.

A la Universidad César Vallejo y a su plana docente, por el apoyo brindado durante el tiempo de estudio y el desarrollo de esta investigación.

A nuestros padres por el apoyo en este camino de formación académica.

Y, por último, a nosotros mismos, por superar y aprender de cada obstáculo en nuestra vida universitaria.

*Efrén y Cecilia Vanessa*

# DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Extracción de aceite de residuos de café para la producción de biodiesel", cuyos autores son FLORES IPANAQUE CECILIA VANESSA, ALVERCA ORTIZ EFREN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 16 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 17- 11-2023 12:31:07

Código documento Trilce: TRI - 0654876



# DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, FLORES IPANAQUE CECILIA VANESSA, ALVERCA ORTIZ EFREN estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis Completa titulada: "Extracción de aceite de residuos de café para la producción de biodiesel", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis Completa:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
CECILIA VANESSA FLORES IPANAQUE <b>DNI:</b> 72933352 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0258-3751	Firmado electrónicamente por: CFLORESIP14 el 16- 11-2023 23:39:56
EFREN ALVERCA ORTIZ <b>DNI:</b> 76317524 <b>ORCID:</b> 0000-0002-3166-3400	Firmado electrónicamente por: AALVERCAOR7 el 16- 11-2023 23:50:24

Código documento Trilce: TRI - 0654874



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra y muestreo.....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	14
3.5. Procedimientos .....	14
3.6. Método de análisis de datos.....	20
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	27
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII. RECOMENDACIONES .....	32
REFERENCIAS.....	33
ANEXOS .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Resultados de la extracción del aceite de residuos de café</i> .....	21
<b>Tabla 2.</b> Características de los ácidos grasos libres (% AGL) de las tres muestras .....	22
<b>Tabla 3.</b> Características de índice de acidez de las tres muestras .....	22
<b>Tabla 4.</b> Resultados del promedio de las tres muestras del índice de acidez y ácidos grasos libres del aceite obtenido .....	23
<b>Tabla 5.</b> <i>Resultados de la densidad del aceite obtenido</i> .....	23
<b>Tabla 6.</b> Resultados de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido a base de aceite de residuos de café .....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 01.</i> Proceso de producción de biodiésel a base del aceite de residuo de café .....	15
<i>Figura 02.</i> Pesando el residuo de café húmedos .....	16
<i>Figura 03.</i> Residuos de café en la estufa .....	16
<i>Figura 04.</i> Controlando la temperatura de la estufa .....	17
<i>Figura 05.</i> Peso del residuo de café seco para el proceso de extracción. ....	18
<i>Figura 06.</i> Extracción del aceite de residuo de café empleando el Soxhlet. ....	18
<i>Figura 07.</i> Destilación del aceite y el solvente.....	19
<i>Figura 08.</i> Destilación en el evaporador rotatorio.....	19
<i>Figura 09.</i> Análisis de índice de acidez y AGL. ....	19
<i>Figura 10.</i> Proceso de esterificación .....	24
<i>Figura 11.</i> Resultados de la esterificación.....	25



## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo elaborar biodiésel a partir del aceite de residuos de café. La investigación fue de tipo aplicada y cuantitativa, con diseño cuasi experimental. Con una muestra de 1 500 gr de residuos de café húmedos de variedad Catimor, de muestreo no probabilístico por conveniencia. Se obtuvo en la extracción de aceite de residuo de café con tiempo de 3 horas un valor de 13.9% de aceite, en las características fisicoquímicas del aceite se obtuvo, la densidad del aceite es de 0.85526 g/ml, índice de acidez 36.7752mgNOH/g y ácidos grasos libres (AGL) 18.48%. La producción biodiésel a partir del aceite de residuo de café se realizó con la esterificación del aceite extraído, con el catalizador ( $H_2SO_4$ ) en concentración de (1% v/v grasa) junto con el metanol relación molar alcohol/aceite (1:6), asimismo, la transesterificación del éster obtenido, para el proceso se empleó KOH (2mgKOH/g ) y metanol (RMG:MeOH) 1:6. Las propiedades fisicoquímicas del biodiésel, presentó una densidad 0.87 g/ml, índice de acidez 5.73 mg KOH/g, estos valores si cumplieron con los rangos establecidos por la norma ASTM D6751 y EN 14214.

**Palabras clave:** Aceite de residuos de café, biodiésel, esterificación, transesterificación

## ABSTRACT

The objective of this research is to produce biodiesel from coffee waste oil. The research is applied and quantitative, with a quasi-experimental design. The sample is 1,500 g of wet coffee waste of the Catimor variety, from non-probabilistic sampling for convenience. The results of the extraction of oil from coffee residue in an extraction time of 3 hours show a value of 13.9% oil, in the physicochemical characteristics of the oil obtained, the density of the oil is 0.85526 g/ml, acidity index 36.7752 mg KOH/g and free fatty acids (FFA) 18.48%. To produce biodiesel from coffee waste oil, the esterification of the extracted oil is carried out, with the catalyst ( $H_2SO_4$ ) in a concentration of (1% v/v fat) together with methanol, alcohol/oil molar ratio (1:6). Likewise, the transesterification of the ester obtained, for this, KOH (2mgKOH/g fat) and methanol (RMG:MeOH) 1:6 are used. The physicochemical properties of biodiesel have a density of 0.87 g/ml, acidity index of 5.73 mg KOH/g if they comply with the ranges established by ASTM D6751 and EN 14214.

**Keywords:** Coffee waste oil, biodiesel, esterification, transesterification

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) influyen en los impactos ambientales y con ello problemas a la salud. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su informe de la brecha de los GEI en el 2020, recalca que el último año se evaluó un incremento de los GEI, situándose valores históricos, el principal gas contaminante CO<sub>2</sub> en un 65% generado por actividades antropogénicas, uno de ellos por el uso de los combustibles fósiles.

Asimismo, (Andrade et al 2016), menciona que los gases de efecto invernadero que se generan por el uso de los combustibles, el diésel es el principal responsable del 60% de los gases emitidos, mientras que la gasolina el 36% y GNV el 4%.

Según Pérez (2017), el parque automotor es el causante de generar tres principales fuentes de emisiones a la atmósfera, entre ella, los hidrocarburos, óxido de nitrógeno (NO) y monóxido de carbono (CO). En el 2020, en el Perú la actividad de transporte y parque automotor registró la emisión de 20,078 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mientras que en oxido nitrógeno (NO) 86,367 toneladas y metano 6,51 toneladas anuales (INEI, 2022). De manera similar (MINAM, 2021), “afirma que la polución del aire en el Perú es causada en un 70%, por el parque automotor, así mismo por la calidad de los combustibles que se usan”.

La problemática anterior, hace mención a los impactos y daños que se está generando a causa del uso de este derivado del petróleo. Por ende, la presente investigación se orienta en la aplicación de un combustible alternativo con recursos degradables que dan como reemplazo al combustible que se emplea en los motores petroleros. El biodiésel es un biocombustible derivado de grasas y aceites vegetales y animales que químicamente representan una combinación de ésteres de alquilo (etilo y metilo, principalmente), caracterizadas de tener cadenas largas de ácidos grasos que otorgan propiedades similares a las del petróleo, pero con una combustión más limpia (Medina et al 2012).

En la industria del biocombustible se trabaja principalmente con el aceite de palma, girasol, colza (Aiello et al 2019). Sin embargo, existen una cantidad infinita de

materias primas que son propias para la generación de biodiésel, entre ellas tenemos la biomasa, residuos de actividades agrícolas (Pajas, granos, etc.) y residuos oleaginosos (Caballero et al 2012).

El residuo de café tiene diversas propiedades que particularmente hace de este un recurso aprovechable para la producción de biodiésel, esta materia contiene entre un 10 a 16% de aceite (Nattapong & Chantra, 2018).

Además de ello, que su producción a nivel mundial es el segundo más comercializado según (FAO, 2010). En el 2022 la producción de café en el Perú alcanzó 234,200 toneladas, siendo las principales regiones productoras de café Cajamarca, San Martín y Junín (Agraria, 2023).

Por otro lado, (Caetano et al 2018), menciona que por cada tonelada de café verde se produce 650 kg de residuos de posos de café gastado (SCG), mientras que, por Kg de café pasado, se genera 2 Kg de SCG húmedo. Dicho de otro modo, esta materia no generaría costos adicionales para su obtención como fin generador de biodiésel. Así mismo cada año a nivel mundial se genera un aproximado de 10 millones de toneladas, de residuos de café gastado, cuyos residuos se vienen reutilizando desde varios años, sirviendo para producir biocombustibles (Cafécafeteras, 2022).

Como planteamiento de problema: ¿El aceite de residuos de café cumplirá con las propiedades físico químicas requeridas para la producción del biodiésel?

En base a lo sustentado, la investigación se justifica, porque se establece aspectos teóricos y prácticos para elaborar biodiésel, a partir de residuos del café, como alternativa de solución para contrarrestar la problemática ambiental de los combustibles. Uno de los beneficios de producir biodiésel es que es de origen natural, renovable, sostenible y amigable con el ambiente, incluyendo la reducción de los GEI.

Para la investigación se empleó los residuos de café tostado, generados después de la filtración para el consumo, este residuo no presenta ningún costo, ya que después del filtrado este es desechado, Magazine. (2019), infiere que hoy en día, la mayoría de residuos de café gastado que se genera en el mundo se eliminan en

vertederos, durante su descomposición se liberan emisiones de gases de efecto invernadero al aire, asimismo, liberando ácidos lixiviados que están compuestos por elementos eco tóxicos, por ello, su uso contribuirá en la economía circular y lograr el desarrollo sostenible, todo lo mencionado en este contexto hace importante esta investigación, tanto en lo social, económico y ambiental.

La investigación, planteó como objetivo general “Elaborar biodiésel a partir del aceite de residuos de café”, siendo los objetivos específicos (i) Extraer el aceite de residuo de café, (ii) Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del aceite extraído, (iii) Producir biodiésel a partir de aceite de residuo de café), (iv) Comparar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido con la norma ASTM D6751 Y EN 14214

## II. MARCO TEÓRICO

Respecto Aiello et al. (2019), evaluaron la productividad de biodiésel, usando grasas extraídas del residuo de borra de café, por medio de un proceso de dos etapas, la extracción de grasas de borra de café en ebullición, como solvente se utilizó el hexano, presentando una acidez elevada  $32.07 \pm 0,01\%$  ( $70.24 \pm 0.03$  mg KOH/g grasa) demostrando un contenido alto ácidos grasos libres (AGL), luego se sometió a un desarrollo de transesterificación, con KOH (1.5 m/v), en asistencia de metanol, el resultado de este proceso fue una combinación de ésteres metílicos de ácidos linoleico (48.40), esteárico (8.69%), palmítico (36.21%) y oleico (6.69%), estas propiedades se adecuaron a las normas requeridas de ASTM D6751 y EN 14214. Concluyendo que las características definidas al biodiésel obtenido si están dentro del rango de la norma ASTM D6751, a excepción de la cinemática, este resultado es notablemente elevado al límite requerido.

Mientras tanto, Rhodri et al. (2016), evaluaron la productividad de aceite y las características del biodiésel de tres cafés de Vietnam, y se analizaron con un café de composición más óptima de Colombia. Obtuvieron que el rendimiento del aceite de café vietnamita fresco es mayor (12.0 - 14.0%) a diferencia del café colombiano (9.3), en tanto el rendimiento del aceite de café vietnamita gastado es de (9.3-10.4) en donde se comparó con el café de Colombia (9.5%). La materia insaponificable estuvo solo presente en categorías bajas en el café vietnamita (1.9-4.9%), a diferencia del café colombiano (30.4% fresco, 21.4% gastado). Concluyendo que el biodiésel del café de vietnam presento más saturación que el biodiésel del café colombiano, de modo que era más viscoso y presentaba un punto de fluidez superior que el café colombiano.

Igualmente, Rodríguez (2021), en su artículo de investigación, mencionó el método, temperatura y tiempo en la extracción de aceites, catalizador, solvente, porcentajes de ésteres metílicos y producto de calidad, obteniendo resultados de acuerdo a la norma de ASTM y EN. La metodología con mayor porcentaje de extracción de aceites es el Soxhlet, la temperatura y el tiempo no influyen en la proporción de ácidos grasos, en la transesterificación los catalizadores más usados fueron NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y KOH, los ésteres metílicos en gran porcentaje fueron ácido linoleico obteniendo 49.59%pp, palmítico 41.6%pp.

Así mismo, Sander et al. (2020), tuvieron como finalidad producir biodiésel de buena calidad a base de residuos de café, el método empleado para la extracción de aceite fue el sistema soxhlet con n-hexano, después se purificó por medio desacidificación con un solvente eutéctico a partir de carbonato de potasio, el biodiésel fue sintetizado a partir de la transesterificación, catalizada en álcali a proporciones diferentes del catalizador metanol: Tiempo de reacción y masa de aceite. Como resultado se determinó que el carbonato de potasio disminuyó eficazmente la acidez completa en la materia prima, la desacidificación en su eficiencia cambió de 86.18 a 94.15%, en cuanto al cloruro de colina descartó los glicéridos en los biodiésels crudos y el glicerol libre. En conclusión, la depuración constante del biodiésel depurado fue de calidad excelente con volúmenes de glicéridos y glicerol por debajo del límite EN 14214.

Por otra parte, Mononoc et al. (2017), en su investigación llevó a cabo la purificación del grano de café gastado con metanol, disminuyendo su alto contenido de acidez, la reducción del volumen encontrado fue (0.25 – 1.68 mm) y un incremento en las temperaturas de reacción (30 – 60 °C) estableciendo una mejora significativa en el rendimiento del biodiésel, todos los residuos de café gastado se desacidificaron procesándose a 50 °C y se alcanzó un rendimiento máximo del biodiésel de 77% en 3 horas. El biodiésel producido si cumplió con la norma de biodiésel ASTM, concerniente a contenidos de agua, glicerina total, viscosidad cinemática e índice de estabilidad oxidativa, sin embargo, el índice de acidez sobrepasó el estándar, para esto se realizó una pequeña modificación en el proceso haciendo uso agua ácida permitiendo neutralizar el catalizador alcalino, en el desarrollo de refinación, lo que permitió que el índice de acidez cumpliera con el estándar establecido.

Igualmente Young y Ho (2019), en su estudio, determinó un nuevo proceso, que se basa en la sustracción de los lípidos y la transesterificación en el reactor simultáneo, en el proceso nuevo se encontró que una combinación de n-hexano y metanol era la mejor combinación para la obtención de biodiésel, alcanzando un rendimiento de biodiésel de 10,8%, este proceso nuevo redujo la demanda de n-hexano y metanol en un 69.7% y un 67%, a diferencia del proceso tradicional que requirió más cantidad de solventes correspondiente, los rendimientos verdaderos del biodiésel respecto en la proporción de lípidos de los desechos de café molido, el proceso

convencional con el proceso nuevo, los dos fueron similares. En conclusión, el proceso nuevo puede ser una solución favorable al proceso tradicional en la obtención de biodiésel económico a base de residuos del café molido.

En el estudio realizado por Nikhom et al. (2019), evaluaron el rendimiento de extracción y esterificación del aceite de residuos de café molido (WCGO), obteniendo un rendimiento mayor de aceite sustraído de residuos de café molido de 15.47% con peso alcanzado en una cantidad de hexano a (WCG) de 9.1 (v/p) por medio de una aceleración de mezcla de 200 rpm, con una duración de sustracción de 5 min a temperatura exterior, seguido se realizó la reacción de esterificación con la finalidad de minimizar la acumulación de (AGL), en el proceso de la esterificación, la conversión de AGL, fue de 95% con relación molar de 9.1:1 de MeOH/AGL con 11.7%, en peso del catalizador, con reacción de tiempo de 97.2 minutos en una temperatura de 65°C, por ello el resultado de esta investigación apoya al uso de aceite de residuos de café gastado, como origen de producto primario de aceite no comestible para la obtención de biodiésel.

Mohammed et al. (2019), en su investigación presentaron realizar biodiésel a base del aceite de posos de café, para ello prepararon 4 mezclas: B20, B5, B15, B10, evaluó el efecto de 2 solventes (éter de petróleo y hexano) en el rendimiento de aceite de posos de café utilizados, se empleó el método soxhlet. Los resultados obtenidos presentaron un volumen de agua de 0.038%, una fracción de ácidos grasos libres de 0.41% y un número de acidez de 2 mg KOH/g, la extracción mayor de aceite fue (14.12%), se logró en un periodo de sustracción de 45 minutos usando el solvente hexano, estas mezclas de biodiésel presentaron rangos más bajos de CO, HC y CO<sub>2</sub>, la combinación B5 evidencio disminución 0.34, 12.5 y 4.23% en las tres emisiones presentadas, con B10 fue de 3.12, 29.85 y 19.14%. Por ende, se concluyó que la utilización de posos de café usado como bien intermedio en la producción de biodiésel, genera beneficios ecológicos y ambientales.

De igual manera Kumar, Kavitha y Banu (2020), investigó avances actuales en la producción u obtención de biodiésel, a base de reutilización de los residuos de alimentos, para ello menciona que se incluyen varios métodos, procesos de transesterificación, pretratamientos, así como también el uso de biorreactores diferentes, aplicados para la producción del biodiésel y la adaptabilidad de la



obtención de biodiésel a partir de residuos de variedades de alimentos. Conclusión el proceso para producir biocombustible a escala mayor, determinan que es un método económico y viable, ejerciendo un papel fundamental en un futuro, satisfaciendo la cadena mundial de energía.

Mientras tanto, Battista et al. (2020), en su estudio realizado presentó una revisión exhaustiva de literatura de acuerdo a los pozos de café gastado así como también procesos que se pueden incorporar a la escala de biorrefinería en cascada usando los residuos de pozos de café gastado (SCG) y las propiedades de estos en conjunto los parámetros que destacan en su composición, los métodos encontrados que se aplican para la extracción del aceite del café es el sistema Soxhlet el más utilizado, como disolvente presenta el n-hexano el más usado en estos procesos, como resultado de la información obtenida, se expuso un modelo integrado de biorrefinería, en conjunto con los balances respectivos de masa, para la producción de biocombustibles óptimos.

No obstante, Hien y Danh (2018), en su artículo de investigación, indagaron la características físicas y químicas respecto al aceite de café de variedad Robusta, y su utilización en la producción de biocombustible, para este proceso de la extracción de aceite, hicieron uso del método de sistema soxhlet con hexano resultando eficaz, el biodiésel de calidad obtenido se elaboró a base de aceites sustraídos de café gastado a partir de un desarrollo de dos pasos, seguido del proceso de tratamiento, se realizó la transesterificación de los aceites de café gastado, esta acción se realizó con metanol (v/v, 30 %), NaOH (p/v, 1 %) con rendimiento del 89.2 %.

De la misma manera Morelos (2016), este estudio presentó como objetivo desarrollar la evaluación de eficiencia en los países latinoamericanos respecto a la producción de biocombustibles, se usó la metodología de no paramétrica de análisis envolvente de datos, que facilito realizar el cálculo de la frontera de eficacia de Colombia, Brasil, Ecuador, Perú, Argentina, México, Bolivia, Uruguay y Paraguay, los resultados obtenidos muestran a Brasil y Perú como países líderes en producción de bioetanol y biodiésel con eficacia igual a 1, nueve países fueron evaluados, en donde 7 mostraron niveles bajos de eficacia en producción de biodiésel. En conclusión, los países que presentaron bajas variaciones, deberán

tomar en cuenta las variables de salidas en el proceso con el propósito de alcanzar la eficacia máxima respecto al modelo de biocombustible.

Así mismo, Carreño (2022), en su investigación sugirió la obtención de biodiésel, haciendo uso de borra de café como, materia prima, estudiando las propiedades del proceso de obtención de biodiésel para ello, se realizó un análisis bibliográfico y se usó el programa de simulación Aspen Plus V9, donde se compararon y se estudiaron procesos diferentes de transesterificación, para este proceso se eligió la transesterificación, homogénea básica, en conjunto de metanol/ aceite de 6:1 y como catalizador se utilizó el NaOH, el rendimiento mayor, de ésteres metílicos que se obtuvo utilizando una relación de 6:1, presentó un aproximado de 94%. El resultado de la purificación del biodiésel producido mostro una pureza de 99% de biodiésel, a través del simulador se verifico que las grasas contenidas en los pozos de café, muestran una capacidad significativa como materia prima en la obtención de biodiésel en industrias de café.

De igual forma, Camarena (2021), en su proyecto de tesis, presentó como finalidad evaluar el porcentaje de transformación de aceite sustraído de residuos de café a biodiésel, la investigación fue de tipo experimental, ya que se manejó la velocidad de agitación en el desarrollo de la transesterificación, para este proceso mencionado se usó como catalizador el NaOH junto con metanol. Teniendo como resultados que el biodiésel obtenido con una rapidez de agitación de 100 rpm, mostró un porcentaje de 77.78% de conversión, a diferencia del biodiésel obtenido en una velocidad de movimiento de 400 rpm, mostro un porcentaje de 92.48% de conversión, esta investigación sostuvo como conclusión, que la rapidez de agitación influye de manera significativa en la conversión del aceite sustraído de los pozos de café para producir biodiésel, presentando como porcentaje mayor de 92.48% de biodiésel obtenido.

Igualmente, De la Cruz (2020), en su artículo mencionaron el objetivo, proyectar una planta piloto para obtención de biodiésel usando el café molido a partir reacciones de transesterificación, el método aplicar es la extracción a un estado supercrítico, como resultado el CO<sub>2</sub> de fluido alto de operación de 250 bar y 55°C, mediante 3 horas y logra obtener el 95-97% del contenido de aceite sin necesidad

que tenga un tratamiento con solventes, concluyendo que la obtención de aceite de café con CO<sub>2</sub> a fluido supercrítico se recomienda emplear un circuito cerrado para alcanzar su desarrollo equilibrado al medio ambiente, la planta alcanza una vida útil de 10 años de tal manera que tiene una inversión total de USD 2004326.

A continuación, se describen bases teóricas relacionadas a las variables de estudio, estas sirvieron de soporte en el desarrollo de la investigación.

El biodiésel según, Medina et al. (2012), menciona que es un combustible sustituible proveniente de aceites vegetales ya sean comestibles o no comestibles, usados o nuevos y grasas de animales que tienen las características similares al petróleo tradicionales. El biodiésel contiene una alta cantidad de ácidos grasos saturados, teniendo similares características al diésel, reemplazando así la aplicación en los motores (Christensen et al 2016).

Continuando con ello, el biodiésel presenta beneficios en el ambiente y a la economía local debido a que, este biocombustible está conformado por sustancias biodegradables proveniente de materias renovables, por lo cual es seguro para sustituir el diésel derivado de petróleo, mostrando una combustión limpia, generando niveles bajos de emisiones en (GEI), como NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y MP, logrando de esta manera reducir la contaminación al aire, lo que lo hace importante su utilización, en la preservación y el cuidado del ambiente, el biodiésel se puede combinar con el diésel de petróleo ya que sea demostrado una excelente compatibilidad con los combustibles tradicionales (Llanes et al 2017).

Así mismo, la producción de biodiésel se realiza mediante dos procesos, el primero consta en sustraer el aceite de la materia prima a trabajar mediante solventes (hexano), como segundo proceso se realiza la transesterificación en este proceso se emplea un solvente y catalizador, en este caso el solvente más usado es el metanol, con el propósito de disminuir peligros y los gastos económicos, hoy en día se ha determinado un proceso nuevo que consta en un solo proceso, este proceso se conoce como transesterificación in situ, en este desarrollo se usa metanol ya sea para la sustracción como también para la transesterificación, evitando la utilización del n-hexano como solvente, este proceso nuevo proporciona un rendimiento de 96% de biodiésel, reduciendo la dificultad y el ciclo de obtención del

biodiésel, lo que lo hace significativo en utilizaciones de escala menor. (Tuntiwattapun et al 2017).

Para realizar el proceso de transesterificación, antes de este paso, se realiza la extracción o sustracción del residuo de café, Gómez (2017), explica que la extracción es un método que se basa en la separación de un líquido detenido en un componente sólido, para esta operación se utiliza un solvente, en donde el sólido traspasa el líquido, para ello se tiene que poner en conexión con el líquido y el sólido, durante un determinado tiempo, permaneciendo diluido en el disolvente la sustancia requerida, después el material diluido es recuperado por cristalización o evaporación, este desarrollo de extracción se lleva a cabo en un instrumento llamado soxhlet.

De acuerdo a Thangarusa y Anand. (2019), la transesterificación lo definen como un método de transformación química de triglicéridos a base de variedades de materias primas, los triglicéridos mediante una reacción con alcoholes se obtienen ésteres metílicos, de ácidos grasos, (biodiésel), para este desarrollo los alcoholes más utilizados son el etanol y metanol. En este proceso es fundamental tomar en consideración los catalizadores en el que Cabello et al., (2016), dan a conocer que gracias a los catalizadores se efectúa la reacción para obtener biodiésel, estos pueden ser heterogéneos o homogéneos, se clasifican en ácidos y básicos, de acuerdo la etapa que se presenten.

La composición del biodiésel según Thangarusa y Anand. (2019), se basa en la variedad de materia prima que se usa en la obtención de biodiésel, este biocombustible presenta características fisicoquímicas como punto de fluidez, índice de cetano, estabilidad a la oxidación y viscosidad, dependiendo netamente de la proporción de distintos ésteres saturados e insaturados en el biodiésel, después de la etapa de la transesterificación hay una posibilidad de que se encuentre impurezas en el biodiésel, lo que altera las características de este biocombustible, así mismo el proceso de tratamiento y materias primas influye también en las características fisicoquímicas del biocombustible. Un alto número de cetano, viscosidad más baja y el punto de fluidez que sea bajo, son las características permisibles para usar el biodiésel en un motor de gasóleo.

Mientras tanto, Rhodri et al.(2015), infiere que los residuos de café que se originan después del consumo como bebida, contienen lípidos que se conforman de manera predominante de triglicéridos, cuya composición aproximada de ácido linoleico es (44-50%), ácido oleico (7-8%), ácido palmítico (35-40%) y ácido esteárico (7-8%), estos residuos se producen en gran cantidad alrededor de todo el mundo, por lo común se acondicionan como residuo orgánico, en cada establecimientos comerciales, casas, restaurantes y cafeterías, teniendo como disposición final en rellenos sanitarios o vertederos, este desecho se le puede reutilizar para la conversión a biodiésel.

De otro modo Gonzales y Martin (2020), nos indican que los residuos de café presentan una serie de utilizaciones en diferentes ámbitos industriales, a partir de la extracción de sus compuestos, que dan como prioridad la elaboración de productos nuevos con un valor agregado, los polisacáridos que presenta la borra de café, un aproximado de 50%, se logran recuperar haciendo uso de hidrolisis con ácido diluido, comúnmente ácido sulfúrico, dicha composición puede ser usado como aditivo alimentario, obtención de bioetanol por medio de una fermentación, biodiésel, este producto es utilizado como combustible para las calderas de las fábricas, de este derivado se logra generar gas y biogás, se puede elaborar materiales para construcción y excelente filtro de adsorción entre otras aplicaciones.

Además, Oliveira (2007), menciona que el aceite de café está compuesto por fracciones de lípidos y volátiles, reteniendo su aroma propio del café molido y tostado, para obtener este aceite como producto se da por proceso de extracción, por solventes.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue aplicada ya que estuvo destinada a resolver los problemas de la actividad antropogénicas, basadas en formulaciones hipotéticas de investigaciones básicas (Nicomedes, 2018). Asimismo (Ñaupas,2013), recalca que esta línea de investigación aplicada optimiza, perfecciona secuencias, patrones de avances tecnológicos por la cual su calificación sería en términos “eficientes, deficientes, ineficientes”.

Así mismo, la investigación fue cuantitativa, ya que se estableció datos numéricos de los resultados de la manipulación de las variables de estudio. La investigación cuantitativa permite realizar proyecciones, relaciones de causa efecto a través de inferencias estadísticas de hipótesis previamente formuladas (Bebativa, 2017).

De diseño cuasi experimental, este es denominado de esa forma por la aproximación al experimento, este no lo logra asegurar los resultados iniciales ya que no controla las variables (Bebativa, 2017).

#### 3.2. Variables y operacionalización

Se identificaron dos variables las cuales se detalla a continuación:

**Variable independiente:** Aceite de residuos de café.

**Definición conceptual:** Oliveira (2007), menciona que el aceite de café está compuesto por fracciones de lípidos y volátiles, reteniendo su aroma propio del café molido y tostado, para obtener este aceite se realiza la extracción por solventes.

**Definición operacional:** La extracción se realiza con sistema de soxhlet, con disolventes manipulando el tiempo y temperatura. Los resultados de esta extracción se analizan para evaluar las propiedades físicas – químicas.

**Indicadores:** Índice de acidez, densidad y ácidos grasos libres.

**Unidad de medición:** mg NOH/g aceite, g/ml y %.

**Escala de medición:** (Razón).

**Variable dependiente:** Biodiésel.

**Definición conceptual:** Es un combustible sustituible proveniente de aceites vegetales ya sean comestibles o no comestibles, usados o nuevos y grasas de animales que tienen las características similares a los de petróleo tradicionales (Medina et al 2012).

**Definición operacional:** Son triglicéridos productos del proceso de transesterificación, en este caso utilizando como catalizador KOH, el producto obtenido químicamente representa una mezcla de ésteres alquilo caracterizadas de tener cadenas largas de ácidos grasos que otorga propiedades a la del petróleo.

**Indicadores:** Índice de acidez, ácido graso libre, densidad y viscosidad cinemática.

**Unidad de medición:** mg KOH/g biodiésel, %, g/ml y mm<sup>2</sup>/s.

**Escala de medición:** Razón.

La matriz de operacionalización de variables se observa en el anexo 1.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:** La población estudiada fueron los residuos de café de variedad Catimor que se producen en Jaén. (Arias et 2016), infiere que la población es un grupo de casos definidos y limitados que conforman para la selección.

- Criterios de inclusión: Residuos de la variedad de café Catimor producidas en la ciudad de Jaén que tengan menos de 3 días como desecho.

- Criterios de exclusión: Residuos de café de otras variedades que no sean Catimor producidas en Jaén.

**Muestra:** 1500 gramos de residuos de café húmedos de variedad Catimor.

**Muestreo:** No probabilístico por conveniencia.

**Unidad de análisis:** 1g de residuos de café.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos fue la observación, Campos & Lule (2012), infiere que la observación es un método que se basa en registrar de manera sistemática los eventos, hechos, que se realizan en la sociedad o en la naturaleza, con el propósito de explicar, describir o analizar los resultados desde una posición científica.

Instrumento de recolección de datos fue la ficha de registro, estas permiten registrar y recolectar las fuentes de información, facilitando la organización y clasificación de la información, asimismo no presentan un modelo estándar por lo cual permite adaptarlo a las necesidades de la investigación (Arias, 2020).

### **3.5. Procedimientos**

El proceso que se empleó en nuestra investigación se muestra en el siguiente diagrama.



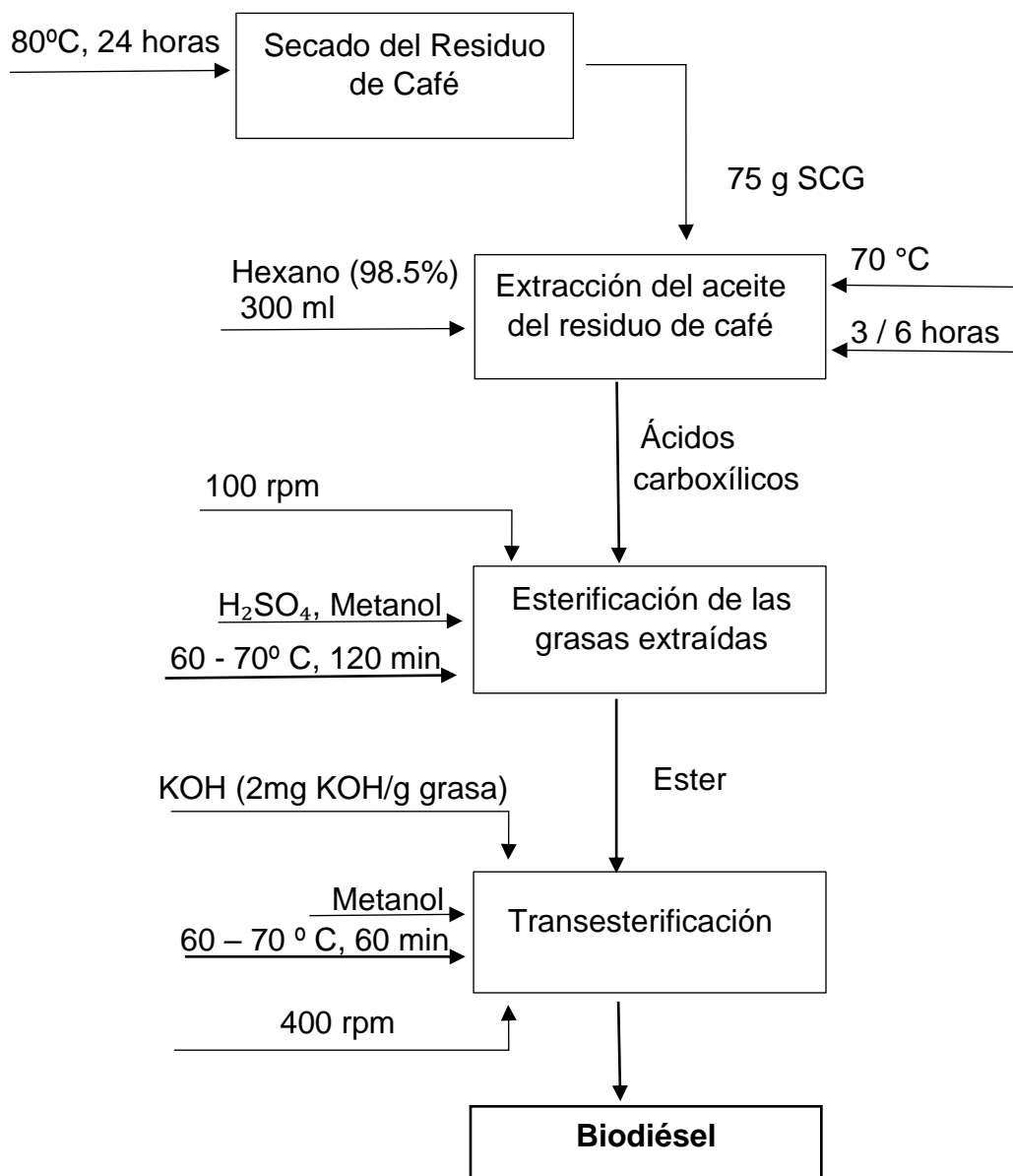
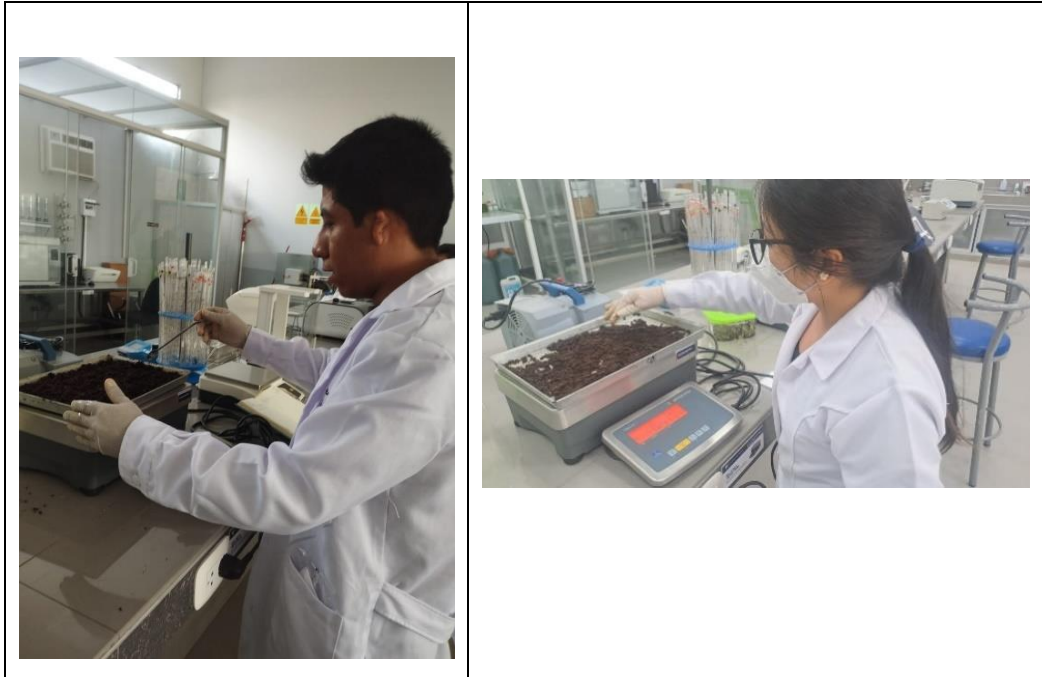


Figura 01. Proceso de producción de biodiésel a base del aceite de residuo de café

Fuente: Elaboración propia

Se secó el residuo de café en la estufa (Daihan, WOF -50), a una temperatura de 80 ° C en un tiempo de 24 horas este, con la finalidad de eliminar toda humedad de la borra de café.

Asimismo, se guardó todo el residuo obtenido en bolsas herméticas en un desecador, con la finalidad de no obtener humedad.



*Figura 02.* Pesando el residuo de café húmedos

Fuente: Elaboración propia



*Figura 03.* Residuos de café en la estufa

Fuente: Elaboración propia



Figura 04. Controlando la temperatura de la estufa

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó la extracción del aceite del residuo de café, aquí empleamos el Soxhlet, como solvente se utilizó el hexano con pureza de 98.5%. Para la extracción se colocó 75 gr de residuos de café encapsulado en papel filtro, junto a ello 300 ml de solvente, a una temperatura de ebullición del hexano, en un tiempo de 3 a 6 horas.

*\*Este proceso se repitió hasta conseguir la cantidad necesaria para la investigación\**

A continuación, el aceite extraído pasa por una destilación simple y a un evaporador rotativo (Boeco, RVO 400 SD) a una temperatura de 70 °C por un periodo de 30 a 180 min para separar el solvente y obtener aceite puro. Después de realizar lo antes mencionado se determinó el porcentaje y las características físicas químicas que contiene el aceite extraído.



*Figura 05.* Peso del residuo de café seco para el proceso de extracción.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 06.* Extracción del aceite de residuo de café empleando el Soxhlet.

Fuente: Elaboración propia



Figura 07. Destilación del aceite y el solvente.

Fuente: Elaboración propia



Figura 08. Destilación en el evaporador rotatorio.

Fuente: Elaboración propia



Figura 09. Análisis de índice de acidez y AGL.

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas del aceite pasó por el proceso de esterificación, la cual consiste en reducir los ácidos grasos libres, en este proceso se empleó el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y el metanol ( $CH_3OH$ ).

Posteriormente, el producto obtenido en la esterificación, pasó por el proceso de transesterificación, junto al metanol ( $CH_3OH$ ) y catalizador (KOH) para obtener el biodiésel.

### **3.6. Método de análisis de datos**

La investigación, empleó el uso de herramientas digitales (Microsoft Excel) para el procesamiento de los datos obtenidos.

### **3.7. Aspectos éticos**

La investigación tuvo en cuenta actitudes morales éticas para abordar el desarrollo del artículo de revisión literaria, como lo menciona resolución de consejo universitario N° 0262-2020/UCV, la cual tiene como objetivo establecer estándares de conductas científicas que aseguren la validez del conocimiento científico de los autores. De igual modo, para citar la información de las revisiones literarias (Artículos de revisión, artículos científicos, tesis) se utilizó la norma ISO 690.

#### IV. RESULTADOS

En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos del primero objetivo específico “extracción de aceite de residuo de café”, donde se visualiza la cantidad de residuos de café seco utilizados, asimismo el solvente empleado, la temperatura, cantidad y porcentaje de aceite extraído, como se aprecia a continuación:

**Tabla 1.** Resultados de la extracción del aceite de residuos de café

N°	Residuo de café seco (gr)	Solvente hexano (ml)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Aceite extraído (ml)	% Aceite extraído
1	75	300	70	6	10.35	13.8
2	75	300	70	6	9.9	13.2
3	75	300	70	3	10.05	13.4
4	75	300	70	3	9.97	13.3
5	75	300	70	3	10.42	13.9
6	75	300	70	3	9.67	12.9

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1, se observan los porcentajes de aceite extraído por método soxhlet, empleando como solvente el hexano, en la extracción N°1 se ejecutó en un periodo de 6 horas y se obtuvo 13.8%, la extracción N°2 se trabajó con el mismo periodo de tiempo y se obtuvo 13.2%, la extracción N°3 y 4 se extrajo en un periodo de 3 horas el resultado fue de 13.4% y 13.3%, sin embargo, la extracción N° 5 empleando el mismo tiempo, obtuvo un mayor porcentaje de extracción con un valor de 13.9% y la extracción N°6 obtuvo el menor porcentaje con un valor de 12.9% de aceite.

Por otro lado, la tabla nos muestra que de 450 gr de residuos de café secos en las 6 extracciones se obtuvo 60.36 ml de aceite. Se trabajó con dos tiempos para verificar el porcentaje de extracción, se verificó que el mayor porcentaje de extracción con tiempo de 6 horas fue 13.8%, y el mayor porcentaje de extracción con tiempo de 3 horas fue 13.9%, estos valores son similares, por ello se concluyó que, a las 3 horas, el solvente entra a su punto de saturación.

Con respecto al segundo objetivo específico, el aceite obtenido se envió al laboratorio de química para los respectivos análisis fisicoquímicos, los resultados obtenidos se visualizan en el anexo N°2. Asimismo, en la tabla 4 y 5.

Para los análisis químicos se trabajó con tres muestras del mismo aceite obtenido, este para obtener un promedio de su medición. Obteniendo los siguientes valores

**Tabla 2.** *Características de los ácidos grasos libres (% AGL) de las tres muestras*

	<b>Muestra</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>% AGL</b>	Muestra N°1	18.39	%
	Muestra N°2	18.42	
	Muestra N°3	18.64	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2, se muestran los resultados de los ácidos grasos libres, la primera muestra obtuvo un valor de 18.39 %, la segunda muestra 18.42 % y la tercera muestra 18.64 %.

**Tabla 3.** *Características de índice de acidez de las tres muestras*

	<b>Muestra</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Índice de acidez</b>	Muestra N°1	36.60	mg NOH/g
	Muestra N°2	36.66	
	Muestra N°3	37.09	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3, se detallan los resultados obtenidos de las tres muestras en el análisis de índice de acidez, la primera muestra presenta un valor 36.60 (mg NOH/g), la segunda 36.66 (mg NOH/g) y la tercera 37.09 (mg NOH/g).

De tal forma, se calculó el promedio de las tres muestras obtenidas en los análisis químicos, los resultados se muestran en la siguiente tabla.



**Tabla 4.** Resultados del promedio de las tres muestras del índice de acidez y ácidos grasos libres del aceite obtenido

<b>Características</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Químicas</b>	AGL	18.48	%
	Índice de acidez	36.7752	mg NOH/g

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los análisis químicos nos muestran que el índice de acidez su valor fue de 36.7752 mg NOH/g y los ácidos de grasos libres 18.48%. Estos valores son superiores a lo dispuesto en el manual para la producción de biodiésel PNIA: 087\_P1.

Respecto al análisis físico, solo se determinó la densidad del aceite extraído, en la Tabla 5 se observa el valor obtenido.

**Tabla 5.** Resultados de la densidad del aceite obtenido

<b>Características</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Física</b>	Densidad	0.85526	g/ml

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido en el análisis físico nos muestra que el aceite extraído de residuo de café tiene una densidad de 0.85526 g/ml.

Para obtener biodiésel a base de aceite de residuo de café, primero se realizó la esterificación de las grasas extraídas, para ello, se empleó el catalizador ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en concentración de (1% v/v grasa), junto con el metanol relación molar alcohol/aceite (1:6) para la reacción química y una cantidad de aceite de residuos de café de (36 g o 40 ml).

En un vaso de precipitado de 500 ml se mezcló el metanol a una temperatura de  $60^\circ C$  junto al Ácido sulfúrico en un agitador magnético a 100 rpm, posteriormente se añadió el aceite de residuos de café y se dejó actuar por un periodo de 120 minutos.

La reacción de metanol, ácido y aceite se manipulo a una temperatura de 60 a  $70^\circ C$ , debido a que no se tuvo un total control y después de su reacción se dejó decantar por un periodo de 12 horas a temperatura ambiente.

La cantidad obtenida fue de 30 ml.



*Figura 10.* Proceso de esterificación

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente los esteres obtenidos se sometió por el proceso de transesterificación, para ello, se empleó como catalizador el hidróxido de potasio (KOH) en concentración (2mg KOH/g grasa) y el metanol con relación molar grasa/metanol (RMG: MeOH) 1:6.

En un vaso de precipitado, se realizó la mezcla del catalizador y el alcohol, a una temperatura de 60°C a 400 rpm hasta que el catalizador se disuelva, a continuación, a la mezcla realizada se agregó 30 ml de esteres obtenidos en la reacción de esterificación, se dejó actuar la reacción por un periodo de 60 min, a una temperatura de 60 a 70°C.

Después de ocurrir la reacción, el biodiésel obtenido se dejó reposar por un tiempo de 12 horas, la cantidad obtenida en el proceso de transesterificación fue 30 ml.



*Figura 11.* Resultados de la esterificación

Fuente: Elaboración propia

Respecto al último objetivo, en la Tabla 6, nos muestran los resultados de las propiedades físico químicas del biodiésel, producido a partir de los residuos de café.

**Tabla 6.** Resultados de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido a base de aceite de residuos de café

Características	Unidad	Norma de Biodiésel		Biodiésel de café	
		ASTM D6751	EN 14214		
Físicas	Densidad	g/ml	0.86-0.90	0.86-0.90	0.87
	Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	1.9-6.5	3.5-5.0	5.73
Químicas	Índice de acidez	mg KOH/g biodiésel	<0.8	<0.5	0.6127
	Ácidos grasos libres	%	-----	-----	0.3079

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestra que la densidad del biodiésel obtenido (0.87 g/ml) se encuentra cerca al límite mínimo del rango propuesto, tanto por la norma ASTM D6751, como por la norma europea EN 14214 de (0.86-0.90 g/ml). En cuanto a la viscosidad cinemática del biodiésel su valor es de 5.73 mm<sup>2</sup>/s, cuyo valor se encuentra dentro del límite requerido por la norma ASTM D6751 (1.9-6.5), pero ligeramente superior al rango máximo establecido por la norma EN 14214 (3,5-5.0).

De acuerdo a la propiedad química “índice de acidez” su resultado es de 0.6127, este se encuentra dentro del límite propuesto tanto por la norma ASTM D6751 (<0.8), como por la norma EN14214 (<0.5).

## V. DISCUSIÓN

Una vez obtenido el biodiésel a base del aceite de residuos de café, se procedió a contrastar el proceso de secado del residuo de café, extracción de aceite de residuos de café y la obtención de biodiésel con los diversos estudios relacionados al tema de esta investigación, con el propósito de consolidar y respaldar los hallazgos de este estudio.

Para el proceso de secado, nuestra investigación tomó de referencia la investigación de (Camarena, L. 2021), la cual mencionó que el proceso de secado lo realizó en una estufa a una temperatura de 80°C en un tiempo de 72 horas, sin embargo, en nuestra investigación observamos, que a las 24 horas y 48 horas el residuo de café tenía el mismo peso, por ello, concluimos que con solo 24 horas era necesario trabajar el proceso de secado.

Respecto a los resultados obtenidos en la extracción de aceite de residuo de café de la variedad Catimor, con extracción por solvente hexano, se muestra, que no existe una gran variación del porcentaje de aceite obtenido con relación al tiempo de 6 a 3 horas, dado, que el mayor porcentaje de la extracción de 6 horas dio como resultado 13.8% mientras que, con 3 horas fue de 13.9%, asimismo, el menor porcentaje de extracción fue de 12.9% en un tiempo de 3 horas y 13.2% para 6 horas. Además, para cada extracción, se trabajó con la misma cantidad y tipo de solvente, del mismo modo, la cantidad de residuos de café secos y misma temperatura.

Estos resultados fueron similares al estudio de (Aidin et al 2014), donde extrajo el aceite de residuo de café empleando el sistema soxhlet y el hexano como solvente, los autores evaluaron el comportamiento del porcentaje de extracción del hexano en periodos de 0.30 minutos durante 6 horas, el estudio concluyó que en periodo de 3 horas a más no se observaba un aumento significativo del porcentaje de extracción, esto indicando que a las 3 horas el hexano alcanzaba su punto de saturación, el porcentaje obtenido en 3 horas fue de 13.64%.

Además de ello, los resultados obtenidos en la extracción (12.9 a 13.9%) obtenidos en nuestra investigación indican que el residuo de café si contiene un porcentaje

de grasa significativa, así como en el estudio de (Nattapong & Chantra 2018), donde su porcentaje de extracción fue de 14.80% de aceite mediante la extracción Transesterificación en situ.

De igual manera los valores obtenidos en nuestra investigación fueron similares al estudio de Rhodri et al. (2016), donde extrajo aceite de café vietnamita y colombiano, en ambos experimentos realizó la extracción por solvente, el valor obtenido en el café vietnamita fue mayor con un valor de (12.0-14.0%), mientras que el colombiano de (9.3-10.4%).

De igual forma, en la investigación de (Hiroshi et al 2017) observamos que existe una similitud respecto a nuestros resultados obtenidos en el primer objetivo, ya que los autores obtuvieron 10 y 13% de aceite de residuos de café. De igual manera, (Oliveira et al 2018) en un valor entre 10 a 12% de aceite, ambos autores emplearon residuos de café y mismo método de extracción.

Con respecto a los resultados del análisis fisicoquímico del aceite de residuos de café, donde las características analizadas fueron, el índice de acidez con un valor de resultado (36.7752 mg NOH/g), %AGL (18.48) y una densidad de (0.85526 g/ml), estos valores fueron menores a comparación de (Aiello et al 2019), donde obtuvo en %AGL (31.02), índice de acidez 61.70 (mg KOH/g) y densidad (0.896 g/ml). Por otro lado, los resultados fueron mayores, al estudio de (Camarena, L. 2021), donde obtuvo un índice de acidez de 5.722 (mg KOH/g) y %AGL (2.729).

En cuanto al proceso para la producción de biodiésel a partir de los residuos de café, nuestra investigación realizó dos procesos para la obtención, la primera constó en la esterificación del aceite extraído, como catalizador se empleó el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en concentración de (1% v/v grasa), junto con el metanol relación molar alcohol/aceite (1:6) para la reacción química y una cantidad de aceite de residuos de café de (36g o 40 ml), en un vaso de precipitado de 500 ml se mezcló el metanol a una temperatura de 60°C junto al ácido sulfúrico en un agitador magnético a 100 rpm, posteriormente se añadió el aceite de residuos de café y se dejó actuar por un periodo de 120 minutos, la reacción de metanol, catalizador y aceite se manipuló a una temperatura de 60 a 70°C, después de su reacción se dejó decantar por un periodo de 12 horas a temperatura ambiente.

Posteriormente los esteres obtenidos pasó por la transesterificación, para ello, se utilizó como catalizador el hidróxido de potasio (KOH) en concentración (2mg KOH/g grasa) y el metanol con relación molar grasa/metanol (RMG: MeOH) 1:6, en un vaso de precipitado, se realizó la mezcla del catalizador y el alcohol, a una temperatura de 60°C a 400 rpm hasta que el catalizador se disuelva, a continuación, a la mezcla realizada se agregó 30 ml de esteres obtenidos en la reacción de esterificación, se dejó actuar la reacción por un periodo de 60 min, a una temperatura de 60 a 70°C, después de ocurrir la reacción, el biodiésel obtenido se dejó reposar por un tiempo de 12 horas.

Teniendo en cuenta la investigación (Aiello et al 2019), para el proceso de esterificación de las grasas extraídas, usaron como catalizador  $H_2SO_4$  (Merk), en presencia de metanol, con variación la relación molar alcohol/aceite, (1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7 y 1:8), la concentración de catalizador (0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y 1% v/vgrasas) y el tiempo de reacción (0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min), terminada la reacción dejaron reposar por un periodo de tiempo de 12 h a 40°C, finalmente realizaron la transesterificación haciendo uso hidróxido de potasio, (2 mg de KOH/g grasa), como catalizador en presencia de metanol, con una relación molar grasas/metanol (RMG:MeOH) de 1:6, la reacción se llevó a cabo en fiolas de 250 ml, durante 1 h en una incubadora orbital a 60°C y agitación de 100 rpm. La mezcla obtenida se dejó en reposo por 24 h a 40°C.

En cuanto a los resultados presentados se compararon con las normas (ASTM D6751) y (EN 14214) las cuales especifican los requisitos estandarizados de propiedades fisicoquímicas para el biodiésel. Las propiedades físicas analizadas fue la densidad y viscosidad cinemática, los resultados obtenidos de la densidad fue de un valor (0.87 g/ml), este dato se encuentra muy cerca al límite mínimo del rango propuesto, tanto por la norma ASTM D6751, como por la norma europea EN 14214, este valor es similar al estudio de (Camarena, L. 2021), donde el biodiésel de 400 rpm obtenido se encontró en (0.88 g/ml), de igual forma, para el estudio de (Aiello et al 2019), donde obtiene (0.863 g/ml), sin embargo, una cantidad mayor al estudio de (Dang y Nguyen. 2018), que obtuvo (0.82 g/ml).

De acuerdo a la viscosidad del biodiésel obtenido en nuestra investigación su valor es de (5.73 mm<sup>2</sup>/s), cuyo valor se encuentra dentro del límite requerido por la norma ASTM D6751 (1.9-6.5), pero ligeramente superior al rango máximo establecido por la norma EN 14214 (3.5-5.0). este valor es mayor a comparación del estudio de (Tuntiwiwattanapun et al 2017), donde obtuvo, (4.18 mm<sup>2</sup>/s), sin embargo, similar al estudio (Aiello et al 2019), donde consiguió (5.35 mm<sup>2</sup>/s) de viscosidad cinemática.

Las propiedades químicas, como el índice de acidez del biodiésel obtenido tienen un valor de 0.6127 (mg KOH/g), este valor se encuentra dentro del límite propuesto tanto para la norma ASTM D6751 (<0.8), como por la norma EN14214 (<0.5). Y en % AGL se obtuvo (0.3079). Los valores conseguidos son mayores a comparación del estudio de (Aiello et al 2019), 0.41 mg KOH/g y el biodiésel de 400 rpm de (Camarena, L. 2021), con un valor de 0.3366 mg KOH/g.



## VI. CONCLUSIONES

- 1) Se extrajo el aceite de residuo de café con el método soxhlet, empleando el solvente hexano de pureza (98.5%), se realizó 6 extracciones en periodo de 3 y 6 horas, se verificó que el mayor porcentaje de extracción con tiempo de 6 horas fue 13.8%, y el mayor porcentaje de extracción con tiempo de 3 horas fue 13.9%, estos valores son similares, por ello se concluyó que, a las 3 horas, el solvente entra a su punto de saturación.
- 2) Las características fisicoquímicas del aceite extraído, presentó un índice de acidez de 36.7752 mg NOH/g, el porcentaje de ácidos grasos libres 18.48% y una densidad de 0.85526 g/ml.
- 3) Para la producción de biodiésel, se realizaron dos procesos, en un primer momento se efectuó la esterificación del aceite extraído, para ello se utilizó como catalizador ácido sulfúrico, ( $H_2SO_4$ ) en concentración de (1% v/v grasa), junto con el metanol relación molar alcohol/aceite (1:6), luego de haber ejecutado esta actividad, se procedió a realizar el proceso de transesterificación, como catalizador se empleó el hidróxido de potasio (KOH) en concentración (2mgKOH/g grasa) y el metanol con relación molar grasa/metanol (RMG:MeOH) 1:6.
- 4) Al realizar la comparación de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido, presentó una densidad 0.87 g/ml, índice de acidez 5.73 mg KOH/g y ácidos grasos libres 0.87%, cuyas propiedades si cumplen con los rangos establecidos por la norma ASTM D6751 y EN 14214, sin embargo, la viscosidad cinemática 0.6127 mm<sup>2</sup>/s solo se encuentra entre los rangos establecidos por la norma ASTM D6751.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1) Se recomienda extraer aceite de residuo de café de otras variedades empleando el mismo método de extracción para verificar el porcentaje de aceite extraído.
- 2) Se recomienda a los investigadores caracterizar diferentes muestras de aceite extraído de varias especies de café, para evaluar y comparar los rendimientos.
- 3) Se recomienda futuras investigación analizar otras propiedades fisicoquímicas del biodiésel, a base del aceite de residuos de café.
- 4) En investigaciones futuras se recomienda aplicar este proyecto como economía circular en empresas dedicadas a este rubro, con la finalidad de optimizar los recursos y el cuidado del ambiente, contribuyendo al desarrollo sostenible.

## REFERENCIAS

- AGRARIA. Producción peruana de café alcanzó las 234.200 toneladas en 2022, mostrando una caída de 14%. [En línea]. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2023]. Disponible [https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-cafe-alcanzo-las-234-200-toneladas-en--30727#:~:text=\(Agraria.pe\)%20En%202022,JNC\)%2C%20Lorenzo%20Castillo%20Castillo](https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-cafe-alcanzo-las-234-200-toneladas-en--30727#:~:text=(Agraria.pe)%20En%202022,JNC)%2C%20Lorenzo%20Castillo%20Castillo)
- AIELLO, C; ARENAS, E; SALAZAR, Y; SANCHEZ. J; URRIBARRI, A & & SAMBERTT, F. 2019. Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H<sub>2</sub>SO y transesterificación con KOH. ISSN: 0124-8170. Obtenido: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/2899>
- ALONSO, A; GARCIA, L; GARCIA, E ; GIL, B; LEÓN, I & RIOS, L. (2016). Métodos de investigación de enfoque experimental. Recuperado: <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- ANDRADE, H; ARTEAGA, C. Y SEGURA, M. (2016). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). Obtenido: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a06.pdf>
- ARIAS, J. 2020. Técnicas e instrumentos de la investigación científica. Enfoques consulting EIRL, ed..1, ISBN: 978-612-48444-0-9, Obtenido: <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2238>
- ARIAS, J; MIRANDA, N; VILLASIS, M. 2016. El protocolo de investigación III: la población de estudio. Vol.63. Mexico: Revista Alergia Mexico. disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
- BATTISTA, F; ZULIANI, L; RIZZIOLI, F; SALVATORE, F & BOLZONELLA, D. (2020), Biodiésel, biogas and fermentable sugars production from Spent coffee Grounds: A cascade biorefinery approach. Tecnología Bioambiental. pp. 76-87. 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421012943?via%3Dihub>

- BEBATIVA, C. 2017. Investigación cuantitativa. Bogotá: Fundación Universitaria Área Andina. Obtenido: <https://core.ac.uk/download/pdf/326424046.pdf>
- CABALLERO, P; CASTILLO, P & MENDOZA, A. 2012. Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Monterrey: Departamento de Ingeniería Química tecnológico. ISSN 1405-77. Recuperado: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432012000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000300004)
- CABELLO, C, RINCON, S, ZEPEDA, A. (2017). Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiésel. Universidad Autónoma de Yucatán. Disponible: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756>
- CAETANO, N; SILVA, V; MELO, A; MARTINS, A & MATA, T. 2018. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization, Bioresource Technology. Vol,247. ISSN 0960-8524. Pp 1077-1084, Obtenido: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417316711?via%3Dihub>
- CAFECAFETERAS. 2022. Descubre como el café es utilizado para hacer biodiésel. Leído en Línea: <https://www.cafecafeteras.com/cafe-utilizado-biocombustibles/>
- CAMARENA, L. 2021. Aceite extraído de poso de café como materia prima para la obtención de biodiésel como una energía renovable. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62197>
- CAMPOS, G & LULE, N. 2012. La observación, un método para el estudio de la realidad. Vol, VII. Mexico: Universidad la Salle Pachuca. pp. 45-60.
- CARREÑO, S. 2022. Análisis del proceso de producción de biodiésel a partir de la borra de café. Tesis (Ingeniero Químico). Bogotá-Colombia: Universidad de América. Disponible en <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8819/4/6171248-2022-1-IQ.pdf>
- CASTAÑO, C y LOPEZ, E. 201. Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino. Recuperado en: [\(PDF\) Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino \(researchgate.net\)](#)

CHANTRA, T; PARNUWAT, U & NATTAPONG, T. 2019. Complete utilization of the wet residues of coffee grounds as new matter raw material for the production of antioxidants, biodiésel and biochar. Recuperado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019304960?via%3Dihub>

CHRISTENSEN, Earl, FIORONI, Gina. Biodiésel Handling and Use Guide. Energy Efficiency & Renewable Energy. 2017. Recuperado. <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66521.pdf>

DE LA CRUZ, L. 2020. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta piloto de producción de biodiésel a partir de los residuos sólidos de café gastado en la región Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8585>

DELIGIANNIS, A., PAPAZAFEIROPOULOU, A., ANASTOPOULOS, G., & ZANNIKOS, F. (2011). Waste Coffee Grounds as an Energy Feedstock. 7. [https://www.academia.edu/29723588/Waste\\_Coffee\\_Grounds\\_as\\_an\\_Energy\\_Feedstock](https://www.academia.edu/29723588/Waste_Coffee_Grounds_as_an_Energy_Feedstock)

GÓMEZ, Marisa, FITO, Pedro, SEGUI, Lucia, VALLS, Noelia. Fundamentos de la extracción sólido-líquido. Universitat Politècnica de València. 2017. Disponible <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147097/Castell%C3%B3Fitó%3BSegu%C3%AD%20-%20Fundamentos%20de%20la%20Extracci%C3%B3n%20S%C3%B3lido-L%C3%ADquido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GONZALES, Diego, MARTIN Viviana. Evaluación de la extracción de lípidos presentes en la borra de café utilizando un solvente alternativo. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Bogotá-Colombia. 2020. [Recuperado https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8116/1/6152710-2020-III-IQ.pdf](https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8116/1/6152710-2020-III-IQ.pdf)

HIEN, C. Y DANH, T. (2018), Physicochemical Characterization of Robusta Spent Coffee Ground Oil for Biodiésel Manufacturing. Valorización de Residuos y Biomasa. pp. 19-33. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0287-9>

HIROSHI, Y; KUNLANAN, K; NAVADOL, L; SONGPHON, P; SUTTICHAJ, A; TOMOHIKO, T; WORAPON, K. 2017. Aceite extraído de posos de café usados para la producción de diésel biohidratado. En línea: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.085>

INEI. 2022. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales. Obtenidos en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf)

JUN YOUNG, K & SUNG HO, Y. 2020. Optimization of biodiésel production from coffee grounds by simultaneous extraction and transesterification of lipids. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12257-019-0353-6>

KUMAR, Dinesh, BANU, Rajesh, KAVITHA, S. Valorization of food waste for biodiésel production. Food Waste to Valuable Resources, pp 75-96. 2020. DOI [10.1016/B978-0-12-818353-3.00004-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818353-3.00004-3)

LABORDE, MARIA F, GONZÁLES, MEDARDO S, PONCE, JOSÉ M, PAGANO, ANA M. Proceso de obtención de biodiésel a partir de AVUs: Análisis diferencial de costos de opciones óptimas de integración energética. Avances en Ciencias e Ingeniería, pp. 19-33. 2020. ISSN 07188706. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/127728>

LLANES, Antonio, HOYOS, Juan, SALAZAR, Paolo, MEDRANO, Johana. (2017). Producción e impacto del Biodiésel: Una Revisión. Revista mensual de la UIDE extensión Guayaquil, Vol. 2 (29), 60-76. Recuperado [file:///E:/2023/DISE%C3%91O%20DEL%20PROYECTO%20DE%20%20INVESTIGACION%20GACI%C3%93N/Junio/junio%2017/Dialnet-ProduccionElImpactoDelBiodiésel-6069992%20\(1\).pdf](file:///E:/2023/DISE%C3%91O%20DEL%20PROYECTO%20DE%20%20INVESTIGACION%20GACI%C3%93N/Junio/junio%2017/Dialnet-ProduccionElImpactoDelBiodiésel-6069992%20(1).pdf)

MEDINA, Isaac. Biodiésel, un combustible renovable. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 2012. Revista (55).62-70.

MINAM. Parque vehicular y actividades ilegales: Principales contaminantes del aire en Perú [En línea]. 15 de mayo de 2023. [Fecha de consulta]. Disponible <https://www.actualidadambiental.pe/parque-vehicular-y-actividades-ilegales-principales-contaminantes-del-aire-en-peru/>

MORELOS, José. Analysis of the variation in the efficiency in the production of biofuels in Latin America. Management Studies, pp. 120-126. DOI 10.1016/j.estger.2016.01.001

MONONOC, Ewumbua, TUNTIWIWATTANAPUNAB, Nattapong, WIESENBORNC, Dennis. In situ transesterification process for the production of biodiésel from coffee grounds from the instant coffee industry. Crops and Industrial Products, pp. 23-31. 2017. ISSN 09980241. DOI 10.1016/j.indcrop.2017.03.019

MOHAMMED, K; KHALID, M; AWAD, O & ABRAR, I. 2019. Environmental impacts of the production of biodiésel from dregs of coffee and its implementation in a compression ignition engine. Total Environmental Science, pp. 13-30. 2019. ISSN 20001435. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.04.156

NATTAPONG, T & CHANTRA, T. (2018). Sequential Extraction and Reactive Extraction Processing of Used Coffee Grounds: An Alternative Approach for Biodiésel Feedstock Pretreatment and Biodiésel Production. Recuperado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669018302474?via%3Dihub>

NIKHOM, R; MUEANMASA, C; PETCHKAEW, I; EWKITTAYAKORN, J y & PRASERTSIT, K. 2019 Extraction and esterification of waste coffee grounds oil as non-edible feedstock for biodiésel production. Renewable Energy, pp. 1414-1425. 2019. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2018.08.102.

NICOMEDES, E. (2018). Tipos de investigación. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>

ÑAUPAS, H (2013). Metodología de la investigación científica y elaboración de tesis. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

OLIVEIRA, L. 2007. Coffe oil as a potential feedstock for biodiésel production. United States. Biogreen. 12 págs

ONU. 2020. Programa para el medio ambiente, consulta el 17 de May. de 23, obtenido:

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf?sequence=35>

PÉREZ, D. (2017). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Quito: Universidad Internacional del Ecuador Guayaquil. ISSN 2477-9024

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 0262-2020/UCV. [en línea]. [Consulta: 12 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.ucv.edu.pe/wp-content/uploads/2020/11/RCUN%C2%B00262-2020-UCV-Aprueba-Actualizaci%C3%B3n-del-C%C3%B3digo-%C3%89tica-en-Investigaci%C3%B3n-1-1.pdf>

RODRI, J; SOFIA, B; BIRDSALL, M; YH. JOHN & CHUCK, C. 2015. Exhibition of chemical engineering principles through the production of biodiésel from spent coffee grounds. Recuperado: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed500824z#>

RODRÍGUEZ, Anaid A. Análisis de los factores determinantes para la óptima producción de biodiésel a partir de borra de café. Tesis, Universidad de las Américas Puebla. 2021. Disponible en: <http://repositorio.udlap.mx/xmlui/handle/123456789/14217>

SANDER, Aleksandra, PETRACIC, Ana, VUKOVIC, Jelena y HUSINEC, Lana. From Coffee to Biodiésel Deep Eutectic Solvents for Feedstock and Biodiésel Purification. Separations, pp. 76-87. 2020. DOI [10.3390/separations7020022](https://doi.org/10.3390/separations7020022)

TUNKLOVA, B; MALAT, J; JENI, L; NESKUDLA, M y VELEBIL, J. Use of Spent Coffee Ground as an Alternative Fuel and Possible Soil Amendment. Materials, pp. 15-19. 2022. ISSN 00241523. DOI [10.3390/ma15196722](https://doi.org/10.3390/ma15196722).

TUNTIWIWATTANAPUN, Nattapong, MONONO, Ewumbua, WIESENBORN, Dennis y TONGCUMPOU, Chantra, In-situ transesterification process for biodiésel production using spent coffee grounds from the instant coffee industry. Industrial Crops and Products, vol. 102, pp. 23-31. 2017. ISSN 09266690. DOI [10.1016/j.indcrop.2017.03.019](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.019)

YOUNG, Jun, HO Sung. Optimization of Biodiésel Production from Waste Coffee Grounds by Simultaneous Lipid Extraction and Transesterification. Biotechnology and Bioprocess Engineering, pp. 320-326. 2020. ISSN 12268376. DOI 10.1007/s12257-019-0353-6

TRIANA, C. 2020. Residuos de café serían materia prima para obtener biodiésel. Universidad Nacional de Colombia. Revisión en línea 27 de mayo del 2023:



<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/residuos-de-cafe-serian-materia-prima-para-obtener-biodiésel>

JENKINS, R; ELLIS, E; LEWIS, E; PATERSON, M; CHIEN DINH,L: TING, V & CHUCK, C. 2016. Biodiésel production from waste coffee beans from Vietnam: The yield, saturation and stability of the biofuel are high in comparison with conventional coffee biodiésel. Recuperado en <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9715-x>

VICENTE, A. (2012). Obtención de biodiésel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. Obtenido: <https://core.ac.uk/download/pdf/154167319.pdf>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Tabla de operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Extracción del aceite de residuos de café	Oliveira (2007), menciona que el aceite de café está compuesto por fracciones de lípidos y volátiles, reteniendo su aroma propio del café molido y tostado, también tiene un aroma a quemado derivado de la pirólisis que se da por altas temperaturas, para obtener este aceite como producto se da por dos procesos de extracción, por solventes y mecánica.	La extracción se realiza con sistema de soxhlet, con solvente, manipulando los intervalos de periodo y temperatura para la producción de biodiésel. los resultados de esta extracción se analizan para evaluar el rendimiento de biodiésel.	Propiedades fisicoquímicas del aceite extraído	Índice de acidez	Razón
				Densidad	Razón
				Ácidos grasos libres	Razón
Producción de biodiésel	Es un combustible sustituible proveniente de aceites vegetales ya sean comestibles o no comestibles, usados o nuevos y grasas de animales que tienen las características similares a los de petróleo tradicionales (Medina et al 2012).	Son Triglicéridos productos del proceso de transesterificación, en este caso utilizando como catalizador alcalino KOH, el producto obtenido químicamente representa una mezcla de ésteres alquilo caracterizadas de tener cadenas largas de ácidos grasos que otorga propiedades a la del petróleo	Propiedades del biodiésel	Índice de acidez	Razón
				Ácidos grasos libres	Razón
				Densidad	Razón
				Viscosidad cinemática	Razón

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2. Instrumento de recolección de datos



### REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS

FICHA DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE RESIDUOS DE CAFÉ	
TEMA DE INVESTIGACION	Extracción de aceite de residuos de café para la producción de biodiesel
AUTORES	Alverca Ortiz Efrén Flores Ipanaque Cecilia Vanessa

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL BIODIESEL DE RESIDUOS DE CAFÉ		
Ensayo	Unidad	Valor
Densidad	g/ml	0.87
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	5.73
Ácidos grasos libres	%	0.3079
Índice de acidez	mg KOH/g biodiesel	0.6127

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 19881200 hard  
Motivo: Soy el autor del  
Documento  
Fecha: 22/11/2023 21:01:47-0500

---

Análisis fisicoquímico del biodiésel a partir de aceite de residuos de café

**REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS**

FICHA DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE DE RESIDUOS DE CAFÉ	
TEMA DE INVESTIGACION	Extracción de aceite de residuos de café para la producción de biodiesel
AUTORES	Alverca Ortiz Efrén Flores Ipanaque Cecilia Vanessa

CARACTERISTICAS FÍSICAS DEL ACEITE DE RESIDUOS DE CAFÉ		
DENSIDAD	Valor	Unidad
	0.85526	g/ml



Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 16881280 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 22/11/2023 21:01:28-0500

---

Análisis físicos del aceite de residuos de café



### REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS

FICHA DE CARACTERIZACIÓN FISIQUÍMICA DEL ACEITE DE RESIDUOS DE CAFÉ	
TEMA DE INVESTIGACION	Extracción de aceite de residuos de café para la producción de biodiesel
SOLICITANTES DEL ANÁLISIS	Alverca Ortiz Efrén Flores Ipanaque Cecilia Vanessa

ACIDO GRASOS LIBRES	Valor	Unidad
% AGL	Muestra N°1	18.39
	Muestra N°2	18.42
	Muestra N°3	18.64
	PROMEDIO	18.48
		%

INDICE DE ACIDEZ	Valor	Unidad
ÍNDICE DE ACIDEZ	Muestra N°1	36.60
	Muestra N°2	36.66
	Muestra N°3	37.09
	PROMEDIO	36.7752
		mg NOH/g

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR: 18681200 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 22/11/2023 21:01:07-0500

---

Análisis químicos del aceite de residuos de café

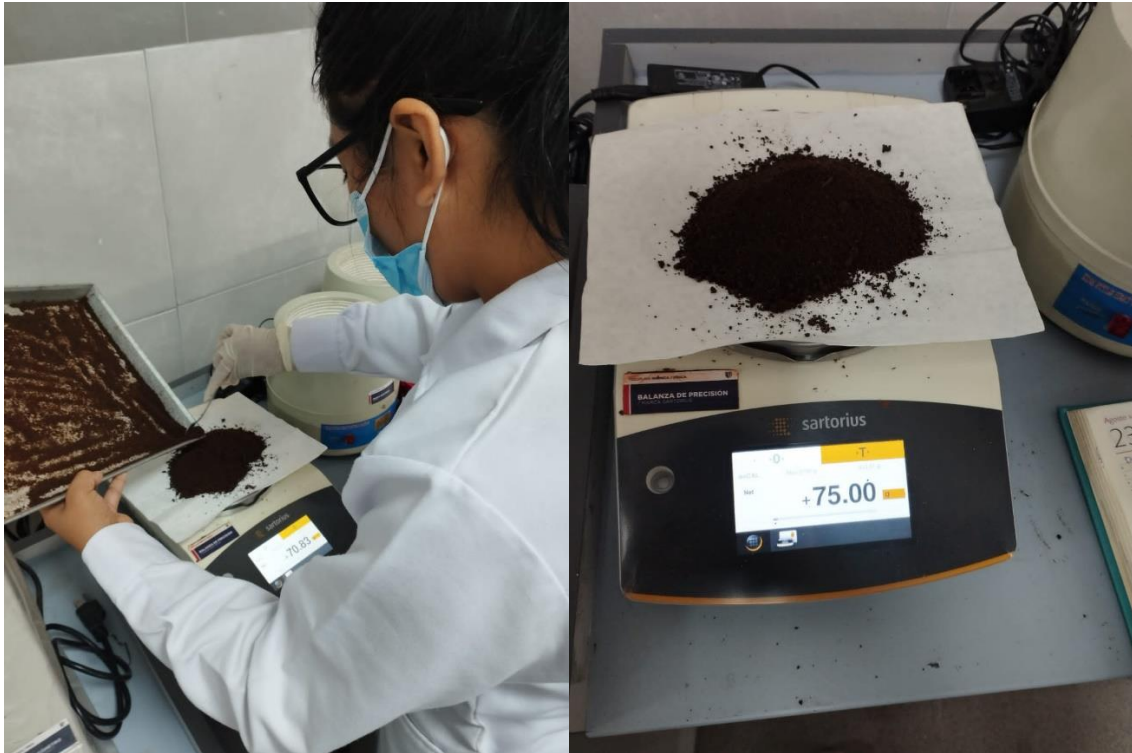
#### Anexo 4. Registro fotográfico



Café Catimor y su recolección después del filtrado



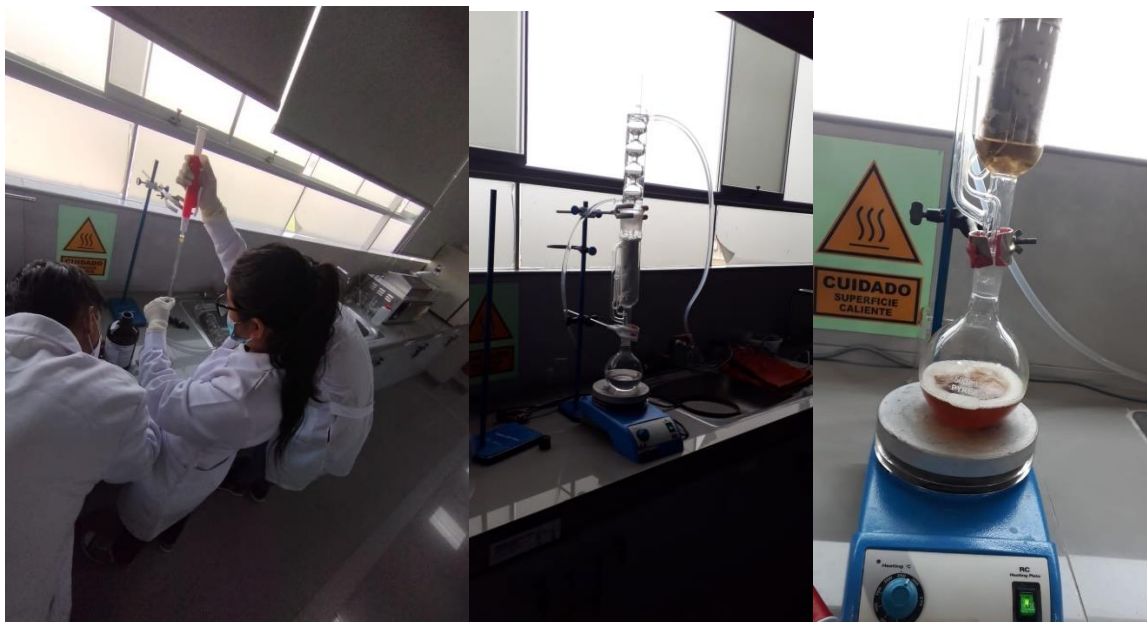
Residuos de café húmedos puestos en el horno a 80°C



Pesando 75 gr de residuos de café secos



Envolviendo los residuos de café con papel filtro



Extracción de aceite de residuo de café con el método soxhlet



Solvente (hexano) y aceites mezclados después de la extracción

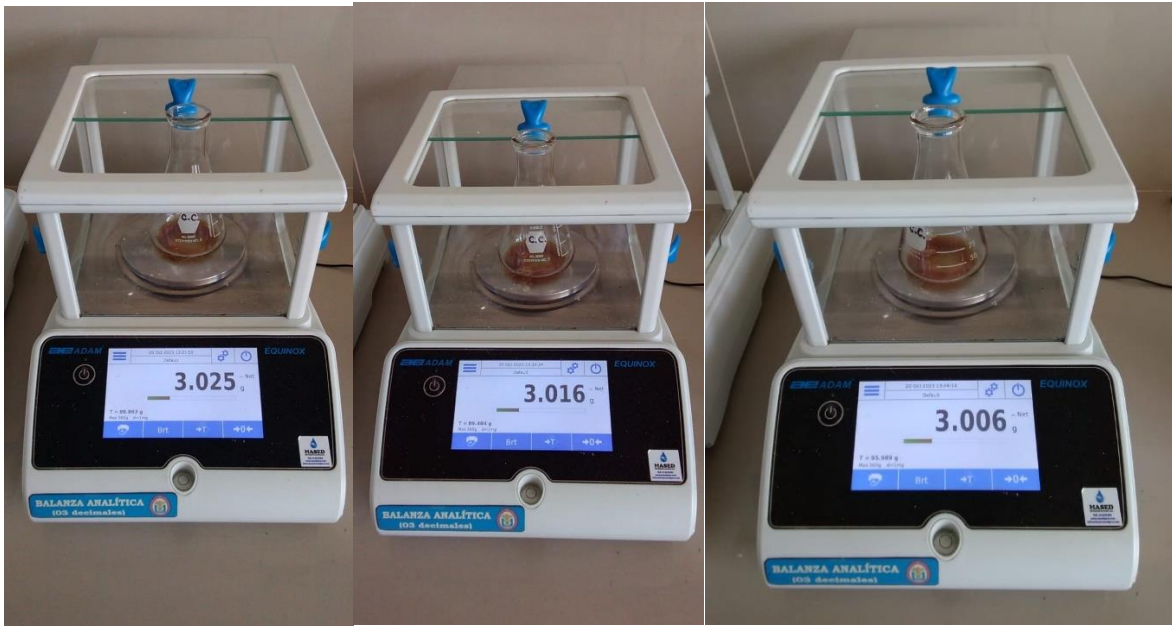




Destilación del aceite extraído y el hexano



Destilación con el rotavapor para separar los residuos de hexano en el aceite



Peso en gr de las tres muestras del mismo aceite para analizar el índice de acidez y %AGL



Esterificación y transesterificación para producir biodiésel