



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORACIÓN DE UN BIOCOMBUSTIBLE A PARTIR DEL  
ACEITE EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa  
oleífera*)**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: VERÓNICA ESTEFANÍA HARO ANDI**

**DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO MAYORGA PÉREZ**

Riobamba - Ecuador

2023

**©2023, Verónica Estefanía Haro Andi.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Verónica Estefanía Haro Andi, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor (a), asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de mayo de 2023

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Verónica Haro'.

---

**Verónica Estefanía Haro Andi**  
**C.I. 1804929220**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **ELABORACIÓN DE UN BIOCOMBUSTIBLE A PARTIR DEL ACEITE EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa oleífera*)**, realizado por la señorita: **VERÓNICA ESTEFANÍA HARO ANDI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs.

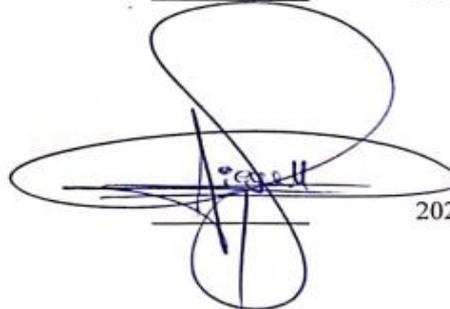
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2023-05-24

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-05-24

Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos, Mgs.

**ASESORA DEL TRABAJO  
DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-05-24

## **DEDICATORIA**

El resultado de este trabajo se lo dedico a Dios quien supo darme sabiduría y fuerzas para seguir adelante y afrontar los problemas que se presentaron en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mi amada madre Mercedes Andi que, aunque no está físicamente presente, sus enseñanzas siguen guiándome día a día. Este logro es en su honor, porque fue gracias a su amor y dedicación que aprendí a nunca rendirme, mi corazón aún llora por su ausencia, pero sé que está orgullosa de mí desde donde está. A mi padre Humberto Haro por su apoyo, trabajo y sacrificio. A mi querida hermana Anaís Haro quien con su compañía y palabras de aliento siempre ha sido mi pilar y mi inspiración para superarme día con día. A mi novio Ismael por la paciencia, comprensión y amor, por no dejarme rendir y sostenerme cuando más le he necesitado, por preocuparse por mí en cada momento y siempre querer lo mejor para mi porvenir. A mis queridos tíos Cosuelito y Jorgito gracias por su apoyo y cariño incondicional, por estar a mi lado en todo momento con sus consejos quienes me han enseñado que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez. A mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí, me apoyaron de una u otra manera y me extendieron su mano en momentos difíciles, gracias.

Verónica

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme el soplo de vida y por hacer posible este sueño. A mi familia por toda su paciencia, amor y sacrificio para que culminara mi carrera, gracias porque todo lo que soy es porque ustedes lo hicieron posible. A la Ing. Mónica Andrade y el Ing. Paúl Palmay, por ayudarme con sus conocimientos, experiencia y orientación en todo momento para culminar con éxito mi trabajo de titulación. A mi querida ESPOCH, el más sincero agradeciendo por darme la oportunidad de adquirir muchos conocimientos de los mejores maestros y obtener el título Ingeniera Química.

Verónica

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Hipótesis o pregunta de investigación.....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Marco conceptual .....	7
2.1.1. <i>Moringa oleífera Lam</i> .....	7
2.1.2. <i>Valor nutricional y degradación de las hojas de Moringa oleífera Lam</i> .....	7
2.1.3. <i>Vainas crudas de Moringa oleífera Lam</i> .....	8
2.1.4. <i>Semillas de Moringa oleífera para extracción de biocombustible</i> .....	9
2.1.5. <i>Aceite de las semillas de Moringa oleífera</i> .....	9
2.1.6. <i>Parámetros de calidad de las semillas de Moringa oleífera</i> .....	10
2.1.7. <i>Componentes de Moringa oleífera</i> .....	10
2.1.8. <i>Cultivo de la Moringa</i> .....	11
2.1.9. <i>Especies de Moringa</i> .....	11
2.1.10. <i>Producción de la Moringa oleífera en el Ecuador</i> .....	11
2.1.11. <i>Tipos de clima en el que se adapta la moringa</i> .....	12
2.1.12. <i>Productividad de la Moringa en Ecuador</i> .....	12

2.1.13.	<i>Transesterificación</i> .....	12
2.1.14.	<i>Combustibles industriales</i> .....	13
2.1.15.	<i>Biocombustible</i> .....	14
2.1.16.	<i>Biodiesel:</i> .....	14
2.1.17.	<i>Características del biodiesel:</i> .....	14
2.1.18.	<i>Nanopartículas de alofán</i> .....	16
2.1.19.	<i>Características estructurales</i> .....	17
2.1.20.	<i>Programas públicos y privados de producción y uso de etanol en Ecuador</i> .....	17
2.1.21.	<i>UNE- EN 14214:2013 V2+A1: Normativa para los productos petrolíferos líquidos, ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diésel y equipos de calefacción, requisitos y métodos de ensayo regulación.</i> .....	17
2.1.22.	<i>ASTM D- 6751-02: Especificación estándar para mezcla de combustible biodiésel (B 100) para combustibles destilados.</i> .....	18
2.1.23.	<i>ASTM D-240: Método de prueba estándar para el calor de combustión de hidrocarburos líquidos mediante calorímetro de bomba.</i> .....	18
2.1.24.	<i>NTE INEN 2482-2009: Biodiesel requisitos.</i> .....	18

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
3.1.	<b>Descripción de enfoque de la investigación</b> .....	20
3.2.	<b>Alcance</b> .....	20
3.3.	<b>Diseño de investigación</b> .....	21
3.4.	<b>Tipo de investigación</b> .....	21
3.5.	<b>Método de investigación</b> .....	21
3.6.	<b>Técnicas e instrumentos de investigación empleadas</b> .....	22
3.7.	<b>Fuentes de la Investigación</b> .....	22
3.8.	<b>Determinación de la cantidad de aceite de moringa.</b> .....	23
3.8.1.	<i>Universo</i> .....	23
3.8.2.	<i>Muestra</i> .....	24
3.8.3.	<i>Unidad de muestreo</i> .....	24
3.8.4.	<i>Materiales y métodos</i> .....	25
3.8.4.1.	<i>Equipo Dean Stark</i> .....	25
3.8.4.2.	<i>Equipo soxhlet</i> .....	26
3.9.	<b>Método de recolección de la información</b> .....	27
3.9.1.	<i>Materiales y Reactivos utilizados</i> .....	27

3.10.	Desarrollo experimental.....	28
3.11.	Procedimiento del equipo Soxhlet.....	29
3.12.	Procedimiento de la transesterificación con catalizador básico.....	30
3.12.1.	<i>Reacción de transesterificación:</i> .....	31
3.12.2.	<i>Resultados de la transesterificación</i> .....	32
3.12.3.	<i>Pruebas realizadas – Extracción del aceite</i> .....	33
3.12.4.	<i>Cálculo del rendimiento del aceite</i> .....	36
3.12.5.	<i>Transesterificación – prueba 1</i> .....	38
3.12.6.	<i>Pruebas realizadas – prueba dos</i> .....	39
3.12.7.	<i>Pruebas realizadas – prueba tres</i> .....	41
3.12.8.	<i>Combinación de nanopartículas de alofán al biodiesel</i> .....	44
3.13.	Caracterización del biocombustible.....	46
3.13.1.	<i>Densidad API</i> .....	46
3.13.2.	<i>Punto de inflamación</i> .....	50
3.13.3.	<i>Viscosidad</i> .....	53
3.13.4.	<i>Destilación</i> .....	55
3.13.5.	<i>Cálculo de la humedad del biocombustible</i> .....	55
3.14.	<i>Poder calorífico del biocombustible utilizando nanopartículas de alofán</i> .....	61

#### CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63
4.1.	Caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera.....	63
4.2.	Determinación de las variables de procesos para la obtención del biocombustible.....	63
4.2.1.	<i>Extracción del aceite de Moringa oleífera</i> .....	63
4.2.2.	<i>Reacción de Transesterificación</i> .....	64
4.2.3.	<i>Caracterización del biocombustible</i> .....	66
4.2.4.	<i>Espectrofotómetro de infrarrojo</i> .....	68
4.3.	Comprobación de la hipótesis.....	71
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Parámetros de calidad aceite de moringa con el aceite de oliva.....	10
<b>Tabla 2-2:</b>	Componentes del aceite.....	10
<b>Tabla 2-3:</b>	Calores específicos de combustión.....	13
<b>Tabla 2-4:</b>	Propiedades del diésel y biodiesel.....	15
<b>Tabla 2-5:</b>	Requerimientos del biodiesel.....	16
<b>Tabla 3-1:</b>	Técnica e instrumentos utilizados.....	22
<b>Tabla 3-2:</b>	Montaje Dean Stark.....	25
<b>Tabla 3-3:</b>	Parámetros equipo Dean Stark.....	25
<b>Tabla 3-4:</b>	Equipo Soxhlet.....	26
<b>Tabla 3-5:</b>	Parámetros equipo Soxhlet.....	26
<b>Tabla 3-6:</b>	Extracción del aceite de moringa.....	27
<b>Tabla 3-7:</b>	Reacción de transesterificación.....	28
<b>Tabla 3-8:</b>	Obtención y purificación del biodiesel.....	28
<b>Tabla 3-9:</b>	Equipos utilizados- prueba 1.....	33
<b>Tabla 3-10:</b>	Obtención del aceite- prueba dos.....	34
<b>Tabla 3-11:</b>	Obtención del aceite - prueba tres.....	35
<b>Tabla 3-12:</b>	Cálculo rendimiento del aceite.....	36
<b>Tabla 3-13:</b>	Tabla de propiedades físicas hidróxido de potasio.....	37
<b>Tabla 3-14:</b>	Tabla de propiedades físicas del metanol anhidro.....	37
<b>Tabla 3-15:</b>	Prueba Transesterificación- prueba uno.....	38
<b>Tabla 3-16:</b>	Prueba Transesterificación- prueba dos.....	39
<b>Tabla 3-17:</b>	Prueba Transesterificación- prueba tres.....	41
<b>Tabla 3-18:</b>	Cálculo de la densidad API corregida.....	48
<b>Tabla 3-19:</b>	Punto de inflamación corregido.....	50
<b>Tabla 3-20:</b>	Cálculo humedad del Biocombustible.....	55
<b>Tabla 3-21:</b>	Proceso destilación.....	55
<b>Tabla 3-22:</b>	Pérdida evaporación - fuga.....	58
<b>Tabla 3-23:</b>	Proceso destilación- biocombustible.....	58
<b>Tabla 4-1:</b>	Caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera.....	63
<b>Tabla 4-2:</b>	Variables de entrada extracción del aceite.....	63
<b>Tabla 4-3:</b>	Variables de entrada reacción de transesterificación.....	65
<b>Tabla 4-4:</b>	Caracterización del biocombustible.....	66
<b>Tabla 4-5:</b>	Biodiesel vs Diesel.....	68

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Árbol de moringa .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Aceite y semillas de moringa .....	9
<b>Ilustración 2-3:</b>	Transesterificación de un triacilglicérido con alcohol.....	12
<b>Ilustración 2-4:</b>	Morfología externa de una nanopartícula de alofán y estructura interna ....	17
<b>Ilustración 3-1:</b>	Esquema del método de recolección de la información.....	23
<b>Ilustración 3-2:</b>	Esquema del método de extracción de aceite .....	24
<b>Ilustración 3-3:</b>	Extracción del aceite .....	24
<b>Ilustración 3-4:</b>	Esquema del método de recolección de la información .....	27
<b>Ilustración 3-5:</b>	Procedimiento del equipo Soxhlet.....	29
<b>Ilustración 3-6:</b>	Esquema de extracción utilizando el .....	30
<b>Ilustración 3-7:</b>	Esquema general de la instalación .....	31
<b>Ilustración 3-8:</b>	Resultados transesterificación .....	33
<b>Ilustración 3-9:</b>	Prueba 1- extracción del aceite.....	33
<b>Ilustración 3-10:</b>	Prueba 1.....	34
<b>Ilustración 3-11:</b>	Prueba 2 - extracción del aceite.....	34
<b>Ilustración 3-12:</b>	Segunda prueba .....	35
<b>Ilustración 3-13:</b>	Prueba 3 - extracción del aceite.....	35
<b>Ilustración 3-14:</b>	Tercera prueba.....	36
<b>Ilustración 3-15:</b>	Prueba 1 - transesterificación .....	38
<b>Ilustración 3-16:</b>	Transesterificación- prueba uno .....	39
<b>Ilustración 3-17:</b>	Prueba 2 - transesterificación .....	40
<b>Ilustración 3-18:</b>	Transesterificación- prueba dos .....	40
<b>Ilustración 3-19:</b>	Prueba 3 - transesterificación .....	41
<b>Ilustración 3-20:</b>	Proceso transesterificación- prueba tres .....	42
<b>Ilustración 3-21:</b>	Combinación nanopartículas alofán .....	44
<b>Ilustración 3-22:</b>	Combinación de nanopartículas de alofán.....	45
<b>Ilustración 3-23:</b>	Descipción del proceso densidad API.....	46
<b>Ilustración 3-24:</b>	Densidad del fluido .....	48
<b>Ilustración 3-25:</b>	Densidad API vs Corregido.....	49
<b>Ilustración 3-26:</b>	Descipción del proceso flash point.....	50
<b>Ilustración 3-27:</b>	Punto de inflamación.....	52
<b>Ilustración 3-28:</b>	Punto de inflamación vs corregido.....	52
<b>Ilustración 3-29:</b>	Descipción del proceso viscosidad.....	53

<b>Ilustración 3-30:</b>	Viscosidad .....	54
<b>Ilustración 3-31:</b>	Viscosidad cinemática.....	54
<b>Ilustración 3-32:</b>	Descipción del proceso destilación .....	55
<b>Ilustración 3-33:</b>	ASTM D1160 del Diesel vs Biodiesel .....	61
<b>Ilustración 3-34:</b>	Poder calorífico.....	62
<b>Ilustración 4-1:</b>	Extracción de aceite.....	64
<b>Ilustración 4-2:</b>	Reacción de transesterificación.....	65
<b>Ilustración 4-3:</b>	Propiedades diesel vs biodiesel .....	67
<b>Ilustración 4-4:</b>	Diesel- Biodiesel .....	69
<b>Ilustración 4-5:</b>	Aceite .....	69
<b>Ilustración 4-6:</b>	Glicerina.....	70
<b>Ilustración 4-7:</b>	ANOVA de las nanopartículas del Biocombustible.....	71
<b>Ilustración 4-8:</b>	Gráfica de intervalos tres pruebas .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ASTM:</b>	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
<b>v:</b>	volumen
<b>s:</b>	segundos
<b>ml:</b>	mililitros
<b>%:</b>	porcentaje
<b>Kg:</b>	Kilogramos
<b>g:</b>	gramos

## RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: “Elaboración de un biocombustible a partir del aceite extraído de las semillas de Moringa (*Moringa oleífera*)” ha sido la investigación y experimentación de las transformaciones físicas, químicas y demás procesos tecnológicos que pasaron las semillas de moringa oleífera para la obtención de energía renovable. El desarrollo del trabajo propuesto estuvo contemplado como primera instancia en la caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera, donde las variables de procesos estuvieron constituidos por 2.56% de fibra, 6.215% en ph, 76.89% de humedad y 1.45% en nitrógeno total, continuando con la caracterización física y química del biocombustible, obteniendo como resultado 10ml de aceite de moringa, en el proceso de transesterificación se utilizó solución de 0.30 g de (KOH) y 10.970 ml de CH<sub>3</sub>OH, con 28.743 ml de aceite de moringa, a una velocidad de agitación de 600 rpm, mediante una temperatura de 65°C, obteniendo como resultado biocombustible, posteriormente se combinó con nanopartículas de alofán para mejorar el poder calorífico del biocombustible bajo la Norma ASTM D-240, obteniendo como resultado MJ/kg 39,68 MJ/kg, viscosidad cinemática de 3.78 mm<sup>2</sup>/s, punto de inflamación de 187,19°C, índice de cetano 51, rendimiento 89,89% y densidad API de 29,046, finalmente en el desarrollo del análisis estadístico se aceptó la hipótesis nula donde las concentraciones de nanopartículas de alofán no afectan el poder calorífico del biocombustible por tanto se recomienda utilizar prensado en frío con el objetivo de obtener un mayor volumen de extracción del aceite y reducir costos.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOCOMBUSTIBLE>, <SEMILLAS DE MORINGA>, <MORINGA (*Moringa oleífera*)>, <ALOFÁN>.

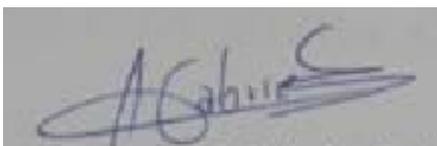
1219-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The objective of the present work of curricular integration called: "Elaboration of a biofuel from the oil extracted from *Moringa oleifera* seeds" consisted of the investigation and experimentation of the physical and chemical transformations and other technological processes that the *moringa oleifera* seeds underwent to obtain renewable energy. The development of the proposed work was considered as the first instance in the physicochemical characterization of *moringa oleifera*, where the process variables were constituted by 2.56% of fiber, 6.215% in pH, 76.89% of humidity and 1.45% in total nitrogen, continuing with the physical and chemical characterization of the biofuel, obtaining as a result 10ml of *moringa* oil, in the transesterification process, a solution of 0.30 g of (KOH) and 10.970 ml of CH<sub>3</sub>OH was used ,with 28.743 ml of *moringa* oil, at an agitation speed of 600 rpm, and a temperature of 65°C, resulting in biofuel, which was subsequently combined with allophane nanoparticles to improve the calorific value of the biofuel under ASTM D- 240 Standard, resulting in MJ/kg 39.68 MJ/kg, kinematic viscosity of 3. 78 mm<sup>2</sup>/s, flash point of 187.19°C, cetane index 51, yield 89.89% and API density of 29.046. Finally, in the development of the statistical analysis the null hypothesis was accepted where the concentrations of allophane nanoparticles do not affect the calorific value of the biofuel; therefore it is recommended to use cold pressing in order to obtain a greater volume of oil extraction and reduce costs.

**Key words:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BIOFUEL>, <MORINGA SEEDS>, <MORINGA (*Moringa oleifera*)>, <ALOPHAN>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo mundial ha contribuido al uso de un sin número de fuentes de energía, por tanto, el consumo energético se ha incrementado considerablemente las últimas décadas. Es preciso mencionar que la mayoría de estas fuentes proceden de los combustibles fósiles, los cuales provienen de un proceso de descomposición de la materia orgánica, dicha transformación dura millones de años, generando consigo una cantidad elevada de gases contaminantes a la atmósfera aumentando así el efecto invernadero con la emisión de gases (CO y CO<sub>2</sub>), constituyéndose un problema de sostenibilidad y deterioro medioambiental, en virtud de esta problemática global es responsabilidad de la academia, la sociedad y las empresas disminuir el consumo de este tipo de energía y optar por el uso de productos que hayan sido generados con recursos renovables.

Alrededor del mundo se proponen soluciones que permitan mitigar este proceso de deterioro atmosférico a través de medidas para reducir el impacto medioambiental de los procesos energéticos por medio del ahorro y eficiencia, en este aspecto el uso de los biocombustibles es una alternativa eficaz ya que son de tipo renovable, obtenidos por medio de residuos orgánicos o recursos naturales denominados biomasa, reduciendo las emisiones de contaminantes nocivos a la atmósfera, en este tipo de combustible se encuentra el biodiésel.

Como parte de la vinculación que tiene la academia con la sociedad y debido a la necesidad de mitigar problemas globales surge este proyecto de investigación, cuyo resultado final ha sido la elaboración de un biocombustible, utilizando para este propósito como materia prima las semillas de moringa, generando de esta forma un impacto positivo a la sociedad a través de la eficiencia energética obtenida al hacer uso de energías amigables y limpias con el medio ambiente, de igual forma el impacto económico positivo obtenido debido a la reducción de los costos de producción en referencia al método tradicional que se sigue utilizando en la actualidad.

El Ecuador produce residuos voluminosos que acorde la composición y la posibilidad de procesamiento representa para el sector de la agroindustria ecuatoriana alrededor de 2200 millones de kilogramos de materia orgánica anual, de los cuales mayoritariamente están compuestos por almidón o recursos lignocelulosos, (Riera, Maldonado y Palma 2018, p. 227-247) por medio de la investigación y experimentación de transformaciones físicas, químicas y demás procesos tecnológicos se pretende aprovechar mencionados recursos para la obtención de energía limpia la misma que beneficie a la sociedad aportando una solución a una problemática global, a través del desarrollo del proyecto de integración curricular propuesto.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la fuente de energía más utilizada por el ser humano es el petróleo. A partir de este recurso no renovable se obtienen derivados de combustibles que se emplean en equipos industriales, motores de combustión y dispositivos que requieran su utilización. Los combustibles fósiles y sus derivados generan impactos negativos al medio ambiente muchos de ellos irremediables por sus emisiones a la atmósfera de grandes cantidades de dióxido de carbono, monóxido de carbono, material particulado entre otros, provocando el conocido efecto invernadero, la generación de lluvia ácida y el cambio climático.

Acorde estudios realizados por Greenpeace y el Centro de investigación en energía y aire limpio, mencionan que, la quema de los combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo genera una alta contaminación del aire, como consecuencia de esta práctica insegura se genera 4,5 millones de muertes al año en todo el mundo, pérdidas económicas en el PIB mundial y enfermedades producto de la contaminación ambiental, por tal motivo alrededor del mundo se han creado iniciativas de varios países que permitan dar solución a esta problemática, como es el caso de varios países de América del Sur y Centroamérica como: Uruguay, Ecuador, Perú, Guatemala y Jamaica que están apostando por el desarrollo e investigación tecnológica para desarrollar biocombustibles aprovechando los recursos renovables, partiendo de la extracción de aceites de plantas pues existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más frecuentes en la producción de biodiesel son la colza, girasol, palma, soja entre otros, así como los provenientes de aceites obtenidos de vegetales de semillas comestibles y no comestibles. (Juárez Morán 2018, p. 1)

De estos hechos mostrados se pretende buscar otras alternativas energéticas amigables con el medio ambiente que disminuyan estos índices alarmantes de contaminación a través de proyectos investigativos que desarrollen biocombustibles ecológicos y no depender de los tradicionales derivados de petróleo, pues se considera que los biocombustibles muestran ventajas importantes y siguen expandiendo su contribución en la matriz energética global. En el país la producción de biodiesel es incipiente, razón por la cual el biodiesel producido no puede competir con el derivado del petróleo, por este factor importante se plantea el desarrollo del biocombustible a partir de las semillas de moringa, porque este combustible tiene potencial de convertirse en una fuente que

genere empleo agrario, rural pues existe alrededor de 1,5 millones de hectáreas cultivables en el país. (Agricultura (IICA), 2007, p. 117)

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Elaborar un biocombustible a partir del aceite extraído de las semillas de moringa (*moringa oleífera*).

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

Realizar la caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera.

Determinar las variables de procesos para la obtención de biocombustible.

Realizar la caracterización física y química del biocombustible.

Combinar con nanopartículas de alofán para mejorar el poder calorífico del biocombustible bajo la Norma ASTM D-240.

Elaborar un análisis estadístico para determinar el mejor método de obtención de biocombustible a partir de semillas de moringa.

### **1.3. Justificación**

El agotamiento de las reservas de los yacimientos de petróleo, el incremento del precio de los combustibles, así como los problemas de salud vinculados con las alteraciones negativas del medio ambiente han originado la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía que resulten amigables con el ambiente y los seres vivos, porque el uso de los combustibles fósiles genera una elevada cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, de igual manera muchas veces en la extracción de los combustibles fósiles se genera derrames de petróleo y combustibles en el mar abierto causando un impacto negativo al medio ambiente, razón por la cual se propone la investigación en nuevas formas para la obtención de combustibles alternativos que no causen daño al medio ambiente.

Los biocombustibles son nuevas alternativas que se ha venido planteando ya que generan un 48% menos de monóxido de carbono, además de un 47% menos de material particulado, no se produce los derrames en aguas de mares y ríos y se degrada rápidamente en comparación con el petróleo. Los biocombustibles son producidos a partir de los aceites vegetales y las grasas animales, para ello se utiliza la soya, colza, y girasol, como las materias primas más utilizadas mundialmente para este fin, lo cual no es suficiente para suplir la demanda energética creciente del país por lo que se busca fuentes que cubran esta demanda, por este motivo este trabajo busca efectuar un estudio sobre la producción de un biocombustible a partir del aceite obtenido de las semillas de moringa oleífera ya que dicha planta cuenta con un porcentaje de aceite de 35-40% de su composición total, de esta manera aprovechar su utilización con fines energéticos y reducir los impactos ambientales generados por los combustibles fósiles tradicionales. (Navarro et al. 2015, p. 23).

### **1.4. Hipótesis o pregunta de investigación**

**H<sub>0</sub>:** UA=UB=UC=UD

(El poder calorífico del biocombustible se mantiene invariable porque todas las muestras del biocombustible con nanopartículas de alofán son iguales)

**H<sub>i</sub>:** U<sub>i</sub>≠ U<sub>j</sub>

(El poder calorífico del biocombustible incrementa porque todas las muestras del biocombustible con nanopartículas de alofán no son iguales)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Marco conceptual

##### 2.1.1. *Moringa oleífera* Lam

Es un árbol que crece ampliamente en muchos países tropicales y subtropicales. Se cultiva comercialmente en India, África, América del Sur y Central, México, Hawái y en toda Asia y el sudeste asiático. Se le conoce como el árbol de la baqueta en función de la apariencia de sus vainas de semillas inmaduras, el árbol de rábano picante en función del sabor de las preparaciones de raíces molidas y el árbol de aceite de ben de los aceites derivados de semillas. En algunas áreas, las vainas de semillas inmaduras se comen, mientras que las hojas se usan ampliamente como alimento básico debido a su alto contenido nutricional. (Stohs y Hartman, 2015, pp. 796-804).



**Ilustración 1-2:** Árbol de moringa

Fuente: <https://n9.cl/5gsy7>

##### 2.1.2. *Valor nutricional y degradación de las hojas de Moringa oleífera Lam*

Las hojas secas tienen niveles de proteína cruda de 30,3% y 19 aminoácidos. Las hojas secas tenían los siguientes contenidos minerales como son, calcio (3,65%), fósforo (0,3%), magnesio (0,5%), potasio (1,5%), sodio (0,164%), azufre (0,63%), zinc (13,03 mg/kg), cobre (8,25%), manganeso (86,8 mg/kg), hierro (490 mg/kg) y selenio (363mg/kg). Los valores de aminoácidos,

ácidos grasos, minerales y perfiles vitamínicos reflejan un balance nutricional deseable. (Moyo et al. 2011, p. 10).

*Degradación del biocombustible de las hojas y semillas de moringa.* \_ El biocombustible obtenido de las hojas y semillas de moringa se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil. Los vehículos que los utilizan reducen las emisiones de bióxido de carbono hasta el 78% y disminuyen al 75% los hidrocarburos cancerígenos. (García et al., 2020, pp. 24-32).

### 2.1.3. Vainas crudas de *Moringa oleífera Lam*

Las vainas crudas de moringa oleífera presentan las siguientes propiedades nutricionales, por cada 100grs. (3.5 oz).

**Tabla 1-2:** Valores nutricionales de las semillas de moringa

Valor nutricional por 100 grs. (3.5 oz)		
1	Energía	37 kcal (150 kj)
2	Carbohidratos	8.53 g
3	Fibra dietética	3.2 g
4	Grasa	0.20 g
5	Proteínas	2.10 g
6	Agua	88.20 g
7	Vitamina a equiv.	4mg (1%)
8	Tiamina (vit b1)	0.0530 mg (5%)
9	Riboflavina (vit b2)	0.074 mg (6%)
10	Niacina (vit b3)	0.620 mg (4%)
11	Ácido pantoténico (b5)	0.794 mg (16%)
12	Vitamina b6	0.120 mg (9%)
13	Folato (vit b9)	44 mg (11%)
14	Vitamina c	141.0 mg (170%)
15	Calcio	30 mg (3%)
16	Hierro	0.36 mg (3%)
17	Magnesio	45 mg (13%)
18	Manganeso	.259 mg (12%)
19	Fosforo	50 mg (7%)
20	Potasio	461 mg (10%)
21	Sodio	42 mg (3%)
22	Zinc	.45 mg (5%)

Fuente: (Paniagua Antonio, 2016)

#### **2.1.4. Semillas de *Moringa oleífera* para extracción de biocombustible**

Los cultivos lignocelulósicos son de tipo energético, los cuales suelen destinarse a la generación de energía, siendo la biomasa una vez cosechada o recogida del campo es trasladada con o sin compactación a una instalación de tipo industrial en la que es transformada directamente en calor o electricidad, la moringa *oleífera* es una planta con gran potencial como productora de materia prima para biocombustibles ya sea como biodiesel, bioetanol, biogás o simplemente para ser quemada directamente. La planta difundida pan tropicalmente, ha sido estudiada por su alto valor nutritivo y su capacidad floculante, pero no con estos fines.

La Moringa *oleífera* posee una gran cantidad de celulosa aproximadamente el 53,4% que arde con facilidad y cuyo poder de combustión es bajo. (Godino et al. 2012, pp. 50-51).

*Beneficios de utilizar el aceite de moringa en el biocombustible.* – La semilla de moringa contiene un 40% de aceite de alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73% de ácido oleico, obteniéndose con este, en proceso químico con otros elementos un biodiesel de gran calidad.

#### **2.1.5. Aceite de las semillas de *Moringa oleífera***

Las semillas maduras producen el 38%40% de aceite comestible llamado aceite “ben” o “behen” por su alta concentración de ácido behenico. El aceite “ben” exprimido de las semillas de moringa oleífera, conocido también como el árbol de rábano picante, árbol de aceite ben o árbol de baqueta. El aceite se caracteriza por una vida útil extraordinariamente larga y un sabor suave, pero agradable. (Paniagua Antonio 2016, pp. 36-46).



**Ilustración 2-2:** Aceite y semillas de moringa

Fuente: <https://n9.cl/t801a>

### 2.1.6. *Parámetros de calidad de las semillas de Moringa oleífera*

El contenido de ácido oleico de un 68,9% indica que los aceites de esta planta tienen el mismo nivel de calidad que los de oliva, por lo que podrían tener el mismo valor de mercado. Este ácido graso es más resistente a la oxidación que el linoleico, por eso, su adición a otros aceites permite obtener mezclas de elevadas propiedades nutricionales. (Gómez Mitjans, Pita Bravo y Zumalacárregui de Cárdenas, 2016, pp. 106-111).

**Tabla 1-2:** Parámetros de calidad aceite de moringa con el aceite de oliva.

<b>Propiedad *determinada:</b>	<b>Aceite de moringa:</b>	<b>Aceite de oliva:</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,908	0,910
Índice de iodo (g/g) *	65,58	65,74
Índice de rancidez (meq kg <sup>-1</sup> )	1,97	≤1,5
Ácidos grasos libres (%)	0,5	≤1,0

Fuente: Gómez G. et al., 2016

\*Índice de iodo se expresa en gramos de iodo por 100 g de muestra

### 2.1.7. *Componentes de Moringa oleífera*

Los componentes del aceite son los siguientes:

**Tabla 2-2:** Componentes del aceite.

<b>Componente:</b>	<b>Porcentaje:</b>
Ácido oleico	65,7%
Ácido palmítico	9,3%
Ácido esteárico	7,4%
Ácido behénico	8,6%

Fuente: (Paniagua Antonio 2016)

Realizado por: (Haro Verónica, 2022)

El aceite refinado es claro, sin olor y es resistente a la rancidez. El residuo de semillas después de la extracción de aceite puede ser usado como fertilizante o como un floculante para purificar el agua. El aceite de semilla de moringa también tiene potencial para su uso como biocombustible. (Paniagua Antonio, 2016, pp. 36-46).

#### **2.1.8. Cultivo de la Moringa**

En el país la región costa es considerado el terreno apropiado para la producción de los arbustos de moringa, esta planta puede cultivarse a través de las semillas o por medio de esquejes, ya que es de reproducción asexual, cuyo fruto es una vaina semejante a una legumbre y contiene 12 a 15 semillas, es una especie la cual demanda un bajo cuidado hortícola y progresa velozmente, llegando hasta los cuatro metros en un año. (Uquillas Almeida, 2017, p. 11).

#### **2.1.9. Especies de Moringa**

Existen 13 especies de moringa de entre las cuales la más conocida es la moringa oleífera a continuación se muestran las demás especies: (Uquillas Almeida, 2017, p. 08).

- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| * <i>Moringa arbórea</i>       | * <i>Moringa borziana</i>   |
| * <i>Moringa Concanensis</i>   | * <i>Moringa drouhardii</i> |
| * <i>Moringa hildebrandtii</i> | * <i>Moringa longituba</i>  |
| * <i>Moringa oleífera</i>      | * <i>Moringa ovalifolia</i> |
| * <i>Moringa peregrina</i>     | * <i>Moringa pygmaea</i>    |
| * <i>Moringa rivae</i>         | * <i>Moringa ruspoliana</i> |
| * <i>Moringa stenopetala</i>   |                             |

#### **2.1.10. Producción de la Moringa oleífera en el Ecuador**

El árbol de moringa oleífera generalmente se sitúa en zonas de clima árido y semiárido, con gran resistencia a la sequía, por tanto, presenta una gran adaptación a diferentes ambientes. En Ecuador debido a las condiciones favorables del clima, a partir del año 2009, Fausto Mantilla fue el pionero en la introducción de la planta en el país desde ahí se ha incluido en diversas provincias del país, como son, Manabí, Santa Elena, El Oro, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Esmeraldas, Orellana, Guayas y Loja, con una superficie aproximada de 600 hectáreas sembradas. (Oquendo González 2022, pp. 5-6).

### 2.1.11. Tipos de clima en el que se adapta la moringa

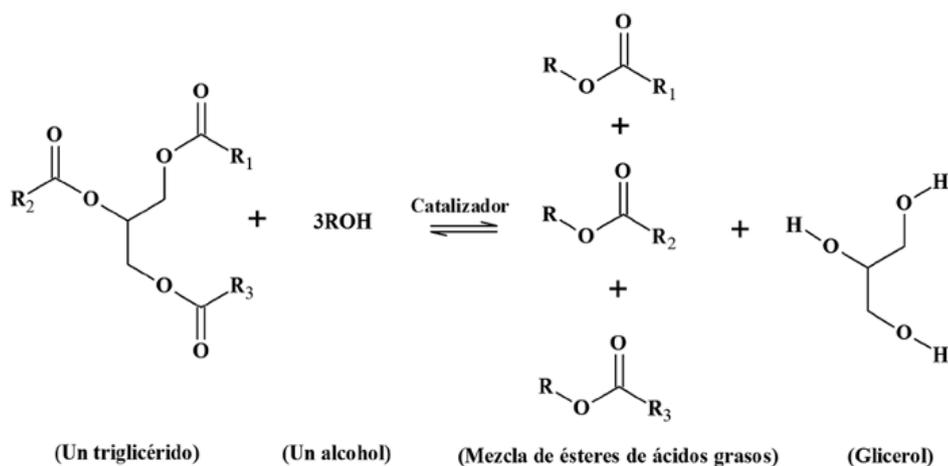
En Ecuador existen dos estaciones, invernal con vegetación abundante y seco caracterizada por la ausencia de lluvia, lo que genera un desbalance productivo en animales que dependen del forraje, ocasionando una gestión ineficiente en costos de producción, sin embargo existen especies arbustivas como la moringa, resistentes a la sequía con buena producción y calidad, este arbusto procedente del Sur del Himalaya, Bangladesh, Nordeste de la India, Afganistán y Pakistán se encuentra en la actualidad disperso en gran parte del planeta fue introducido en América Central en 1920. La Moringa se adapta a suelos pesados, es decir suelos con poca capacidad de retención de humedad e inclusive en lugares donde se presenta poca actividad biológica. (Lozano et al. 2021, pp. 459-470).

### 2.1.12. Productividad de la Moringa en Ecuador

El cultivo de Moringa en Ecuador muestra rendimientos positivos en el clima cálido del país, durante la época seca esta planta como sistema de producción, proporciona mayor cantidad de forraje fresco y seco con distancia de siembra a 20 x 10 cm, frecuencia de corte a los 70 días y altura de rebrote a 45 cm, la calidad del forraje se relaciona con la proporción del tallo/hoja y este a su vez con menor distancia de siembra. (Lozano et al. 2021).

### 2.1.13. Transesterificación

La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. (Ortega, Mercado y Arrieta, 2014, pp. 93-95), como se muestra a continuación:



**Ilustración 3-2:** Transesterificación de un triacilglicérido con alcohol.

Fuente: (Ortega, Mercado y Arrieta, 2014)

La reacción es reversible razón por la cual se utiliza alcohol con el objetivo desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos. Para realizar una transesterificación estequiométricamente completa es preciso tener una relación molar de alcohol a triacilglicérido de 3:1. La velocidad de transesterificación no solo depende de las condiciones de operación o del tipo de catalizador sino también del tipo y variedad de triacilglicéridos presentes en la grasa o en el aceite. (Ortega, Mercado y Arrieta, 2014, pp. 93-95).

#### **2.1.14. Combustibles industriales**

Según Martínez (2005), los combustibles se designan a todas las sustancias utilizadas para obtener calor, dependiendo el estado físico de las sustancias, porque los combustibles se clasifican en sólidos, líquidos o gaseosos. La propiedad fundamental, de las sustancias combustibles radican en el poder calorífico, la cual consiste en la cantidad de calor la cual puede desarrollarse por la combustión de la unidad de combustible (1 Kg, 1m<sup>3</sup> etc.). Esta propiedad permite expresar las cantidades de energía en unidades equivalentes de combustible. (Martínez 2005, p. 1).

A continuación, se muestra una tabla comparativa con los calores específicos de combustión de distintos materiales los cuales pueden ser empleados como combustibles en procesos térmicos, en el cual es necesario liberar energía en forma de calor:

**Tabla 3-2:** Calores específicos de combustión

<b>Material combustible</b>	<b>Calor específico de combustión (MJ/kg)</b>
Hidrógeno	142
Gas metano	55
Gasolina	47
Petróleo crudo	47
Queroseno	46
Carbón bituminoso	36
Antracita	35
Coque	34
Alcohol etílico	30
Carbón vegetal	30
Alcohol metílico	22
Madera de pino	21
Cascarón de coco	20

Turba seca	20
Leña seca	18
Turba húmeda	16
Aserrín seco	15
Cáscara de arroz	15
Lignito	13
Bagazo de caña seco	9
Leña verde	9
Planta de maíz seca	9
Aserrín húmedo	8

**Fuente:** (Pérez Ruiz y Villegas, 2018)

**Realizado por:** (Haro Verónica, 2022)

### ***2.1.15. Biocombustible***

El Biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético; la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal. (Hernández Marco y Hernández Jorge, 2008, pp. 15-18).

### ***2.1.16. Biodiesel:***

El biodiésel es una alternativa al combustible diésel convencional a base de petróleo y se define como los ésteres mono-alquílicos de los aceites vegetales y de las grasas animales. El biodiésel se prepara a partir de numerosos aceites vegetales, como los aceites de semillas de algodón, palma, canola, maní, soja y girasol, así como una variedad extensa de aceites poco comunes. (Rashid et al. 2008, p. 8175-8179).

### ***2.1.17. Características del biodiesel:***

Las características del biodiésel son:

- Es biodegradable, renovable, no tóxico.
- Posee lubricidad inherente.
- Punto de inflamación relativamente alto

- Balance de energía positivo, en comparación con el petrodiesel, reduce la mayoría de las emisiones de escape reguladas.
- Se denomina biodiesel de primera generación cuando proviene de aceites y azúcares
- Se denomina de segunda generación cuando proviene de hierbas o materiales naturales
- Se denomina de tercera generación cuando proviene de algas. (Pantoja Cabrera, 2018, p. 12-14).

A continuación, se muestra comparativamente las propiedades que presenta el diésel en referencia al biodiesel, a través de una tabla:

**Tabla 4-2:** Propiedades del diésel y biodiesel

<b>Propiedades</b>	<b>Diésel</b>	<b>Biodiesel</b>
<b>Composición</b>	C10-C21 HC	C12 – C22 FAME
<b>Agua (ppm peso)</b>	161	0.05% MÁX
<b>Número de cetano</b>	40-55	48 -55
<b>PCI (KJ/Kg)</b>	41860	37700
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	60-80	100-170
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	188-343	182-338

**Fuente:** (Campos M. y Vargas F, 2011)

**Realizado por:** (Haro Verónica, 2022)

El desarrollo del biodiesel y la optimización del proceso de producción debe cumplir con todos los parámetros necesarios para ser usados y comercializados, con el objetivo de prevenir la existencia de un posible daño en el motor o las partes que lo conforman, Ecuador cuenta con la normativa NTE INEN 2482 “Biodiesel Requisitos” para establecer los parámetros que debe contener este. (Pantoja Cabrera, 2018, p. 12-14).

A continuación, se muestra los requerimientos del biodiesel, acorde la normativa NTE INEN 2482:

**Tabla 5-2:** Requerimientos del biodiesel

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15° C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar <sup>1</sup>		
Φ <sub>Agua y sedimento</sub>	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40° C	mm <sup>2</sup> /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W <sub>Carbón Residual</sub> <sup>2</sup>	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W <sub>Glicerina libre</sub>	%	--	0,02	ASTM D 6584
W <sub>Glicerina total</sub>	%	--	0,25	ASTM D 6584
W <sub>Contenido de ésteres</sub>	%	96,5	--	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W <sub>Contenido de metanol</sub>	%	--	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/kg	--	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664
<sup>1</sup> El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diesel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla				
<sup>2</sup> Debe ser determinado en el 100% de la muestra				

**Fuente:** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

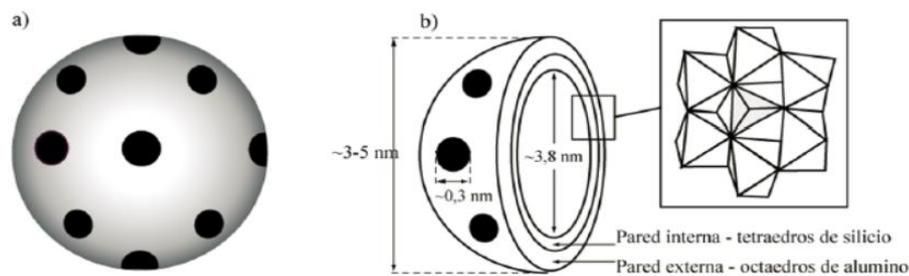
**Realizado por:** (Haro Verónica, 2022)

### 2.1.18. Nanopartículas de alofán

El alofán es una nanopartícula natural presente en suelos de origen volcánico, denominados andosoles según la base referencial mundial del recurso suelo o andisoles según Soil Taxonomy NRCS/USDA. La partícula de alofán tiene la forma de una esfera porosa, con un diámetro entre 3 a 5 nm, y está estructurada por una capa externa constituida por octaedros de aluminio (Al) y una capa interna constituida por tetraedros de silicio (Si). Presenta una gran área superficial, alta porosidad y carga variable, propiedades que permiten potenciales aplicaciones como adsorbente de cationes, aniones, compuestos derivados del benceno, ácidos grasos, detergentes, compuestos organoclorados, ADN y aminoácidos, enzimas, en el área de catálisis, en la elaboración de electrodos, como ignífugo como elemento de tinta para impresoras, como anti inflamatorio y bactericida, para la purificación de biodiesel, etc (Silva-Yumi et al. 2021, pp. 53-66).

### 2.1.19. Características estructurales

La partícula de alofán tiene la forma de una esfera porosa con diámetro externo entre 3,5 y 5,0 nm, radio interno entre 1,0 – 2,0 nm y una pared con un espesor entre 0,7 y 1,0 nm. Posee poros con diámetro alrededor de 0,3 – 0,4 nm y presenta un área superficial específica determinada mediante el método EGME (etilenglicol monoetil eter) que oscila entre 400 - 900 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. La pared externa está compuesta de octaedros de aluminio, mientras que la pared interna por tetraedros de silicio, aunque es posible encontrar aluminio tanto en tetraedros como en octaedros. (Silva-Yumi et al. 2021, pp. 53-66).



**Ilustración 4-2:** Morfología externa de una nanopartícula de alofán

Fuente: Silva-Yumi et al., 2021

### 2.1.20. Programas públicos y privados de producción y uso de etanol en Ecuador

El Gobierno del Ecuador ratificó el interés por trabajar en un procedimiento para la sustitución energética orientado al uso de las energías renovables. Las principales empresas de producción de alcohol ecuatoriano como; CODANA, SODERAL, y PRODUCARGO, están interesadas en ampliar la capacidad instalada para suplir la demanda de etanol que se dará con el arranque del plan biocombustible, de igual manera los gobiernos provinciales y diversos grupos empresariales como los ingenios azucareros están interesados en invertir en mencionada actividad. (Agricultura (IICA) 2007, p. 87).

### 2.1.21. UNE- EN 14214:2013 V2+A1: Normativa para los productos petrolíferos líquidos, ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diésel y equipos de calefacción, requisitos y métodos de ensayo regulación

La norma española UNE-EN 14214:2013 establece los requisitos y los métodos de ensayo de los ésteres metílicos de ácidos grasos, comercializados y suministrados para utilizar como combustible en motores diésel y en equipos de calefacción a una concentración del 100%, o como componente adicionado en el combustible destilado en motores diésel, conforme a los requisitos de la Norma EN 590, y en el combustible para calefacción. Una concentración del 100% es

aplicable a combustibles para motores diésel y para equipos de calefacción diseñados o posteriormente adaptados para funcionar con un 100% de FAME. (Asociación Española de Normalización, 2018, p. 1).

#### **2.1.22. ASTM D- 6751-02: Especificación estándar para mezcla de combustible biodiésel (B 100) para combustibles destilados**

La norma ASTM para biodiésel puro (D6751), establece la especificación para mezclas de combustible biodiésel (B100) para los combustibles destilados medios, la misma que es indicada en la industria, esta norma establece los parámetros para que el biodiésel funcione adecuadamente cuando se mezcla con fuelóleos destilados convencionales como combustible diésel y de calefacción, por tanto la norma ASTM D6751 se considera la norma de calidad fundamental para la industria del biodiésel, porque proporciona la información técnica necesaria para desarrollar con seguridad la industria para la producción y el uso del mismo, a los productores, mezcladores y usuarios, por tanto , a menos que se disponga lo contrario por acuerdo entre el comprador y el proveedor, prescribe las propiedades requeridas del combustible biodiesel en el momento y lugar de entrega (ASTM, 2012, p. 1).

#### **2.1.23. ASTM D-240: Método de prueba estándar para el calor de combustión de hidrocarburos líquidos mediante calorímetro de bomba**

La normativa ASTM D-240 hace referencia a la determinación del calor de combustión de los combustibles de hidrocarburos líquidos cuya volatilidad varía desde los destilados ligeros hasta la de los combustibles residuales. En condiciones normales, este método de prueba se aplica directamente a combustibles como son: gasolinas, queroseno, fueloil N<sup>0</sup>1 y N<sup>0</sup>2, combustible Diesel N<sup>0</sup>1- D y N<sup>0</sup>2-D y combustibles Diesel N<sup>0</sup> 0- GT, N<sup>0</sup>1-GT además de combustibles de turbinas de gas 2-GT.

Los valores indicados en unidades del Sistema Internacional deben considerarse como estándar. (ASTM D240, 2019, p. 3).

#### **2.1.24. NTE INEN 2482-2009: Biodiesel requisitos**

La normativa ecuatoriana NTE INEN 2482:2009, hace referencia a todos los parámetros necesarios que deben cumplir los ésteres metílicos o etílicos (FAME o FAEE) de ácidos grasos que serán usados como combustible para motores de ciclo diésel, la normativa se aplica al biodiesel con una concentración del 100% (B100), además se establece el uso de aditivos que se añaden al biodiesel con el objetivo de mejorar y prevenir la transformación de las características

fisicoquímicas , ya que los componentes del biodiesel no deben producir efectos negativos para la salud y el medio ambiente. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p. 1-10).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Descripción de enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es sistémico de al tipo cuantitativo, porque para el desarrollo del trabajo de titulación se usa la recolección de datos para probar la hipótesis que la extracción del aceite de las semillas de *Moringa oleífera* permite obtener un biocombustible con un alto rendimiento energético, a través de métricas de medición que comprueben los resultados obtenidos, de igual manera se enmarca dentro de un enfoque cualitativo ya que utiliza la descripción de características adecuadas al tema de estudio propuesto, para de esta forma probar o no la hipótesis planteada porque la interpretación de los datos se extraen de las pruebas de laboratorio realizadas.

#### 3.2 Alcance

La propuesta del trabajo de integración curricular denominada, "Elaboración de un biocombustible a partir del aceite extraído de las semillas de *Moringa (Moringa oleífera)*" está enfocado en el beneficio a la sociedad y la investigación sobre el desarrollo de nuevas tecnologías sustentables con el medio ambiente, para garantizar el aprovechamiento de los recursos renovables a través del uso de energías limpias y de esta manera evitar el incremento de la contaminación ambiental debido a la utilización de combustibles fósiles.

Con el objetivo de mitigar los efectos ambientales causados por el cambio climático y el calentamiento global, el alcance que tiene el proyecto no se limita únicamente a pruebas experimentales desarrolladas como parte de la investigación en la academia, sino como una solución integral que puede ser replicada de manera global pues el uso y aprovechamiento de los beneficios de los biocombustibles, no se limitan únicamente a países en vías de desarrollo como Ecuador sino también a países de primer mundo en el cual es muy común la explotación petrolera y el elevado consumo energético, en tal virtud se realizó el estudio de investigación propuesto bajo estándares que cumplan con las normas de calidad nacionales e internacionales existentes para garantizar un biocombustible eficiente a un costo razonable, mediante el aprovechamiento de la materia orgánica de las semillas de moringa, el mismo que por sus características es apto para la obtención de un biocombustible, aportando de esta manera una solución específica a un problema de tipo global.

### **3.3 Diseño de investigación**

El desarrollo del trabajo de integración curricular propuesto está basado en el diseño de investigación experimental, pues se utilizó para establecer una relación entre la causa y el efecto para la obtención de biocombustible a través de las semillas de la moringa oleífera, en el cual se observa el efecto causado por la variable independiente sobre la variable dependiente, debido a que contribuye con la resolución del problema.

Las variables independientes son manejadas para monitorear el cambio de la variable dependiente en el proceso. El diseño experimental se caracteriza porque las variables presentes en el mismo estarán expuestas a la manipulación, control y observación, en las diferentes pruebas que serán realizadas en el laboratorio hasta determinar la manera óptima para la obtención de biocombustible, controlando de forma directa o por procedimientos estadísticos los factores que puedan afectar el experimento.

### **3.4 Tipo de investigación**

El presente trabajo de integración curricular será desarrollado en base a las características de la investigación de campo-laboratorio puesto que la recolección de la información estará basada en la observación y recolección de los resultados de las diferentes pruebas desarrolladas en el laboratorio con los diversos reactivos hasta la obtención de biocombustible, por tanto, la información se extraerá directamente del lugar donde se genera la información técnica, el autor (Arias 2012, p. 31) menciona que: “la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna puesto que el investigador obtiene la información, sin alterar las condiciones existentes” (Arias 2012, p. 31).

### **3.5 Método de investigación**

El método de investigación corresponde al método inductivo por la determinación de las características particulares de una muestra, hasta llegar a conclusiones generales de la población, muchas veces se explica esto diciendo que el método inductivo va de lo particular a lo general. (Biesuz y E 2014, p. 86-92), pues se parte de procedimientos específicos hasta obtener el biocombustible deseado.

De acuerdo con las características de estudio también corresponde al método deductivo porque establece conclusiones a partir de generalizaciones, de los diversos biocombustibles que existen, hasta la utilización de las semillas de moringa oleífera para la extracción del aceite.

### 3.6 Técnicas e instrumentos de investigación empleadas

La investigación y recolección diversas fuentes de información ha sido desarrollada en base a un proceso de selección, clasificación y balance, porque permite mejorar la comprensión de un proceso, a continuación, se muestra las técnicas e instrumentos utilizados.

**Tabla 1-3:** Técnica e instrumentos utilizados

Variable/ Concepto	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumento
<b>Biocombustible:</b> Se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal.	Procedimiento  Registro de tiempos a cada proceso  Procedimiento	Rendimiento del aceite  Eficiencia en el proceso  Calor de combustión de hidrocarburos líquidos	Recolección de datos  Observación  Prueba estándar	Flujograma del proceso  Pruebas con diferentes solventes  ASTM D-240

Fuente: (Gutiérrez Pulido, 2014)

Realizado por: (Haro Verónica, 2022)

### 3.7 Fuentes de la Investigación

Las fuentes de investigación seleccionadas corresponden al tipo primario, las cuales fueron recolectadas en campo, a través de la experimentación en el laboratorio para obtener el aceite esencial de moringa, como partida para la obtención del resultado final, no obstante, el análisis de datos permitió establecer el mejor método para la obtención de biocombustible.

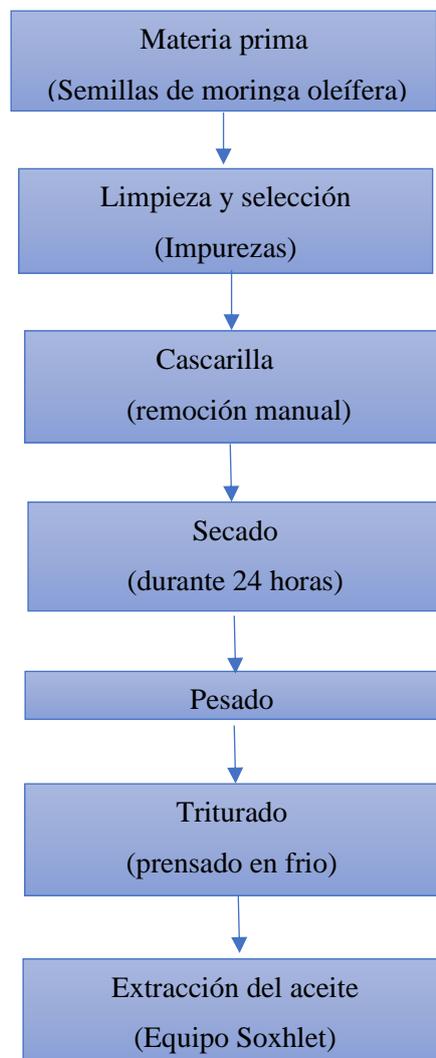
### 3.8 Determinación de la cantidad de aceite de moringa.

Para la extracción del aceite de moringa se realizó diversas pruebas con distintos solventes hasta encontrar el solvente óptimo para la extracción de este aceite, por ello se realizó los diversos procedimientos que a continuación se mencionan:

#### 3.8.1.1 Universo

A partir del peso de 2982.9545g de semillas de moringa *oleífera* se extrajo 1500 ml de aceite, lo cual constituye el volumen correspondiendo al universo de análisis del aceite de moringa.

Se muestra un diagrama de flujo de los pasos seguidos para la obtención del aceite de moringa



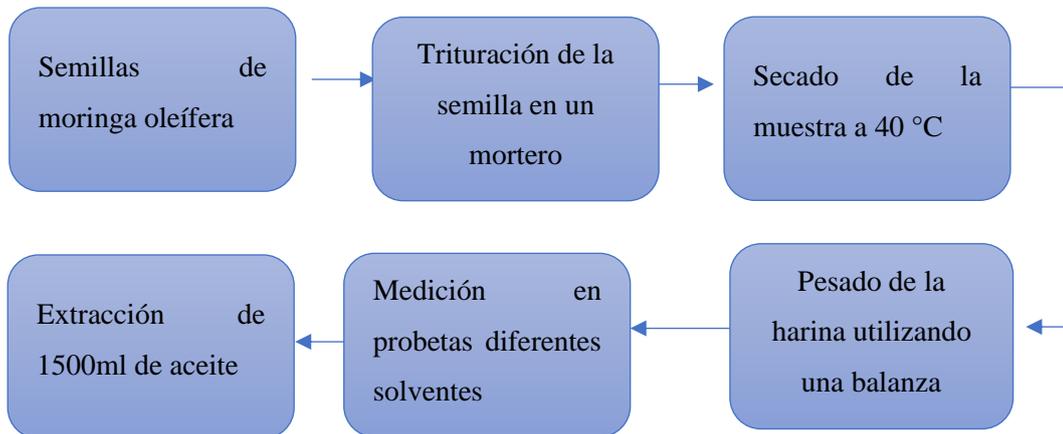
**Ilustración 1-3:** Flujograma proceso

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### 3.8.2 Muestra

Debido a que el universo en su totalidad representa 1500ml de aceite de moringa y al no ser un universo extenso se establece que el tamaño de la muestra es igual al universo.

A continuación, se describe el proceso para la extracción del aceite de moringa:



**Ilustración 2-3:** Esquema del método de extracción de aceite

Realizado por: Haro Verónica. 2022



**Ilustración 3-3:** Extracción del aceite

Fuente: Haro Verónica, 2022

### 3.8.3 Unidad de muestreo

La unidad de muestreo está compuesta en base a cada una de las pruebas que fueron realizadas con los equipos de laboratorio, para la extracción del aceite, a continuación, se describen los equipos utilizados para este fin.

### 3.8.4 Materiales y métodos

#### 3.8.4.1 Equipo Dean Stark

Utilizado en una prueba para la extracción del aceite de moringa, para el desplazamiento de las reacciones de condensación.

**Montaje del destilador Dean Stark:** Los componentes del equipo se muestran a continuación:

**Tabla 2-3:** Montaje Dean Stark

<b>Componente:</b>	<b>Descripción:</b>
Balón de evaporación	Vidrio borosilicato 3.3 cm
Colector/ trampa Dean stark	Válvula de descarga
Refrigerante a reflujo	Conexión a entrada y salida
Reverbero	Manejo de nivel de temperatura
Soporte universal	Permite manipulación y seguridad de las partes del equipo
Mangueras para conexión	Mangueras de hule latex

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

Los parámetros del equipo Dean Stark, utilizados en la prueba inicial son los que se describen a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 3-3:** Parámetros equipo Dean Stark

<b>Parámetros:</b>	<b>Unidad:</b>
Temperatura	60-70 °C,
Tiempo	3h
Volumen	500ml agua destilada
Muestra	30 g de moringa fresca
Solución:	5g cloruro de sodio al 1%

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

### 3.8.4.2 Equipo soxhlet

**Equipo Soxhlet:** Utilizado en varias pruebas para la obtención del aceite de moringa, extrayendo sustancias de poca solubilidad en los disolventes de extracción, este equipo supone un avance en el control de calidad del aceite extraído.

**Montaje del equipo Soxhlet:** Los componentes y parámetros de utilización del equipo se muestran a continuación, en la siguiente tabla:

**Tabla 4-3:** Equipo Soxhlet

<b>Componente:</b>	<b>Componente:</b>
Balón de evaporación	Montado sobre estructura autoportante de acero (Soporte universal)
Balón o vaso colector y válvula de descarga	Preparado para trabajar a presión atmosférica o reducida.
Pinzas	Columna de destilación y refrigerante en bajada
Dedal	Baño María

**Realizado por:** Haro Verónica. 2022

Los parámetros de funcionamiento del equipo, utilizados en las pruebas descritas a continuación se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5-3:** Parámetros equipo Soxhlet

<b>Parámetros:</b>	<b>Unidad:</b>
Temperatura	30-72 °C
Tiempo	15 – 36 minutos
Volumen	360ml (para cada solvente utilizado)
Muestra	20g de moringa (seca 24h)
Solvente 1:	Hexano (punto de ebullición 72°C)
Solvente 2:	Éter etílico (punto de ebullición 30°C)

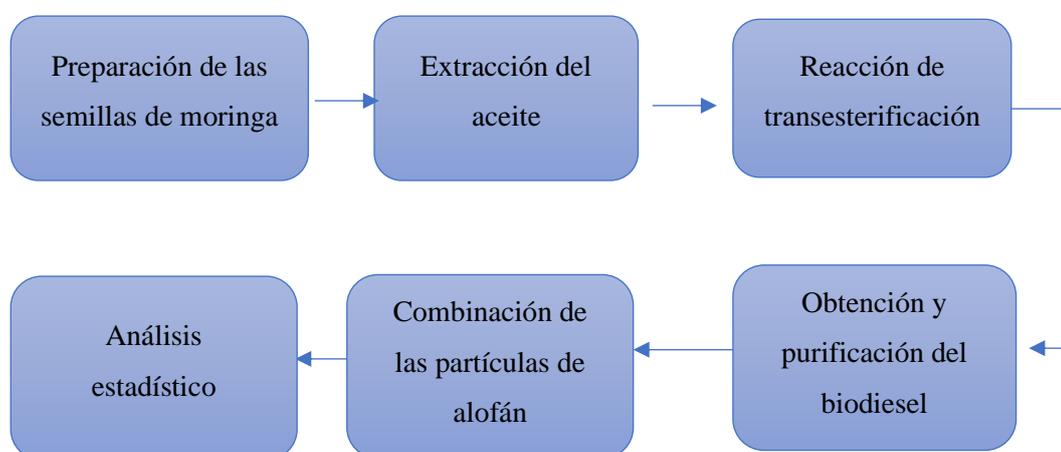
**Realizado por:** Haro Verónica. 2022

La tabla muestra los parámetros utilizados para la extracción del aceite de moringa en la fase inicial para la obtención de biocombustible.

### 3.9 Método de recolección de la información

El método de recolección de la información inició con la extracción del aceite de moringa oleífera, para ello fue necesario preparar las semillas para el proceso de extracción, por lo cual se separó las cáscaras de los cotiledones mediante un proceso de descascarado manual, utilizando una tijera para cortar la película que recubre la semilla, seguidamente se tritura con un mortero de laboratorio donde es sometido a un procedimiento de secado mediante una estufa, por un determinado tiempo.

A continuación, se muestra el esquema del método de recolección de la información, que fue seguido para la obtención de biocombustible:



**Ilustración 4-3:** Esquema del método de recolección de la información

Realizado por: Haro Verónica. 2022

#### 3.9.1 Materiales y Reactivos utilizados

En las diferentes etapas realizadas para obtener el biocombustible se desarrollaron distintos procedimientos conformados por materiales y reactivos utilizados acorde cada fase ejecutada, como se muestra a continuación:

#### Extracción del aceite:

**Tabla 6-3:** Extracción del aceite de moringa

Sustancias y reactivos	Materiales
Agua destilada	Equipo de Soxhlet
Hexano	Equipo Dean Stark
Cloruro de sodio	Balanza analítica

Éter etílico	Estufa
Semilla de moringa oleífera	Balón 1000ml
	Mortero
	Espátula
	Papel filtro
	Pipeta graduada
	Algodón
	Baño María
	Sifón
Refrigerante de bolas	

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### Reacción de transesterificación:

**Tabla 7-3:** Reacción de transesterificación

Sustancias y reactivos	Equipos
Hidróxido de potasio	Balón de dos bocas
Metanol Anhidro	Refrigerante de bolas
Aceite de semilla de Moringa oleífera	Agitador magnético con placa de cerámica de calentamiento

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### Obtención y purificación del biodiesel:

**Tabla 8-3:** Obtención y purificación del biodiesel

Etapa de lavado	Etapa de purificación
Embudo de decantación	Centrífuga
Rociador de agua	Estufa

Realizado por: Haro Verónica. 2022

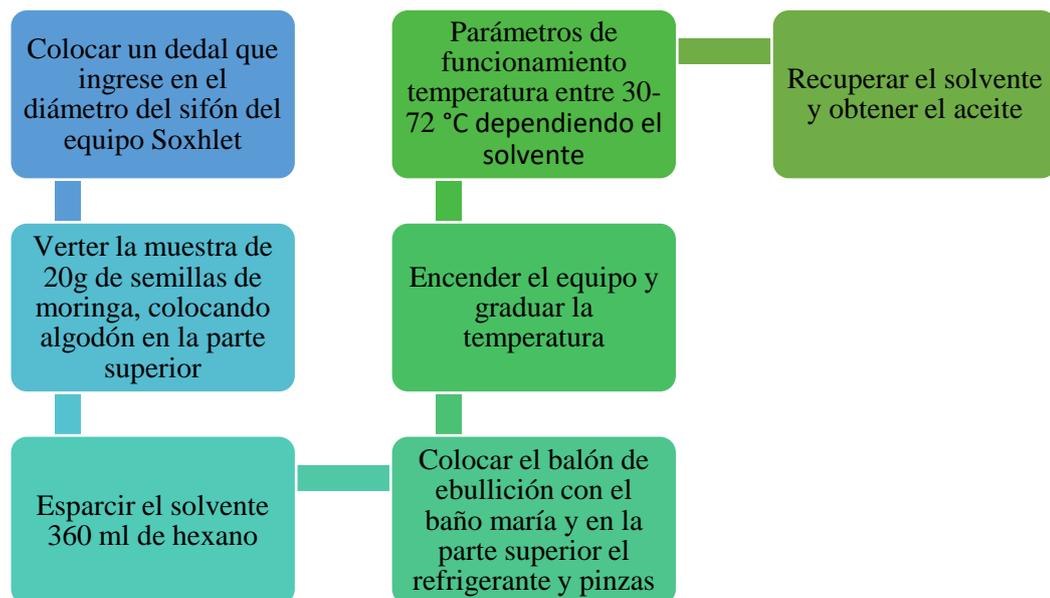
### 3.10 Desarrollo experimental

El trabajo de integración curricular propuesto se desarrolló experimentalmente en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, este proceso se basa en la extracción del aceite

de las semillas de Moringa, a través del método Soxhlet cuyo objetivo fue la separación de mezclas líquidas – sólidas para la purificación del aceite obtenido de la moringa utilizando diferentes solventes, se procedió a la reacción de transesterificación, para ello se realizó diversas pruebas de laboratorio, determinando la forma más óptima para obtener biocombustible, comparando los parámetros de calidad que establece la normativa ASTM D 6751-02 sobre la especificación estándar para mezcla de combustible biodiésel (B 100) para combustibles destilados y la normativa UNE- EN 14214:2013 V2+A1, para los productos petrolíferos líquidos, ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diésel y equipos de calefacción, requisitos y métodos de ensayo regulación.

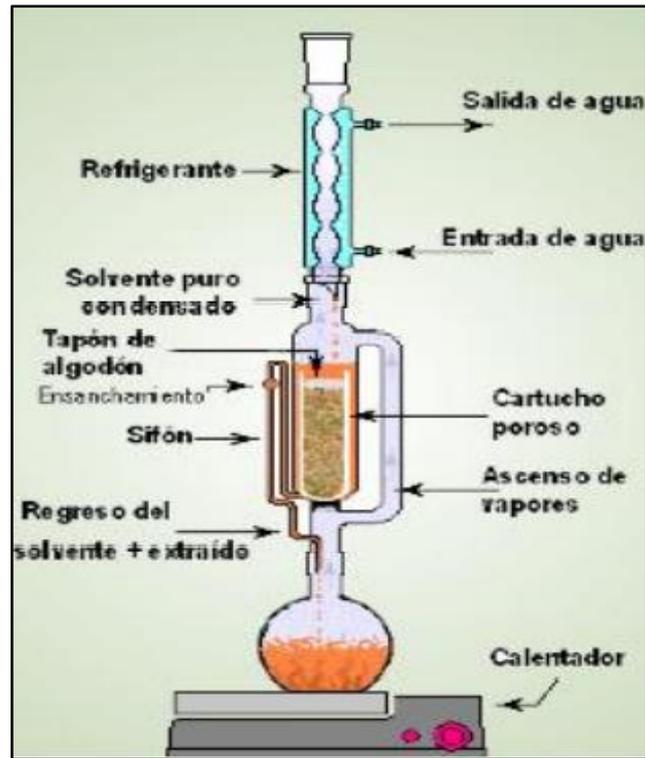
### 3.11 Procedimiento del equipo Soxhlet

El procedimiento para utilizar el equipo Soxhlet con un volumen de 250 ml del sifón, realizado en el laboratorio se describe a continuación:



**Ilustración 5-3:** Procedimiento del equipo Soxhlet

Realizado por: Haro Verónica, 2022



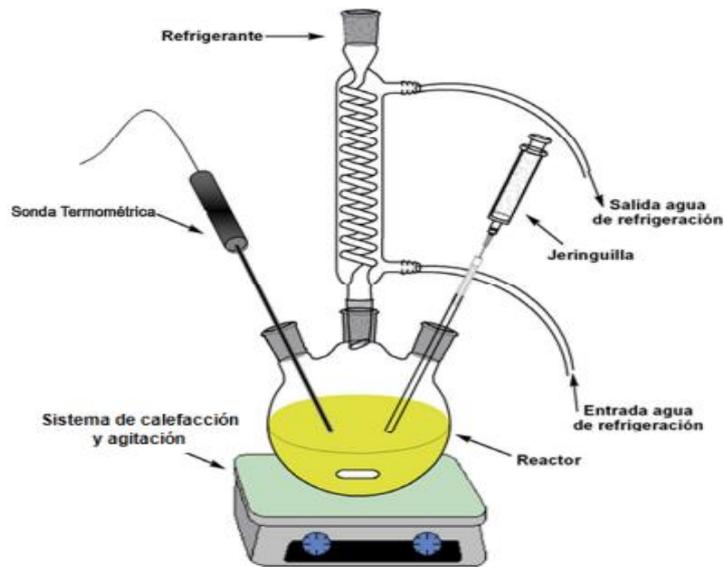
**Ilustración 6-3:** Esquema de extracción

Fuente: (Guerrero De La A y Kocher Solano 2019)

La consideración de la utilización del método Soxhlet para la extracción del aceite de moringa se debe a la baja complejidad del procedimiento en referencia a otros métodos existentes.

### 3.12 Procedimiento de la transesterificación con catalizador básico

El proceso de transesterificación reside en combinar un aceite de tipo vegetal a la vez con la aplicación de un alcohol ligero, el cual genera como resultado un biocombustible y un residuo de valor añadido como lo es la glicerina. El procedimiento para la reacción de transesterificación fue llevado a cabo en el laboratorio donde se realizó mediante un calentamiento previo del aceite hasta la temperatura de 50°C, utilizando una reacción molar alcohol en el cual se utilizaron 25 gr de aceite de moringa oleífera, añadiendo 9 ml de metanol, para ello se empleó como catalizador de 0,3 de hidróxido de potasio a una temperatura de 50°C, en un lapso de 30 minutos a 660 RPM., en este punto del procedimiento se midió el tiempo de reacción, durante la cual se garantizó una velocidad de agitación determinada, finalizado el procedimiento el producto derivado se dejó reposar el componente con el objetivo de apreciar la separación de la fase en la que se obtuvo la glicerina de la fase de ésteres metílicos de ácidos grasos. El metanol anhidro (CH<sub>3</sub>OH) que se utilizó tiene una pureza mayor que 99,5%, mientras que el catalizador utilizado fue el hidróxido de potasio (KOH).



**Ilustración 7-3:** Esquema general de la instalación

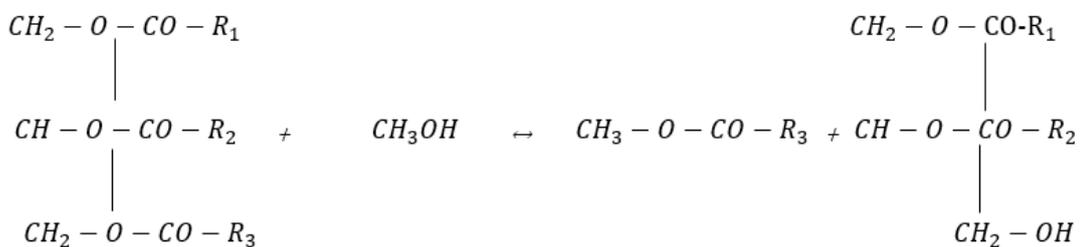
Fuente: (Sánchez , 2015)

La figura 3-2 muestra el esquema general de la instalación para la reacción de transesterificación, el equipo utilizado para el procedimiento constó de un balón de dos bocas, refrigerante de bolas, la plancha calefactora, el aceite de moringa, un catalizador y magnetos

### 3.12.1 Reacción de transesterificación:

Se muestra la reacción la misma que consta de 3 etapas próximas y transformables de esta manera el triglicérido se convierte en diglicérido, monoglicérido finalmente en glicerina como un subproducto de lo que se pretende encontrar, como se muestra a continuación:

#### 1) FASE INICIAL



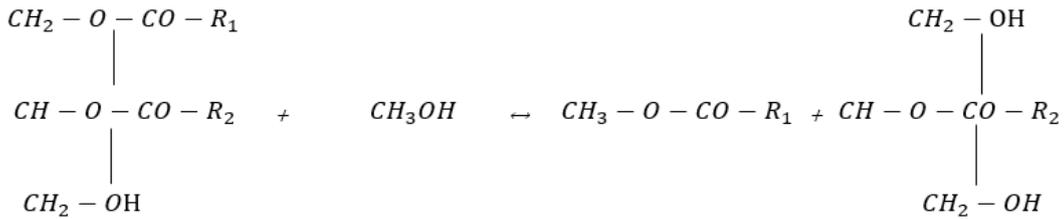
**TRIGLICÉRIDO**

**METANOL ANHIDRO**

**METIL ESTER**

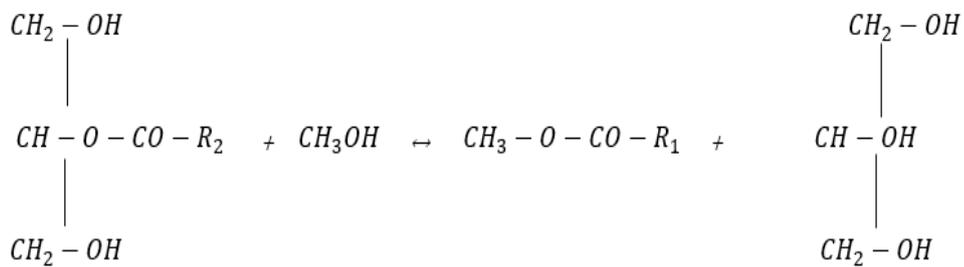
**DIGLICÉRIDO**

**2) FASE INTERMEDIA**



**DIGLICÉRIDO    METANOL ANHIDRO    METIL ESTER    MONOGLICÉRIDO**

**3) FASE FINAL**



**MONOGLICÉRIDO    METANOL ANHIDRO    METIL ESTER    GLICERINA**

Las reacciones que se describen anteriormente hacen referencia al proceso que se lleva a cabo en la transesterificación, porque estas se producen de manera inmediata, razón por lo cual no se puede distinguir cada fase, no obstante, se realizó una variación de las condiciones de reacción con el objetivo de facilitar el rendimiento de un producto resultante como parte del proceso.

**3.12.2 Resultados de la transesterificación**

Una vez realizado el proceso de transesterificación los resultados obtenidos fueron:

- glicerina
- biodiesel

El análisis está basado en las características del biodiesel con respecto a los parámetros que manifiesta la normativa ASTM D 6751-02 sobre la especificación estándar para mezcla de combustible biodiésel (B 100) para combustibles destilados y la normativa UNE- EN 14214:2013



**Ilustración 8-3:** Resultados transesterificación

Realizado por: Haro Verónica, 2022

### 3.12.3 Pruebas realizadas – Extracción del aceite

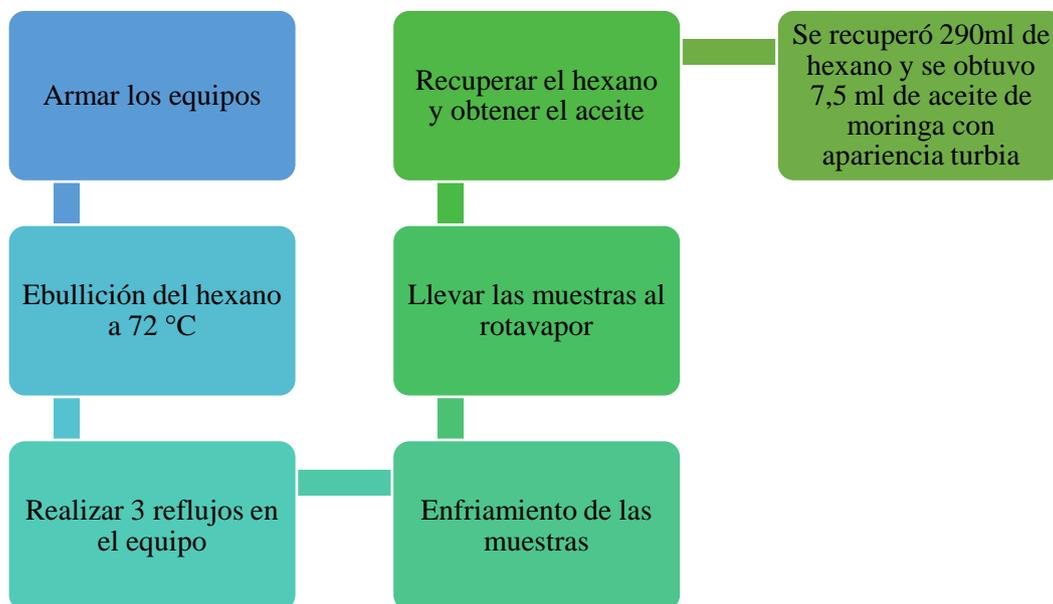
#### Prueba 1

**Tabla 9-3:** Equipos utilizados- prueba 1

Equipos utilizados y materiales	
*Equipo:	Equipo soxhlet
*Materia prima:	10 g de Moringa fresca
*Solvente:	380 ml de Hexano

Realizado por: Haro Verónica. 2022

#### Descripción del proceso:



**Ilustración 9-3:** Prueba 1- extracción del aceite

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 10-3:** Prueba 1

Fuente: Haro Verónica, 2022

*Resultado obtenido:* En esta prueba se obtuvo 7,5 ml de aceite extraído utilizando 10 g de moringa fresca, con una temperatura de 72 °C

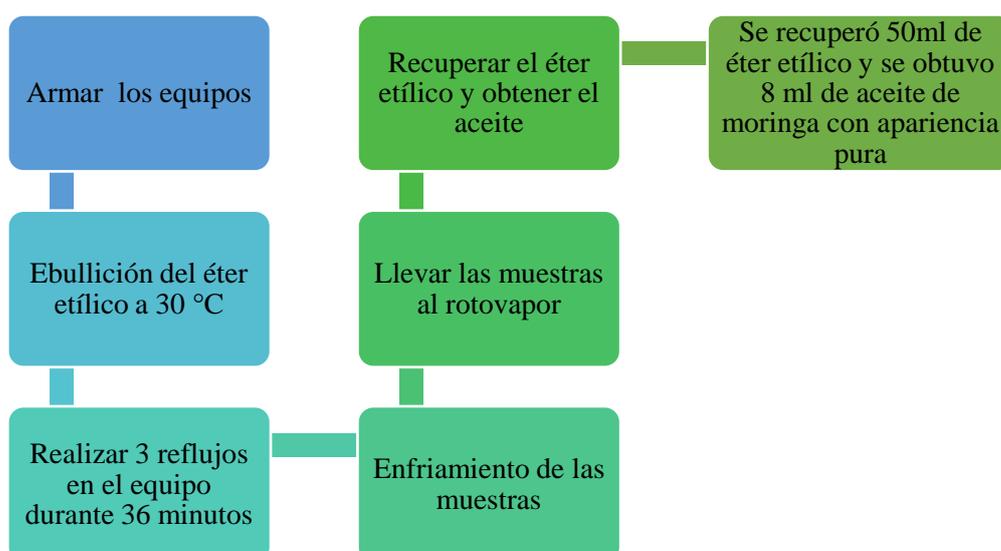
## Prueba 2

**Tabla 10-3:** Obtención del aceite- prueba dos

<b>Equipos utilizados y materiales</b>	
* <b>Equipo:</b>	Equipo soxhlet
* <b>Materia prima:</b>	20 g de Moringa (muestra secada 24 h)
* <b>Solvente:</b>	360 ml de Éter etílico

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### Descripción del proceso:



**Ilustración 11-3:** Prueba 2 - extracción del aceite

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 12-3:** Segunda prueba

Fuente: Haro Verónica, 2022

*Resultado obtenido:* En esta prueba se obtuvo 7,5 ml de aceite extraído con apariencia pura, utilizando 20 g de moringa seca, con una temperatura de 30 °C

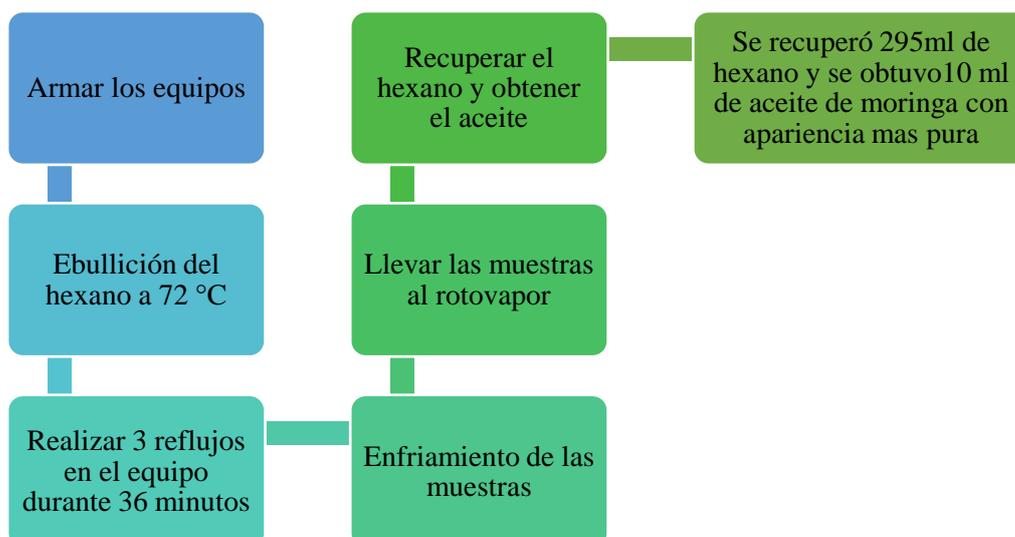
### Prueba 3

**Tabla 11-3:** Obtención del aceite - prueba tres

Equipos utilizados y materiales	
*Equipo:	Equipo soxhlet
*Materia prima:	20 g de Moringa (muestra secada 24 h)
*Solvente:	360 ml de Hexano

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### Descripción del proceso:



**Ilustración 13-3:** Prueba 3 - extracción del aceite

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 14-3:** Tercera prueba

Fuente: Haro Verónica, 2022

*Resultado obtenido:* En esta prueba se obtuvo 7,5 ml de aceite extraído utilizando 20 g de moringa de una muestra seca durante 24 h, con una temperatura de 72 °C

#### Cálculo de la densidad del aceite mediante el picnómetro

$$m_{\text{picnómetro}} = 24.1065 \text{ g}$$

$$m_{\text{picnómetro+aceite}} = 32.8044 \text{ g}$$

$$v = 10 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{m_{\text{aceite}} - m_{\text{picnómetro}}}{v} = \frac{32.8044 \text{ g} - 24.1065 \text{ g}}{10 \text{ ml}} = 0.86987 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

**pH=5**

**índice de refracción=1.47063**

**Brix %= 72.11**

#### 3.12.4 Cálculo del rendimiento del aceite

**Tabla 12-3:** Cálculo rendimiento del aceite

Masa de aceite producido ( $m_{ap}$ )	Masa de semillas de moringa utilizada ( $m_{mu}$ )	Rendimiento
1304.685 g (1500ml)	2982.954545 g	43.73 %

Realizado por: Haro Verónica. 2022

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_{ap}}{m_{mu}} \cdot 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1304.685 \text{ g}}{2982.954545 \text{ g}} \cdot 100$$

$$\text{Rendimiento} = 43.73 \%$$

### Reactivos utilizados para la obtención del biodiesel

Las propiedades de los reactivos los cuales fueron utilizados para la obtención del biodiesel se muestran a continuación:

#### Hidróxido de potasio (KOH)

**Tabla 13-3:** Tabla de propiedades físicas hidróxido de potasio

<b>Propiedades físicas del hidróxido de potasio</b>	
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Blanco
Densidad	2000 kg/m <sup>3</sup> , 2 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	679 K (406°C)
Punto de ebullición	1.593 K (1.320°C)

Realizado por: Haro Verónica. 2022

#### Metanol Anhidro (CH<sub>3</sub>OH)

**Tabla 14-3:** Tabla de propiedades físicas del metanol anhidro

<b>Propiedades físicas del metanol anhidro</b>	
Masa	32,04 g/mol
Punto de inflamación	11°C
Densidad	0,7918 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	-98°C
Punto de ebullición	64,6 °C

Realizado por: Haro Verónica. 2022

El proceso químico de obtención del biocombustible se realiza a través de la reacción de transesterificación en la cual se reemplaza el glicerol por un alcohol, permitiendo disminuir la viscosidad del aceite, debido a la glicerina presente en la molécula, por ello se utilizó como catalizador el Hidróxido de Potasio, en una temperatura entre 18°C y 65°C, para que proceda la reacción se completó de obtención de biodiesel y glicerina; con los productos obtenidos se procedió con la purificación del biodiesel.

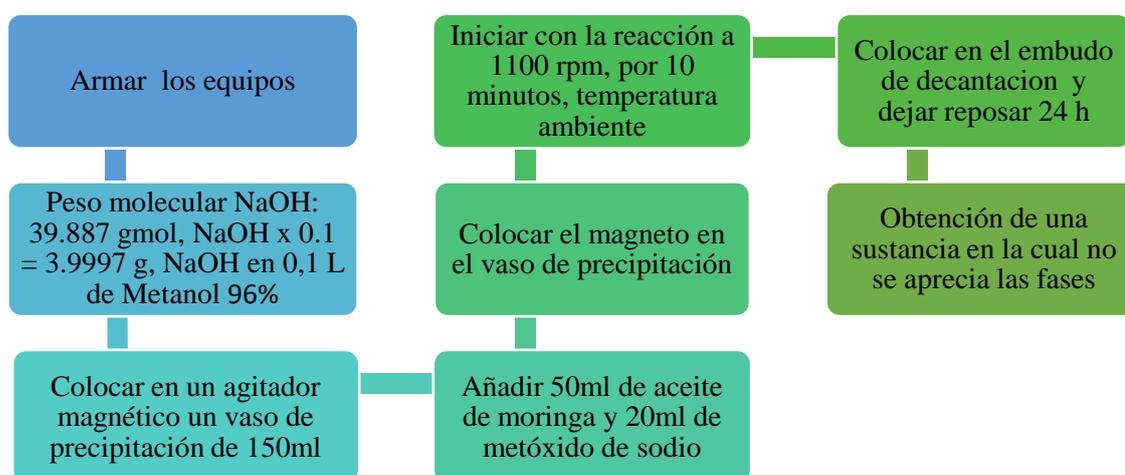
### 3.12.5 Transesterificación – prueba 1

**Tabla 15-3:** Prueba Transesterificación- prueba uno

Equipos utilizados y materiales:	
*Solución:	0.1 L
*Materia prima:	50 ml de aceite de Moringa
*Reactivo:	Metanol 96%

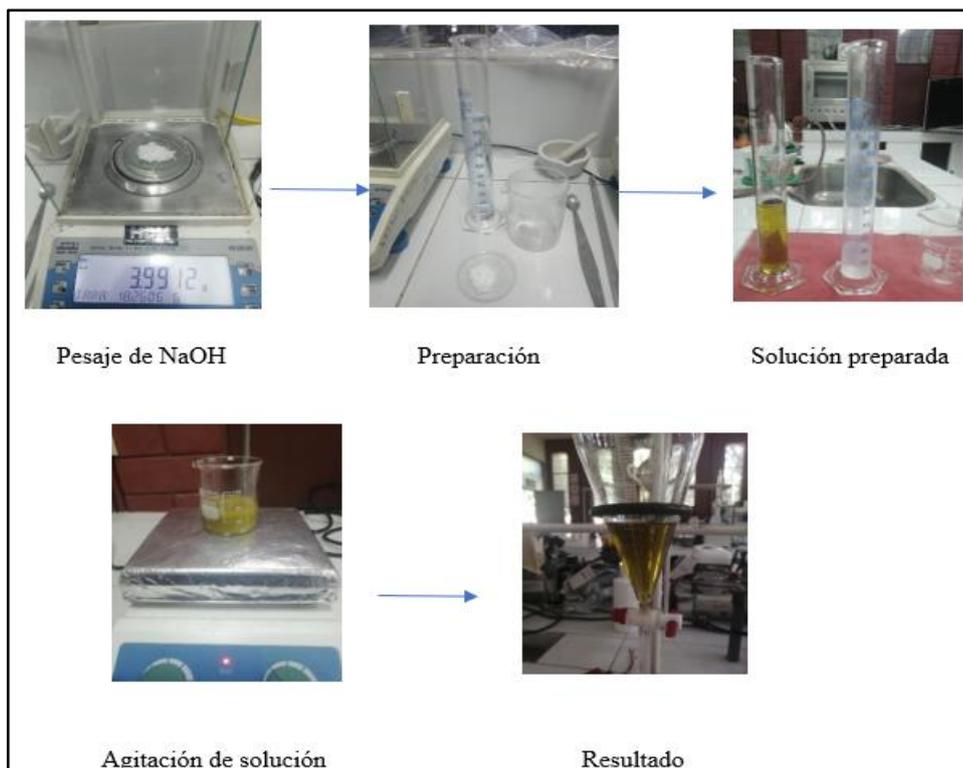
Realizado por: Haro Verónica, 2022

#### Descripción del proceso:



**Ilustración 15-3:** Prueba 1 - transesterificación

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 16-3:** Transesterificación- prueba uno

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Resultado:** En la primera prueba se utilizó 50 ml de aceite de moringa, a una velocidad de agitación de 1100 rpm, y una temperatura de 18 °C, como resultado se obtuvo una mezcla heterogénea sin separación de fases.

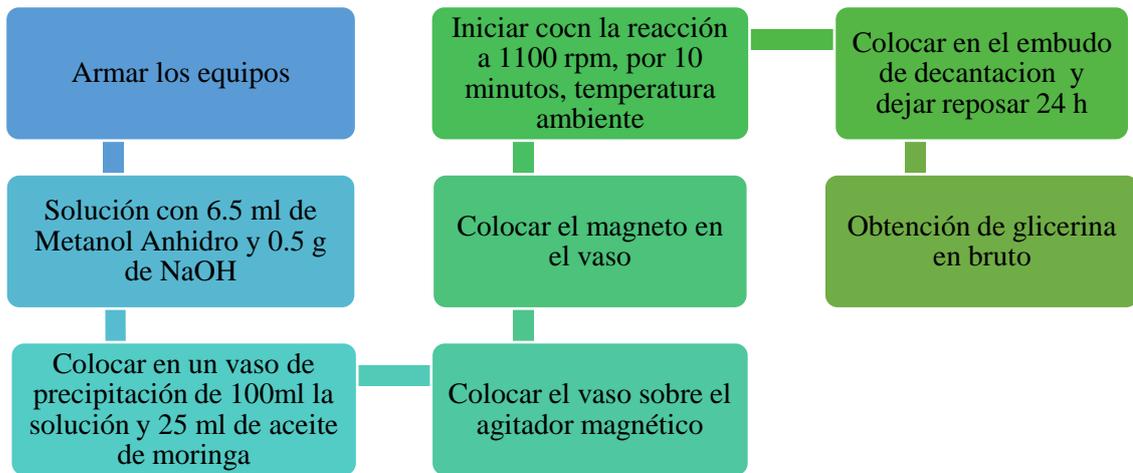
### 3.12.6 Pruebas realizadas – prueba dos

**Tabla 16-3:** Prueba Transesterificación- prueba dos

<b>Equipos utilizados y materiales:</b>	
<b>*Solución:</b>	6.5 ml
<b>*Materia prima:</b>	25 ml de aceite de Moringa
<b>*Reactivo:</b>	6.5ml Metanol Anhidro CH <sub>3</sub> OH 0.5 g de NaOH

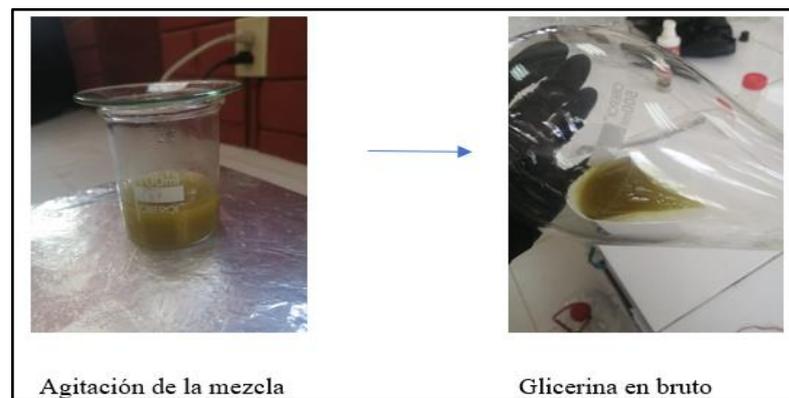
Realizado por: Haro Verónica, 2022

### Descripción del proceso:



### Ilustración 17-3: Prueba 2 - transesterificación

Realizado por: Haro Verónica, 2022



### Ilustración 18-3: Transesterificación- prueba dos

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Resultado:** Esta prueba fue realizada considerando como parámetros 25 ml de aceite de moringa, a velocidad de agitación de 1100 rpm con una temperatura de 18 °C, como resultado de esta reacción se obtuvo glicerina en bruto.

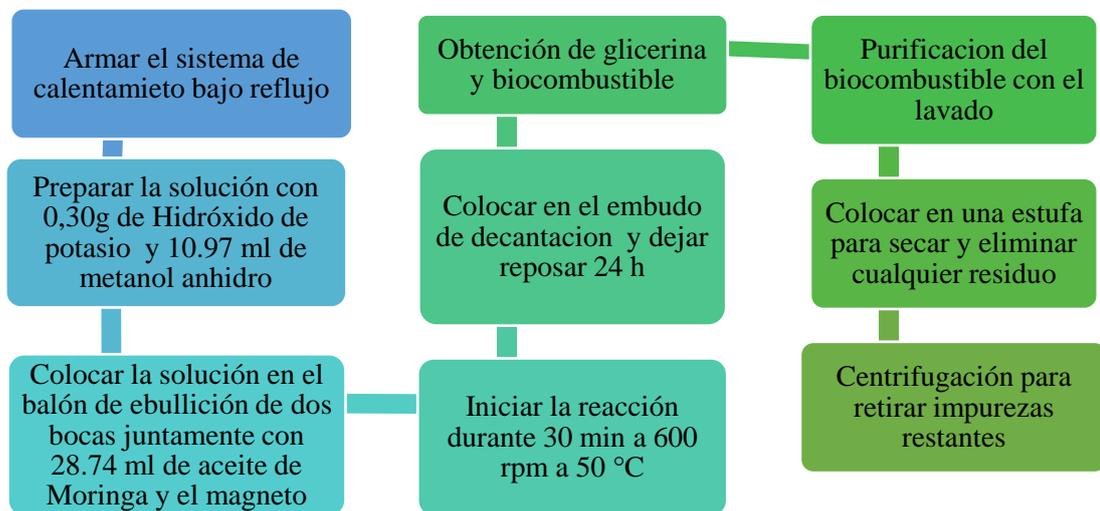
### 3.12.7 Pruebas realizadas – prueba tres

**Tabla 17-3:** Prueba Transesterificación- prueba tres

Equipos utilizados y materiales:	
*Solución:	10.97 ml
*Materia prima:	28.74 ml de aceite de Moringa
*Reactivo:	10.97 ml Metanol Anhidro CH <sub>3</sub> OH 0.30 g Hidróxido de potasio (KOH)

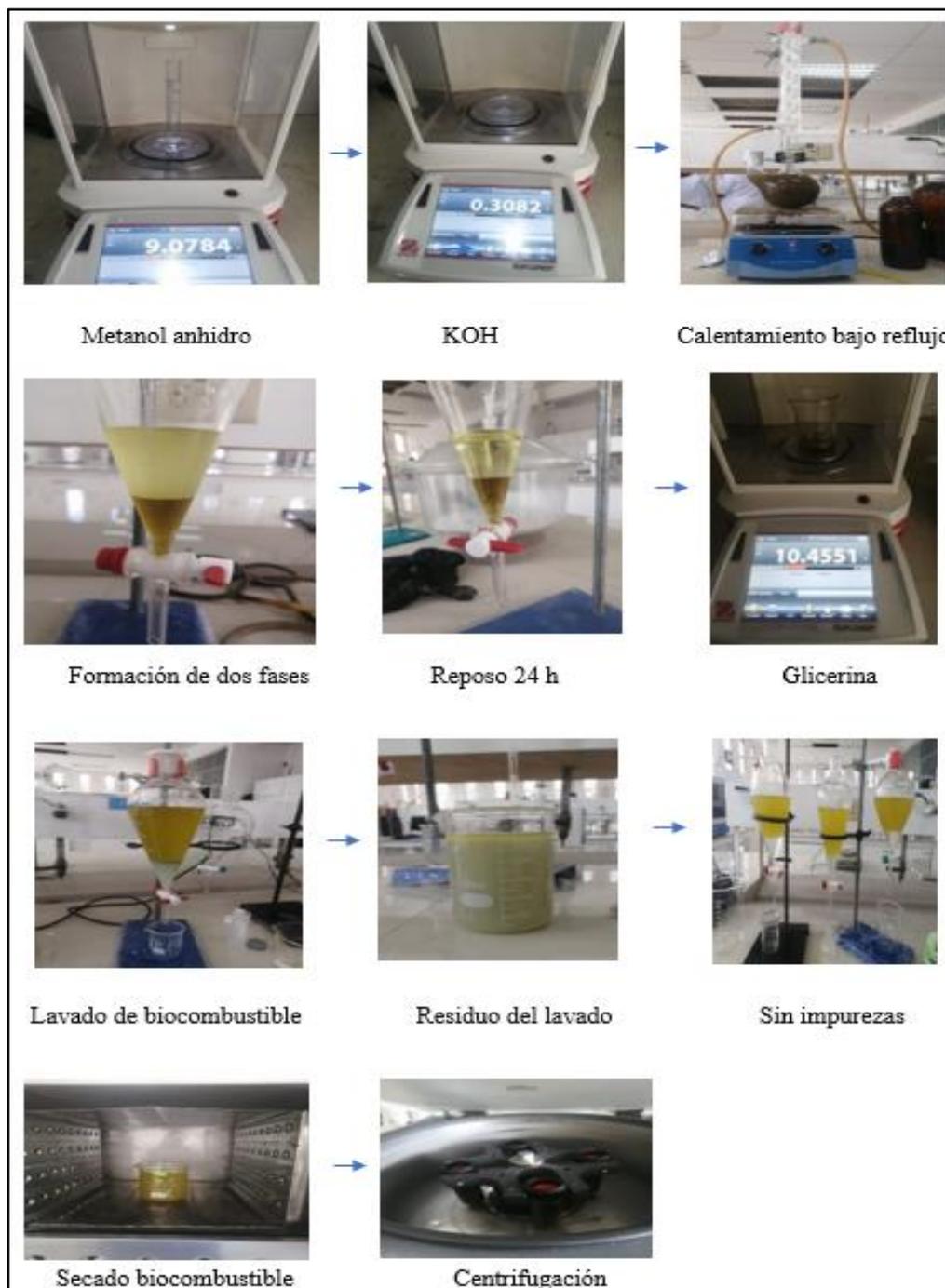
Realizado por: Haro Verónica, 2022

#### Descripción del proceso:



**Ilustración 19-3:** Prueba 3 - transesterificación

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 20-3:** Proceso transesterificación- prueba tres

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Resultado:** En esta prueba se obtuvo la transesterificación completa con la obtención de las dos fases definidas, procediendo con la separación, secado y centrifugación del biocombustible para eliminar impurezas. Bajo los siguientes parámetros, 28.74ml de aceite de moringa, con una velocidad de agitación de 600 rpm a una temperatura de 50-60 °C.

### Cálculo de la densidad del biocombustible mediante el picnómetro

$$m_{\text{picnómetro}} = 24.4889 \text{ g}$$

$$m_{\text{picnómetro+biocombustible}} = 33.2721 \text{ g}$$

$$v = 10 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{m_{\text{picnómetro+biocombus}} - m_{\text{picnómetro}}}{v} = \frac{33.2721 \text{ g} - 24.4889 \text{ g}}{10 \text{ ml}} = 0.87832 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

**pH=6**

**índice de refracción= 1.45552**

**Brix %=65.87**

**Humedad=0.782 % a T=105°C**

### Cálculo del rendimiento del biocombustible

$$R = \frac{m_{bp}}{m_{au}} \times 100$$

$$R = \frac{979.80 \text{ g}}{1090 \text{ g}} \times 100 = 89.8899\%$$

**Interpretación:** El rendimiento del biocombustible es de 89.8899% el mismo que depende del porcentaje del aceite que se puede extraer de la semilla.

$m_{bp}$  = masa de biocombustible producido

$m_{au}$  = masa de aceite utilizado

### Cálculo de la densidad de la glicerina mediante el picnómetro

$$m_{\text{picnómetro}} = 24.4935 \text{ g}$$

$$m_{\text{picnómetro+glicerina}} = 34.1423 \text{ g}$$

$$v = 10 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{m_{\text{picnómetro+glicerina}} - m_{\text{picnómetro}}}{v} = \frac{34.1423 \text{ g} - 24.4935 \text{ g}}{10 \text{ ml}} = 0.96488 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

**pH=12**

**índice de refracción=1.39714**

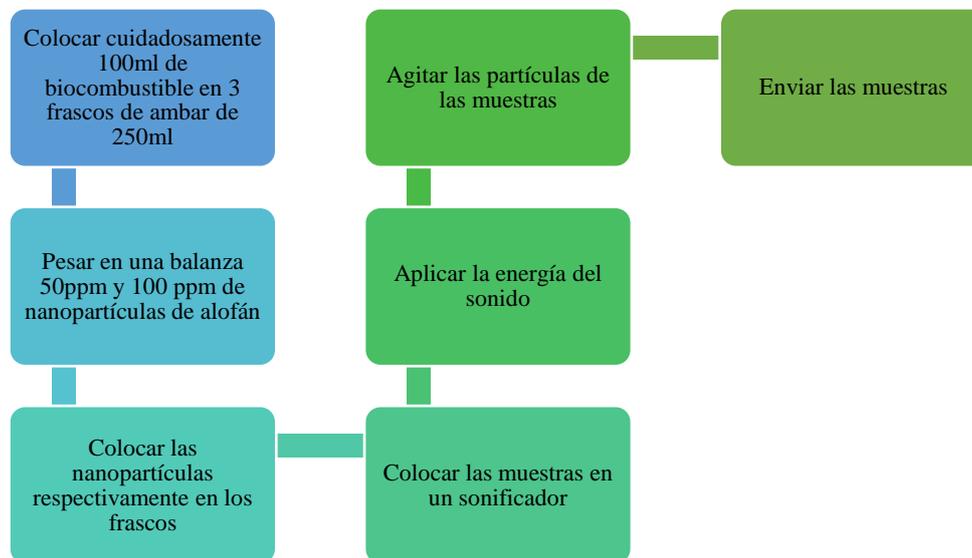
**Brix %=38.59**

**Humedad=48.4852 % a T=105°C**

### 3.12.8 Combinación de nanopartículas de alofán al biodiesel

En la actualidad la combinación de nano aditivos a una sustancia permite mejorar aspectos positivos a los constituyentes de esta, en comparación a la sustancia sola, como lo son la adición de nano aditivos a un combustible con el objetivo de aumentar la velocidad de combustión, reducción de las emisiones gaseosas , reducción del consumo de combustible, entre otros, además de considerar el aspecto ambiental en el cual se reducen los gases contaminantes productos de la combustión, porque el funcionamiento de las nanopartículas se produce de forma física debido a la reacción que se produce en las nano esferas, mismas que se encuentran presentes en el combustible, manteniendo la formación molecular y dinámicas integras.

A continuación, se muestra el procedimiento utilizado para la combinación de las nanopartículas al biodiesel:



**Ilustración 21-3:** Combinación nanopartículas alofán

Realizado por: Haro Verónica, 2022



Colocación biocombustible

Pesaje nanopartículas

Colocación de nanopartículas

Baño de ultrasonido

**Ilustración 22-3:** Combinación de nanopartículas de alofán

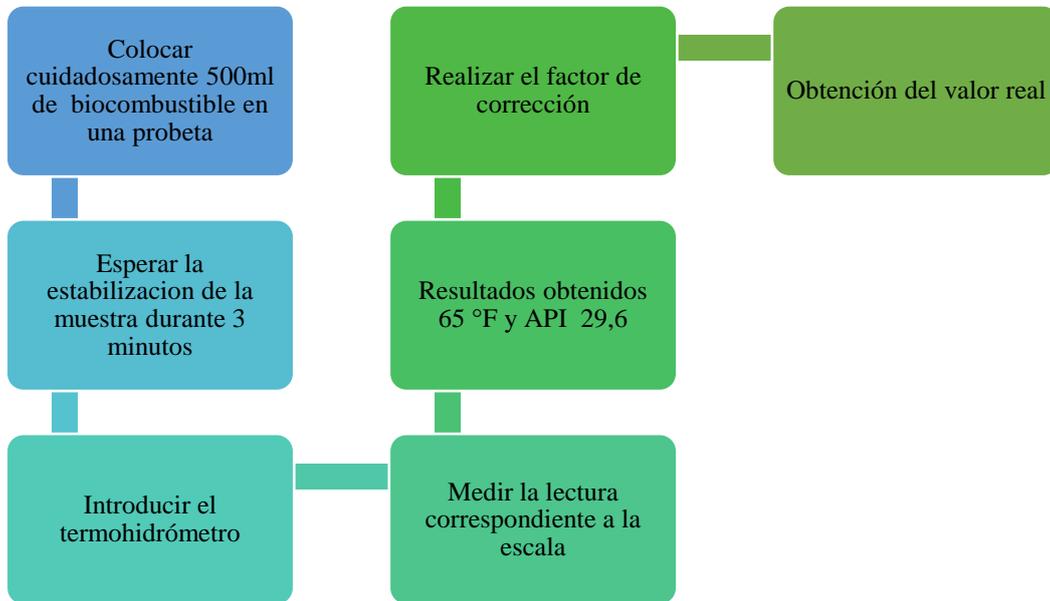
Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Poder Calórico de biodiesel:** la medición del poder calorífico del aceite de moringa fue realizado mediante la utilización de la bomba calorimétrica, porque el aceite utilizado para este fin corresponde a un biodiesel extraído de las semillas de moringa, los diversos ensayos fueron realizados bajo la Norma ASTM D-240, para ello las pruebas efectuadas fueron realizadas en la Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador.

### 3.13 Caracterización del biocombustible

#### 3.13.1 Densidad API

Descripción del proceso:



**Ilustración 23-3:** Descripción del proceso densidad API

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Diesel**

**Cálculo de la densidad API corregida:**

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(68^{\circ}\text{F} - 32)}{1.8} = 20$$

Factor de corrección: Por cada grado de temperatura de que se aumenta se multiplica por 0.2

$$\text{factor de correccion} = (T_1 - T_2) * 0.2$$

$$\text{factor de correccion} = (20^{\circ}\text{C} - 15.56^{\circ}\text{C}) * 0.2 = 0.888$$

**Densidad API corregida = densidad API – factor de corrección**

$$\text{Densidad API corregida} = 36.8 - 0.888$$

**Densidad API corregida** = 35.912

**Cálculo para la gravedad específica**

$$\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + (\text{densidad API corregida})}$$

$$\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + (35.912)}$$

$$\rho_r = 0.845$$

**Densidad del fluido**

$$\text{Densidad del fluido} = \rho_r * \rho_w$$

$$\text{Densidad del fluido} = 0.845 * 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad del fluido} = 842.465 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

**Biocombustible**

**Cálculo de la densidad API corregida:**

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(65^{\circ}\text{F} - 32)}{1.8} = 18.33$$

Factor de corrección: Por cada grado de temperatura que se aumenta se multiplica por 0.2

$$\text{factor de correccion} = (T_1 - T_2) * 0.2$$

$$\text{factor de correccion} = (18.33^{\circ}\text{C} - 15.56^{\circ}\text{C}) * 0.2 = 0.554$$

**Densidad API corregida** = densidad API – **factor de corrección**

$$\text{Densidad API corregida} = 29.6 - 0.554$$

$$\text{Densidad API corregida} = 29.046$$

**Cálculo para la gravedad específica**

$$\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + (\text{densidad API corregida})}$$

$$\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + (29.046)}$$

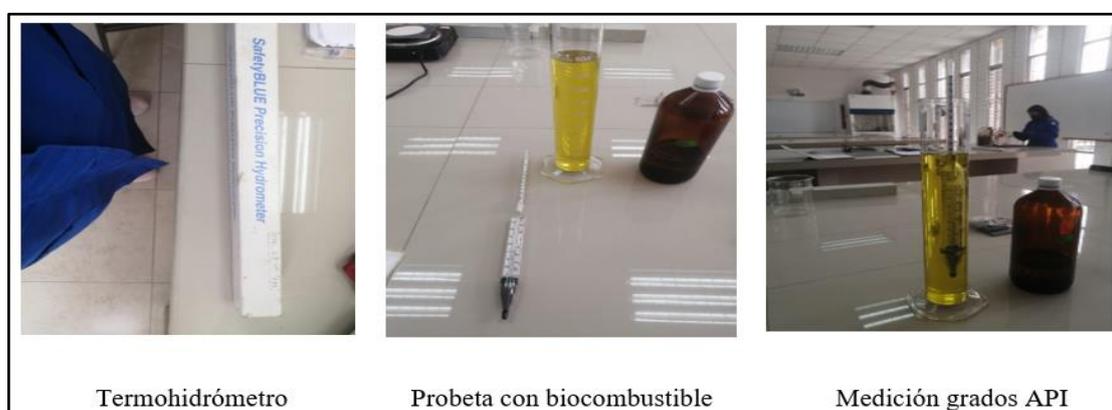
$$\rho_r = 0.881$$

### Densidad del fluido

$$\text{Densidad del fluido} = \rho_r * \rho_w$$

$$\text{Densidad del fluido} = 0.881 * 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad del fluido} = 878.357 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$



**Ilustración 24-3:** Densidad del fluido

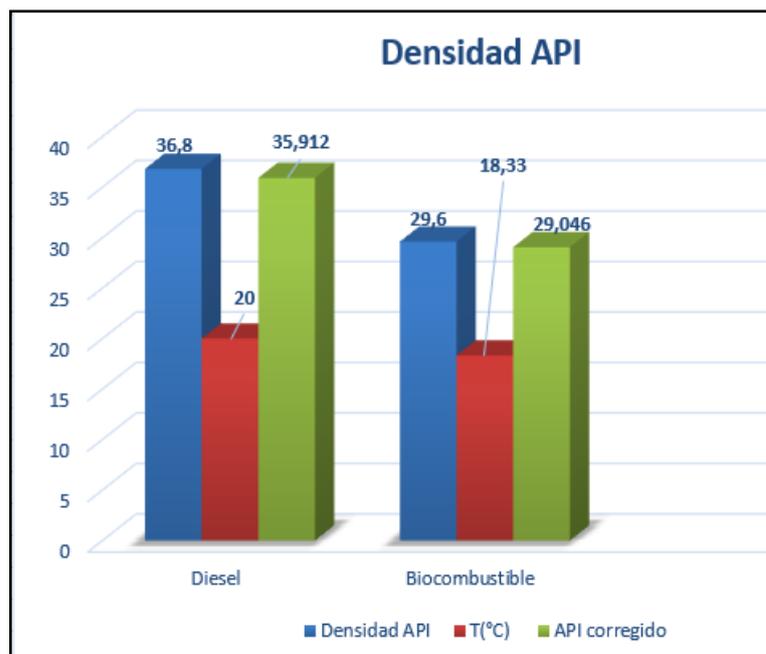
Realizado por: Haro Verónica, 2022

A continuación, se muestra una tabla comparativa de la densidad API, del biocombustible con respecto a un combustible comercial, comparando los resultados en referencia a la normativa establecida para el biocombustible.

**Tabla 18-3:** Cálculo de la densidad API corregida

Muestra	Densidad API	T(°F)	T (°C)	API Corregido
Diesel	36.8	68 °F	20°C	35,912
Biocombustible	29.6	65 °F	18.33 °C	29,046

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 25-3:** Densidad API vs Corregido

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

El gráfico anterior hace referencia al cálculo de la densidad del Diesel y del biocombustible, así como la densidad API corregida a través de un factor de corrección, obteniendo una disminución del valor con respecto al valor inicial.

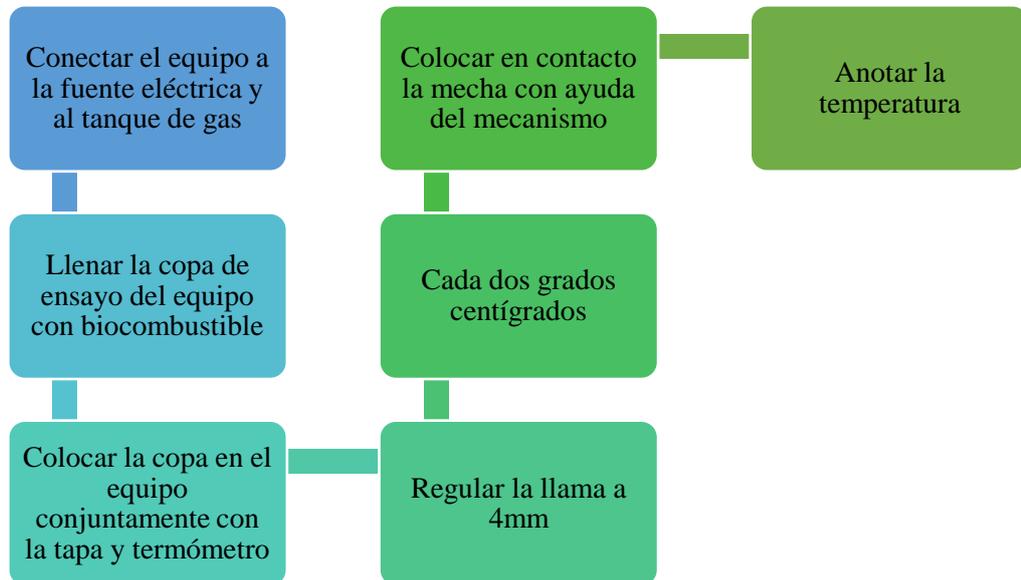
### **Interpretación:**

La densidad influye en la eficiencia del combustible porque genera efectos en la desintegración del combustible en el interior del cilindro en la parte interna del motor, por ende, si se incrementa la densidad del combustible se debe inyectar más combustible, el resultado de la densidad API corregida para el combustible comercial es de 35,192 mientras que para el biocombustible desarrollado es de 29,046 el valor de la densidad API se encuentra dentro de los parámetros que indica la norma ASTM D6751 por ende resulta ser más eficiente el biocombustible con referencia al combustible comercial .

Según la normativa internacional ASTM D6751 y EN14214, la densidad para un biodiesel debe estar comprendida entre  $860 \text{ kg/m}^3$ - $900 \text{ kg/m}^3$ , en el caso de estudio la densidad del biocombustible determinado se ajusta al rango establecido por esta norma, siendo este  $878.357 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.13.2 Punto de inflamación

#### Descripción del proceso:



**Ilustración 26-3:** Descripción del proceso flash point

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Tabla 19-3:** Punto de inflamación corregido

Muestra	Presión en mmHg	Punto de inflamación (° C)	Punto de Inflamación corregida (° C)
Diesel	542	53	60.194
Biodiesel	542	180	187.194

Realizado por: Haro Verónica, 2022

#### Cálculos punto de inflamación

$$PI = °C + 0.03(760 - P)$$

$$flash\ point\ corregido = C + 0.25 (101.3 - K)$$

$$flash\ point\ corregido = F + 0.06 (760 - P)$$

$$flash\ point\ corregido = C + 0.033 (760 - P)$$

Donde:

C = punto de inflamación observado, ° C,

F = punto de inflamación observado, ° F,

P = presión barométrica ambiental, mm Hg, y

K = presión barométrica ambiental, kPa.

### Diesel

$$PI = ^\circ C + 0.03(760 - P)$$

$$PI = 53 ^\circ C + 0.03(760 - 542)$$

$$PI = 59.54 ^\circ C$$

$$\text{flash point corregido} = C + 0.25 (101.3 - K)$$

$$\text{flash point corregido} = 53 ^\circ C + 0.25 (101.3 - 72,2607)$$

$$\text{flash point corregido} = 60.2598$$

$$\text{flash point corregido} = F + 0.06 (760 - P)$$

$$\text{flash point corregido} = 127.4^\circ F + 0.06 (760 - 542)$$

$$\text{flash point corregido} = 140.48$$

$$\text{flash point corregido} = C + 0.033 (760 - P)$$

$$\text{flash point corregido} = 53 ^\circ C + 0.033 (760 - 542)$$

$$\text{flash point corregido} = 60.194$$

### Biocombustible

$$PI = ^\circ C + 0.03(760 - P)$$

$$PI = 180 ^\circ C + 0.03(760 - 542)$$

$$PI = 186.54 ^\circ C$$

$$\text{flash point corregido} = C + 0.25 (101.3 - K)$$

$$\text{flash point corregido} = 180 ^\circ C + 0.25 (101.3 - 72,2607)$$

$$\text{flash point corregido} = 187.2598$$

$$\text{flash point corregido} = F + 0.06 (760 - P)$$

$$\text{flash point corregido} = 356^\circ F + 0.06 (760 - 542)$$

$$\text{flash point corregido} = 369.08$$

$$\text{flash point corregido} = C + 0.033 (760 - P)$$

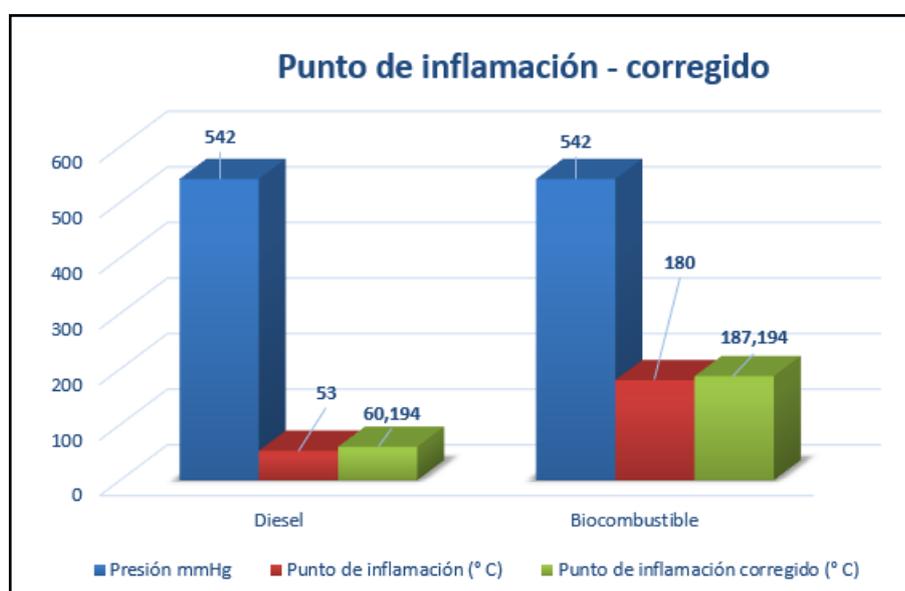
$$\text{flash point corregido} = 180^\circ C + 0.033 (760 - 542)$$

$$\text{flash point corregido} = 187.194$$



**Ilustración 27-3:** Punto de inflamación

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 28-3:** Punto de inflamación vs corregido

Realizado por: Haro Verónica, 2022

El gráfico anterior hace referencia al punto de inflamación del Diesel y del biocombustible con referencia al punto de inflamación corregido, así como la presión en mmHg,

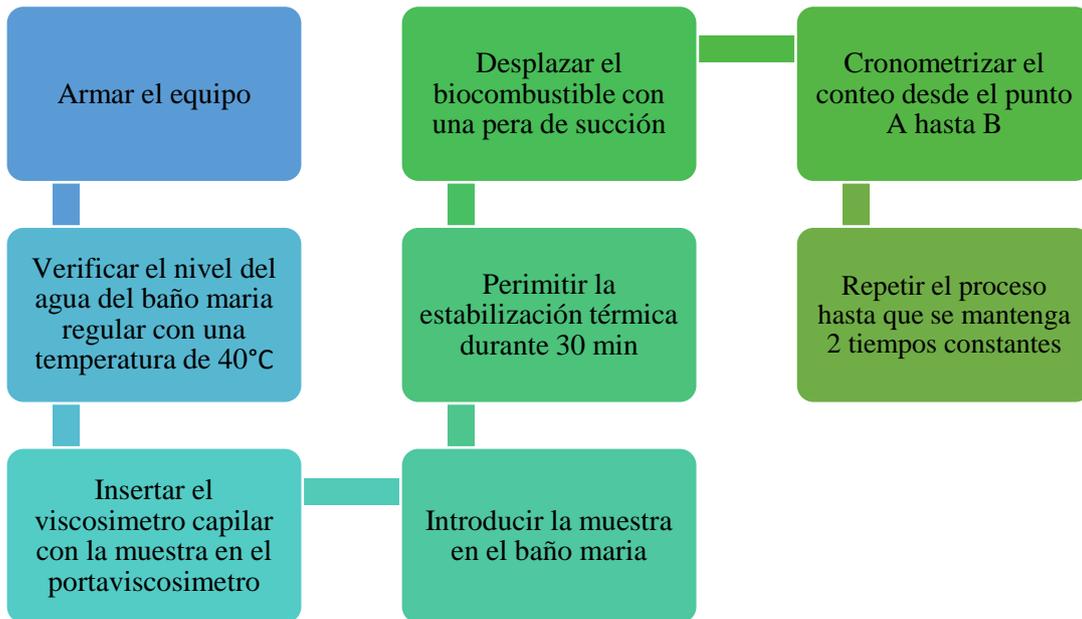
### Interpretación:

El punto de inflamación (flash point) se considera a la temperatura a la cual el combustible empezará a quemarse cuando entre en contacto con el fuego, siendo un parámetro muy importante en temas de seguridad y traslado de los combustibles, acorde lo establecido en la normativa ASTM D6751 y EN14214, el punto de inflamación del biodiesel van desde temperaturas que superan los 120 °C, siendo mayor que el punto de inflamación del Diesel, según el resultado encontrado el flash point corregido obtenido del biodiesel es 187,194 °C con referencia a los

60,194 °C del combustible comercial, considerándose un biocombustible con un alto punto de inflamación.

### 3.13.3 Viscosidad

Descripción del proceso:



**Ilustración 29-3:** Descripción del proceso viscosidad

Realizado por: Haro Verónica, 2022

### Cálculos viscosidad

**K:** constante del capilar (viscosímetro)

$$V_{cinemática} = t(fluido) * K(capilar)$$

$$V_{cinemática} = 1.26 * 3$$

$$V_{cinemática} = 3.78 \frac{mm^2}{s}$$

$$V_{cinemática} = 0.0378 \frac{cm^2}{s}$$

$$V_{cinemática} = 3.78 \frac{mm^2}{s}$$

Cálculo de la viscosidad dinámica

$$U = Densidad\ del\ fluido\ en\ \frac{g}{cm^3} * Velocidad_{cinemática}\ en\ \frac{cm^2}{s}$$

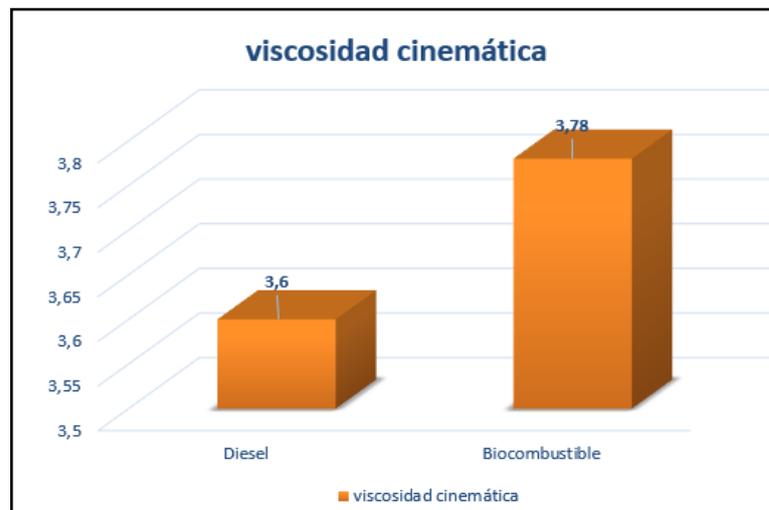
$$U = 0.1 \frac{g}{cm^3} * 0.0378 \frac{cm^2}{s}$$

$$U = 0.0038 \frac{g}{cms}$$



**Ilustración 30-3:** Viscosidad

Realizado por: Haro Verónica, 2022



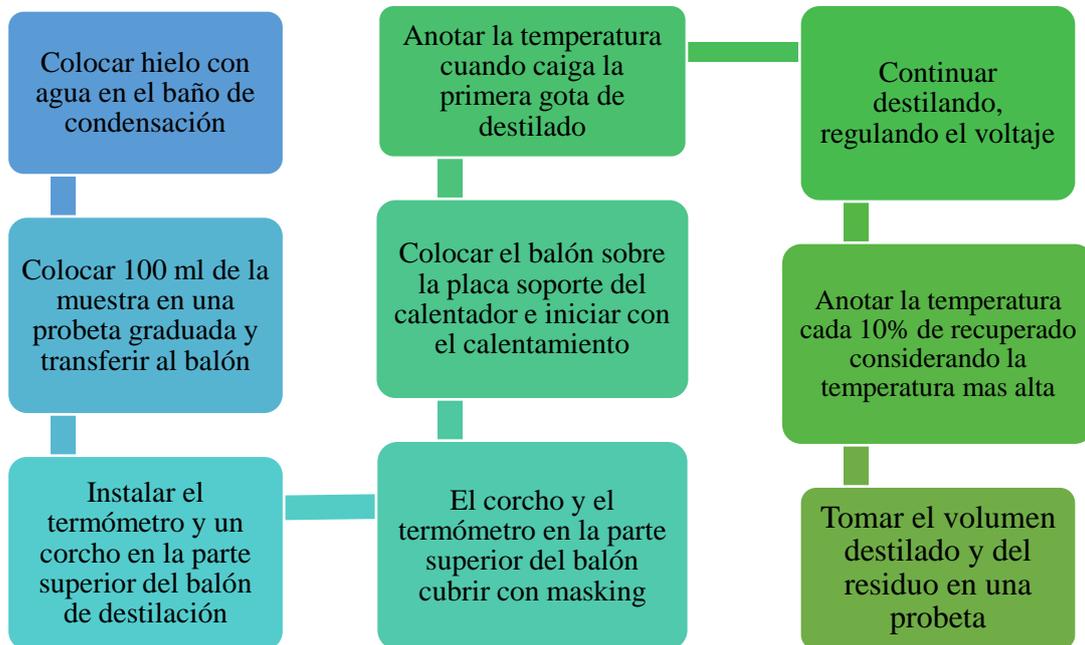
**Ilustración 31-3:** Viscosidad cinemática

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Interpretación:** la viscosidad se considera a la resistencia del líquido a fluir, la viscosidad cinemática del biocombustible es  $3.78 \frac{mm^2}{s}$  mientras que la viscosidad dinámica es  $0.0038 \frac{g}{cms}$ , debido al valor de la viscosidad este se encuentra muy cerca al límite inferior de la normativa de calidad EN14214 ( $3,50 \frac{mm^2}{s}$ ), influenciada por las variables de composición del aceite y la temperatura aplicada acorde normativa, en tanto que la viscosidad cinemática del Diesel convencional es de  $3.60 \frac{mm^2}{s}$  (García-Rodríguez et al. 2020, p. 23).

### 3.13.4 Destilación

#### Descripción del proceso:



**Ilustración 32-3:** Descripción del proceso destilación

Realizado por: Haro Verónica, 2022

### 3.13.5 Cálculo de la humedad del biocombustible

**Tabla 20-3:** Cálculo humedad del Biocombustible

Masa de biocombustible inicial ( $M_1$ )	Masa de biocombustible final ( $M_2$ )
979.80 g	866.48 g

Realizado por: Haro Verónica, 2022

$$\%humedad = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100$$

$$\%humedad = \frac{979.80 \text{ g} - 866.48 \text{ g}}{979.80 \text{ g}} \cdot 100$$

$$\%humedad = 11.5656 \%$$

**Tabla 21-3:** Proceso destilación

Volumen Inicial ( $V_0$ )	100ml
Presión	542mmHg
Tiempo	12.45 min
Temperatura primera gota	145 ° C

% destilado	Volumen	Temperatura ° C	Temperatura corregida ° C	Tiempo (min)
	5	191	203.1382	15.34
	10	203	215.4522	16.36
	20	222	234.9492	18.25
	30	237	250.3416	19.57
	40	248	261.6293	21.33
	50	261	274.9694	23.13
	60	272	286.2572	25.02
	70	283	297.5449	27.32
	78	292	306.7804	30.32

Realizado por: Haro Verónica. 2022

### Corrección barométrica de la temperatura

$$C = 0.00012(760 - P)(273 + t^{\circ}C)$$

**Donde:**

**C:** corrección que debe agregarse algebraicamente a la temperatura leída, en °C

**P:** presión barométrica en mmHg, en el momento de ensayo

**t°C:** Temperatura leída en °C

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

**Al 5% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 191^{\circ}C)$$

$$C = 12.1382$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 12.1382 + 191^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 203.1382^{\circ}C$$

**Al 10% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 203^{\circ}C)$$

$$C = 12.4521$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 12.4521 + 203^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 215.45216^{\circ}C$$

**Al 20% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 222^{\circ}\text{C})$$

$$C = 12.9492$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 12.9492 + 222^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 234.9492^{\circ}\text{C}$$

**Al 30% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 237^{\circ}\text{C})$$

$$C = 13.3416$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 13.3416 + 237^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 250.3416^{\circ}\text{C}$$

**Al 40% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 248^{\circ}\text{C})$$

$$C = 13.6294$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 13.6294 + 248^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 261.62934^{\circ}\text{C}$$

**Al 50% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 261^{\circ}\text{C})$$

$$C = 13.96944$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 13.96944 + 261^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 274.96944^{\circ}\text{C}$$

**Al 60% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 272^{\circ}\text{C})$$

$$C = 14.2572$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 14.2572 + 272^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 286.2572^{\circ}\text{C}$$

**Al 70% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 283^{\circ}\text{C})$$

$$C = 14.54496$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 14.54496 + 283^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 297.54496^{\circ}\text{C}$$

**Al 78% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 292^{\circ}\text{C})$$

$$C = 14.7804$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 14.7804 + 292^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 306.78047^{\circ}\text{C}$$

**Tabla 22-3:** Pérdida evaporación - fuga

<b>Volumen residual (ml)</b>	19 ml
<b>Volumen destilado (ml)</b>	78
<b>Pérdida (evaporación-fuga)</b>	3

Realizado por: Haro Verónica. 2022

**Biocombustible****Datos iniciales****Tabla 23-3:** Proceso destilación- biocombustible

<b>Volumen Inicial (Vo)</b>	100ml
<b>Presión</b>	542 mmHg
<b>Tiempo</b>	40 min
<b>Temperatura primera gota</b>	148 ° C

<b>% destilado</b>	<b>Volumen</b>	<b>Temperatura ° C</b>	<b>Temperatura corregida ° C</b>	<b>Tiempo</b>
	5	307	322.1728	55 min
	10	310	325.2513	58 min
	20	312	327.3036	1h 01min
	30	314	329.3554	1h 05min

40	314	329.3554	1h 09min
50	316	331.4082	1h 12min
60	317	332.4344	1h 15min
70	319	334.4867	1h 18min
80	319	334.4867	1h 22min

Realizado por: Haro Verónica. 2022

**Al 5% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 307^{\circ}C)$$

$$C = 15.1728$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.1728 + 307^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 322.1728^{\circ}C$$

**Al 10% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 310^{\circ}C)$$

$$C = 15.2513$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.2513 + 310^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 325.2513^{\circ}C$$

**Al 20% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 312^{\circ}C)$$

$$C = 15.3036$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.3036 + 312^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 327.3036^{\circ}C$$

**Al 30% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 314^{\circ}C)$$

$$C = 15.3559$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.3559 + 314^{\circ}C$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 329.3559^{\circ}C$$

**Al 40% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 314^{\circ}\text{C})$$

$$C = 15.3559$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.3559 + 314^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 324.3559^{\circ}\text{C}$$

**Al 50% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 316^{\circ}\text{C})$$

$$C = 15.4082$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.4082 + 316^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 331.4082^{\circ}\text{C}$$

**Al 60% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 317^{\circ}\text{C})$$

$$C = 15.4344$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.4344 + 317^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 332.4344^{\circ}\text{C}$$

**Al 70% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 319^{\circ}\text{C})$$

$$C = 15.4867$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.4867 + 319^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 334.4867^{\circ}\text{C}$$

**Al 80% de volumen**

$$C = 0.00012(760 - 542)(273 + 319^{\circ}\text{C})$$

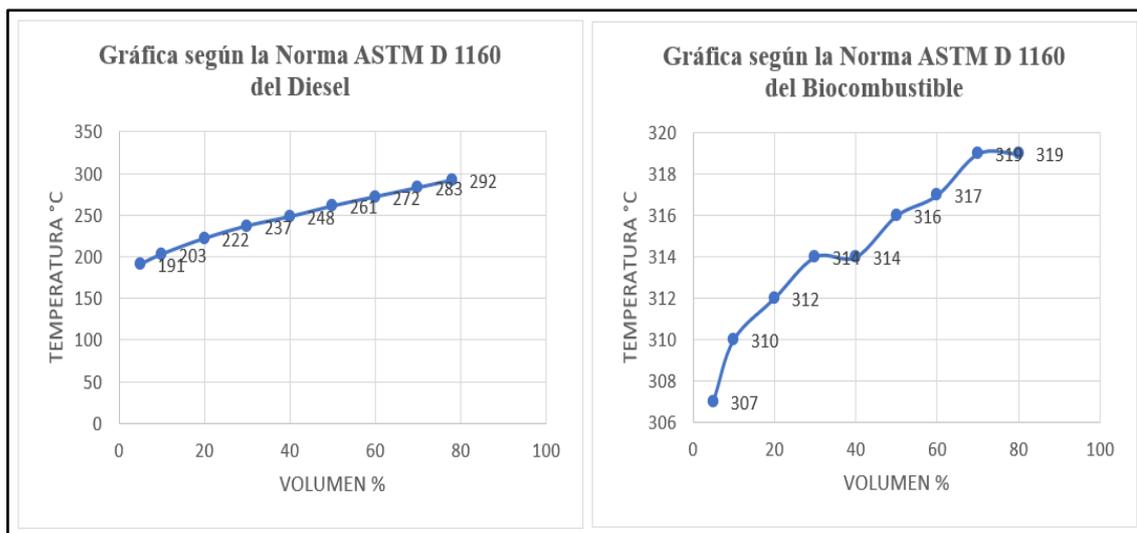
$$C = 15.4867$$

$$\textit{Temperatura corregida} = C + t^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 15.4867 + 319^{\circ}\text{C}$$

$$\textit{Temperatura corregida} = 334.4867^{\circ}$$

Comparación Norma ASTM D 1160 Diesel en referencia al biocombustible



**Ilustración 33-3:** ASTM D1160 del Diesel vs Biodiesel

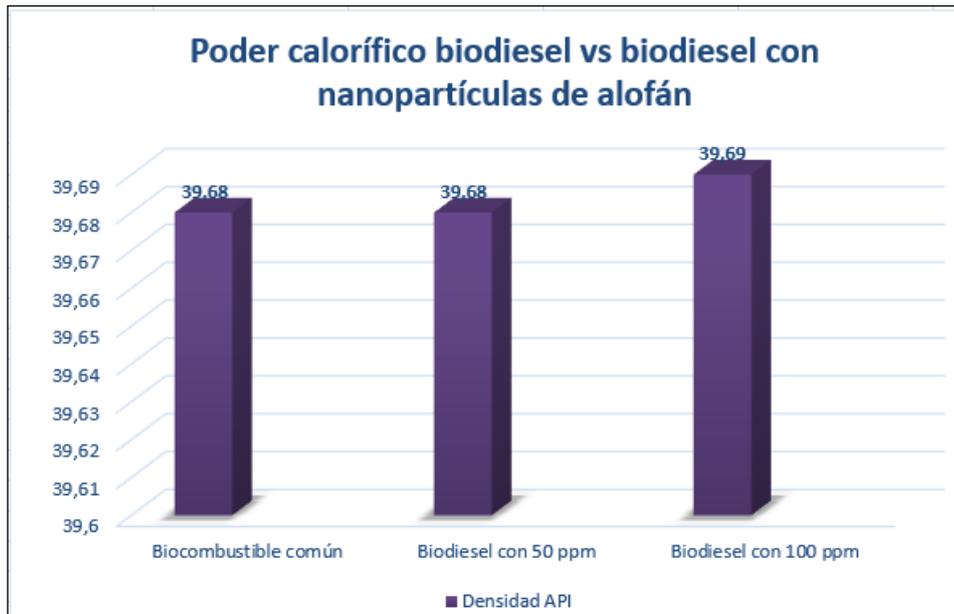
**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

**Interpretación:** En la destilación se empleó una muestra del biocombustible, tomando la temperatura cada 2 ml de destilado manteniendo a 10 mmHg, obteniendo la curva de la destilación representada en la figura anterior, acorde la gráfica ASTM D1160 para el diesel se concluye que la temperatura es directamente proporcional al volumen porque al incrementar el porcentaje de volumen se incrementa la temperatura en la destilación, mientras que para la gráfica del biocombustible se observa que no existe proporcionalidad, el incremento de temperatura depende del porcentaje de volumen..

### 3.14 Poder calorífico del biocombustible utilizando nanopartículas de alofán

Para la determinación del incremento del poder calorífico del biocombustible a partir de semillas de Moringa basado en los parámetros de la norma ASTM D-240, se adicionó 50 ppm y 100 ppm de nanopartículas de Alofán.

Una vez realizado las diversas pruebas de las nanopartículas de Alofán los resultados encontrados se muestran a continuación:



**Ilustración 34-3:** Poder calorífico

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

Acorde los resultados obtenidos en referencia al poder calorífico del biodiesel puro es de 39,68 (MJ/kg), el biodiesel con 50 ppm de nanopartículas de alofán es de 39,68 (MJ/kg) y del biodiesel con 100 ppm de nanopartículas de alofán es de 39,69 (MJ/kg), el poder calorífico no se incrementó significativamente con la adición de las nanopartículas de alofán.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera

La caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera se determinó a través de revisión bibliográfica, tomando en consideración los parámetros de humedad, nitrógeno total, fibra, ceniza, pH como se muestra a continuación en la siguiente tabla: (Melon Anticona 2017, p. 2)

**Tabla 1-4:** Caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera

Parámetros	Hojas	Semilla	Corteza
Nitrógeno Total	1.45 %	2.17%	1.39%
Humedad	76.89 %	85.97%	72.88%
Ceniza	1.60%	1.62%	1.13%
Fibra	2.56%	2.55%	1.83%
pH	6.215%	5.439%	5.807%

Fuente: (Melon Anticona , 2017)

Realizado por: (Haro Verónica. 2022)

#### 4.2 Determinación de las variables de procesos para la obtención del biocombustible

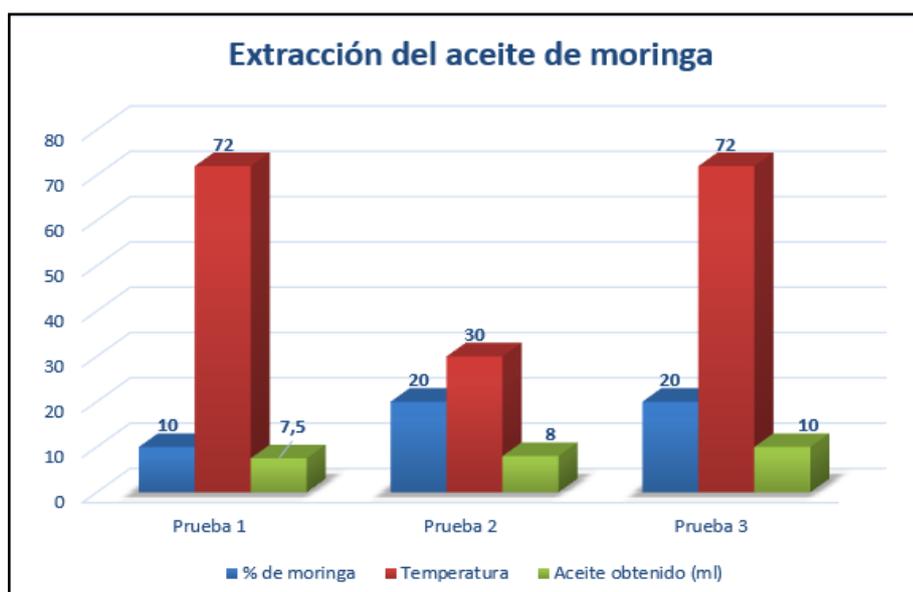
##### 4.2.1 Extracción del aceite de *Moringa oleífera*

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las pruebas realizadas para obtener la extracción del aceite de moringa oleífera:

**Tabla 2-4:** Variables de entrada extracción del aceite

Práctica	Reactivos	Sustancias	Equipo	Temperatura	Resultado
I	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> Hexano	10 g moringa fresca	Equipo soxhlet	72 °C	7,5 ml de aceite de moringa
II	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O Éter etílico	20g muestra seca	Equipo soxhlet	30 °C	8 ml de aceite de moringa
III	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> Hexano	20 g de moringa seca	Equipo soxhlet	72 °C	10 ml de aceite de moringa

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 1-4:** Extracción de aceite

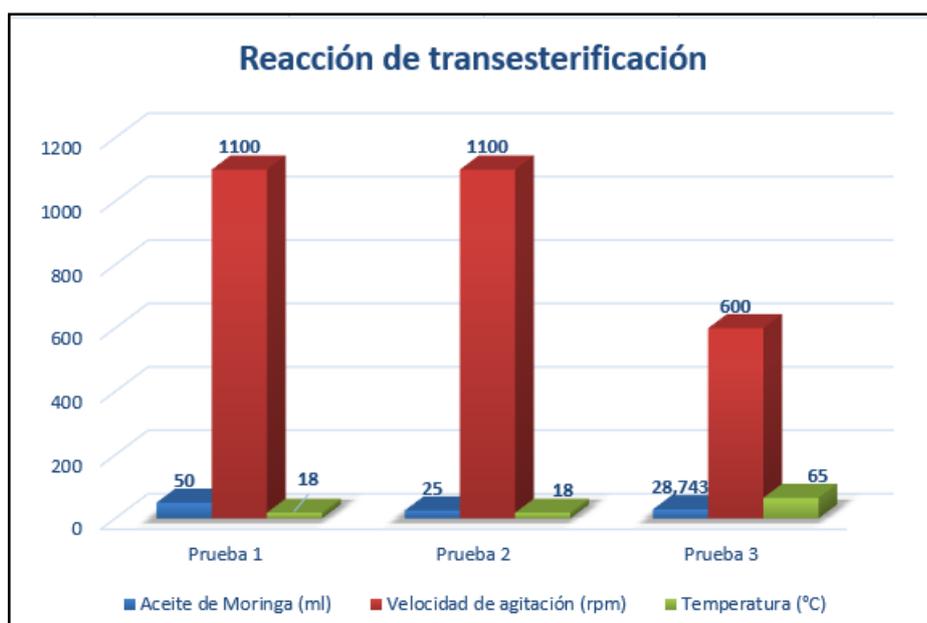
**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

El Gráfico anterior hace referencia a las diferentes pruebas realizadas en las cuales se pudo extraer aceite de moringa, todas fueron realizadas con el equipo Soxhlet, en el cual para la primera prueba se utilizó 10 g de moringa fresca a una temperatura de 72 °C, obteniendo 7,5 ml de aceite, en la prueba 2 se utilizó 20g de moringa seca a una temperatura de 30 °C, obteniendo 8 ml de aceite, finalmente en la prueba 3 se utilizó 20g de moringa seca a una temperatura de 72 °C, obteniendo 10 ml de aceite.

**Conclusión:** De las tres pruebas experimentales se conoce que el mejor método para la extracción de aceite de moringa corresponde a la tercera prueba, utilizando 20g de moringa seca, a una temperatura de 72 °C, utilizando el hexano como solvente, obteniendo como resultado 10ml de aceite de moringa.

#### 4.2.2 *Reacción de Transesterificación*

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las pruebas realizadas para obtener la extracción del aceite de moringa oleífera:



**Ilustración 2-4:** Reacción de transesterificación

Realizado por: Haro Verónica, 2022

El Gráfico anterior hace referencia a las diferentes pruebas realizadas en la reacción de transesterificación, las mismas que dieron como resultado los siguientes valores, en la primera prueba se utilizó 50 ml de aceite de moringa, con una velocidad de agitación de 1100 rpm con una temperatura de 18 °C como resultado de la reacción no se apreció las dos fases buscadas, en la prueba 2 se utilizó 25 ml de aceite de moringa, con una velocidad de agitación de 1100 rpm con una temperatura de 18 °C como resultado de la reacción se obtuvo únicamente glicerina, finalmente en la prueba 3 se utilizó 28,743 ml de aceite de moringa, con una velocidad de agitación de 600 rpm con una temperatura de 65 °C como resultado de la reacción se obtuvo el biocombustible deseado.

**Tabla 3-4:** Variables de entrada reacción de transesterificación

Práctica	Sustancias y reactivos			Velocidad de agitación (rpm)	Temperatura (°C)	Resultado
	Reactivo 1	Reactivo 2	Aceite de moringa			
I	3.999 g de NaOH	20 ml Metanol 96%	50 ml	1100	18 °C	No se aprecia las dos fases

<b>II</b>	0.5 g de NaOH	6.5ml Metanol Anhidro CH <sub>3</sub> OH	25 ml	1100	18 °C	Se obtuvo únicamente glicerina en bruto
<b>III</b>	0.30 gramos Hidróxido de potasio (KOH)	10.970 ml Metanol Anhidro CH <sub>3</sub> OH	28.743 ml	600	65 °C	Biocombustible

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Conclusión:** De las tres pruebas experimentales se conoce que el mejor método para la reacción de transesterificación corresponde a la tercera prueba, utilizando una solución de 0.30 g de (KOH) y 10.970 ml de CH<sub>3</sub>OH, con 28.743 ml de aceite de moringa, a una velocidad de agitación de 600 rpm, mediante una temperatura de 65°C, obteniendo como resultado biocombustible.

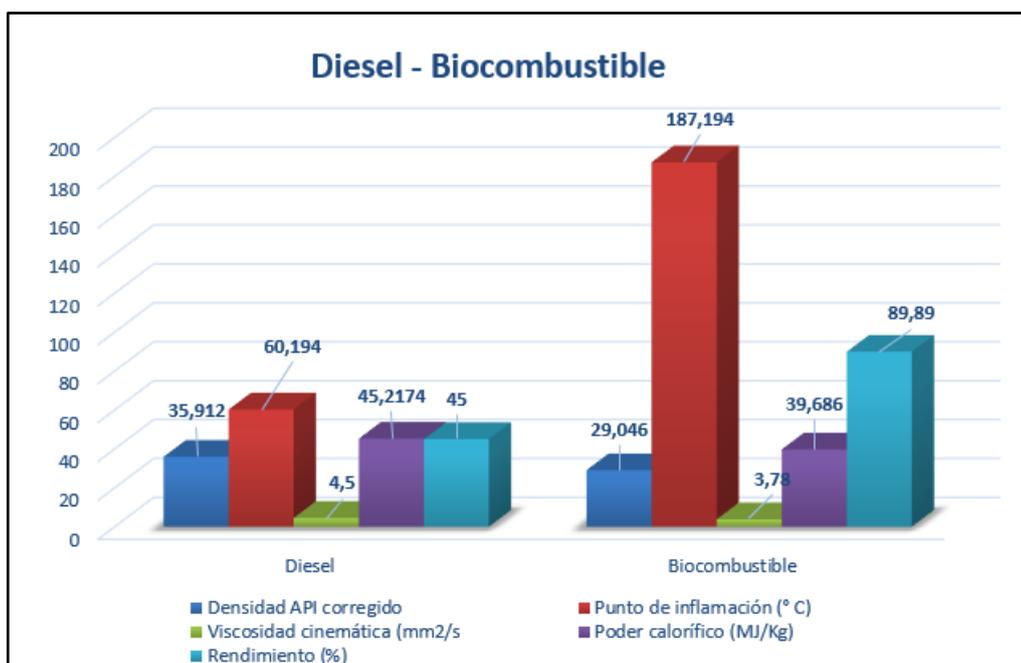
#### 4.2.3 Caracterización del biocombustible

**Tabla 4-4:** Caracterización del biocombustible

Prueba	Sustancias y reactivos	Equipo utilizado	Norma de ensayo	Resultado
Extracción del aceite de moringa	20 g de moringa y hexano	Equipo Soxhlet	NTE INEN 2688	10ml de aceite de moringa
Transesterificación	0.30 g (KOH) 10.970 ml (CH <sub>3</sub> OH)	Sistema de calentamiento bajo reflujo	ASTM D-664	Extracción de biocombustible
<b>Caracterización físico- químico</b>				
Análisis	Normativa	Ecuación	Resultado	
Densidad API	ASTM D-1298	<i>Densidad API corregida = densidad API – factor de corrección</i>	29,046	

Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D-445	$V_{cinemática} = t(fluido) * K(capilar)$	3,78 (mm <sup>2</sup> /s)
Punto de inflamación	ASTM D-93	$PI = °C + 0.03(760 - P)$	187,194 °C
Poder calorífico (MJ/Kg)	ASTM D-240	$Q = Q_{agua} + Q_{agitador} + Q_{termómetro} + Q_{bomba} + Q_{recipiente}$	39,686
Rendimiento del aceite	ASTM D1160	$R = \frac{m_{bp}}{m_{au}} \times 100$	43,73%

Realizado por: Haro Verónica, 2022



**Ilustración 3-4:** Propiedades diesel vs biodiesel

Realizado por: Haro Verónica, 2022

El gráfico anterior muestra las características del Diesel con el combustible en el cual se puede concluir que el biocombustible presenta una viscosidad acorde lo que la normativa indica por ende aceptable con un valor un poco inferior al Diesel razón por la cual el fluido no es muy viscoso, sin embargo el factor que se debe considerar en el momento de su transportación corresponde al punto de inflamación superior al Diesel convencional, otro aspecto que se debe considerar corresponde a la densidad en la cual el biocombustible presenta menor densidad al

Diesel, los factores como el rendimiento, poder calorífico, presentan similares características entre sí.

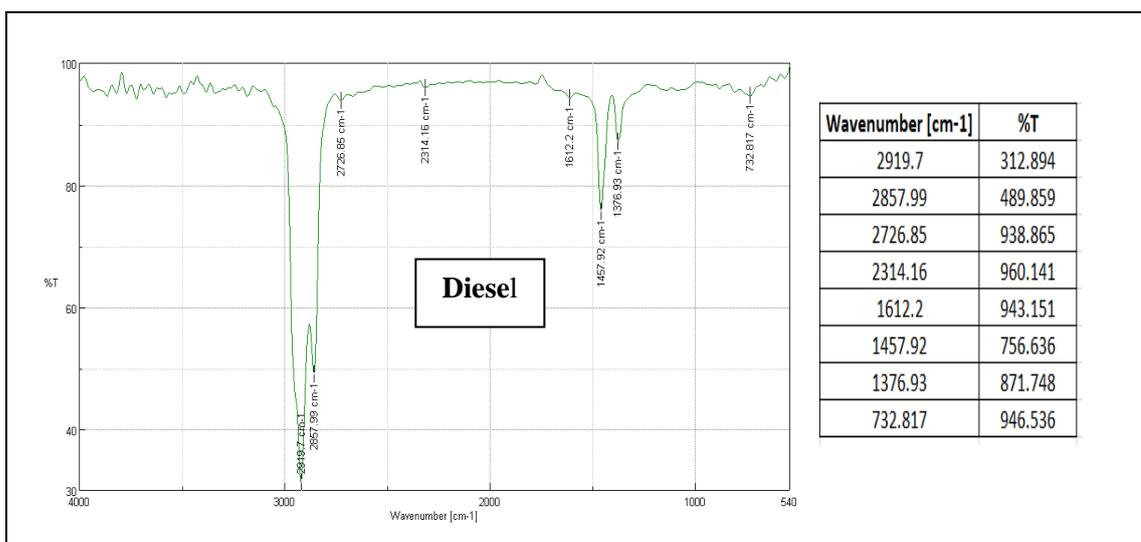
**Tabla 5-4: Biodiesel vs Diesel**

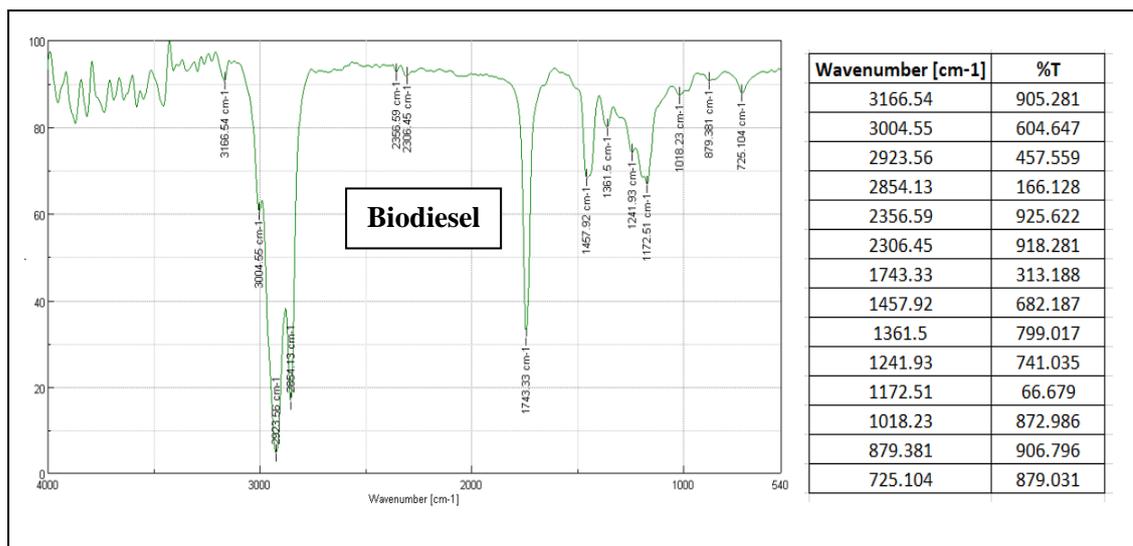
Datos físico - químicos	Biodiesel	Diesel	Norma ASTMD 240/1160/1298/45/445
Poder calorífico MJ/kg	39,68	45,21	Cumple Normativa
Viscosidad cinemática	3,78	4,5	Cumple Normativa
Punto de inflamación °C	187,194	60,194	Cumple Normativa
Número de cetano	51	46	Cumple Normativa
Rendimiento	89,89	43,73	Cumple Normativa
Densidad API	29,046	35,912	Cumple Normativa

Realizado por: Haro Verónica, 2022

La tabla anterior muestra la comparativa realizada sobre el biodiesel encontrado y el Diesel común considerando todos los parámetros establecidos por la normativa ASTM D 240, 1160, 1298, 45, 445, para la caracterización fisicoquímica del biocombustible en la cual se establece que el biocombustible desarrollado si cumple con todos los requisitos establecidos por la normativa

#### 4.2.4 Espectrofotómetro de infrarrojo



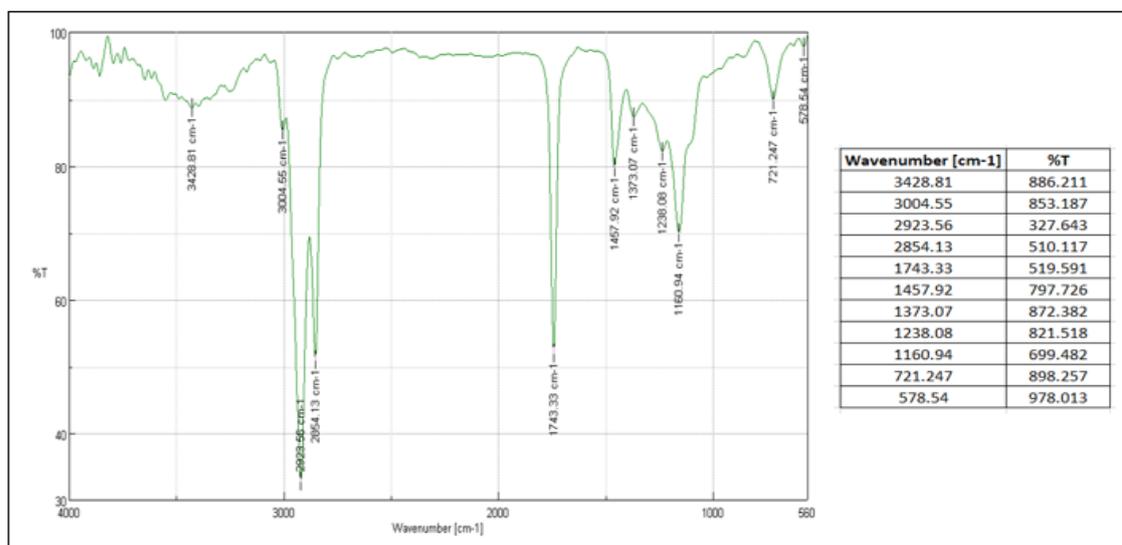


**Ilustración 4-4:** Diesel- Biodiesel

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Interpretación:** Al comparar las figuras en la prueba del espectrofotómetro de infrarrojo se observan claramente las frecuencias características del biodiesel que están inexistentes en el diésel, en la región de los grupos funcionales entre  $1690\text{ cm}^{-1}$  a  $1760\text{ cm}^{-1}$  encontramos el pico más representativo que corresponde a una frecuencia de  $1743.33\text{ cm}^{-1}$  correspondiente al grupo carbonilo (C=O) de los ésteres metílicos, siendo esta señal la mayor diferencia con el espectrofotómetro de infrarrojo del diésel. Y para ambos espectros tenemos una banda en común que va  $2923.56\text{ cm}^{-1}$  a  $2314.16\text{ cm}^{-1}$  los cuales hacen referencia a los estiramientos de los enlaces  $\text{CH}_3, \text{CH}_2, \text{CH}$  que es propio de los carbonos alifático, por tanto, se concluye que el proceso de transesterificación que se dio corresponde a un biocombustible.

## ACEITE

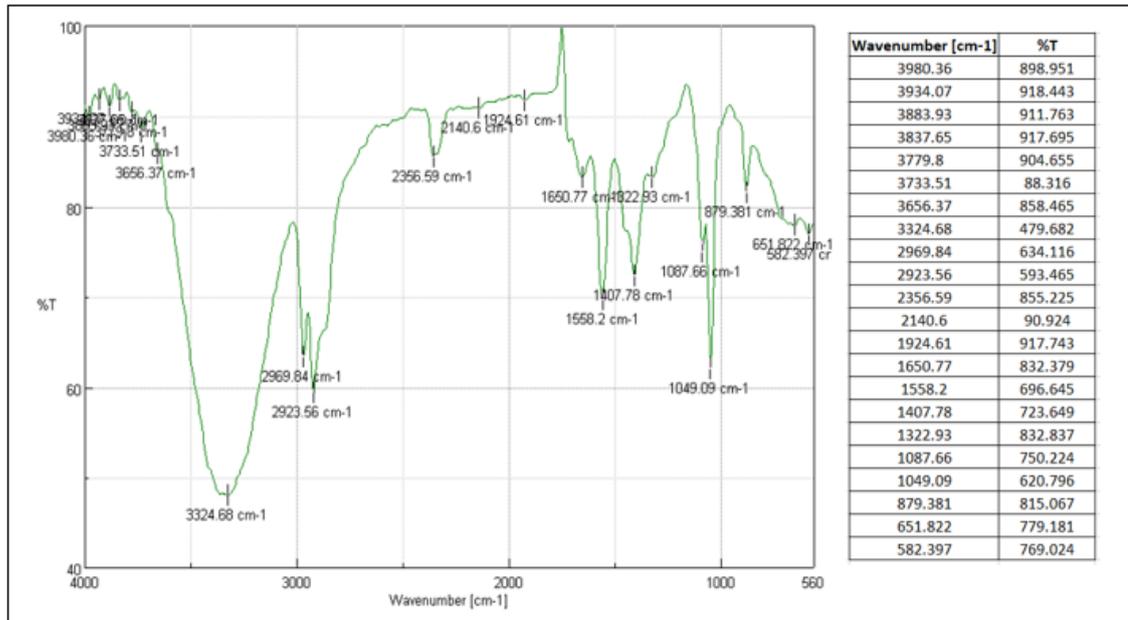


**Ilustración 5-4:** Aceite

Realizado por: Haro Verónica, 2022

**Interpretación:** Las frecuencias observadas en la prueba del espectrofotómetro de infrarrojo se aprecia una banda intensa centrada en  $1743.33\text{ cm}^{-1}$  la cual se asocia al grupo funcional  $C = O$  éster carbonilo de los triglicéridos o fosfolípidos cuya banda es característica de los aceites.

## GLICERINA



**Ilustración 6-4:** Glicerina

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022

**Interpretación:** Las frecuencias observadas en la prueba del espectrofotómetro de infrarrojo se manifiesta una banda intensa centrada en  $3324.68\text{ cm}^{-1}$  la cual se asocia al grupo hidroxilo característico de la glicerina y de  $2923.56\text{ cm}^{-1}$  a  $1558.2\text{ cm}^{-1}$  encontramos vibraciones de tensión y flexión del grupo alquilo.

### 4.3 Comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis planteada se realizó el método ANOVA de un solo factor en el cual se comparó si todas las medias son iguales en el proceso de adición de nanopartículas de alofán con el objetivo de aumentar el poder calorífico del biocombustible, en donde se tiene:

**Desarrollo:**

**Parámetros del ejercicio:**

**Métodos:** B/ biocombustible / B. 50ppm / B. 100 ppm

**Hipótesis:**

**Ho:**  $U_A=U_B=U_C=U_D$

(El poder calorífico del biocombustible se mantiene invariable porque todas las muestras del biocombustible con nanopartículas de alofán son iguales)

**Hi:**  $U_i \neq U_j$

(El poder calorífico del biocombustible incrementa porque todas las muestras del biocombustible con nanopartículas de alofán no son iguales)

#### ANOVA de un solo factor: biocombustible; biodiesel 50ppm; biodiesel 100 ppm

##### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
Nivel de significancia       $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	biocombustible; biodiesel 50ppm; biodiesel 100 ppm

##### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0,000051	0,000025	*	*
Error	0	*	*		
Total	2	0,000051			

#### Ilustración 7-4: ANOVA de las nanopartículas del Biocombustible

**Realizado por:** Haro Verónica, 2022



## CONCLUSIONES

- La caracterización fisicoquímica de la moringa oleífera, permitió la determinación de las variables necesarias para la obtención del aceite de moringa, el mismo que constituyó la materia prima para el biocombustible, como parte del proceso se obtuvo 10ml de aceite de moringa a través de la utilización del equipo Soxhlet, los parámetros de la semilla de moringa estuvieron constituidos por 2.56% de fibra, 6.215% en ph, 76.89% de humedad y 1.45% en nitrógeno total.
- Las variables de procesos para la obtención de biocombustible estuvo conformado por: la extracción del aceite de moringa utilizando 20g de moringa seca, a una temperatura de 72 °C, utilizando el hexano como solvente, obteniendo como resultado 10ml de aceite de moringa, en el proceso de transesterificación se utilizó solución de 0.30 g de (KOH) y 10.970 ml de CH<sub>3</sub>OH, con 28.743 ml de aceite de moringa, a una velocidad de agitación de 600 rpm, mediante una temperatura de 65°C, obteniendo como resultado biocombustible.
- Se realizó la caracterización física y química del biocombustible con base a la norma ASTM D 240, ASTM D 1160, ASTM D 1298, ASTM D 445, obteniéndose como resultado: poder calorífico MJ/kg 39,68 MJ/kg, viscosidad cinemática de 3.78 mm<sup>2</sup>/s, punto de inflamación de 187,19°C, índice de cetano 51, rendimiento 89,89% y densidad API de 29,046.
- La combinación con nanopartículas de alofán para mejorar el poder calorífico del biocombustible bajo la Norma ASTM D-240, no mostró un incremento significativo de esta propiedad para las dos concentraciones de nanopartículas analizadas, para 50ppm, así como para 100 ppm.
- El análisis estadístico realizado corresponde al análisis de varianza Anova de un solo factor en el cual se acepta la hipótesis nula donde las concentraciones de nanopartículas de alofán no afectan el poder calorífico del biocombustible desarrollado.

## **RECOMENDACIONES**

- Es importante en el momento de desarrollar las pruebas experimentales constatar la disponibilidad de los equipos utilizados para las diversas pruebas, porque muchos de estos equipos tienen alta demanda en su utilización razón por la cual, se debe considerar este factor en el momento de la ejecución de las diversas pruebas.
- Para obtener un mayor porcentaje en la extracción del aceite de moringa se puede considerar realizar un prensado en frío en el cual no se utilizan solventes, con el objetivo de economizar en los reactivos utilizados y obtener un mayor volumen de extracción del aceite.
- El funcionamiento de la bomba calorimétrica es un factor para considerar debido a las pruebas que deben ser realizadas, por este motivo se debe considerar la disponibilidad de este instrumento para realizar las pruebas respectivas.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGRICULTURA**, Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: I. Etanol [En línea]. S.l.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2007. [Consulta: 21 noviembre 2022]. ISBN 978-92-9039-807-3. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7648>.

**ARIAS, F.**, *El proyecto de investigación (Introducción a la metodología científica)*. 6.edición. Editorial: Episteme. ISBN 980-07-8529-9. 2012. p. 25.

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN**, UNE - EN 14214: 2013 V2+A1. 2018.

**ASTM D6751**. *Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels*. 2012.

**ASTM D240**. *Stand Test Method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter*. 2019.

**BIESUZ, V. et al.** “Tópicos de inferencia estadística: el método inductivo y el problema del tamaño de la muestra”. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* [En línea], 2014.vol. 7, no. 7, pp. 86-92. [Consulta: 15 de octubre 2022]. ISSN 2071-081X. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2071-081X2014000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-081X2014000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**GARCÍA, W. et al.** “Cinética de la reacción de transesterificación del aceite de moringa en la obtención de biocombustible”. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología*. [En línea], 2020, vol. 5, no. 2, pp. 24-32. [Consulta: 29 octubre 2022]. ISSN 2588-0721. DOI 10.33936/riemat.v5i2.2966. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2966>.

**GARCÍA-R, et al.**, “Viscosidad de la mezcla Fuel oíl-Diésel al 8 % para generadores de vapor”. *Ingeniería Mecánica* [En línea], 2020 vol. 23, no. 1. [Consulta: 6 febrero 2023]. ISSN 1815-5944. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S181559442020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S181559442020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**GODINO, M., et al.**, “Evaluación del uso energético de la Moringa oleífera”. *Revista Agroforestería Neotropical* [En línea], 2012 [Consulta: 19 octubre 2022]. ISSN 2248-7425. Disponible en: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/208>.

**GÓMEZ, M, et al.** “Caracterización de aceites de las semillas de Moringa oleífera a partir de la extracción por diferentes métodos.” *Revista Colombiana de Biotecnología* [En línea], 2016, vol. 18, no. 2, pp. 106-111. [Consulta: 25 octubre 2022]. ISSN 0123-3475. DOI 10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.54324. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0123-34752016000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-34752016000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=es).

**GUTIÉRREZ P,** *Calidad y productividad*. México, D.F. Editorial: McGraw Hill. pp. 38-58, ISBN 978-607-15-1148-5, 2014.

**HERNÁNDEZ M. et al.** *Verdades y mitos de los biocombustibles.*, vol. 15, ISBN: 0187-9073. 2008, pp. 15-18.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *NTE INEN 2482 Biodiesel, requisitos.* 2013.

**JUÁREZ M.,** “Extracción y Caracterización de aceites de semillas con aplicaciones en agro-energía”. *Energía*. Accepted: 2020-10-07T19:35:34Z [En línea], 2018 [Consulta: 19 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/8219>.

**LOZANO, M, et al.,** Sistema de producción y calidad del forraje de Moringa en Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 2021. pp. 59-70. [Consulta: 24 noviembre 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081784>.

**MARTÍNEZ, M.,** *Combustión y Quemadores.* 3 edición, Editorial: Marcombo. ISBN 978-84-267-1364-3. 2005. pp 30-78.

**MELON A,** Caracterización fisicoquímica de la moringa (Moringa oleífera) [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2017. P.12.[Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10092>.

**MOYO, B., et al.,** “Nutritional characterization of Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves”. *African Journal of Biotechnology* [En línea], 2011 vol. 10, no. 60, pp. 12925-12933. [Consulta: 24 octubre 2022]. ISSN 1684-5315. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/96497>.

**NAVARRO, M. et al.,** Modelo de generación de energía a partir de biomasa forestal., [En línea] (Trabajo de titulación) (Departamento de Ingeniería Civil) Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile, 2015. P.96.[Consulta: 24 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134250>

**OQUENDO, S.**, Manejo agronómico de la Moringa (*Moringa oleífera*); para el uso forrajero en el Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador, 2022. P.45.[Consulta: 24 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13255>.

**ORTEGA, et al.**, ``Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos``. Prospectiva [En línea], 2014, vol. 12, no. 2, pp. 90-104. [Consulta: 16 noviembre 2022]. ISSN 1692-8261, 2216-1368. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250640010>.

**PANIAGUA, A.**, *Elaboración de Aceite de semillas de Moringa Oleífera para diferentes usos*. 9, vol. 3, ISSN 2410-3551.2016, pp. 36-46.

**PANTOJA, D.A.**, Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de biodiesel extraído de aceite reciclado de origen vegetal [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador, 2018. P.55. [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7140>.

**PÉREZ, R. et al.**, ``El calor de combustión y el ahorro de energía``. Revista Colombiana de Biotecnología [En línea], 2018 [Consulta: 11 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/33031986/El\\_calor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_y\\_el\\_ahorro\\_de\\_energ%C3%ADa](https://www.academia.edu/33031986/El_calor_de_combusti%C3%B3n_y_el_ahorro_de_energ%C3%ADa).

**RASHID. et al.**, ``Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel``. Bioresource Technology [En línea], 2008, vol. 99, no. 17, pp. 8175-8179. [Consulta: 11 noviembre 2022]. ISSN 0960-8524. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408003039>.

**RIERA, M. et al.**, Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* [En línea], 2018, vol. 17, no. 3, pp. 227-247. [Consulta: 19 noviembre 2022]. ISSN 0717-9103. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7170984>.

**SÁNCHEZ, N.**, Obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasas animales: Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Extremadura. Extremadura, España, 2015. P.45. [Consulta: 16 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=46173>.

**SILVA-YUMI, J., et al.**, ``Alofán, una nanopartícula natural presente en andisoles del Ecuador, propiedades y aplicaciones. La Granja``. Revista de Ciencias de la Vida [En línea], 2021, vol. 33,

no. 1, pp. 53-66. [Consulta: 26 octubre 2022]. ISSN 1390-8596. DOI 10.17163/lgr.n33.2021.05.  
Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1390-85962021000100053&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-85962021000100053&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**UQUILLAS, N.**, Moringa y su uso culinario [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería)  
Universidad de los Hemisferios. Quito, Ecuador, 2017. P.30. [Consulta: 25 de diciembre 2022].  
Disponible en: <http://dspace.uhemisferios.edu.ec:8080/xmlui/handle/123456789/691>.



## ANEXOS

### ANEXO A: PODER CALÓRICO – INFORME DE RESULTADOS



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**  
**ÁREA DE PETRÓLEOS**

**Informe N°:** 23-014.1  
**Fecha de emisión:** 2023-01-30

**Cliente<sup>a</sup>:** VERÓNICA ESTEFANÍA HARO ANDI  
**Contacto<sup>a</sup>:** Srta. Verónica Haro  
**Dirección<sup>a</sup>:** Riobamba  
**Teléfono<sup>a</sup>:** 0995261340  
**Tipo de muestra<sup>a</sup>:** BIODIÉSEL  
**Descripción de la muestra<sup>a</sup>:** Muestra Patrón biocombustible  
**Condiciones de la Muestra:** Muestra en envase de vidrio ámbar, sellado  
**Fecha de ingreso de muestra:** 2023-01-25  
**Código de la muestra:** 23-014.1  
**Fecha de realización de ensayos:** 2023-01-26  
**Lugar donde se realizaron los ensayos:** Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

**Correo-e<sup>a</sup>:** [Verito\\_19943@hotmail.com](mailto:Verito_19943@hotmail.com)

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/MI02 Ref. ASTM D-240 (Calorimetría)	39,682	-

**Nota:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.  
**Nota:** Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.  
**Nota:** Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

**Condiciones Ambientales. - Presión:** 542,10 mm Hg, **Temperatura:** 18,2 °C

<sup>a</sup> Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Anallistas: FTL  
Elaborado por: VRT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.  
RESPONSABLE DE CALIDAD

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.  
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
QUITO - ECUADOR

E-mail: [fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

MC2201-P01-8

Hoja 1 de 3



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS  
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 23-014.2  
Fecha de emisión: 2023-01-30

**Cliente<sup>2</sup>:** VERÓNICA ESTEFANÍA HARO ANDI  
**Contacto<sup>2</sup>:** Srta. Verónica Haro  
**Dirección<sup>2</sup>:** Riobamba  
**Teléfono<sup>2</sup>:** 0995261340 **Correo-e<sup>2</sup>:** [Verito\\_19943@hotmail.com](mailto:Verito_19943@hotmail.com)  
**Tipo de muestra<sup>2</sup>:** BIODIÉSEL CON NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN  
**Descripción de la muestra<sup>2</sup>:** Biocombustible + 50 ppm nanopartículas de Alofán  
**Condiciones de la Muestra:** Muestra en envase de vidrio ámbar, sellado  
**Fecha de ingreso de muestra:** 2023-01-25  
**Código de la muestra:** 23-014.2  
**Fecha de realización de ensayos:** 2023-01-26  
**Lugar donde se realizaron los ensayos:** Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/MI02 Ref. ASTM D-240 (Calorimetría)	39,676	-

**Nota:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.  
**Nota:** Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.  
**Nota:** Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

**Condiciones Ambientales. - Presión:** 542,10 mm Hg, **Temperatura:** 18,2 °C

<sup>2</sup> Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: FTL  
Elaborado por: VRT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.  
RESPONSABLE DE CALIDAD

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.  
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
QUITO - ECUADOR

E-mail: [fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

MC2201-P01-8

Hoja 2 de 3



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS  
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 23-014.3  
Fecha de emisión: 2023-01-30

Cliente<sup>a</sup>: VERÓNICA ESTEFANÍA HARO ANDI  
Contacto<sup>a</sup>: Srta. Verónica Haro  
Dirección<sup>a</sup>: Riobamba  
Teléfono<sup>a</sup>: 0995261340 Correo-e<sup>a</sup>: [Verito\\_19943@hotmail.com](mailto:Verito_19943@hotmail.com)  
Tipo de muestra<sup>a</sup>: BIODIÉSEL CON NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN  
Descripción de la muestra<sup>a</sup>: Biocombustible + 100 ppm nanopartículas de Alofán  
Condiciones de la Muestra: Muestra en envase de vidrio ámbar, sellado  
Fecha de ingreso de muestra: 2023-01-25  
Código de la muestra: 23-014.3  
Fecha de realización de ensayos: 2023-01-26  
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/MI02 Ref. ASTM D-240 (Calorimetría)	39,686	-

**Nota:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

**Nota:** Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

**Nota:** Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

**Condiciones Ambientales. - Presión:** 542,10 mm Hg, Temperatura: 18,2 °C

<sup>a</sup> Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: FTL  
Elaborado por: VRT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.  
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.  
RESPONSABLE DE CALIDAD

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
QUITO - ECUADOR

E-mail: [fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

MC2201-P01-8

Hoja 3 de 3



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 08 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Verónica Estefanía Haro Andi
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1219-DBRA-UPT-2023