

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y AMBIENTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE
RESIDUOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE COCO (*Cocos*
***nucifera L.*)**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTORES : Bach. Ilter Peralta Garcia
Bach. Miriam Paola Moreto Tocto
ASESOR : M. Cs. Adán Díaz Ruíz

Línea de Investigación: LI_IFA_03 innovación tecnológica para el desempeño y competitividad para la calidad ambiental.

JAÉN-PERÚ, OCTUBRE, 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE COCO (Cocos nucifer

AUTOR

Ilder Peralta Garcia & Miriam Paola Moret o Tocto

RECUENTO DE PALABRAS

11188 Words

RECUENTO DE CARACTERES

56503 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

69 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.5MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 22, 2024 8:49 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 22, 2024 8:51 AM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 06 de septiembre del año 2024, siendo las 11:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Juan Manuel Garay Romón
Secretario : Dr. Lupo Acuña Vargas Pance
Vocal : Mg. María Maslani Torres Cruz, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- Trabajo de Investigación
 Tesis
 Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "Obtención de biocombustible a partir de aceite de residuos de la industrialización de coca (Cocinas rurales 2.)"



Presentado por estudiante/egresado o Bachiller Ilker Peralta García, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- Aprobar Desaprobar Unanimidad Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:50pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
 Ley de Creación N° 29304
 Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
 SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 26 de septiembre del año 2024, siendo las 11:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Juan Manuel Garay Román
 Secretario : Dr. Lupo Leonidas Vivas Ponce
 Vocal : Mg. María Marleni Torres Cruz, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
 (X) Tesis
 () Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "Obtención de biodiesel a partir de aceite de residuos de la industrialización de cacao (Cacao avicifera L.)"



Presentado por estudiante/egresado o Bachiller Miriam Paola Moreto Tacto, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | (<u>16</u>) |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:50 pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

[Signature]
Presidente

[Signature] [Signature]
Secretario Vocal

ÍNDICE

Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1. Lugar de ejecución	4
2.2. Materiales.....	4
2.2.1. Materia prima.....	4
2.2.2. Materiales de laboratorio.....	4
2.2.3. Equipos.....	5
2.2.4. Reactivos	5
2.3. Procedimientos	5
2.3.1 Procedimiento para la obtención de biodiesel	5
2.3.2 Caracterización del biodiesel.....	9
2.3.2.1 Determinación de densidad	9
2.3.2.2 Determinación de viscosidad cinemática	9
2.3.2.3 Determinación punto de ebullición	10
2.3.2.4 Determinación del índice de cetano	10
2.3.2.5 Determinación del índice de acidez.....	11
2.3.2.6 Determinación del punto nube	12
2.3.2.7 Determinación del punto de inflamación	12
2.3.3 Determinación del rendimiento del biodiesel.....	12
2.4. Análisis de datos.....	12
2.5. Diseño experimental.....	13
2.6. Hipótesis.....	13
III. RESULTADOS	15

3.1. Caracterización fisicoquímica del biodiesel obtenido con aceite de residuos de la industrialización del coco.....	15
3.2. Rendimiento del biodiesel obtenido con aceite de residuos de la industrialización del coco	22
3.3. Calidad del biodiesel obtenido, según la Norma Técnica Peruana (NTP)	23
IV. DISCUSIÓN.....	24
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
5.1. Conclusiones	27
5.2. Recomendaciones	28
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	29
ANEXOS.....	34

Índice de tablas

Tabla 1.	Diseño experimental de según proporcion molar	13
Tabla 2.	Comparación de parámetros de calidad del biodiesel obtenido.....	23
Tabla 3.	Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel.....	34
Tabla 4.	Test de Tukey para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel.....	35
Tabla 5.	Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel.....	36
Tabla 6.	Test de Tukey para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel.....	37
Tabla 7.	Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel.....	38
Tabla 8.	Test de Tukey para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel.....	39
Tabla 9.	Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel.....	40
Tabla 10.	Test de Tukey para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel.....	41
Tabla 11.	Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel.....	42
Tabla 12.	Test de Tukey para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel.....	43

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel.....	44
Tabla 14. Test de Tukey para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel.....	45
Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel.....	46
Tabla 16. Test de Tukey para los valores de índice de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel.....	47
Tabla 17. Análisis de varianza (ANOVA) para los porcentajes de rendimiento en las formulaciones de biodiesel.....	48
Tabla 18. Datos observados de las características fisicoquímicas y del rendimiento de las formulaciones de biodiesel.....	49
Tabla 19. Cálculo de la densidad (g/cm^3).....	50
Tabla 20. Cálculo de la viscosidad (mm^2/s)	51
Tabla 21. Cálculo del índice de cetano.....	52
Tabla 22. Cálculo del índice acidez (mg KOH/g).....	53
Tabla 23. Norma Técnica Peruana NTP 321.125.2008.....	54

Índice de figuras

Figura 1.	Flujograma de proceso para la obtención del biodiesel.....	6
Figura 2.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de densidad (g/cm ³) al 15 °C de las formulaciones de biodiesel.....	15
Figura 3.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de viscosidad cinemática (mm ² /s) de las formulaciones de biodiesel.....	16
Figura 4.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto de ebullición (°C) de las formulaciones de biodiesel.....	17
Figura 5.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de índice de cetano de las formulaciones de biodiesel.....	18
Figura 6.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de índice de acidez (mg KOH/g) de las formulaciones de biodiesel.....	19
Figura 7.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto nube (°C) de las formulaciones de biodiesel.....	20
Figura 8.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto de inflamación (°C) de las formulaciones de biodiesel.....	21
Figura 9.	Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio del rendimiento (%) de las formulaciones de biodiesel.....	22

Índice de anexos

Anexo 1.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel.....	34
Anexo 2.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel.....	36
Anexo 3.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel.....	38
Anexo 4.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel.....	40
Anexo 5.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel.....	42
Anexo 6.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel.....	44
Anexo 7.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel.....	46
Anexo 8.	Análisis de Varianza y Test de Tukey para los porcentajes de rendimiento en las formulaciones de biodiesel.....	48
Anexo 9.	Base de datos.....	49
Anexo 10.	Norma Técnica.....	54
Anexo 11.	Galería de fotos.....	55
Anexo 12.	Poder Calorífico Teórico (PCT) del biodiesel del aceite de coco.....	60

RESUMEN

En la industria agroalimentaria se generan una variedad de residuos que, si no reciben una gestión adecuada genera contaminación ambiental afectando el suelo y agua principalmente. Sin embargo, estos residuos pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de nuevos productos amigables con el medio ambiente. Es así que, el objetivo de la investigación fue obtener y caracterizar biodiesel a partir de aceite de residuos de la industrialización del coco (*Cocos nucifera* L.). Se utilizó equipo Soxhlet para la extracción del aceite, se obtuvo biodiesel mediante reacción de transesterificación con metanol, usando 0.2 g de NaOH como catalizador para cada relación molar aceite/metanol (1:10, 2:13, 1:5, 4:13) a una temperatura constante de 60 °C con un tiempo de reacción de 1 h. Los resultados obtenidos indican que es posible obtener biodiesel a partir de aceite de afrecho de coco, siendo la mejor relación molar 2:13 (aceite/metanol), con una densidad 0.86 g/cm³, índice de cetano 47.81, índice de acidez 0.34 mg KOH/g y punto nube 6 °C, viscosidad cinemática de 1.60 mm²/s, punto de inflamación de 104.33 °C y punto de ebullición de 259.83 °C. Se obtuvo biodiesel con un rendimiento promedio de 86.29%, siendo la relación molar 2:13 la que se aproxima a los estándares establecidos en la NTP 321.125 (2008).

Palabra clave: biodiesel, transesterificación, índice de cetano, viscosidad cinemática, punto de inflamación.

ABSTRACT

In the agri-food industry, a variety of waste is generated that, if not properly managed, generates environmental pollution, mainly affecting soil and water. However, these wastes can be used as raw materials to obtain new environmentally friendly products. Thus, the objective of the research was to obtain and characterize biodiesel from waste oil from the industrialization of coconut (*Cocos nucifera* L.). Soxhlet equipment was used for oil extraction, biodiesel was obtained by transesterification reaction with methanol, using 0.2 g of NaOH as catalyst for each oil/methanol molar ratio (1:10, 2:13, 1:5, 4:13) at a constant temperature of 60 °C with a reaction time of 1 h. The results obtained indicate that it is possible to obtain biodiesel from coconut oil, with the best molar ratio being 2:13 (oil/methanol), with a density of 0.86 g/cm³, cetane index 47.81, acidity index 0.34 mg. KOH/g and cloud point 6 °C, kinematic viscosity of 1.60 mm²/s, flash point of 104.33 °C and boiling point of 259.83 °C. Biodiesel was obtained with an average yield of 86.29%, the molar ratio being 2:13 which is close to the standards established in NTP 321.125 (2008).

Keyword: biodiesel, transesterification, cetane number, kinematic viscosity, flash point.

I. INTRODUCCIÓN

La producción excesiva de desechos en las agroindustrias de coco y la falta de conciencia ambiental están provocando serios problemas de contaminación y están contribuyendo de manera indiscriminada y acelerada al cambio climático. La industria agroalimentaria genera una amplia variedad de residuos en diversas etapas de su producción, lo que se ha convertido en una problemática global, ya que en su mayoría no reciben una gestión adecuada, agravando la degradación ambiental. Estos desechos de la agroindustria son viables de ser reutilizados en distintos métodos que involucren la creación de productos nuevos (Vidal et al, 2018).

Las principales ventajas del biodiesel son su biodegradabilidad, no explosividad, baja inflamabilidad, carácter renovable y la no toxicidad. Además, su combustión produce niveles reducidos de NO_x, CO₂, SO₂ y partículas (Mofijur et al, 2016). El uso del biocombustible es una alternativa para reemplazar los combustibles actuales, dado que este producto se puede producir empleando aceite vegetales y animales, presentado un menor grado de emisiones gaseosas, siendo una alternativa amigable para el ambiente.

Sánchez et al. (2016) caracterizaron biodiesel obtenido a partir de aceite de coco, para ello determinaron el tiempo, temperatura, relación molar y % de catalizador óptimo para alcanzar el mejor rendimiento. Obtuvieron biodiesel a nivel de laboratorio mediante reacción de transesterificación empleando NaOH al 0.5% (catalizador), a una temperatura de 60 °C, con relación molar de 6:1 de metanol-aceite y tiempo de 4 a 5 h. Reportaron 0.398 mg NaOH/g de índice de acidez, 187.23 mg KOH/g de índice de saponificación, 2.3475 cSt de viscosidad y rendimiento del 90%; las propiedades frías como punto de escurrimiento de - 4 °C punto de nube de 5.7 °C, Punto de Obstrucción de Filtro en Frio (POFF) de -2 °C.

Marquínez et al. (2020) extrajeron el aceite vegetal de coco y mediante reacción de transesterificación con metanol obtuvieron biodiesel. Calcularon la masa en cada fase del procedimiento y el rendimiento. Reportaron un rendimiento del 6.00% para la extracción del aceite y 92.31% para la conversión a biodiesel. Indicaron que si es posible emplear el aceite de coco como insumo para la fabricación de biodiesel.

Torres et al. (2016) obtuvieron biocombustible (biodiesel) empleando aceite de coco mediante la reacción de transesterificación. Utilizaron un catalizador homogéneo con una proporción de 0.5% de NaOH en relación al peso del aceite y 6:1 (relación molar). Emplearon 40 mL de aceite de coco y 41- 42 mL de metanol, con un rango de temperatura de 40 a 60 °C y tiempos de 30 minutos a 4 horas. Reportaron las condiciones que maximizaron el rendimiento y sus valores óptimos: poder calorífico del biodiesel de 39,000 J/kg, viscosidad de 2.351 cSt y densidad de 0.8517 g/cm³. Establecieron que las condiciones ideales de reacción fueron una temperatura de 60 °C, 4 horas de reacción y 0.5% de NaOH.

Ferreira et al. (2021) obtuvieron y realizaron un análisis exhaustivo del aceite obtenido de coco de babasú. Posteriormente, llevaron a cabo la preparación del biocombustible (biodiesel), a través de la reacción de transesterificación alcalina, usando hidróxido de potasio y metanol. Para caracterizar tanto el aceite como el biodiesel, aplicaron diversas técnicas de análisis como la transformada de Fourier infrarroja (FTIR). Los resultados de estas pruebas incluyeron parámetros cinemáticos como índice de inflamación, índice de acidez, densidad, punto de fluidez y viscosidad. En la cromatografía de gases, observaron una predominancia de ésteres metílicos derivados de láurico (C12:0), palmítico (C16:0) y mirístico (C14:0), estos hallazgos apuntan a que tanto el aceite de coco como el de babasú son adecuados para la elaboración de biodiesel.

Souza et al. (2019) caracterizaron el aceite de coco utilizado en la fabricación de biodiesel mediante la ruta etílica. Su objetivo fue analizar exhaustivamente las propiedades físico-químicas del aceite, incluyendo el contenido de cenizas, índice de acidez, humedad, material volátil, viscosidad, tensión superficial, porcentaje de ácidos grasos libres, punto de inflamación, poder calorífico, índice de saponificación, contenido total de glicerina y densidad. Los resultados demostraron que los parámetros investigados se hallaban dentro de los rangos aceptables. A partir de estos resultados, exploraron distintos procesos de producción de biodiesel utilizando la ruta etílica por medio de la transesterificación, variando

las composiciones de reactivos, catalizadores y condiciones del proceso. Este enfoque apuntaba a la innovación y al progreso tecnológico en la región.

De acuerdo con los antecedentes, el objetivo general de la investigación fue obtener biodiesel a partir de aceite de residuos de la industrialización del coco (*Cocos nucifera* L.). Los objetivos específicos fueron a) caracterizar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido a partir de aceite de residuos de la industrialización del coco, b) determinar el rendimiento del biodiesel obtenido con aceite de residuos de la industrialización del coco y c) comparar la calidad del biodiesel obtenido con la Norma Técnica Peruana (NTP) 321.125 (2008).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La investigación fue ejecutada en el Laboratorio de Química del Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Jaén - Provincia de Jaén - Cajamarca y Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Fabiola Salazar de Bagua - Amazonas

2.2. Materiales

2.2.1. Materia prima

Afrecho de coco, obtenido en la empresa de Agroindustria el Cóndor, ubicado en el C.P. de Santa Cruz, Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén.

2.2.2. Materiales de laboratorio

- 04 peras de decantación
- 01 matraz aforado 100 mL
- 03 embudos de vidrio
- 03 matraces de Erlenmeyer de 250 mL
- 01 termómetro
- 02 vasos precipitados de 500 mL
- 03 vasos precipitados de 50 mL
- 01 espátula
- 01 varilla de vidrio
- 01 pipeta graduada 10 mL
- 10 pipetas Pasteur
- 01 mechero de alcohol
- 02 soportes universales
- 03 picnómetros de 10 mL
- 02 tubos de ensayos

- 27 tubos capilares

2.2.3. Equipos

- 01 balanza electrónica (DPCS-040-BL. Dahongyng. China)
- 01 balanza analítica (ABS220-4N. Kern. Reino unido)
- 01 equipo baño maría (WNB-7. MEMMERT. Alemania)
- 01 estufa de secado (TC25-26339-7, KERTLAB, EE. UU).
- 01 equipo de destilación simple de laboratorio.
- 01 pH-metro (913 pH. Metrohm. Costa Rica).
- 01 equipo soxhlet
- 01 agitador magnético (i stir HP 320, Neuation. India)
- 01 viscosímetro (PREL 401052, FUNGILAB-EE. UU)

2.2.4. Reactivos

- Hidróxido de sodio, NaOH en pellets.
- Sulfato de sodio anhidrido, Na₂SO₄
- Carbón activado
- Metanol, CH₃OH
- Hidróxido de potasio, KOH

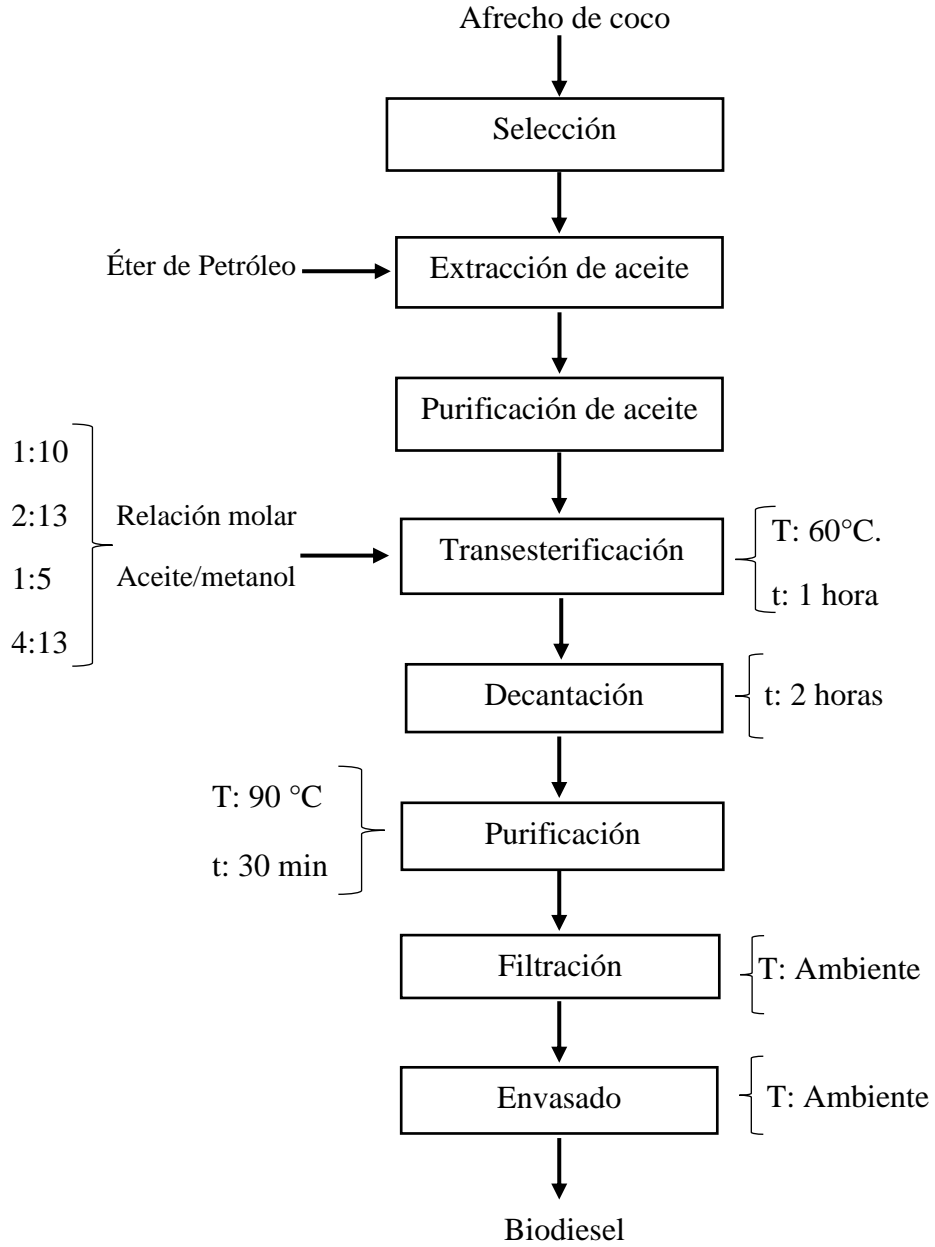
2.3. Procedimientos

2.3.1 Procedimiento para la obtención de biodiesel

El procedimiento para la obtención de biodiesel a partir del aceite residual del afrecho de coco mediante esterificación con metanol se detalla en la Figura 1.

Figura 1

Flujograma de proceso para la obtención del biodiesel.



Descripción del flujograma de la obtención de biodiesel

Selección

Se seleccionó el afrecho que se encuentre en buenas condiciones (libre de impurezas y no presenten indicios de descomposición).

Extracción de aceite

Se utilizó el equipo Soxhlet.

- La muestra se acondicionó en papel filtro en la cantidad necesaria de acuerdo con la capacidad de la cámara del equipo Soxhlet.
- Se armó el equipo Soxhlet.
- Se colocó en la recámara de Soxhlet el papel filtro acondicionado con la muestra.
- Se agregó 300 mL de éter de petróleo a la recámara Soxhlet, parte del solvente se dirigió hacia el balón.
- Se conectó la fuente de calor dando inicio al proceso de extracción.
- El éter ascendió en forma de vapor a través del conducto del Soxhlet hasta llegar al condensador, donde se condensa y se deposita en la cámara extrayendo el aceite del afrecho.
- Una vez que se llenó la cámara (Soxhlet) se produjo un sifón que permite que el solvente retorne al balón, iniciándose un nuevo proceso de extracción.
- Después de cuatro extracciones se dio por concluido el proceso.

Purificación de aceite

- La solución de aceite de coco extraído se transfirió a una pera de decantación.
- Se añadió 10 mL de solvente orgánico para la extracción exclusiva del aceite, y luego se agitó para aliviar la presión.
- Se obtuvo, aceite, agua y solvente orgánico, este último atrapó el aceite para facilitar la separación en una fase aceitosa del agua.
- Se realizó de 3 a 8 decantaciones.

- Luego, se añadió Na_2SO_4 y se realizó una decantación en el Beaker (utilizando papel filtro).
- Posteriormente, se transfirió la mezcla en envases y se sometió al calor para eliminar el éter de petróleo que suspende el aceite.
- Se recuperó el éter de petróleo mediante destilación simple y el aceite se introdujo en un horno a $74\text{ }^\circ\text{C}$ para la completa evaporación del solvente.

Transesterificación

Se colocó el aceite de coco en un balón de 500 mL en un reactor de reflujo, (Figura 24) a temperatura de $60\text{ }^\circ\text{C}$, se puso el balón en un agitador magnético (i stir HP 320, Neuation, India). Una vez alcanzado esta temperatura, se mezcló con el metanol que contiene 0.2 g de NaOH disuelto, se dejó reaccionar durante 60 min con agitación continua.

Decantación

Una vez concluido el periodo de reacción, se realizó el proceso de decantación, permitiendo que la mezcla repose durante un lapso de dos horas en una pera de decantación de 250 mL, con una abertura parcial en la tapa.

En este proceso, se formó dos fases claramente diferenciadas: el biodiesel y la glicerina, las cuales se separaron debido a inmiscibilidad. Situándose la glicerina en la parte inferior por tener mayor densidad (1.26 g/cm^3).

Purificación

El biodiesel obtenido en la etapa de separación, se introdujo en un matraz de Erlenmeyer y se añadió un 1 g de carbón activado, luego se calentó a $90\text{ }^\circ\text{C}$ en continua agitación durante 30 minutos. Después de este lapso, se colocó en una pera de decantación durante 2 horas.

Filtración

Esta operación se llevó a cabo una vez que el biodiesel purificado esté a temperatura ambiente. Se colocó un papel filtro en un embudo en el soporte universal, y se filtró de forma gradual.

Se eliminó las trazas de agua añadiendo Sulfato de sodio anhidrido (Na_2SO_4), Luego se decantó el biodiesel y se midió el volumen obtenido.

Envasado

El producto obtenido se envasó en botellas de color ámbar.

2.3.2 Caracterización del biodiesel

2.3.2.1 Determinación de densidad

Se utilizó el método del picnómetro que consiste en lo siguiente:

Se lavó el picnómetro con alcohol y se secó en la estufa a una temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 min, se enfrió y se pesó (P1). Luego se llenó el picnómetro con biodiesel, teniendo cuidado con no excederse, se limpió el picnómetro para eliminar restos de biodiesel de la parte externa. Se pesó el picnómetro con biodiesel (P2) y se anotó la temperatura. La densidad se calculó con la ecuación 1.

$$Densidad = \frac{P2 - P1}{V} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

P1 : Peso del picnómetro vacío.

P2 : Peso del picnómetro con biodiesel

V : Volumen del picnómetro.

2.3.2.2 Determinación de viscosidad cinemática

Se utilizó un Viscosímetro de la marca FUNGILAB.

Se midió la cantidad de 50 mL de biodiesel en un vaso precipitado, luego se introdujo el husillo a una velocidad de 100 RPM y se anotó la viscosidad dinámica en cP y la temperatura $^\circ\text{C}$.

La viscosidad cinemática se calculó con la ecuación 2

$$\text{Viscosidad Cinematica} = \frac{\text{Viscosidad Dinámica}}{\text{Densidad del Biodiesel } 40^{\circ}\text{C}} \dots \dots (2)$$

2.3.2.3 Determinación punto de ebullición

Se utilizó el método de Siwoloboff.

Se tomó un capilar de vidrio y se selló por un extremo utilizando el mechero. Para sellarlo, se tomó de un extremo y el otro se acerca a la llama del mechero en la zona más caliente, girándose sobre sí mismo, de manera constante para crear un sello uniforme, se retiró de la llama y se observó si el capilar se ha sellado. Se dejó enfriar.

Se fijó firmemente un tubo de ensayo en el extremo de una varilla de vidrio, se agregó 0.5 mL de biodiesel en el tubo de ensayo con la ayuda de una pipeta Pasteur, y posteriormente se colocó el capilar dentro del tubo de ensayo con el extremo abierto hacia abajo, sumergido en el biodiesel.

Se llenó un vaso de precipitado hasta $\frac{3}{4}$ partes con glicerol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) y se introdujo el montaje termómetro-tubo-capilar de tal forma que el tubo quede cubierto $\frac{3}{4}$ partes por glicerol y que el biodiesel no entre dentro de él.

Para el calentamiento del sistema se utilizó un mechero, se calentó hasta que el extremo inferior del capilar sumergido en el glicerol de un flujo de continuo de burbujas saliendo del extremo abierto del capilar (rosario de burbujas). Cuando se observó este fenómeno, se suspendió el calentamiento y se mantuvo la observación sobre el sistema. En el momento en que el biodiesel entre y comience a ascender a través del capilar, se anotó la temperatura indicada en el termómetro y se dejó enfriar el sistema (Figura 32).

2.3.2.4 Determinación del índice de cetano

Se utilizó la norma ASTM D976-06.

Se utilizó una muestra de 50 mL de biodiesel en un balón de 250 mL, luego lo colocamos en el equipo de destilación y se anotó la temperatura en el 10%, 50% y 90% de destilado recolectado respectivamente (Figura 33).

Se calculó el índice de cetano con la ecuación 3

$$\begin{aligned}
IC = & 45.2 + 0.0892 T_{10N} + [0.131 + 0.901B] T_{50N} \\
& + [0.0523 - 0.420B] T_{90N} \\
& + 0.00049 [(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2] + 107B + 60(B)^2 \dots (3)
\end{aligned}$$

Donde:

D : Densidad a 15 °C [g/ml] determinada según Método ASTM D 1298.

$$B : e^{[-3.5(D-0.85)]} - 1$$

T10: Temperatura (°C) a la que destila el 10% según Método ASTM D 86.

T10N: T10 - 215.

T50: Temperatura (°C) a la que destila el 50% según Método ASTM D 86.

T50N: T50 - 260.

T90: Temperatura (°C) a la que destila el 90% según Método ASTM D 86.

T90N: T90 - 310.

T10, T50 y T90 han de corregirse para la presión atmosférica normalizada

2.3.2.5 Determinación del índice de acidez

Se utilizó el método de titulación volumétrica.

En un matraz se colocó 20 mL de alcohol etílico de 96°, adicionándole 5 gotas de dilución alcohólica de fenolftaleína al 1 %. En un vaso precipitado se pesó 10 g de biodiesel y este se agregó al matraz con la solución de alcohol y fenolftaleína y agitó con ayuda de un agitador magnético. Se tituló con hidróxido de potasio al 0.02724 N en continua agitación hasta que vire a un color rosa y se mantenga entre 8 a 10 segundos como mínimo. Se anotó el volumen gastado de la solución de hidróxido de potasio.

El índice de acidez se calculó con la ecuación 4

$$\text{Número de acidez} = 5.611 * \text{vol. gastado}(KOH) * \text{normalidad}(KOH)$$

2.3.2.6 Determinación del punto nube

Se utilizó el método de baño de agua fría (hielo y NaCl).

En un tubo de ensayo con tapón agujerado para el termómetro se colocó 20 mL de biodiesel, por otra parte, en un vaso de precipitado se llenó hasta $\frac{3}{4}$ de hielo rayado con NaCl. Se introdujo el tubo de ensayo conteniendo el biodiesel, se midió la temperatura al iniciarse la solidificación del biodiesel (Figura 35).

2.3.2.7 Determinación del punto de inflamación

Se utilizó el método de copa abierta.

En un recipiente de porcelana de 60 mL, se colocó 15 mL de biodiesel, se empleó un sensor de temperatura externo, y se sujetó algodón en un extremo de una varilla de vidrio y se empapó con alcohol. Con un mechero se calentó el recipiente de porcelana conteniendo el biodiesel, y se aproximó la varilla con llama, se anotó la temperatura en el destello (flash) del biodiesel al inflamarse (Figura 36).

2.3.3 Determinación del rendimiento del biodiesel

Para calcular el rendimiento se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad obtenida}}{\text{Cantidad esperada}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

2.4. Análisis de datos

Se determinó la normalidad de los datos. Se aplicó el análisis de varianza ANOVA, posteriormente se evaluaron entre que formulaciones se presentan las diferencias significativas, mediante el Test de Tukey. En cada una de las pruebas de hipótesis se consideró un nivel de significancia del 5%.

El software con el que se trabajaron los análisis estadísticos es Minitab en su versión 19.

2.5. Diseño experimental

Se empleo un diseño experimental simple con restricciones con un factor, proporción molar aceite/metanol con cuatro niveles y tres repeticiones. Constituido por doce unidades experimentales.

Tabla 1

Diseño experimental de según proporción molar

Formulación	Proporción molar aceite/metanol	Repeticiones
F ₁	1:10	R ₁
		R ₂
		R ₃
F ₂	2:13	R ₁
		R ₂
		R ₃
F ₃	1:5	R ₁
		R ₂
		R ₃
F ₄	4:13	R ₁
		R ₂
		R ₃

2.6. Hipótesis

Si es posible obtener biodiesel a partir de aceite de residuos de la industrialización del coco (*Cocos nucifera* L.).

Variable independiente:

- Proporción molar aceite/ metanol
 - 1:10
 - 2:13
 - 1:5
 - 4:13

Variable dependiente:

- Características fisicoquímicas del biodiesel
 - Viscosidad
 - Densidad
 - Punto de ebullición
 - Punto nube
 - Índice de cetano
 - Punto de inflamación
 - Índice de acidez

- Rendimiento
 - Porcentaje

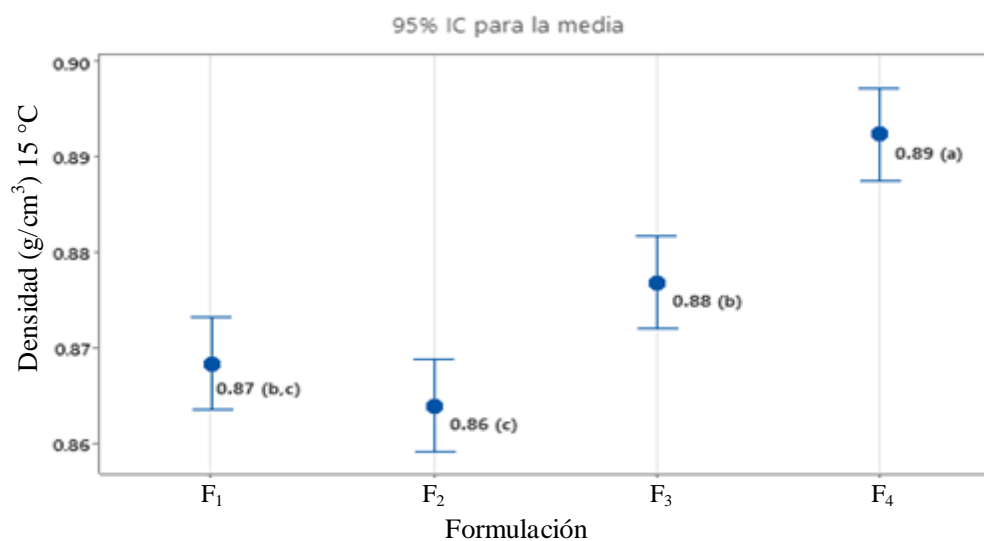
III. RESULTADOS

3.1. Caracterización fisicoquímica del biodiesel obtenido con aceite de residuos de la industrialización del coco

En la Figura 2 se tiene representados gráficamente los promedios de densidad de cada una de las formulaciones de biodiesel, así como sus intervalos de confianza. Se puede ver que existen diferencias significativas entre cada formulación, esto como resultado del análisis de varianza y del test de Tukey (Anexo 2). Se puede ver que, la formulación F₄ es el que tiene mayor densidad, con un promedio de 0.89 g/cm³ para la relación molar 4:13 aceite/metanol, se diferencia significativamente de las demás formulaciones, mientras que F₁ y F₂ (comparten la letra c) no presentan valores significativamente diferentes entre sí, siendo las formulaciones con menor densidad promedio 0.86 g/cm³ para la relación molar 2:13 aceite/metanol.

Figura 2

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de densidad (g/cm³) al 15 °C de las formulaciones de biodiesel.

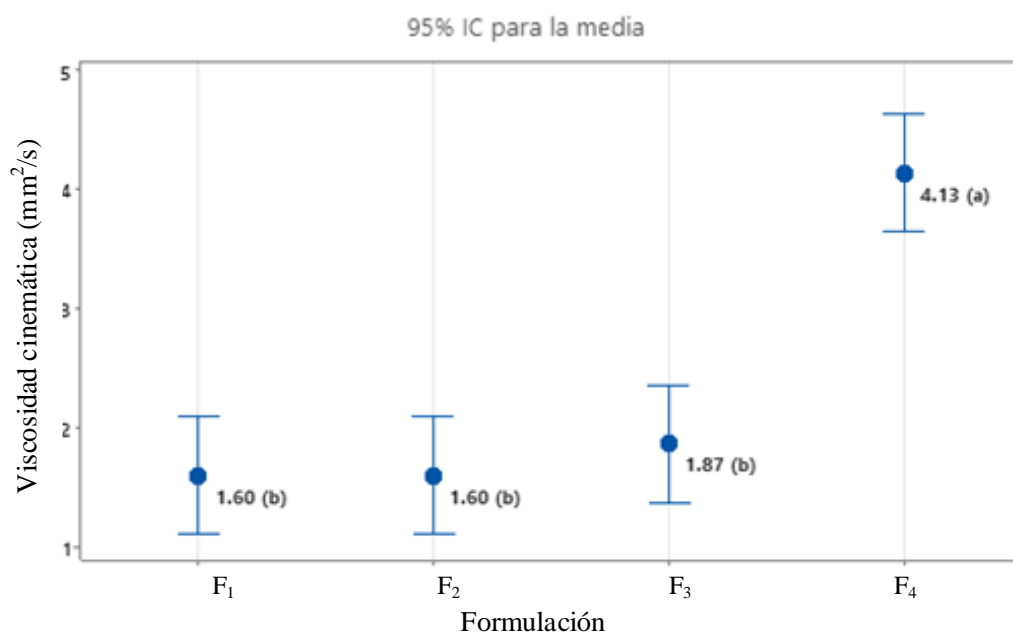


Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

En la Figura 3 se muestran los promedios y sus intervalos de confianza para los valores de viscosidad cinemática en cada formulación de biodiesel. Además, como resultado del análisis de varianza y test de Tukey (Anexo 3) se asignan letras diferentes a las formulaciones cuyos valores presentan diferencias significativas. Se puede ver que, la formulación F₄ (letra a) es el que tiene mayor viscosidad cinemática, diferenciándose significativamente de las demás formulaciones, con un promedio de 4.13 mm²/s, mientras que F₁, F₂ y F₃ (letra b) no presentan valores significativamente diferentes entre sí.

Figura 3

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de viscosidad cinemática (mm²/s) de las formulaciones de biodiesel.

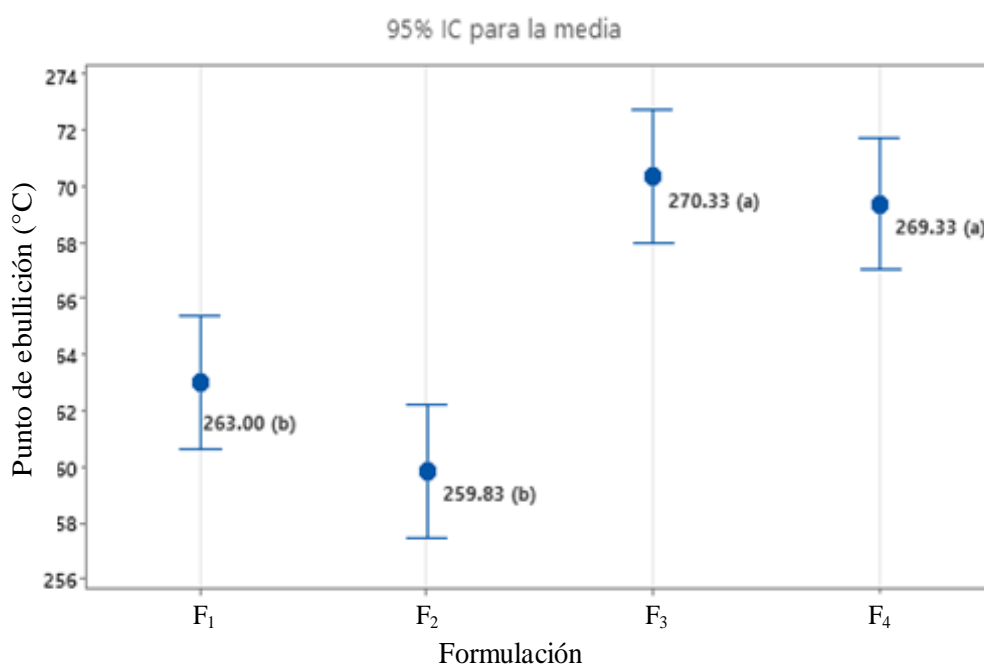


Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

Los promedios e intervalos de confianza para los valores de punto de ebullición en cada una de las formulaciones de biodiesel se muestran en la Figura 4. Así como el resultado del análisis de varianza y del test de Tukey (Anexo 4) en el que se asigna una letra distinta a las formulaciones con diferencias significativas. Se puede ver que, las formulaciones F₃ y F₄ tienen valores significativamente similares (letra a); con 270.33 °C y 269.33 °C en promedio, respectivamente, son estadísticamente mayores que las formulaciones F₁ y F₂ (letra b), que en promedio presentaron valores de 263.00 °C y 259.83 °C, respectivamente.

Figura 4

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto de ebullición (°C) de las formulaciones de biodiesel.

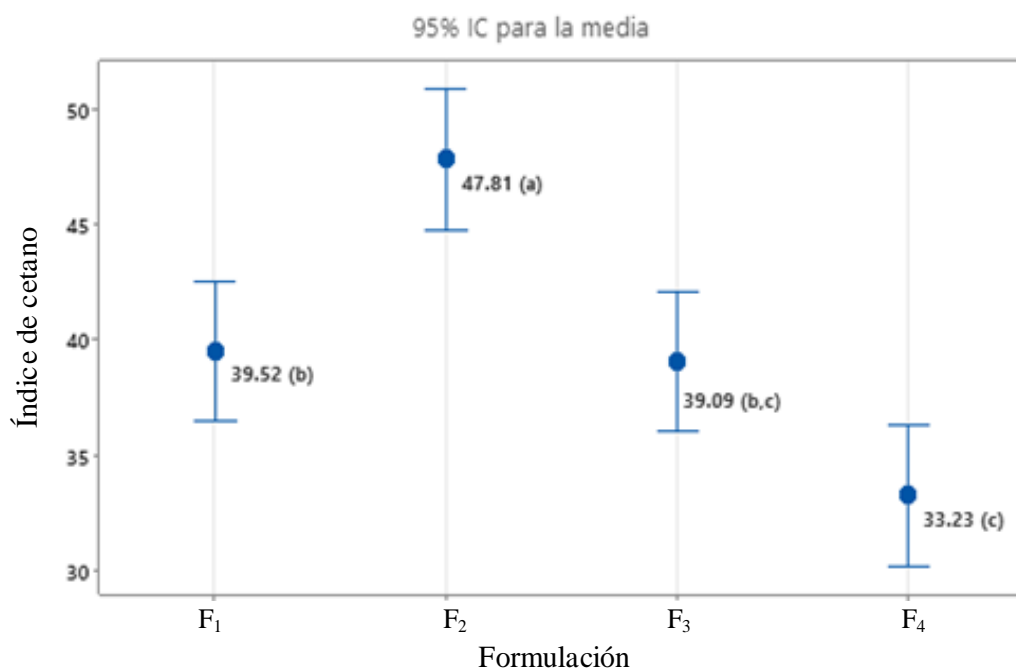


Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

En la Figura 5 se muestran los promedios y sus intervalos de confianza para los valores de índice de cetano en cada formulación de biodiesel. Además, como resultado del análisis de varianza y test de Tukey (Anexo 5) se asignan letras diferentes a las formulaciones cuyos valores presenten diferencias significativas. Se puede ver que, la formulación F₂ (letra a) es el que tiene mayor índice de cetano con un promedio de 47.81, diferenciándose significativamente de las demás formulaciones; mientras que F₃ y F₄ (letra c) presentan los menores índices de cetano, habiendo obtenido en promedio 39.09 y 33.23, respectivamente.

Figura 5

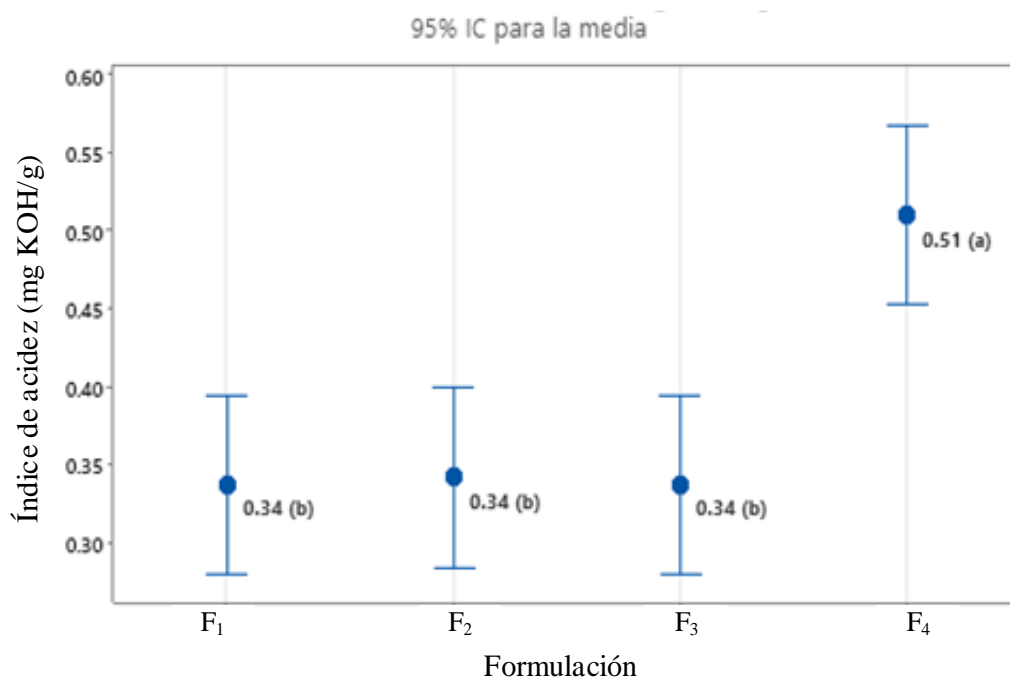
Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de índice de cetano de las formulaciones de biodiesel.



En la Figura 6 se muestran los promedios y sus intervalos de confianza para los valores de índice de acidez en cada formulación de biodiesel. Además, como resultado del análisis de varianza y test de Tukey (Anexo 6) se asignan letras diferentes a las formulaciones cuyos valores presenten diferencias significativas. Se puede ver que, la formulación F₄ (letra a) es el que tiene mayor índice de acidez, diferenciándose significativamente de las demás formulaciones, con un promedio de 0.51 mg KOH/g, mientras que F₁, F₂ y F₃ (letra b) no presentan valores significativamente diferentes entre sí, habiendo obtenido en promedio 0.34 mg KOH/g.

Figura 6

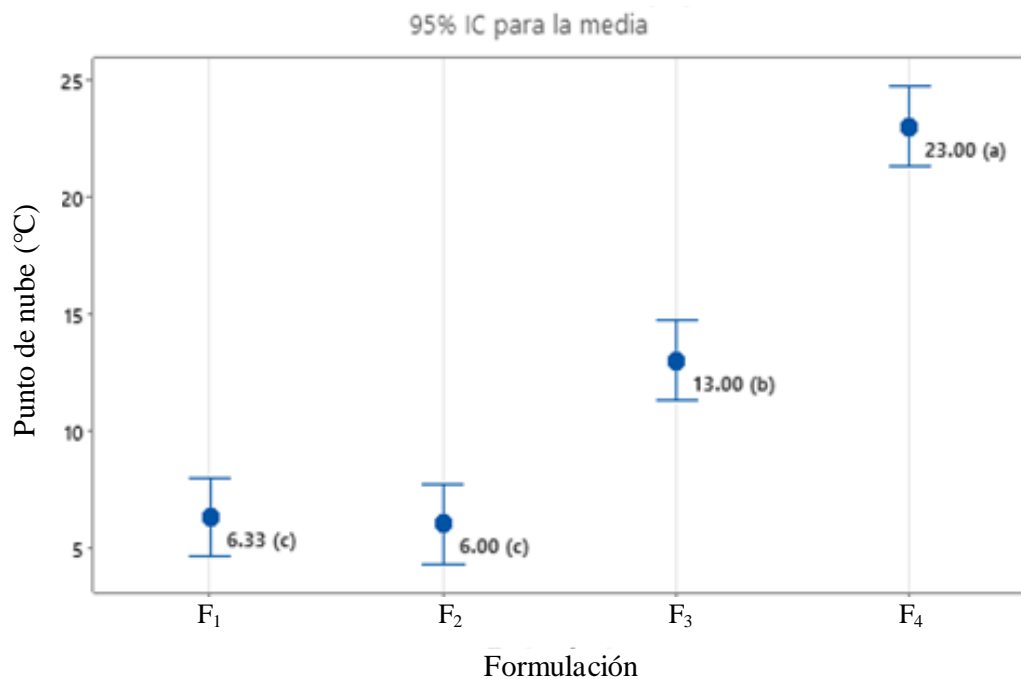
Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de índice de acidez (mg KOH/g) de las formulaciones de biodiesel.



En la Figura 7 se tienen los promedios e intervalos de confianza para los valores de punto nube en cada formulación de biodiesel. Además, como resultado del análisis de varianza y test de Tukey (Anexo 7) se asignan letras diferentes a las formulaciones cuyos valores presenten diferencias significativas. Se puede ver que, la formulación F₄ (letra a) es el que tiene mayor punto nube, diferenciándose significativamente de las demás formulaciones, con un promedio de 20 °C, mientras que F₁ y F₂ (letra c) presentan los más bajos valores de punto nube, siendo similares significativamente entre sí, con un promedio de 6.33 °C y 6 °C, respectivamente.

Figura 7

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto nube (°C) de las formulaciones de biodiesel.

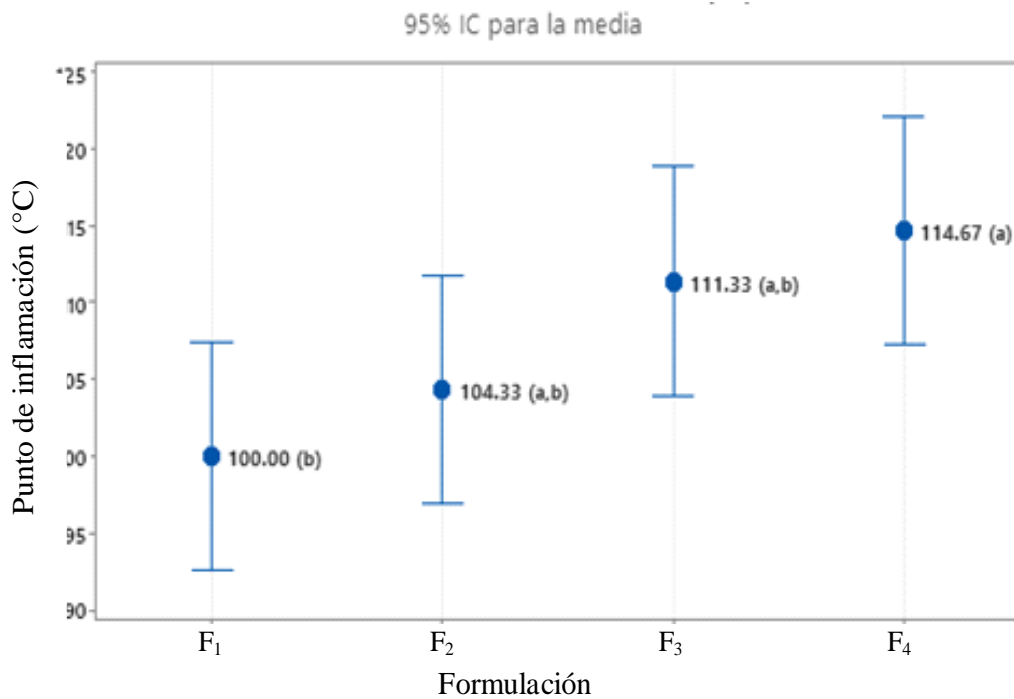


Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

Los promedios e intervalos de confianza para los valores de punto de inflamación en cada uno de las formulaciones de biodiesel se muestran en la Figura 8. Así como el resultado del análisis de varianza y del test de Tukey (Anexo 8) en el que se asigna una letra distinta a las formulaciones con diferencias significativas. Se puede ver que, la formulación F₄ (letra a) con 114.67 °C en promedio, es mayor y se diferencia significativamente de la formulación F₁ (letra b) que tiene un promedio de 100.00 °C.

Figura 8

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio de punto de inflamación (°C) de las formulaciones de biodiesel.



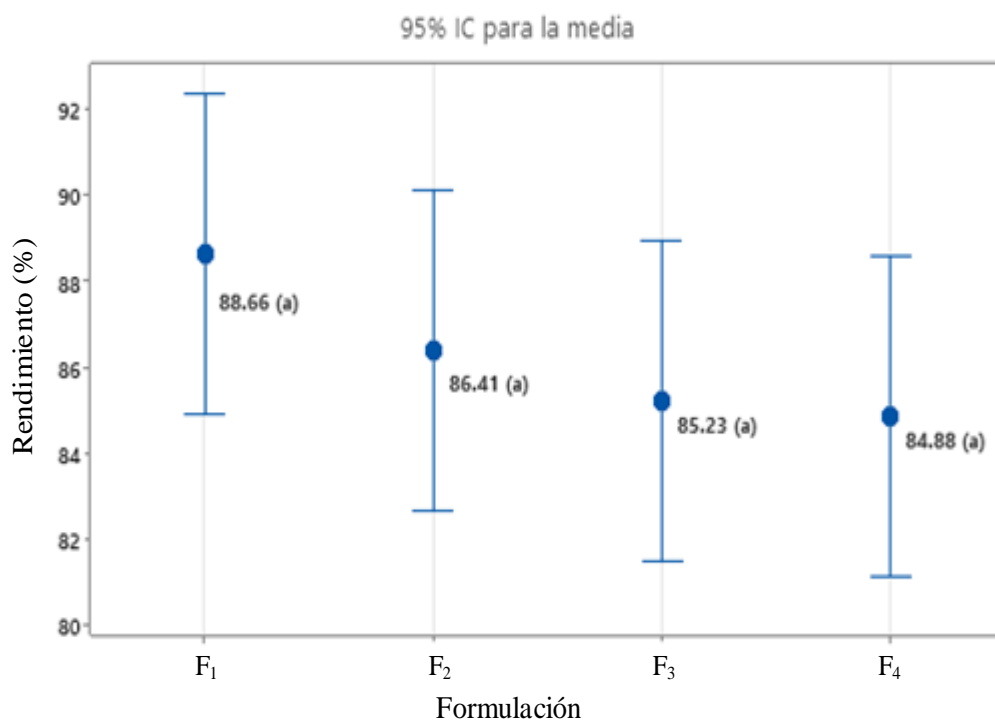
Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

3.2. Rendimiento del biodiesel obtenido con aceite de residuos de la industrialización del coco

En la Figura 9 se muestran los promedios y sus intervalos de confianza para los porcentajes de rendimiento de cada formulación de biodiesel. Además, como resultado del análisis de varianza y test de Tukey (Anexo 9) se asignan letras diferentes a las formulaciones cuyos valores presenten diferencias significativas. Se puede ver que, no existen diferencias significativas en el rendimiento de las cuatro formulaciones de biodiesel. Los porcentajes de rendimiento varían de 84.88% para F₄ hasta 88.66% para F₁

Figura 9

Intervalos de confianza y Test de Tukey, para el promedio del rendimiento (%) de las formulaciones de biodiesel.



Los promedios que no comparten letra son significativamente diferentes, nivel de significancia 5%

3.3. Calidad del biodiesel obtenido, según la Norma Técnica Peruana (NTP)

En la Tabla 2 se tienen los promedios de cada una de las características fisicoquímicas para las cuatro formulaciones de biodiesel, así como sus respectivos límites establecidos por la Norma Técnica Peruana (NTP).

Para los resultados obtenidos ninguno de las formulaciones cumple con todos los parámetros establecidos por la NTP 321.125 (2008).

El parámetro densidad y punto de nube lo cumplen todas las formulaciones, la viscosidad solo la relación molar 4:13, y índice de cetano solo la relación molar 1:5, índice de acidez lo cumplen todas las formulaciones excepto la relación molar 4:13, punto de ebullición y punto de inflamación no lo cumple ninguna formulación.

Tabla 2

Comparación de parámetros de calidad del biodiesel obtenido

Indicador / Formulación	Promedio por proporción molar				NTP 321.125 (2008)	
	1:10	2:13	1:5	4:13	Mín.	Máx.
Densidad (g/cm ³) 15°C	0.87	0.86	0.88	0.89	0.86	0.90
Viscosidad cinemática (mm ² /s) 40 °C	1.60	1.60	1.87	4.13	1.90	6.00
Punto de ebullición (°C)	263.00	259.83	270.33	269.33	330.00	360.00
Índice de Cetano	39.52	47.81	39.09	33.23	47.00	-
Índice de acidez (mg KOH/g)	0.34	0.34	0.34	0.51	-	0.50
Punto nube (°C)	6.33	6.00	13.00	23.00	-15.00	-
Punto de inflamación (°C)	100.00	104.33	111.33	114.67	130.0	-

IV. DISCUSIÓN

Se obtuvo biodiesel con densidad promedio entre 0.86 g/cm^3 , para la relación molar 2:13 aceite/metanol, y 0.89 g/cm^3 para la relación molar 4:13 aceite/metanol, estos resultados son ligeramente mayores a los reportados por Torres et al. (2016) que para una relación molar 1:6, obtuvieron una densidad de 0.8517 g/cm^3 , lo mismo que reportó Sánchez et al. (2016) que obtuvieron una densidad de 0.8599 g/cm^3 para la misma relación molar y 4h de tiempo de reacción; esta diferencia puede deberse a que se empleó una mayor relación molar aceite/metanol, y menor tiempo de reacción (1h), además el biodiesel obtenido fue a partir de aceite del afrecho de coco. La viscosidad cinemática promedio se encuentra entre $1.60 \text{ mm}^2/\text{s}$, para la relación molar 1:10 aceite/metanol, y $4.13 \text{ mm}^2/\text{s}$, para la relación molar 4:13 aceite/metanol, estos resultados concuerdan con los reportados por Gilces et al. (2024) que obtuvieron $1.97 \text{ mm}^2/\text{s}$ para una relación molar 1:6 con tiempo de reacción de 1h; Sánchez et al. (2016) reportaron una viscosidad $2.3475 \text{ mm}^2/\text{s}$ y Torres et al. (2016) presentaron una $2.351 \text{ mm}^2/\text{s}$ para la misma relación molar con un tiempo de reacción de 4h, estas similitudes se debe a que se han utilizado aceite de coco para la obtención del biodiesel, dado que se ha obtenido el mismo tipo de producto. El punto de ebullición promedio se encuentra entre $259.83 \text{ }^\circ\text{C}$, para la relación molar 2:13 aceite/metanol y $270.33 \text{ }^\circ\text{C}$ para la relación molar 1:5 aceite/metanol, valores que se encuentran por debajo del mínimo ($< 330 \text{ }^\circ\text{C}$) establecido en la NTP. Sin embargo, son superiores a los obtenidos por Hernández et al. (2017) que obtuvieron biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* L., cuyo punto de ebullición está en el rango de $190 \text{ }^\circ\text{C}$. Castañeda y Harlich (2019) obtuvieron biodiesel a partir de aceite de palma con punto de ebullición de $212.23 \text{ }^\circ\text{C}$, estas diferencias se debe a que se emplearon diferentes tipos de materia prima en la obtención del biodiesel. El índice de cetano promedio está entre 33.23, para la relación molar 4:13 aceite/metanol y 47.87, para la relación molar 2:13 aceite/metanol, estos resultados son similares de los reportados por Guarenas y Chirinos (2007) que obtuvieron 40.3 de índice de cetano para biodiesel de aceite de coco, sin embargo, los valores obtenidos están por debajo de lo reportado por Musa et al. (2015) que para una relación volumen de 100 mL aceite y 30 mL metanol (relación molar 1:6) cuyo valor promedio de 51, valor muy cercano a lo obtenido con la proporción 2:13, por tratarse de la

misma materia prima. El índice de acidez presentó un promedio entre 0.34 mg KOH/g, para la relación molar 1:10 aceite/metanol y 0.51 mg KOH/g, para la relación molar 4:13 aceite/metanol. Estos resultados concuerdan con los reportados por Sánchez et al. (2016) que obtuvieron índice de acidez de 0.398 mg KOH/g y Gilces et al. (2024) 0.486 mg KOH/g, ambos para una relación molar 1:6 a una temperatura de reacción de 60 °C, dado que, se ha emplearon el mismo tipo de aceite y la misma temperatura de reacción, se genera los mismos tipos de ácidos grasos durante la transesterificación, por lo tanto, se presentará el mismo nivel de acides. Sin embargo, Araújo (2008) con relación molar 2:13 aceite/alcohol con un tiempo de reacción de 1h y una temperatura de 80 °C obtuvo 0.28 mg KOH/g y Musa et al. (2015) con un valor de 0.18 mg KOH/g con un tiempo de reacción de 1h y una temperatura de 65 °C, esta diferencia puede deberse a que emplearon diferentes temperaturas de reacción de transesterificación. El punto nube obtenido oscila entre 6 °C, para la relación molar 2:13 aceite/metanol y 23 °C, para la relación molar 4:13 aceite/metanol, estos resultados son diferentes a los obtenidos por Sánchez et al. (2016) que obtuvieron un punto nube de 5.7 °C, así mismo, Musa et al. (2015) que reportaron un punto nube de 0 °C ambos para la misma relación molar 1:6, dichos valores discrepan con los obtenidos debido a que se usó diferentes relaciones molares, tiempos de reacción y temperaturas. El punto de inflamación promedio se encuentra entre 100.00 °C, para la relación molar 1:10 aceite/metanol y 114.67 °C para la relación molar 4:13 aceite/metanol, estos resultados concuerdan con lo obtenido por Musa et al. (2015) que para una relación volumen de 30 mL metanol y 100 mL aceite (relación molar 1:6) obtuvieron un punto de inflamación de 100.00 °C; sin embargo se discrepa con Araújo (2008) para una relación molar 1:6.5 aceite/alcohol, obtuvo un punto de inflamación de 90.00 °C siendo menor a lo obtenido, esto se debería a que las relaciones molares son diferentes.

Se obtuvo biodiesel con un rendimiento entre 84.88% para la formulación F4 (relación molar 4:13) y 88.66% para la formulación F1 (relación molar 1:10) siendo el promedio 86.29%, estos resultados están por debajo de lo reportado por Marquínez et al. (2020) que obtuvieron un rendimiento de 92.31%, Sánchez et al. (2016) que reportaron un rendimiento de 90%. Por otra parte, los resultados que se obtuvieron son superiores a los dados por Silva et al. (2014) que obtuvieron un máximo rendimiento de 84.1% y Musa et al. (2015) un rendimiento de 49.8%. estas diferencias podrían deberse a otros factores, como la variedad, fuente del aceite, entre otros, además, dado que no existe diferencias significativas ($p > 0.005$) entre las

formulaciones, entonces este parámetro, no depende de las relaciones molares aceite/metanol.

De acuerdo con Tabla 2, la formulación que cumple con la mayoría de parámetros según la NTP es la formulación 2 (relación molar 2:13), presenta una densidad de 0.86 g/cm^3 , este valor concuerda con Araujo (2008) que obtuvo una densidad de 0.879 g/cm^3 ; índice de cetano de 47.81, valor cercano a lo reportado por Musa et al. (2015) con un índice de cetano de 51, pero discrepa con Guarenas (2007) que obtuvo índice de cetano de 40 muy por debajo de lo que indica la NTP; el índice de acidez fue de 0.34 mg KOH/g que concuerda con Sánchez et al.(2016) con 0.398 mg KOH/g , Musa et al. (2015) con 0.18 mg KOH/g , Gilces et al. (2024) con 0.486 mg KOH/g , Araújo (2008) con 0.28 mg KOH/g y punto nube de $6 \text{ }^\circ\text{C}$ que concuerda con Sánchez et al (2016) con $5.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y Musa et al. (2015) con $0 \text{ }^\circ\text{C}$; todo estos valores cumplen con la NTP. En cuanto a los demás parámetros están cerca del mínimo (viscosidad cinemática $1.60 \text{ mm}^2/\text{s}$, punto de ebullición $259.83 \text{ }^\circ\text{C}$ y punto de inflamación 104.33°C) al igual que Musa et al. (2016) con un punto de inflamación de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y Araújo (2008) con $90 \text{ }^\circ\text{C}$ acercándose al mínimo de lo requerido.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a) Las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido a partir de aceite de residuos de la industrialización del coco fueron: la densidad está entre 0.86 - 0.89 g/cm³, la viscosidad cinemática entre 1.60 - 4.13 mm²/s, el punto de ebullición entre 263 - 270.33 °C, el índice de cetano entre 33.23 - 47.81, índice de acidez entre 0.34 - 0.51 mg KOH/g, el punto nube entre 6 - 23 °C y punto de inflamación entre 100 - 114.67 °C.
- b) El rendimiento promedio del biodiesel fue 86.29%, siendo el mejor rendimiento de 88.66% para la relación molar 1:10 (aceite/metanol).
- c) La densidad y punto de nube de los biodiesel obtenidos están comprendidos dentro lo estipulado en la NTP 321.125 (2008), así mismo, el índice de acidez a excepción de la relación molar 4:13 aceite/metanol que, si cumple con la viscosidad cinemática y los restantes se aproximan al mínimo, el índice de cetano solo cumple la relación molar 2:13 y los demás están por debajo del mínimo, el punto de ebullición y punto de inflamación se aproximan a lo establecido por la NTP. Siendo la relación molar 2:13 la que se aproxima a los estándares establecidos por dicha norma.

5.2. Recomendaciones

- A la Escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental fomentar la utilización de residuos forestales y agroindustriales para la obtención y caracterización de nuevos productos.
- A los investigadores realizar estudios de caracterización de biodiesel empleando espectroscopia de masas y cromatografía de gases.
- A los investigadores del Departamento de Ingeniería Forestal Ambiental, formular proyectos de investigación relacionado al aprovechamiento de la biomasa residual forestal y la producida por la agroindustria para la obtención y caracterización de bioenergía tales como: biodiesel, bioetanol, biogás.
- A los investigadores realizar estudios para purificar la glicerina obtenida como subproducto y ser utilizada como materia prima en otros procesos.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Araújo, G., (2008). *Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Coco (Cocos nucifera L.)*. [Tesis de Maestría. Universidad Federal de Rio Grande del Norte Centro Tecnológico.

<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15750>
2. Castañeda, M., y Harlich, R. (2019). *Destilación de Biodiesel de Aceite de Palma (Elaeis guineensis)*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_4c3c70f43524fc6ed759a15a4c2f7a23
3. Ferreira, J., Silva, J., Mendes, F., Sousa, M., Costa, J., Maia, F., Mathias, A., y Volken, C. (2021). *Óleo de Aceite de Coco Babaçu (Orbignya Speciosa Mart.) Como Matérias Primas para Produção de Biodiesel*. Revista ION, 34(2), 95–104.
<https://doi.org/10.18273/REVION.V34N2-2021009>
4. Guarenas, A. y Chirinos, A. (2007). *Producción de Biodiesel de Aceite de Coco Artesanal de una Población del Estado Falcón*. PROSPECTIVA, 5(2), 16-23

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251110004>
5. Gilces, E., Moreira, K., García, S., Cevallos, R., y García, A. (2024) *Transesterificación y Epoxidación del Aceite de Coco*. Revista INQUIDE, 6(1), 20-25.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9499516>
6. Hernández, L., Benitez, M., y Aguilera, B. (2017). *Obtención y Caracterización del Biodiesel a partir de Aceite de Jatropha Curcas L.* CIGET, 1(1), 1-11.

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181358269004/html/#:~:text=La%20destilaci%C3%B3n%20a%20presi%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica,no%20est%C3%A1%20recogida%20en%20las>

7. Mofijur, M., Rasul, M., Hyde, J., Azad, K., Mamat, R., y Bhuiya, M. (2016). *Role of Biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on Internal Combustion Engines Emission Reduction*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 265–278.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.08.046>

8. Marquínez, A., Loor, N., Guamán, C., Vélez, J. A., Solórzano, K., Rodríguez, J., y Riera, M. (2020). *Obtención de Biodiésel a Partir de Aceite de Coco (Cocos nucifera L.)*. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 9-14.

<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2605>

9. Musa, N., Teran, G., y Yaman, S. (2015). *Characterization of Coconut Oil and Its Biodiesel*. *Journal of Scientific Research & Reports*, 9(6), 1-6.

<https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/510>

10. Norma Técnica Peruana NTP 321.125. (2008). *Biocombustibles Biodiésel*. <https://dokumen.tips/documents/ntp-321125-biocombustiblesbiodiesel.html>

11. Sánchez, S., Laredo, G., Torres, A., Lugo, R., y Cervantes, Y. (2016). *Producción y Caracterización de Biodiésel a Partir de Aceite de Coco Orgánico*. *Revista Academia*. https://www.academia.edu/31664420/Producci%C3%B3n_y_caracterizaci%C3%B3n_de_biodiesel_a_partir_de_aceite_de_coco_org%C3%A1nico

12. Souza, F., Vinícius, G., Alves, L., Souza, L., Santiago, J., y Alves, S. (2019). *Caracterização do Óleo De Coco a ser Utilizado Na Produção De Biodiesel Via Rota Etílica*. *Ciência e Tecnologia de Sergipe*, 92–100.

https://www.academia.edu/102199446/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_Do_%C3%93leo_De_Coco_a_Ser_Utilizado_Na_Produ%C3%A7%C3%A3o_De_Biodiesel_via_Rota_Et%C3%ADlica

13. Torres, A., Sánchez, S., Lugo, R., Cervantes, Y., y Torres, E. (2016). *Caracterización de Propiedades Físicas del Biodiesel a Partir de Aceite de Coco y Medición del Poder Calorífico*. Revista Academia.

https://www.academia.edu/download/51986601/2016_E12.pdf

14. Vidal, M., Suárez, A., Barrios, K., Pérez, J., y Lara, W. (2018). *Potencial de Residuos Agroindustriales para la Síntesis de Carbón Activado*. Scientia y Technica, 23(03)

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>

DEDICATORIA

A Dios por sus bendiciones y su amor infinito.

A mis padres Edilmer Moreto Garcia y María Araceli Tocto Rueda por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional, por estar en todo momento a mi lado y me siguen apoyando para lograr cada uno de mis metas, estando presentes en cada paso que doy para lograrlos.

Así mismo, a mis hermanos Anthony E. Moreto Tocto y Willian J. Moreto Tocto por siempre estar apoyándome, a mi abuelito Alejandro Tocto Campos por sus consejos y apoyo en etapa de mi vida.

Miriam Paola Moreto Tocto

A Dios; por ser mi guía y fortaleza en todo momento.

A mis padres Donaciano Peralta Montenegro y Elena Garcia Gavidia; por su cariño, apoyo incondicional, enseñanzas y valores inculcados.

A mis hermanos Yohany, Euner y Roy; por brindarme palabras de aliento y porque son mi alegría e inspiración para ser mejor cada día.

Iiter Peralta Garcia

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios por permitirme seguir adelante, por sus bendiciones y por guiarme en esta etapa de mi vida.

Agradezco a nuestro asesor al M. Cs. Adán Díaz Ruíz por su paciencia, su tiempo, su apoyo en la presente investigación.

A mis padres Edilmer Moreto García y Araceli Tocto Rueda por acompañarme y brindarme su apoyo incondicional.

Miriam Paola Moreto Tocto

Agradecer a Dios por la vida, la salud y siempre darme fuerzas para seguir adelante y permitirme lograr mis objetivos y metas en la vida, a pesar de las dificultades y momentos difíciles que he pasado en el camino.

A mi familia por ser el motivo de superación y en especial a mis padres Elena y Donaciano y mis hermanos Yohany, Euner y Roy por su apoyo moral y económico en el transcurso de mi carrera universitaria y para la realización de esta tesis.

A mi asesor M. Cs. Adán Díaz Ruíz por brindarme acogida, tiempo y ayuda en este proyecto; en base a sus conocimientos y experiencia adquirida en el transcurso de su trayectoria profesional ha sabido direccionar las ideas y conocimientos.

A mis amigos, docentes y todas las personas que me brindaron su ayuda y consejos durante mis años en universidad y en la ejecución de la tesis.

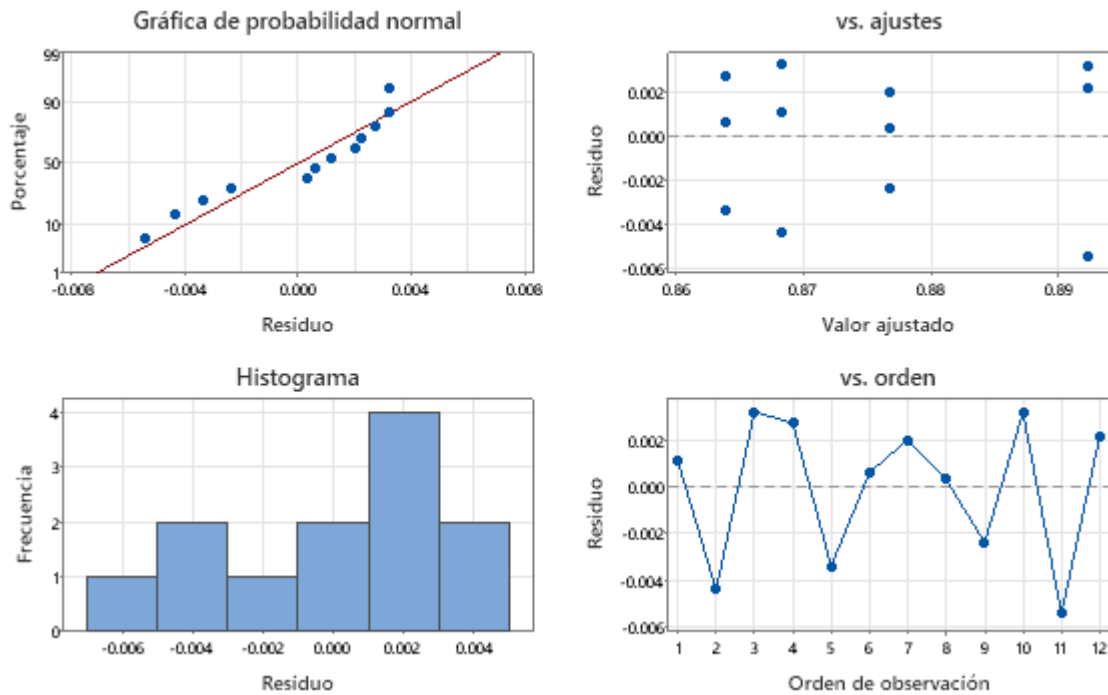
Ilter Peralta Garcia

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel

Figura 10

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para densidad (g/cm^3) a $15\text{ }^\circ\text{C}$



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 3

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	0.0014	0.0005	35.9600	0.0000
Error	8	0.0001	0.0000		
Total	11	0.0015			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de densidad iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de densidad son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existen diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna (H₁).

Tabla 4

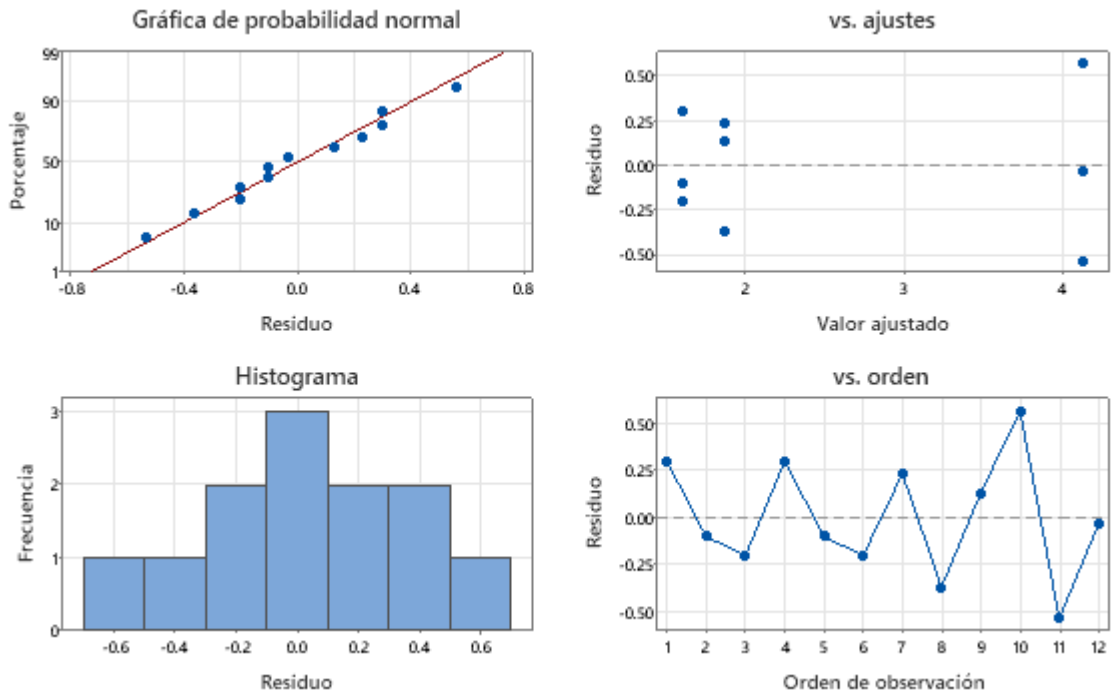
Test de Tukey para los valores de densidad en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₄	3	0.8923	a
F ₃	3	0.8769	b
F ₁	3	0.8684	b c
F ₂	3	0.8640	c

Anexo 2. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel

Figura 11

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para viscosidad cinemática (mm^2/s).



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 5

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	13.5870	4.5289	33.1400	0.0000
Error	8	1.0930	0.1367		
Total	11	14.6800			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de viscosidad cinemática iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de viscosidad cinemática son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Tabla 6

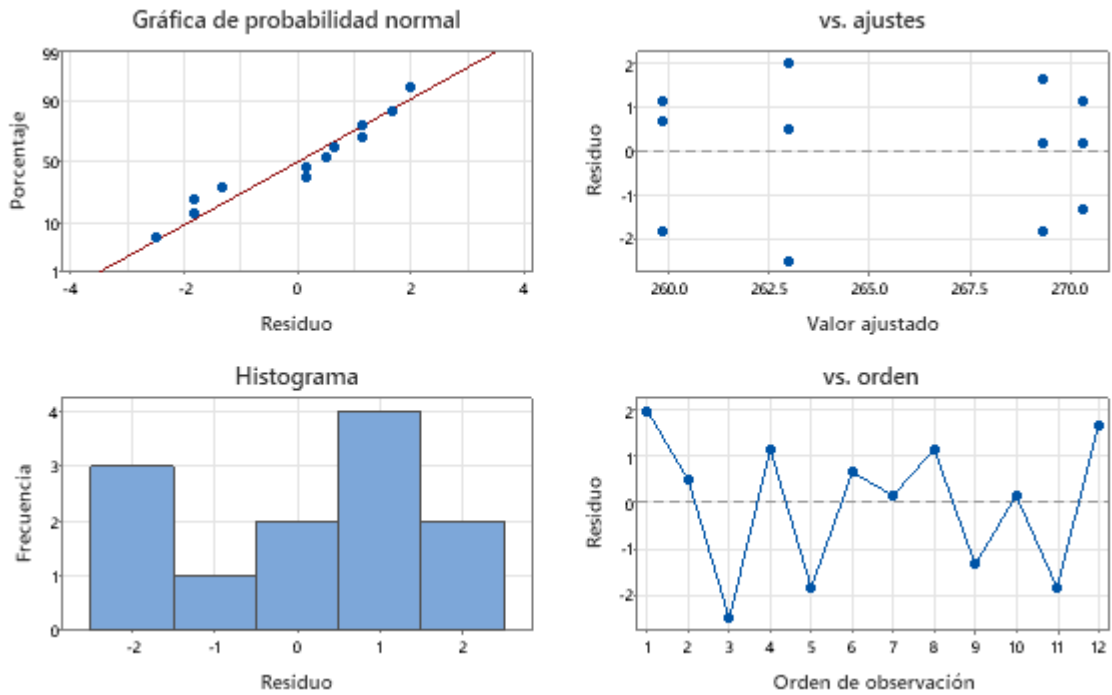
Test de Tukey para los valores de viscosidad cinemática en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₄	3	4.1330	a
F ₃	3	1.8670	b
F ₂	3	1.6000	b
F ₁	3	1.6000	b

Anexo 3. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel

Figura 12

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para punto de ebullición (°C).



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 7

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	229.0600	76.3540	24.4300	0.0000
Error	8	25.0000	3.1250		
Total	11	254.0600			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de punto de ebullición iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de punto de ebullición son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existen diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Tabla 8

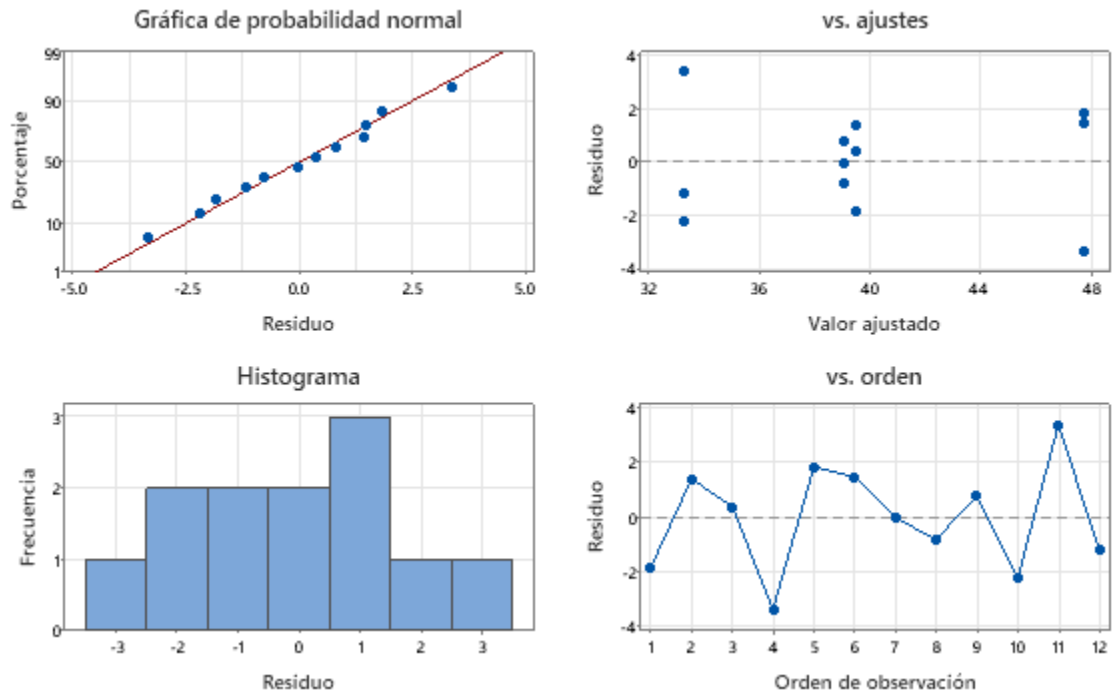
Test de Tukey para los valores de punto de ebullición en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₃	3	270.3330	a
F ₄	3	269.3300	a
F ₁	3	263.0000	b
F ₂	3	259.8330	b

Anexo 4. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel

Figura 13

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para índice de cetano.



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	323.4400	107.8150	20.8400	0.0000
Error	8	41.3800	5.1720		
Total	11	364.8200			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de índice de cetano iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de índice de cetano son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna (H₁).

Tabla 10

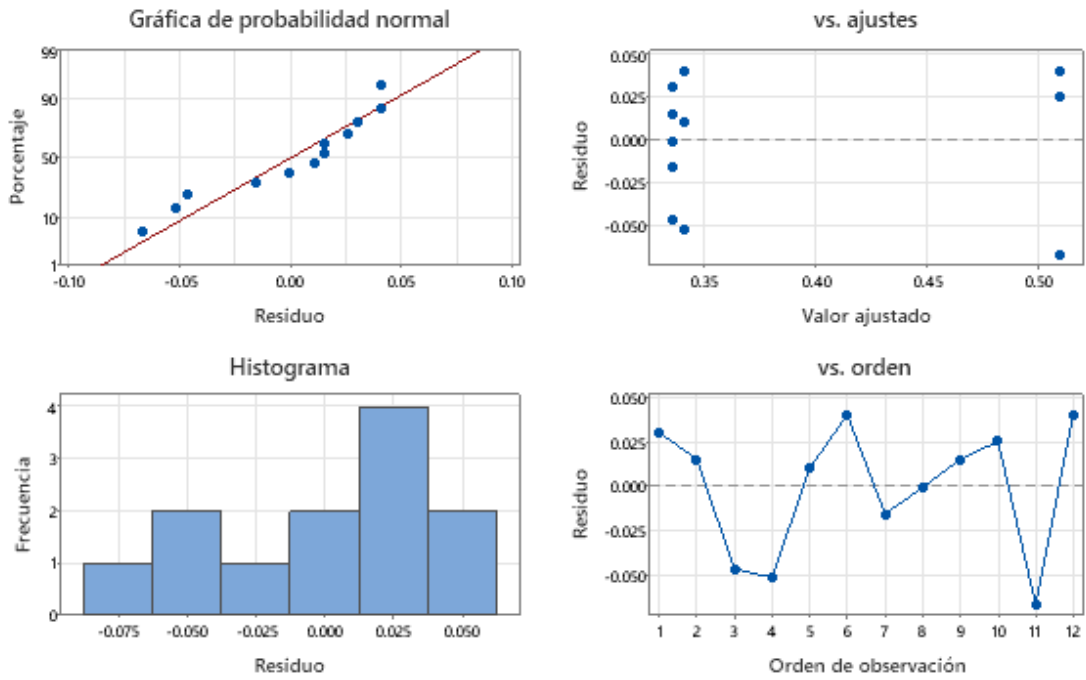
Test de Tukey para los valores de índice de cetano en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₂	3	47.8100	a
F ₁	3	39.5170	b
F ₃	3	39.0900	b c
F ₄	3	33.2300	c

Anexo 5. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel

Figura 14

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para índice de acidez (mg KOH/g)



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 11

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	0.0661	0.0220	11.8100	0.0030
Error	8	0.0149	0.0019		
Total	11	0.0810			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de índice de acidez iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de índice de acidez son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna (H₁).

Tabla 12

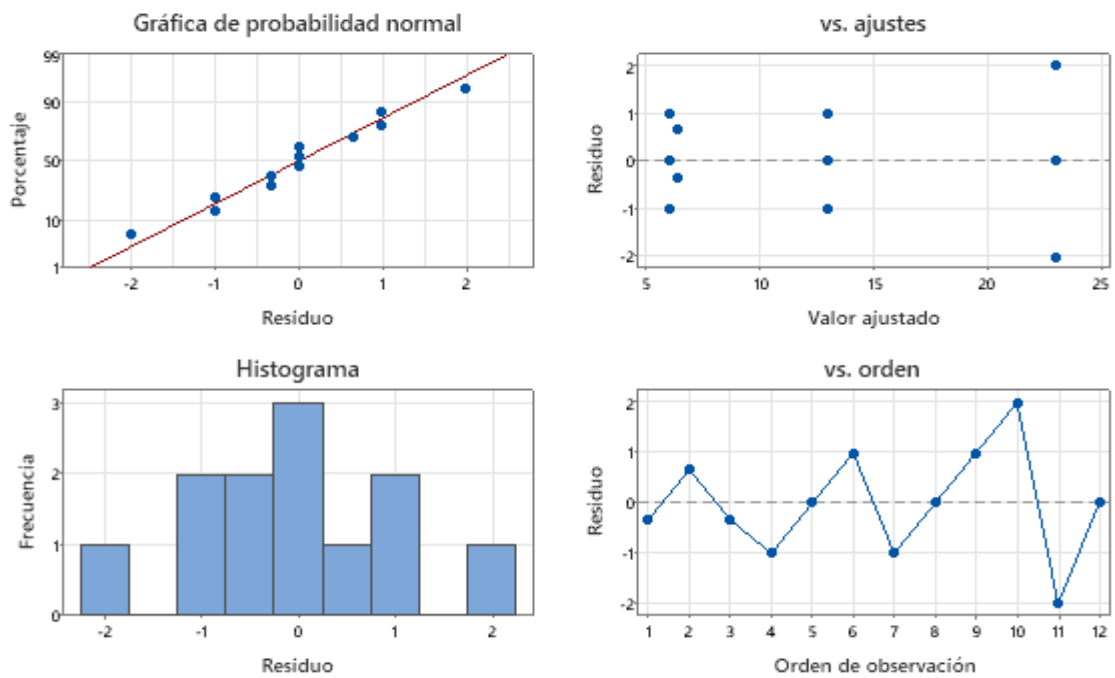
Test de Tukey para los valores de índice de acidez en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₄	3	0.5093	a
F ₂	3	0.3413	b
F ₃	3	0.3363	b
F ₁	3	0.3363	b

Anexo 6. Análisis de Varianza y Test de Tukey para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel

Figura 15

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para punto nube (°C).



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 13

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	570.2500	190.0830	120.0500	0.0000
Error	8	12.6700	1.5830		
Total	11	582.9200			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de punto nube iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de punto nube son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Tabla 14

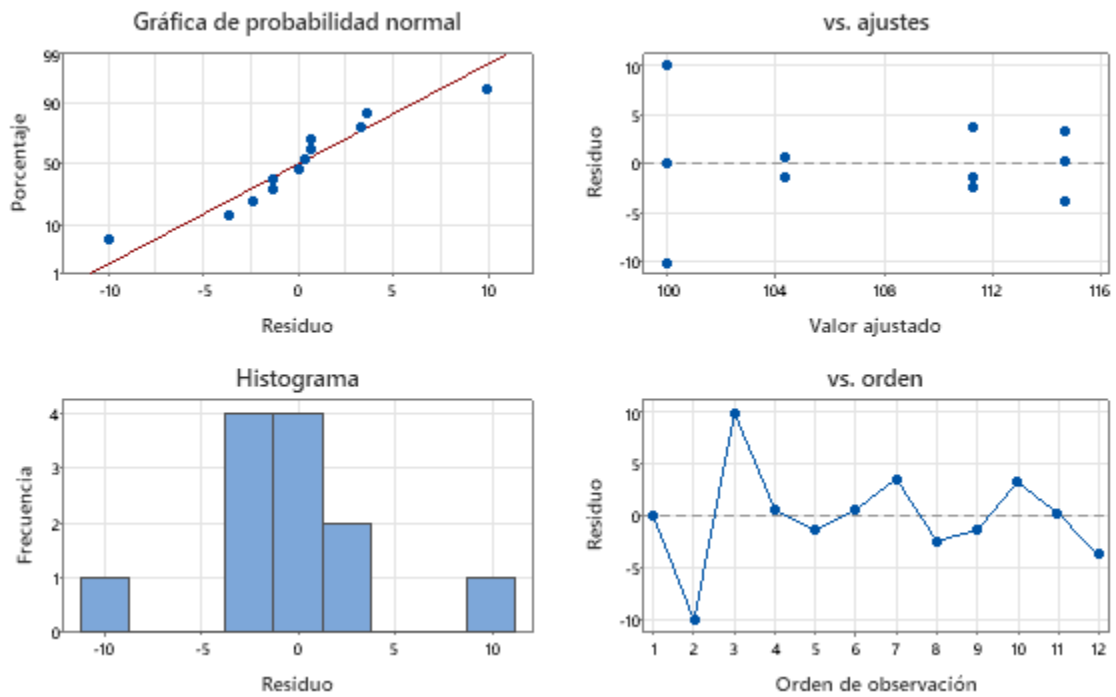
Test de Tukey para los valores de punto nube en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación
F ₄	3	23.0000	a
F ₃	3	13.0000	b
F ₁	3	6.3330	c
F ₂	3	6.0000	c

Anexo 7. Análisis de varianza y Test de Tukey para los valores de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel.

Figura 16

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para punto de inflamación (°C)



Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	396.9000	132.3100	4.2700	0.0450
Error	8	248.0000	31.0000		
Total	11	644.9000			

Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de punto de inflamación iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de punto de inflamación son diferentes entre sí.

Dado que el $p < 0.05$, existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

Tabla 16

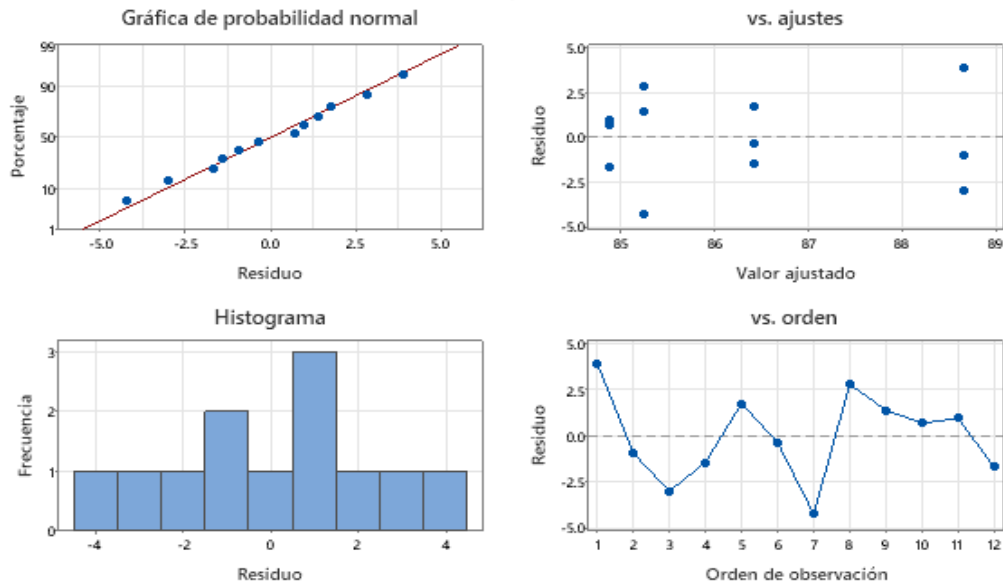
Test de Tukey para los valores de índice de punto de inflamación en las formulaciones de biodiesel

Formulación	N	Media	Agrupación	
F ₄	3	114.6700	a	
F ₃	3	111.3300	a	b
F ₂	3	104.3330	a	b
F ₁	3	100.0000		b

Anexo 8. Análisis de varianza y Test de Tukey para los porcentajes de rendimiento en las formulaciones de biodiesel.

Figura 17

Análisis de supuestos con gráfica de residuos para porcentaje de rendimiento %.



Hipótesis:

H₀: Las formulaciones de biodiesel tienen promedios de rendimiento iguales entre sí.

H₁: Al menos entre dos formulaciones de biodiesel, los promedios de rendimiento son diferentes entre sí.

Nivel de significancia: 5% (0.05)

Dado que el $p > 0.05$, no existe diferencias significativas entre las formulaciones, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1)

Tabla 17

Análisis de varianza (ANOVA) para los porcentajes de rendimiento en las formulaciones de biodiesel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	3	26.2300	8.7430	1.1200	0.3980
Error	8	62.7000	7.8370		
Total	11	88.9200			

Anexo 9. Base de datos

Tabla 18

Datos observados de las características fisicoquímicas y del rendimiento de las formulaciones de biodiesel.

Formulaciones	Relación Molar	Repetición	Rendimiento %	Densidad (g/cm ³) 15°C	Viscosidad cinemática (mm ² /s) 40°C	Punto de ebullición (°C)	Índice de cetano	Índice de acidez (mg KOH/g)	Punto nube (°C)	Punto de inflamación (°C)
F ₁	1:10	R ₁	92.59	0.870	1.9	265	37.70	0.367	6	100
		R ₂	87.72	0.864	1.5	263.5	40.94	0.352	7	90
		R ₃	85.67	0.872	1.4	260.5	39.91	0.290	6	110
F ₂	2:13	R ₁	84.99	0.867	1.9	261	44.47	0.290	5	105
		R ₂	88.18	0.861	1.5	258	49.66	0.352	6	103
		R ₃	86.06	0.865	1.4	260.5	49.3	0.382	7	105
F ₃	1:5	R ₁	81.00	0.879	2.1	270.5	39.08	0.321	12	115
		R ₂	88.05	0.877	1.5	271.5	38.30	0.336	13	109
		R ₃	86.65	0.875	2	269	39.89	0.352	14	110
F ₄	4:13	R ₁	85.58	0.896	4.7	269.5	31.02	0.535	25	118
		R ₂	85.85	0.887	3.6	267.5	36.63	0.443	21	115
		R ₃	83.20	0.895	4.1	271	32.05	0.550	23	111

Tabla 19*Cálculo de la densidad (g/cm³)*

Formulaciones	Repeticiones	Temperatura °C	Peso Picnómetro vacío (g)	Volumen picnómetro (cm ³)	Peso picnómetro y biodiesel (g)	Peso del biodiesel (g)	Densidad (g/cm ³)	Densidad corregida a 15 °C
F ₁	R ₁	20	23.8609	10.137	32.6424	8.7815	0.866	0.8695
	R ₂	22			32.5724	8.7115	0.859	0.864
	R ₃	23			32.6445	8.7836	0.866	0.8716
F ₂	R ₁	23	23.7453	10.226	32.5506	8.8053	0.861	0.8667
	R ₂	20			32.5069	8.7616	0.857	0.8606
	R ₃	20			32.554	8.8087	0.861	0.8646
F ₃	R ₁	22	23.8318	10.083	32.6405	8.8087	0.874	0.8789
	R ₂	21			32.6319	8.8001	0.873	0.8772
	R ₃	20			32.6133	8.7815	0.871	0.8745
F ₄	R ₁	23	23.8609	10.137	32.8872	9.0263	0.890	0.8955
	R ₂	22			32.7976	8.9367	0.882	0.8869
	R ₃	23			32.8773	9.0164	0.889	0.8945

Tabla 20*Cálculo de la viscosidad cinemática (mm²/s)*

Formulaciones	Repetición	Densidad (40 °C)	Viscosidad dinámica (mm²/s)	Temperatura	Viscosidad cinemática (mm²/s)
F ₁	R ₁	0.8518	1.60	31.8	1.9
	R ₂	0.8461	1.30	31.5	1.5
	R ₃	0.8539	1.20	31.5	1.4
F ₂	R ₁	0.8489	1.60	31.3	1.9
	R ₂	0.8426	1.30	31.2	1.5
	R ₃	0.8467	1.20	31.2	1.4
F ₃	R ₁	0.8613	1.80	31.2	2.1
	R ₂	0.8596	1.30	31.4	1.5
	R ₃	0.8569	1.70	31.3	2.0
F ₄	R ₁	0.8783	4.10	31.2	4.7
	R ₂	0.8694	3.10	30.9	3.6
	R ₃	0.8772	3.60	31.0	4.1

Tabla 21*Cálculo de índice de cetano*

Formulaciones	Repeticiones	Cantidad aceite (g)	Densidad	T10	T10 *	T50	T50 *	T90	T90 *	T10N	T50N	T90N	B	Índice cetano
F ₁	R ₁	50	0.8695	235	235.2823	264	264.3172	278	278.3340	20.2823	4.3172	-31.6660	-0.0660	37.70
	R ₂	50	0.864	240	240.2883	268	268.3220	280	280.3364	25.2883	8.3220	-29.6636	-0.0478	40.94
	R ₃	50	0.8716	245	245.2944	270	270.3244	283	283.3400	30.2944	10.3244	-26.6600	-0.0728	39.91
F ₂	R ₁	50	0.8667	247	247.2968	270	270.3244	289	289.3472	32.2968	10.3244	-20.6528	-0.0568	44.47
	R ₂	50	0.8606	250	250.3004	275	275.3304	293	293.3520	35.3004	15.3304	-16.6480	-0.0364	49.66
	R ₃	50	0.8646	255	255.3064	272	272.3268	290	290.3484	40.3064	12.3268	-19.6516	-0.0498	49.30
F ₃	R ₁	50	0.8789	245	245.2944	276	276.3316	288	288.3460	30.2944	16.3316	-21.6540	-0.0962	39.08
	R ₂	50	0.8772	240	240.2883	272	272.3268	290	290.3484	25.2883	12.3268	-19.6516	-0.0908	38.30
	R ₃	50	0.8745	242	242.2907	275	275.3304	289	289.3472	27.2907	15.3304	-20.6528	-0.0822	39.89
F ₄	R ₁	50	0.8955	232	232.2787	268	268.3220	295	295.3544	17.2787	8.3220	-14.6456	-0.1472	31.02
	R ₂	50	0.8869	238	238.2859	270	270.3244	300	300.3604	23.2859	10.3244	-9.6396	-0.1212	36.63
	R ₃	50	0.8945	232	232.2787	265	265.3184	298	298.3580	17.2787	5.3184	-11.6420	-0.1442	32.05
Valor “e”							2.7183							

Tabla 22*Cálculo de índice de acidez (mg KOH/g)*

Formulaciones	Repeticiones	Cantidad aceite (g)	Volumen gastado (KOH)	Normalidad (KOH)	Índice de acidez
F ₁	R ₁	10	2.4	0.02724	0.367
	R ₂	10	2.3	0.02724	0.352
	R ₃	10	1.9	0.02724	0.290
F ₂	R ₁	10	1.9	0.02724	0.290
	R ₂	10	2.3	0.02724	0.352
	R ₃	10	2.5	0.02724	0.382
F ₃	R ₁	10	2.1	0.02724	0.321
	R ₂	10	2.2	0.02724	0.336
	R ₃	10	2.3	0.02724	0.352
F ₄	R ₁	10	3.5	0.02724	0.535
	R ₂	10	2.9	0.02724	0.443
	R ₃	10	3.6	0.02724	0.550

Anexo 10. Norma Técnica

Tabla 23

Norma Técnica Peruana NTP 321.125 (2008)

Propiedades	Biodiesel	Unidades
Contenido de calcio y magnesio, combinado	5 máx.	ppm ($\mu\text{g} / \text{g}$)
Punto de inflamación. (Copa cerrada)	93 min.	$^{\circ}\text{C}$
Control de Alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:)		
1. Contenido de Metanol	0,2 máx.	% volumen
2. Punto de inflamación	130,0 mín.	$^{\circ}\text{C}$
Agua y sedimento	0,050 máx.	% volumen
Viscosidad cinemática a 40 $^{\circ}\text{C}$	1,9 – 6,0 (b)	mm^2 / s
Ceniza sulfatada	0,020 máx.	% masa
Azufre (c)	0,0015 máx. (15)	% masa (ppm)
Corrosión a la lámina de cobre	N $^{\circ}$ 3	
Número Cetano	47 mín.	
Punto nube	Reportar (d)	$^{\circ}\text{C}$
Residuo de carbón (e)	0,050 máx.	% masa
Número acidez	0,50 máx.	mg KOH / g
Glicerina libre	0,020 Máx.	% masa
Glicerina total	0,240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	0,001 máx.	% masa
Temperatura de destilación.	360 máx.	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica.		
Contenido de sodio y potasio, combinado	5 máx.	ppm ($\mu\text{g} / \text{g}$)
Estabilidad a la oxidación	3 min.	horas

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 321.125 2008.,(2008)

Anexo 11. Galería de fotos

a) Obtención del aceite

Figura 18

Selección del afrecho



Figura 19

Pesado de cartucho con afrecho



Figura 20

Extracción del aceite



Figura 21

Muestra después del proceso de extracción



Figura 22

Aceite obtenido

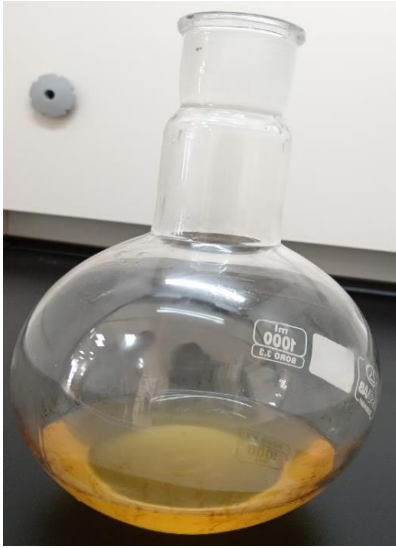


Figura 23

Proceso de purificación



b) Obtención del biodiesel

Figura 24

Transesterificación del aceite



Figura 25

Decantación del biodiesel



Figura 26

Separación de la glicerina del biodiesel



Figura 27

Purificado del biodiesel



Figura 28

Filtrado del biodiesel



Figura 29

Envasado del biodiesel



c) **Caracterización del biodiesel**

Figura 30

Determinación de la densidad



Figura 31

Determinación de la viscosidad

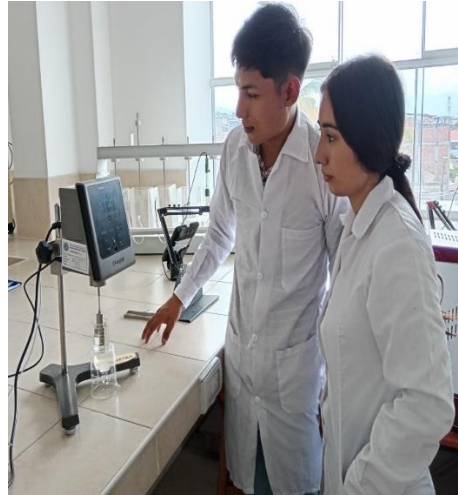


Figura 32

Determinación del punto de ebullición

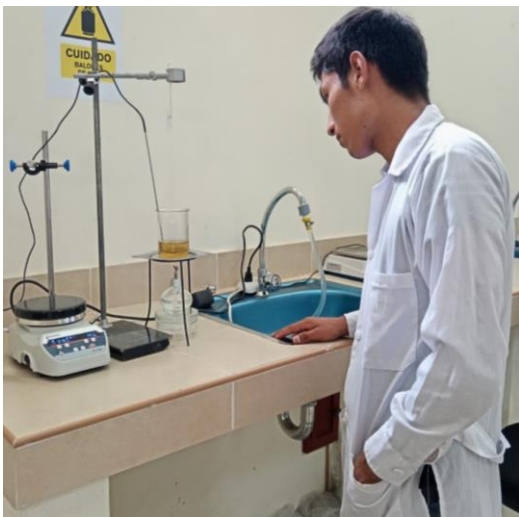


Figura 33

Determinación del índice de cetano



Figura 34

Determinación del índice de acidez



Figura 35

Determinación del punto nube



Figura 36

Determinación del punto de inflamación



Anexo 12. Poder Calorífico Teórico (PCT) del biodiesel del aceite de coco

Se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$\text{PCT} = (33.7 * \%C + 144.4 * \%H - 9.9 * \%O)$$

Tabla 24

Cálculo de poder calorífico teórico (Kcal/Kg)

Composición del biodiesel de aceite de coco	de %	Carbono (C)	Hidrógeno (H)	Oxígeno (O)	Masa molecular	%C	%H	%O	PCT
Metil laureato (C ₁₂ H ₂₆ O ₂)	52	144	26	32	202	71.29	12.87	15.84	2134.162
Metil miristato (C ₁₄ H ₃₀ O ₂)	20	168	30	32	230	73.04	13.04	13.91	841.461
Metil palmitato (C ₁₆ H ₃₄ O ₂)	12	192	34	32	258	74.42	13.18	12.40	514.567
Metil estereato (C ₁₈ H ₃₈ O ₂)	5	216	38	32	286	75.52	13.29	11.19	217.650
Metil oleato (C ₁₈ H ₃₆ O ₂)	8	216	36	32	284	76.06	12.68	11.27	342.558
Metil lineoleato (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	3	216	34	32	282	76.60	12.06	11.35	126.298
Total, de poder calorífico Kcal/Kg					4176.697				