



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA**

**INFORME DE INVESTIGACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**MODALIDAD:**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN EL  
RENDIMIENTO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS  
ACEITOSOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS  
PESQUERAS**

**AUTORA:**

**ING. MARÍA BELÉN CEDEÑO VARGAS**

**TUTORA:**

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS M.Sc.**

**CALCETA, JULIO 2022**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

**MARÍA BELÉN CEDEÑO VARGAS** declaro bajo juramento que el trabajo de aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración, cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

---

**MARÍA BELÉN CEDEÑO VARGAS**

## CERTIFICACIÓN DE TUTORA

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, Mgs**, certifica haber tutelado el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN EL RENDIMIENTO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS ACEITOSOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS**, que ha sido desarrollada por **MARÍA BELÉN CEDEÑO VARGAS**, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, Mgs.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN EL RENDIMIENTO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS ACEITOSOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **MARÍA BELÉN CEDEÑO VARGAS**, previa la obtención del título de Magister en Agroindustria, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**MGS. CHICAIZA INTRIAGO JONATHAN GERARDO**  
**MIEMBRO**

---

**MGS. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA**  
**MIEMBRO**

---

**Dra. C. AVEIGA ORTIZ ANA MARÍA**  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dar gracias a Dios que nos da la oportunidad día a día de elegir lo que queremos ser; a mi esposo que no ha dudado en apoyarme en esta difícil trayectoria, mis padres que son esa parte fundamental en mi vida y a mi querido hijo quien me impulsa a superarme y continuar día a día.

A mis cuñadas que no dudaron en apoyarme y darme esa mano desinteresada, quienes cada día se preocupan por mi bienestar y el de toda mi familia.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que ofrece la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación de calidad que ha permitido forjar mis conocimientos profesionales día a día.

A los Ingenieros Fabián Pinargote, Ricardo Delgado, Jorge Teca y Teresa Vivas que estuvieron apoyándome con sus conocimientos y me impulsaron en la continuación de la presente investigación.

**CEDEÑO VARGAS MARÍA BELÉN**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser parte fundamental de cada día, a mi hijo y mi esposo, mi compañero de vida que tuvo la predisposición para colaborar y apoyarme en todo el proceso en mis momentos de flaqueza, por su paciencia y dedicación. A mis padres por estar conmigo, por enseñarme a crecer, ser perseverante, creer en mí y buscar siempre la felicidad, por apoyarme y guiar mis pasos por el mejor camino, por ser la base fundamental y que me ayudaron a llegar hasta aquí.

**CEDEÑO VARGAS MARÍA BELÉN**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
CONTENIDO GENERAL .....	vii
CONTENIDO DE TABLAS .....	x
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. BIOCOMBUSTIBLES.....	5
2.1.1. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES SEGÚN SU FUENTE DE ORIGEN ...	5
2.2. BIODIESEL .....	6
2.2.1. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DE UN BIODIESEL.....	7
2.2.2. MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL .....	8
2.2.3. PARÁMETROS A MEDIR DEL ACEITE A UTILIZAR .....	9
2.2.4. TRATAMIENTO DEL ACEITE PREVIO AL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	14
2.3. TRANSESTERIFICACIÓN .....	15
2.3.1. CONCEPTO GENERAL.....	15
2.3.2. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN EN EL REACTOR BATCH	16

2.3.3. VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	18
2.3.4. ALCOHOLES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL .....	20
2.3.5. CATALIZADOR.....	21
2.3.6. PARÁMETROS A MEDIR DE UN BIODIESEL.....	23
2.3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL .....	27
2.4. RENDIMIENTO DEL PROCESO EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL ..	27
2.5. MUESTREO DE COSTEO DE PRODUCCIÓN .....	28
2.5.1. MATERIA PRIMA.....	28
2.5.2. MANO DE OBRA DIRECTA.....	28
2.5.3. COSTOS DE PRODUCCIÓN A PARTIR OTRAS FUENTES DE ENERGÍA.....	29
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>30</b>
3.1. UBICACIÓN .....	30
3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO .....	30
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	31
3.3.1. MÉTODOS .....	31
3.3.2. TÉCNICAS .....	32
3.4. FACTORES EN ESTUDIO .....	32
3.4.1. NIVELES .....	32
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	32
3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	33
3.7. VARIABLES A MEDIR .....	33
3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	33
3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	33
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	34
3.8.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE LAS TRAMPAS DE GRASA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO.....	34
3.8.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE INCREMENTE EL RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	37
3.8.3. ESTABLECIMIENTO DEL COSTO UNITARIO DEL TRATAMIENTO CON MEJORES CUALIDADES PARA SU DESARROLLO EN LA INDUSTRIA .....	42
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	45
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>



4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE LAS TRAMPAS DE GRASA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO .....	46
4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE INCREMENTE EL RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS .....	52
4.3. ESTABLECIMIENTO DEL COSTO UNITARIO DEL TRATAMIENTO CON MEJORES CUALIDADES PARA SU DESARROLLO EN LA INDUSTRIA.....	67
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Proporción de catalizador de acuerdo al grado de acidez. ....	15
<b>Tabla 3.1.</b> Niveles de estudio de acuerdo a los factores establecidos. ....	32
<b>Tabla 3.2.</b> Planteamiento del diseño experimental con las variables y niveles determinados. ....	33
<b>Tabla 3.3.</b> Parámetros considerados para la caracterización del aceite. ....	35
<b>Tabla 3.4.</b> Parámetros requeridos para caracterizar un biodiesel. ....	42
<b>Tabla 3.5.</b> Detalle estadístico del ANOVA con tres factores. ....	45
<b>Tabla 4.1.</b> Caracterización física y química del aceite residual extraído. ....	46
<b>Tabla 4.2.</b> Propiedades del metanol. ....	52
<b>Tabla 4.3.</b> Análisis de normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk. ....	55
<b>Tabla 4.4.</b> Análisis de homogeneidad de varianza a través del test de Levene. ...	55
<b>Tabla 4.5.</b> Análisis de varianza del rendimiento del proceso. ....	56
<b>Tabla 4.6.</b> Prueba de Tukey de los tratamientos aplicados. ....	57
<b>Tabla 4.7.</b> Prueba de Tukey del factor temperatura. ....	58
<b>Tabla 4.8.</b> Prueba de Tukey del factor concentración. ....	59
<b>Tabla 4.9.</b> Prueba de Tukey del factor relación molar. ....	60
<b>Tabla 4.10.</b> Prueba de Tukey del factor temperatura*relación molar. ....	61
<b>Tabla 4.11.</b> Prueba de Tukey del factor temperatura*concentración. ....	61
<b>Tabla 4.12.</b> Prueba de Tukey del factor relación molar*concentración. ....	62
<b>Tabla 4.13.</b> Parámetros físicos-químicos del biodiesel con mejor rendimiento. ...	64
<b>Tabla 4.14.</b> Análisis de costo de producción de un barril de biodiesel. ....	67
<b>Tabla 4.15.</b> Costo de producción del biodiesel. ....	68

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Área de estudio para la extracción de la muestra de residuos aceitosos (Google Earth, 2022). ....	30
<b>Figura 4.1.</b> Resultados de viscosidad del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM. ....	47

<b>Figura 4.2.</b> Resultados de densidad del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM. ....	48
<b>Figura 4.3.</b> Resultados de índice de saponificación del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM.....	48
<b>Figura 4.4.</b> Resultados de la humedad antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM .....	49
<b>Figura 4.5.</b> Resultados de porcentaje acidez antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM .....	50
<b>Figura 4.6.</b> Resultados de índice de acidez antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa. <b>Fuente.</b> Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM .....	51
<b>Figura 4.7.</b> Comparación de los rendimientos obtenidos según los tratamientos. <b>Fuente.</b> Elaboración propia.....	54
<b>Figura 4.8.</b> Normalidad de los residuos de Shapiro-will. <b>Fuente.</b> Elaboración propia .....	55
<b>Figura 4.9.</b> Gráfico de residuos para homogeneidad de varianza (test de Levene). <b>Fuente.</b> Elaboración propia.....	56
<b>Figura 4.10.</b> Rendimiento del proceso según el factor temperatura. <b>Fuente.</b> Elaboración propia .....	58
<b>Figura 4.11.</b> Rendimiento del proceso según la concentración del catalizador. <b>Fuente.</b> Elaboración propia.....	59
<b>Figura 4.12.</b> Rendimiento del proceso según el factor Relación Molar alcohol/aceite. <b>Fuente.</b> Elaboración propia.....	60
<b>Figura 4.13.</b> Interacción de las variables utilizadas en la obtención del rendimiento del proceso. <b>Fuente.</b> Elaboración propia .....	62
<b>Figura 4.14.</b> Diagrama de Pareto del rendimiento del proceso. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. ....	63

## RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue evaluar el efecto de las variables fisicoquímicas en el rendimiento del proceso para la obtención de biodiesel a partir de residuos aceitosos provenientes de las aguas residuales de industrias pesqueras. Inicialmente, se caracterizó el aceite extraído de las trampas de grasa para la estabilización de los parámetros que influyen en el proceso, obteniendo una viscosidad de 38 mPa/s, densidad 0,927 g/ml, índice saponificación 260,4 mg KOH/g; sin embargo, fue necesario la neutralización y secado del aceite para disminuir la acidez a 0,97 % y la humedad a 0,03%, cumpliendo con los requerimientos para posterior transesterificación que permitió determinar el tratamiento que incrementa el rendimiento del proceso de obtención de biodiesel a partir del análisis de los parámetros temperatura, relación molar alcohol/aceite (REA) y concentración del catalizador (CC), conforme al diseño experimental establecido (Temperatura 60 °C y 80 °C, REA 6:1 y 9:1, CC 0,8% y 1,3%). Con ello, se obtuvo que el mejor tratamiento fue el T7 (Temperatura 80 °C, REA 9:1 y CC 0,8%) que presentó un rendimiento de 94% de extracción de biodiesel, con una acidez de 0,39 mg KOH/g, viscosidad 2,7 mPa/s, cenizas <0,02%, densidad 883,7 kg/m<sup>3</sup>, punto de inflamación 120 °C, índice de cetano 41; sin embargo, el contenido de agua fue elevado con 560 mg/kg, por ello requiere de un proceso de secado más eficiente. Finalmente se estableció el costo unitario para su desarrollo en la industria, obteniendo un costo por barril de biodiesel de \$86,04 equivalente a \$0,54 por litro.

## PALABRAS CLAVE

Segunda generación, rendimiento, calidad, costo producción

## ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the effect of physicochemical variables on the performance of the process for obtaining biodiesel from oily residues from wastewater from fishing industries. Initially, the oil extracted from the grease traps was characterized for the stabilization of the parameters that influence the process, obtaining a viscosity of 38 mPa/s, density 0.927 g/ml, saponification index 260.4 mg KOH/g; however, it was necessary to neutralize and dry the oil to reduce the acidity to 0.97% and the humidity to 0.03%, fulfilling the requirements for later transesterification that allowed determining the treatment that increases the yield of the process for obtaining biodiesel from the analysis of the parameters temperature, alcohol/oil molar ratio (REA) and catalyst concentration (CC), according to the established experimental design (Temperature 60 °C and 80 °C, REA 6:1 and 9:1, CC 0.8% and 1.3%). With this, it was obtained that the best treatment was T7 (Temperature 80 °C, REA 9:1 and CC 0.8%), which presented a yield of 94% biodiesel extraction, with an acidity of 0.39 mg KOH/ g, viscosity 2.7 mPa/s, ash <0.02%, density 883.7 kg/m<sup>3</sup>, flash point 120 °C, cetane number 41; however, the water content was high with 560 mg/kg, therefore it requires a more efficient drying process. Finally, the unit cost for its development in the industry was established, obtaining a cost per barrel of biodiesel of \$86,04, equivalent to \$0.54 per liter.

## KEY WORDS

Second generation, performance, quality, production cost

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diversos han sido los estudios que han aportado al análisis de la eficiencia de los biocombustibles en el mundo, centrándose esencialmente en el mejoramiento de los inputs (entradas), a través de novedosas tecnologías y procesos que generan una mayor ganancia neta de energía en la elaboración de combustibles orgánicos (Ren et al., 2014).

Por su parte el análisis de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina conduce a revisar los medios de producción y las tecnologías aplicadas, es decir, cómo y cuáles son los métodos utilizados para la optimización de los procesos que implican el uso racional de los insumos agrícolas, forestales, residuos orgánicos y tecnologías utilizadas en la producción de biocombustibles de primera y segunda generación (Leyva y Linares, 2017).

Satyanarayana y Engineering (2017) cuestionan a la etapa de transformación de aceite a biodiesel como el principal problema con respecto a la eficiencia en el proceso de obtención del biodiesel, siendo el sistema de autoconsumo menos eficiente que los sistemas a gran escala, esto debido principalmente a que el metanol no se puede llegar a recuperar luego de la reacción.

En los grandes métodos de producción, el proceso productivo se encuentra sistematizado para consumir la menor cantidad de insumos, sobre todo es importante enfocarse en los productos empleados ya que existen gran diversidad, se constata que uno de los problemas negativos resulta de la manera en que se producen y se procesan las materias primas para la elaboración, debido a que mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado (Álvarez, 2013).

Leung y Guo (2006) consideran como importante el estudio de los parámetros físicos-químicos (relación molar, concentración de catalizador, temperatura), en la obtención y eficiencia del biodiesel por citar un ejemplo, el rango de temperatura a

la cual se debe trabajar el proceso de transesterificación oscila entre 45 y 65°C, ya que a una temperatura mayor al punto de ebullición del metanol este se quema y provoca un rendimiento menor.

Por su parte es de conocimiento general que, en Manta se presenta un asentamiento de cuantiosas industrias pesqueras, que conllevan a problemas ambientales de gran importancia (Marín et al., 2015), presentando en sus aguas residuales niveles elevados de DBO, partículas de pescados, espumas con características aceitosas proveniente de una serie de actividades desarrolladas diariamente (Cedeño et al., 2020).

Las espumas aceitosas generalmente son recogidas en las trampas de grasas y puestas en reservorios metálicos que son trasladados a vertederos, estos residuos se componen en un 49% de aceites y grasas (Cedeño y Sepa, 2018), que ocasionan problemas ambientales en el suelo, como en las aguas subterráneas y aguas superficiales (proceso de escorrentía) (Cabrera, 2021).

Medina et al. (2020) identifican a este tipo de residuos, como de gran interés por el nivel de contaminación que puede generar en el ambiente, por ello se pretende analizar su posible uso en la industria que permita la disminución de los niveles de contaminación que estos ocasionan y analizar las variables que inciden en el proceso, además de considerarlo como una fuente energías alternativas que supla las necesidades de la industria como tal. Por lo cual se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál será el efecto de las variables fisicoquímicas en el rendimiento del proceso para la obtención del biodiesel a partir de los residuos aceitosos de industrias pesqueras?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Las industrias procesadoras de pescados y mariscos generan efluentes industriales con gran cantidad de aceites y sales, por esta razón se hace necesario tomar alternativas que conlleven a mejorar en el aprovechamiento de sus residuos, entre estos los aceites producto del procesamiento de atún el cual pueda ser utilizado en la obtención de un biocombustible que coadyuve a la disminución de la contaminación (Gómez, 2016).

El proyecto se desarrolla en empresas atuneras del Cantón Manta, dedicadas al procesamiento de atún y elaboración de conservas, que permite justificar desde el punto de vista práctico, por la accesibilidad a la materia prima. El aceite aprovechado se obtiene de los residuos retirados de las trampas de grasas, proceso que se utiliza para disminuir la carga de aceites y grasas de las aguas residuales que las empresas atuneras descargan a los cuerpos de agua o red de alcantarillado (Vizúete et al., 2018).

La investigación resalta ambientalmente por el aprovechamiento de un producto proveniente de las descargas de aguas residuales como consecuencia en la elaboración del atún, a partir de los residuos aceitosos se pretende obtener biodiesel mediante un proceso químico y posteriormente analizado físico y químicamente. En resumen, se obtiene como resultado la conversión de este residuo en material utilizable que generen beneficios para el ambiente, donde el biodiesel obtenido se caracteriza por no contener azufre en su composición y reducir las emisiones de monóxido de carbono y compuestos aromáticos (Navas, 2018).

Con fundamento teórico, el uso de residuos aceitosos extraídos de la nata acumulada en las trampas de grasas contiene un 49% de aceite en relación al volumen de masa residual utilizada (Cedeño y Sepa, 2018), presentando acogida en la utilización como materia prima para la obtención de biodiesel, ampliando el campo de los biocombustibles de segunda generación y efectuando interés para el estudio de los mismos.



A partir del conocimiento base de la extracción de productos oleaginosos, se pretende indagar sobre su efectividad en la obtención de biocombustible, siendo necesario ampliar el conocimiento de las características físicas y químicas del mismo, las cuales son de importancia para el proceso de transesterificación, el cual se define como una reacción requerida para que ácidos grasos se logren descomponer en presencia de un catalizador y un alcohol, así se logre formar biodiesel y otros componentes secundarios (Medina et al, 2018).

La investigación se orienta a la evaluación de tres variables temperatura, cantidad de catalizador y fracción molar con el fin de comprobar la calidad del biodiesel obtenido a partir de residuos aceitosos, de manera que contribuya en una producción más limpia de empresas pesqueras, las cuales se han comprometido con el ambiente contribuyendo con el objetivo 7 de energía asequible y no contaminante, establecido en la agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de las variables fisicoquímicas en el rendimiento del proceso para la obtención de biodiesel a partir de residuos aceitosos provenientes de las aguas residuales de industrias pesqueras.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el aceite de los residuos de las trampas de grasa para la estabilización de los parámetros que influyen en el proceso.
- Determinar el tratamiento que incremente el rendimiento del proceso de obtención de biodiesel a partir del análisis de parámetros fisicoquímicos.
- Establecer el costo unitario del tratamiento con mejores cualidades para su desarrollo en la industria.

### **1.4. HIPÓTESIS**

El efecto de la temperatura, relación molar y concentración del catalizador, incrementa el rendimiento del proceso en la extracción de biodiesel a partir de residuos aceitosos provenientes de las aguas residuales de industrias pesqueras.

# **CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **2.1. BIOCOMBUSTIBLES**

Término que hace referencia a todo tipo de combustible que se deriva de la biomasa como materia prima, ya sean derivados de plantas o animales (Espinoza y Palmay, 2009). Castillo (2018), los define como un tipo de fuente de energía de biomasa, aunque generalmente requieren de transformaciones a través de procesos químicos.

A nivel mundial, los biocombustibles desarrollados principalmente son bioetanol o biodiesel, que se pueden obtener tras procesos de fermentación, transesterificación y digestión anaerobia, mismos que tienen una gran facilidad en el procesamiento, a pesar de ello existen competencias en el mercado alimentario por la materia prima que se emplea comúnmente (Lombeida, 2015).

Se pueden encontrar en tres clasificaciones de primera, segunda y tercera generación definidos de acuerdo al tipo de materia prima utilizado.

Es posible clasificar una variedad de tipos de combustibles, mismos que dependen del tipo de materia prima utilizada (Machado, 2010):

### **2.1.1. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES SEGÚN SU FUENTE DE ORIGEN**

#### **2.1.1.1 PRIMERA GENERACIÓN**

Se producen a partir de azúcares, amidas y otros, que específicamente provienen de plantas generalmente comestibles como caña de azúcar, trigo, maíz, palma de aceite y soya. Estos han sido producidos y posteriormente comercializados a gran escala para ser integrados al combustible destinados al transporte; sin embargo, esa situación ocasiona preocupación por la necesidad del uso de tierra para los cultivos necesarios (Machado, 2010).

#### **2.1.1.2. SEGUNDA GENERACIÓN**

De acuerdo a García et al. (2016) son aquellos donde la biomasa residual o aceites vegetales tóxicos son la fuente de energía, adecuados para la fabricación de

combustibles, debido a que para su elaboración no interviene en la demanda que tienen los cultivos alimenticios.

Salinas y Gasca (2009) mencionan que para este tipo de biocombustibles se mantiene prometedor el uso de álamo y sauce de corta rotación, pasto de elefante, residuos celulósicos industriales y otros productos de consumo industrial y final. Debido a los costos elevados en la producción a gran escala no ha sido posible su comercialización.

La materia prima de subproductos de grasa de animales, se caracterizan por el contenido alto de ácidos grasos saturados, mismo que representa un problema en la aplicación cuando la temporada baja (Avellaneda, 2010).

### **2.1.1.3. TERCERA GENERACIÓN**

Su aparición es reciente y surgen en búsqueda de materias primas diferentes, las cuales proporcionan un mejor rendimiento y su potencial energético sea mayor.; esta se refiere al uso de microalgas (Castillo, 2018).

### **2.1.2. VENTAJAS DE BIOCMBUSTIBLES**

- a)** Es una alternativa para evitar el uso de combustibles derivados del petróleo.
- b)** Energía renovable
- c)** Reducción de importación de petróleo.
- d)** Su combustión es biodegradable y no tóxica.
- e)** Las emisiones de contaminantes son menores.
- f)** Colabora con los niveles de ingresos y empleo en medios rurales.
- g)** Utilización de residuos orgánicos.

## **2.2. BIODIESEL**

Medina et al. (2012), afirma que el biodiesel, también denominado biogasóleo, forma parte de un grupo de biocarburentes que se obtienen de aceites vegetales como: *Jatropha curcas*, colza, soja, girasol; es un biocombustible líquido que se produce utilizando como materia prima aceites vegetales o de grasas animales. Los biodiesel son metil-ésteres de los aceites vegetales obtenidos por una reacción química conocida como transesterificación, que produce glicerina como producto

secundario; el biodiesel es un combustible con producción biológica que puede utilizarse directamente en un motor de diésel sin requerir modificación alguna (Stratta, 2000).

Es un biocombustible de característica líquida compuesto de ácidos grasos de cadenas largas obtenidas de la biomasa de tipo vegetal, animal o aceite de microalgas que se combinan con compuestos de alquil-ésteres de alcohol que son de cadenas cortas; poseen ventajas de importancia para la mejora de la calidad de vida de la población; y como problema principal que presenta su baja volatilidad, poliinsaturación y viscosidades muy altas (Fernández et al., 2012); sin embargo, se ha señalado que el uso de aceites como combustibles se considera aceptable para ser utilizado en motores en cortos periodos de operación (González et al., 2008).

A pesar de sus beneficios ambientales, el petrodiesel posee ventajas económicas en comparación con el biodiesel, que principalmente son generadas por el costo de la materia prima que se utiliza, que presenta una diferencia de 0,5 US\$/l en el biodiesel a 0,35 US\$/l en el diésel de petróleo, mismas que en un 70 a 95% corresponde a la materia prima en el costo total de la producción de biodiesel (Martínez et al., 2012).

### **2.2.1. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DE UN BIODIESEL**

Para el almacenamiento adecuado del biodiesel, se deben considerar factores que son influyentes en su calidad, entre los que se mencionan la temperatura de exposición, compatibilidad de materiales y estabilidad de oxidación (Dinis 2012). La temperatura del biodiesel se controla para evitar la formación de cristales capaces de generar la obstrucción de filtros de combustible y líneas de combustible, se considera una temperatura de almacenamiento adecuada entre 7 y 10 °C. En climas extremadamente fríos, el almacenamiento subterráneo de biodiesel proporciona la temperatura de almacenamiento adecuada para la prevención de la formación de cristales (Echeverría, 2018).

La estabilidad de oxidación del biodiesel es un factor importante cuando se va a almacenar durante un período prolongado, una débil estabilidad puede llevar al aumento de la acidez y de la viscosidad del combustible y provocar la formación de

gomas y sedimentos; Por lo tanto, si la duración de almacenamiento del biodiesel y de las mezclas de biodiesel es más de 6 meses, debe ser tratado con un aditivo antioxidante (Aguilar et al., 2015).

Larosa (2001) citado por Arbeláez y Rivera (2007) dice que el biodiesel no contiene azufre, el contenido de aromáticos es casi nulo y su toxicidad es muy baja; las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente producidos por este biocombustible se reducen debido a que teóricamente se cierra el ciclo del carbono, ya que el CO<sub>2</sub> producido por la combustión del biodiesel es capturado nuevamente por las plantas productoras del aceite destinado como materia prima.

### **2.2.2. MATERIA PRIMA EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Dinis (2012) asegura que para producir biodiesel existen varias materias primas que contienen triglicéridos necesarios para obtener los ésteres alquílicos. Las principales materias primas usadas/estudiadas en la producción de biodiesel son: “Aceites vegetales como colza, girasol, soja, palma y coco, aceites vegetales alternativos como *brassica carinata*, *cynara carduculus*, *camelina*, *pogyanus* y *recino*, aceites de semillas modificadas genéticamente como girasol alto oleico, grasas animales, aceites de frituras usados, microalgas”.

Pueden encontrarse materias primas que su nivel de acidez sea mayor a 5%, en este caso se recomienda realizar un proceso de esterificación, de manera previa al proceso de obtención de biodiesel, con esta reacción se reduce la acidez de la materia prima (Pisarello, 2010).

Los principales componentes de los aceites y las grasas son los triglicéridos o también conocidos como ésteres de ácidos grasos unidos a un glicerol. Las principales fuentes de obtención de la materia prima (aceites y grasas) que se requiere para producir el biodiesel generalmente son dos. Uno de ellos son los cultivos oleaginosos y dos los tejidos adiposos o tejidos grasos de animales. Sin embargo, un material que presente triglicéridos en su composición puede emplearse para la utilización de producir biodiesel (Bulla, 2014).

El aceite es una de las materias primas de mayor uso, que proviene de fuentes orgánicas primarias (animales o vegetales), así como de productos residuales como frituras o bien que hayan proveniendo de trampas de grasas (Gutiérrez y Pérez, 2019).

Dentro de las características de las aguas residuales de algún proceso, los aceites y grasas son uno de los problemas de mayor importancia, son difíciles de eliminar, debido a su dificultad para ser metabolizado por las bacterias; es por ello que tienden a formar una película densa sobre el agua (Vidales et al., 2010).

#### **2.2.2.1. GRASAS ANIMALES Y MEZCLAS**

Martínez et al. (2007) indica que en este grupo se encuentran la mantequilla, aceite de pescado, manteca, grasa de pollo o mezclas de los mismos. El sebo generalmente tiene un contenido reducido de ácidos grasos libres que se considera ideal en el proceso de transesterificación alcalina (Castañeda, 2017).

#### **2.2.2.2. ACEITE DE PESCADO**

El aceite de pescado utilizado como materia prima, es una producción de energía muy reciente, que requiere de investigaciones más específicas en la calidad del combustible, generalmente la obtención de aceite puro conlleva un gasto elevado siendo de \$640 por tonelada de aceite crudo (Vértis, 2009).

#### **2.2.2.3. CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS**

De acuerdo con Castañeda (2017) la calidad de la materia prima a utilizar no es un factor determinante en el proceso, pero si existen ventajas cuando este tiene una calidad alta, es decir que tiene bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otros contaminantes.

### **2.2.3. PARÁMETROS A MEDIR DEL ACEITE A UTILIZAR**

#### **2.2.3.1. DENSIDAD A 20°C (KG/M<sup>3</sup>)**

Se encuentra simbolizada por la letra griega  $\rho$ , que hace referencia a la cantidad de masa que contiene cierto contenido de volumen. La densidad relativa se

considera a la relación entre su densidad y la de otra sustancia (Sánchez y Figueroa, 2013).

Llunitasig y Soledispa (2017) sugiere que la densidad de la materia prima debe ser menor a 0,980 g/ml, el autor menciona que, como alternativa para corregir dichos valores en caso de encontrarse elevados, es mezclar el aceite con una porción de grasa que sea de menor densidad.

Lund desarrolló una ecuación para el cálculo de la densidad a 20°C de los aceites (Zapata y Méndez, 2014).

$$\text{Densidad} = 0,8475 + 0,0030 (IS) + 0,00014 (IA) \quad (1)$$

*IS = Índice de saponificación.*

*IA = Índice de acidez.*

### **2.2.3.2. ÍNDICE DE ACIDEZ**

La acidez es la suma de ácidos grasos que no se encuentran combinados como parte de la hidrólisis o descomposición lipolítica de varios triglicéridos, es el número de mg de KOH o NaOH requeridos para la neutralización de ácidos libres de 1 g de aceite o grasa (Sánchez y Figueroa, 2013).

El porcentaje que acidez de la materia prima para un biocombustible se debe encontrarse por debajo del 3%, mismo que permite una reacción completa de los reactivos, evitando la aparición de ácidos grasos libres después del proceso de conversión (Llunitasig y Soledispa, 2017).

Delgado (2010) considera la siguiente metodología:

- Preparar una solución de etanol a 96° e hidróxido de sodio o hidróxido de potasio al 0,1 N, para la formación de metil éter.
- En un matraz añadir 5 g de aceite.
- Disolver en un matraz de 50 ml la solución de alcohol-éter, que neutralizada con una solución etanólica de fenolftaleína al 1%.
- Añadir 5 ml de la solución fenolftaleína, valorar con una solución álcali (NaOH) o (KOH) al 0,1 N.

Aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{ÍNDICE DE ACIDEZ} = \frac{V * N * 40 \text{ o } 56,11}{P} \quad (2)$$

*V = Volumen en mililitros de solución de álcali utilizado.*

*N = Normalidad de la solución titulante.*

*P = Peso en gramos de muestra.*

*40 = Peso molecular del NaOH o KOH.*

Rodríguez et al. (2016) indica que el índice de acidez es el resultado de ácidos grasos no combinados que utiliza la siguiente metodología de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-101-1987:

- En un matraz de 250 ml se pesan 5 g de la muestra, en una balanza gravimétrica.
- Se añade 50 ml de alcohol etílico, con el uso de una pipeta.
- Con el uso de una barra magnética, colocada en el interior con agitación de 5 min, para proporcionar una solución homogénea.
- La mezcla se titula, con una estandarización de hidróxido de potasio al 0,1 N que se ubica en una bureta de 25 ml.
- En la titulación se aplica fenolftaleína como indicador donde el punto final se marca cuando la muestra se torne color rosa.

### **2.2.3.3. ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

Cuando los resultados son superiores a 160 mg/g se recomienda añadir óxido de calcio, que permite disminuir sus valores iniciales (Llumitasig y Soledispa, 2017).

Ramírez (2018) utiliza la Norma Mexicana NMX-F-174-1981 quien realiza el siguiente proceso para determinar el índice de saponificación:

- En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, pesar 2 a 3 mg de la muestra, con una balanza volumétrica que tenga una exactitud del 99,9 %.
- Preparar una solución etanólica de hidróxido de potasio, colocando 5 g de hidróxido de potasio en un frasco; agregar 5 granallas de zinc o aluminio y 1,2 litros de alcohol etílico (95%), hervir en baño maría con condensador de



reflujo por 60 min. Destilar el alcohol retirando los 50 ml obtenidos al inicio, para luego disolver 40 g de hidróxido de potasio en 1 litro de alcohol destilado.

- Con una pipeta agregar 25 ml de solución etanólica, conectar el matraz refrigerante y luego dejar hervir por una hora, hasta completar la saponificación.
- Añadir 1 ml de indicador de fenolftaleína y titular en caliente; quedando un exceso de KOH que se titula con ácido clorhídrico al 0,5 N hasta que se desaparezca la coloración rosa.
- Debe constar una muestra en blanco donde se utilizan todos los reactivos, pero sin el uso de la muestra, siguiendo el procedimiento explicado anteriormente.

$$IS = \frac{(V_1 - V_2)EQ.* N}{m} \quad (3)$$

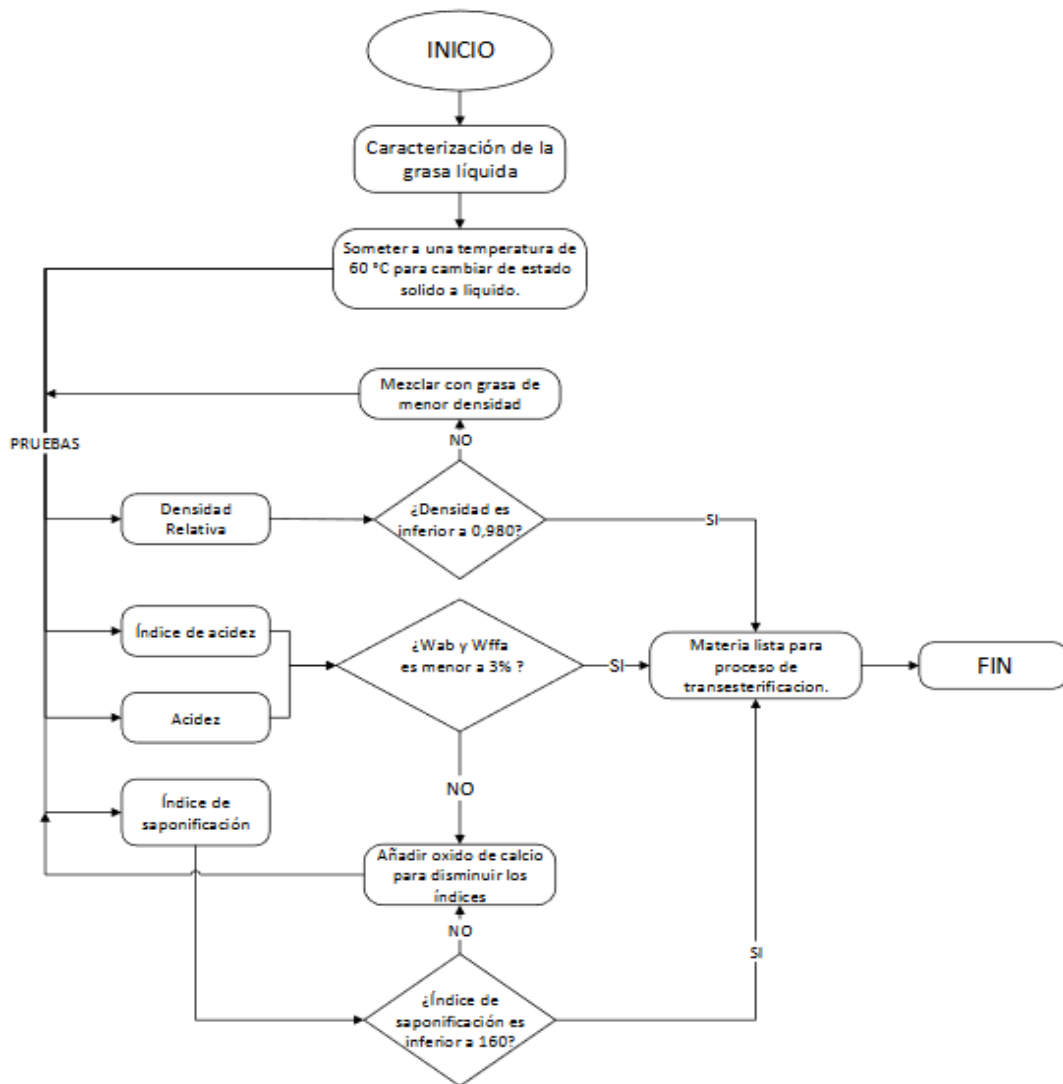
$V_2$  = Volumen de solución ácido clorhídrico o sulfhídrico utilizado en la muestra.

$V_1$  = Volumen de solución ácido clorhídrico del ensayo en blanco.

$N$  = Normalidad del ácido clorhídrico o sulfhídrico (0,5).

$m$  = Masa de la muestra analizada.

$EQ.$  = Equivalente químico KOH (56,11).



**Figura 2.1.** Proceso en la caracterización del aceite destinado a un proceso de transesterificación (Llumisig y Soledispa, 2017).

La figura 2.1. describe el proceso correspondiente para el mejoramiento del aceite que se utiliza como materia prima para obtener biodiesel; existen parámetros que determinan la calidad del mismo que según el autor deben ser corregidos en casos de no cumplir con dichos parámetros. Es así que la densidad debe ser inferior a  $0,980 \text{ g/ml}$ , en caso que los valores se encuentren por encima de los mismo, lo que recomienda es la mezcla con grasas que tengan una densidad menor; en el caso del índice de acidez y la acidez, su valor total de acidez debe ser menor al  $3\% \text{ mg NaOH/g}$ , cuando supera este valor se puede añadir óxido de calcio, mismo que permite la disminución de este índice y se encuentran el índice de saponificación valor que debe ser menor a  $160 \text{ mg/g}$ , caso contrario se aplica óxido de calcio para que los valores se encuentren en los límites establecidos.

#### **2.2.3.4. VISCOSIDAD A 40°C (MM<sup>2</sup>/S)**

Reyes y Di Scipio (2012) mencionan que es básicamente la resistencia de la deformación del fluido en presencia de un esfuerzo cortante; comúnmente se utiliza un viscosímetro que de manera digital mide la resistencia del fluido.

Con respecto a la normatividad, según las normas ASTM-D445 esta debe ser de 50 mm<sup>2</sup>/s, un valor incrementado conlleva al requerimiento de mayor consumo de potencia con respecto a procesos con aceites de menor viscosidad, estos niveles altos son vistos en aceites proveniente de frituras (López et al., 2015).

El mismo autor menciona que es posible la corrección de la viscosidad al filtrar el aceite con un papel filtro cuantitativo n°4, que permite la retención de sólidos suspendidos y disminuir el valor de la viscosidad.

#### **2.2.3.5. HUMEDAD**

Según Pine et al. (2010) este parámetro corresponde al contenido de agua presente en el aceite, para conocerlo se requiere de un procedimiento químico, el cual consiste en la pérdida de peso llevándose a una temperatura de 105 °C dentro de una estufa y posteriormente al desecador para eliminar la humedad restante y, finalmente es pesado para obtener por diferencia de peso el contenido de agua o humedad presente en la muestra, el cual varía entre 12 y 15 %.

### **2.2.4. TRATAMIENTO DEL ACEITE PREVIO AL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN**

De acuerdo a Pary (2019) la calidad del aceite es crucial para que el proceso de transesterificación sea el más óptimo, el contenido de acidez y humedad en los aceites provenientes de materiales residuales, generalmente poseen una calidad menor por la presencia de ácidos grasos libres, humedad e impurezas interfieren en el proceso de transesterificación.

#### **2.2.4.1. DESGOMADO**

Es una extracción acuosa de proteínas, hidratos de carbono, agua y fosfáticos, que se separan dos fases del aceite que son inmiscibles; se requiere 2-3% de agua que

se calienta a 50-60 °C para separar por medio de centrifugación extrayendo lecitina que es el resultado final. Es importante mencionar que este proceso no se realiza de no ser necesario (Pary, 2019).

#### 2.2.4.2. NEUTRALIZACIÓN Y LAVADO

Proceso que se encarga de eliminar los ácidos grasos libres y monoacilglicéridos y fosfolípidos residuales, entre mayor sea la cantidad de ácidos grasos libres, el rendimiento de la refinación es menor; en este proceso se realiza una saponificación con NaOH al 10 - 15%, necesaria una cantidad precisa para solo reaccionar con los ácidos libres (Pary, 2019).

Para establecer la concentración que requieren los aceites, Cordoví et al. (2017) en su investigación tiene establecido las concentraciones que se deben utilizar de acuerdo al grado de acidez que tenga (Tabla 2.1.).

**Tabla 2.1.** Proporción de catalizador de acuerdo al grado de acidez.

Grado de acidez	Concentración de solución de NaOH (%)
1-1,5	3-5
1,5-3	5-10
3	12-18

**Fuente:** Datos tomados de Cordoví et al. (2017)

#### 2.2.4.3. FILTRADO Y SECADO

Es aplicado cuando el aceite contiene humedad e impurezas sólidas, siendo necesario secar el aceite mediante evaporación al vacío o sales absorbentes. En el caso de las impurezas se realiza un filtrado en caliente (Pary, 2019).

López et al. (2015) indica que si el índice de acidez es menor a 1% se debe realizar un filtrado al vacío a través de un papel filtro cuantitativo n° 40, es capaz de retener hasta sólidos suspendidos de 25 µm, a priori de dicha filtración se recomienda calentar el aceite a 80 °C para que la viscosidad sea más baja.

### 2.3. TRANSESTERIFICACIÓN

#### 2.3.1. CONCEPTO GENERAL

La transesterificación es la reacción química más comúnmente utilizada para obtener biodiesel, en la cual un alcohol reacciona reversiblemente con los

triacilglicerol de ácidos grasos en presencia de un catalizador para formar ésteres alquílicos de ácidos grasos y glicerina (Arbeláez y Rivera 2007). Guerra (2014) expresa que es la transformación de grasas o aceites que utiliza un alcohol para así obtener ésteres y glicerina, que requiere de un catalizador para que la velocidad de reacción sea mejor, así como el rendimiento que se obtenga.

Bulla (2014) estipula que la transesterificación es el mejor método para la producción de biodiesel. La reacción se establece entre un aceite en presencia de un alcohol con catalizador o sin catalizador para producir biodiesel y glicerol.

Químicamente el proceso de transesterificación requiere de un catalizador, Anguaya (2007) menciona al NaOH o lejía como uno de mayor eficiencia, que se encarga de convertir los ácidos grasos libres en jabón. Dicho catalizador rompe los enlaces de los ésteres y el alcohol adicionado se hunde uniéndose a la cadena de ácido grado sobrante, logrando así un éster nuevo que se encuentra unido a un alcohol (etanol o metanol) sustituyendo a la glicerina.

Cuando el contenido de ácidos grasos libres se encuentra en el material utilizado en el proceso de transesterificación genera problemas de reacción, aún más evidente al utilizar un catalizador ácido, a pesar que contradictoriamente Avellaneda (2010) explica que no es económicamente viable el uso de este catalizador; es por ello que sugiere la aplicación de una pre esterificación, que permite previamente tratar los ácidos grasos libres, que luego se complementa con el uso de un catalizador alcalino. Para la optimización Pasqualino (2006) utiliza un calentamiento previo del aceite a 60 °C en un tiempo de 60 min de agitación.

De acuerdo a Charry (2005) un proceso de transesterificación es posible sin catalizador, pero su temperatura debe encontrarse a 300 °C y 350 °C, modificando su relación molar de metanol/aceite a 42:1, en un tiempo requerido de 120 segundos; a pesar de ello el uso de catálisis.

### **2.3.2. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN EN EL REACTOR BATCH**

El proceso de transesterificación en el reactor se completa en un tiempo aproximado de 1 h, después de lo cual los productos se dejan en reposo por 24 h para que la separación de fases sea completa y el biodiesel se separe de la

glicerina; El proceso inicia en el tanque de metóxido, ahí se carga un volumen de aproximadamente 28,5 l de metanol se enciende el motor del agitador y se fija la velocidad en 200 rpm, se agregan 820 g de hidróxido de potasio como catalizador; la etapa de mezclado finaliza cuando el hidróxido esté completamente solubilizado, esto ocurre aproximadamente a los 10 min de iniciada la mezcla (Lombeida, 2015).

El autor considera necesario agregar 85 l de aceite de ricino al reactor, para posteriormente precalentar el aceite hasta 30 °C, durante el calentamiento se enciende el motor del agitador y se fija una velocidad de 100 rpm, para que la temperatura del aceite se homogenice. Tanto el tanque de metóxido, así como el reactor están fijados sobre una estructura metálica.

El tanque de metóxido se ubica en un nivel superior de dicho soporte con el fin de transportar el metóxido al reactor por gravedad. Se abre la válvula de paso del tanque de metóxido hacia el reactor, la mezcla de metóxido se adicionada gradualmente al aceite de ricino, la mezcla se calienta hasta una temperatura de 50 °C, además se eleva la velocidad de rotación del agitador hasta 200 rpm, el proceso se mantiene a estas condiciones durante 2 h. Luego de que la reacción llega a su fin, los productos son bombeados hacia el tanque de sedimentación, lavado y secado (Lombeida, 2015).

El tanque agitado tiene el triple de capacidad que el reactor con el propósito de producir tres lotes durante un tiempo aproximado de 8 h, luego de lo cual el producto se deja decantar por 24, para luego retirar la fase glicérica del biodiesel. Una vez que se retiró la glicerina se procede a lavar el biodiesel, con una cantidad de agua igual al 50% del producto presente en el tanque, esta operación se la realiza 5 veces, a una velocidad de agitación de 100 rpm por 5 minutos con el fin de eliminar residuos de alcohol y glicerina presentes en el biodiesel (Lombeida, 2015).

### **2.3.2.1. LAVADO CON AGUA CALIENTE**

Césare et al. (2009) sugiere realizar el siguiente proceso para el lavado del biodiesel:

- Colocar el biodiesel en un vaso de precipitación.

- Llevar el aceite a 60 °C con agitación constante.
- Agregar 20% de agua en relación al volumen de la muestra.
- Mantener durante 15 min en baño maría a 90 °C, con constante agitación.
- Llevar el volumen a una ampolla de decantación y agitar; es necesario repetir el proceso 3 a 4 veces.
- Decantar el aceite hasta que se visualice la separación de dos fases y después dejar decantar la fase acuosa que contiene los jabones del biodiesel.

### **2.3.2.2. SECADO DE BIODIESEL**

El aceite lavado se coloca en un vaso de precipitación para luego ser calentado en una plancha eléctrica a 100 °C, hasta que se torne de un color brillante y transparente.

### **2.3.3. VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN**

#### **2.3.3.1. ACIDEZ O CANTIDAD DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES**

Es un parámetro de importancia, puesto que sus altos niveles, ocasionan una disminución en la conversión de ésteres, por lo cual es recomendable realizar un pretratamiento con la aplicación de un catalizador ácido (Castillo, 2018).

#### **2.3.3.2. TIPO DE ACEITE Y ALCOHOL**

Generalmente se utiliza alcohol metanol y etanol, con el uso de etanol se logra una conversión en éteres etílicos y con metanol ésteres metílicos, en la industrial generalmente se utiliza metanol, que presenta una mayor conversión, pero, que tiene mayores exigencias en las condiciones de reacción (Castillo, 2018).

#### **2.3.3.3. TEMPERATURA**

Toda la reacción que suceda en la transesterificación, depende específicamente de la temperatura, la cual varía dependiendo del tipo de aceite utilizado, pueden presentar problemas cuando la temperatura es menor a 15 °C, puesto que a medida que disminuye las moléculas saturadas del combustible empiezan a formar cristales

que se forman a temperaturas cercanas al punto de nube, que tienen un intervalo entre 15 a 18 °C.

El proceso de transesterificación se puede producir a diferentes temperaturas, aumentado el rendimiento de la reacción a medida que aumenta la temperatura, sin embargo, dicho rendimiento no presenta afectación considerable entre la temperatura (Arbeláez y Rivera, 2007). Arteaga et al. (2010) menciona que dentro de su investigación utilizó la temperatura como un factor determinante en el proceso de transesterificación, evaluando el efecto de la temperatura entre 50 a 90 °C.

#### **2.3.3.4. ACIDEZ**

Para que suceda una reacción completa, es necesario que el valor de acidez sea menor a 3% de ácidos grasos, cuando los valores de acidez son mayores el resultado es la conversión de menos cantidad de biodiesel produciéndose como subproductos jabones o glicerina, además de promover la formación de sedimentos en el producto final (Hernández, 2016).

#### **2.3.3.5. RELACIÓN MOLAR ALCOHOL/ACEITE**

Es una variable que tiene una incidencia importante en el rendimiento del éster, que se encuentra asociada al tipo de catalizador que se utilice; Martínez et al. (2007) menciona que generalmente se requiere de una proporción molar 3:1 para la reacción, sin embargo, una relación molar 6:1 es la más aceptada, a pesar que puede liberar una cantidad significativa de glicerina, al utilizar 1% de NaOH (Torres et al. 2017).

#### **2.3.3.6. TIEMPO DE REACCIÓN**

Torres et al. (2017) menciona que dentro del proceso de transesterificación se debe mantener un continuo agitación, para que el rendimiento del proceso sea mayor, se dice que este es directamente proporcional al tiempo de reacción, a pesar que se asegura que la reacción es casi nula cuando la reacción pasa los 90 min.



### **2.3.3.7. VELOCIDAD DE REACCIÓN**

Se conoce como “la velocidad de desaparición o formación de reactivos en productos por unidad de tiempo por unidad de volumen” (Solís, 2017).

La agitación en el proceso de transesterificación es otro de las variables que influyen en el rendimiento del proceso para la obtención de biodiesel, el cual en pruebas realizadas, donde se han evaluado diferentes niveles de agitación indican que a 180 rpm se tiene una reacción incompleta, mientras que en 360 y 600 rpm se tiene un rendimiento más elevado, como producto de una mezcla adecuada, por ello se requiere preferiblemente utilizar el valor más elevado para mantener un proceso adecuado (Álvarez, 2013).

### **2.3.3.8. CANTIDAD DE CATALIZADOR**

Dentro del proceso de transesterificación, es necesario obtener una proporción adecuada de los productos que se utiliza, tal es el caso del catalizador que debe ser cuidadosamente seleccionada la cantidad a utilizar, su exceso ocasiona que se formen jabones o cuando el catalizador es básico (NaOH o KOH) suele incrementar el punto de solubilidad entre el alcohol y el aceite que al finalizar el proceso químico se obtiene biodiesel contaminado y haya que realizar procesos costosos de separación (Castañeda, 2017).

Cuando se hace uso de este catalizador básico, se realiza un análisis químico para determinar el índice de acidez, de manera que se identifique la cantidad necesaria a utilizar. Al realizar el proceso de titulación, la cantidad en ml de disolución de NaOH a 0,1 N es la cantidad en gramos que se utiliza en exceso como catalizador, así se ha establecido que en aceites nuevos es de 3,5 g de NaOH/litros de aceite (Medina y Ospino, 2011).

### **2.3.4. ALCOHOLES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL**

Bulla (2014) establece que los alcoholes más usados son metanol y etanol, aunque se pueden utilizar otros alcoholes de cadena larga como propanol, butanol, ISO-propanol, sin embargo, estos alcoholes son más costosos.

#### **2.3.4.1. METANOL**

El metanol es uno de los alcoholes más utilizados en el proceso para la obtención de biodiesel, que presenta ventajas por su bajo costo, además químicamente es polar y de cadena corta, lo cual facilita la reacción con los triacilglicéridos (Castellar et al. 2014).

### **2.3.5. CATALIZADOR**

Los catalizadores que se emplean comúnmente en el proceso de transesterificación son básicos tales como el metóxido e hidróxido de sodio y potasio (Barrera, 2006), estos son catalizadores homogéneos y se escogieron debido a que la temperatura, tiempo de reacción y cantidad de alcohol son menores al compararlos con otro tipo de catalizador, se suele trabajar con hidróxido de sodio y potasio. En menor proporción se aplica con grasas de origen animal a excepción de la grasa vacuna en la cual se debe anteceder una catálisis ácida con ácido sulfúrico, con el fin de transformar los ácidos grasos como los triglicéridos.

Résendiz et al. (2019) aporta que el catalizador debe estar disuelto en el alcohol para que se disperse por el triglicérido, mismo que debe ser muy seco sin presencia de agua, la cual incrementa las probabilidades de saponificación, es decir se produce jabones al consumir la base.

#### **2.3.5.1. CATÁLISIS ENZIMÁTICA DEL BIODIESEL**

La transesterificación catalizada por lipasas de materias primas oleosas o de grasas (TG) es considerada como una de las técnicas más prometedoras para la producción de biodiesel, entendida como una mezcla de ésteres de alquilo de ácidos grasos. En comparación con la catálisis química, la catálisis enzimática se produce a temperaturas más suaves, por lo que se requiere menos consumo energético. El producto obtenido por catálisis enzima, sin embargo, actualmente resulta costoso debido principalmente al elevado costo que supone la tecnología enzimática. La catálisis enzimática se considera que es una tecnología de futuro en la producción de un biocombustible similar al biodiesel, de carácter más renovable y respetuoso con el medio ambiente. Es muy atractiva también por la pureza del producto conseguida (Guldhe 2015).

### **2.3.5.2. CATÁLISIS ÁCIDA HOMOGÉNEA**

Desde su perspectiva Cabello et al. (2016) la catálisis homogénea para la producción de biodiesel a nivel industrial se ha desarrollado utilizando usualmente ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), esta práctica ha mostrado la desventaja de la corrosión producida a los equipos implicados en el proceso. Debido a esto, se han utilizado con mayor frecuencia los catalizadores básicos como el hidróxido de sodio (NaOH) en niveles que van de 0,75 a 1,5 % en peso.

Según Medina y Ospino (2011) es necesario agregar una cantidad adicional de catalizador para el proceso de transesterificación en el caso de utilizarse hidróxido de sodio se agrega 3,5 g.

### **2.3.5.3. CATÁLISIS BÁSICA HOMOGÉNEA**

Los catalizadores básicos homogéneos proporcionan velocidades de reacción mayores que los catalizadores heterogéneos. Sin embargo, los procesos de separación son considerablemente costosos debido a que tienden a formar emulsiones y requieren del uso de 1 a 6 % en peso de catalizador para alcanzar buenos rendimientos (hasta un 98 %) (Rodríguez, 2011).

Se requiere mantener un control de las condiciones de reacción, principalmente de la temperatura y la cantidad de catalizador, de manera que se reduzca lo más posible la saponificación, estos suelen utilizar temperaturas entre 40 °C y 75 °C, se pueden presentar ventajas al utilizar KOH en relación con el NaOH porque la glicerina resultante es menos tóxica, que permite su uso como subproducto para producir fertilizantes artificiales (Cabello et al. 2016).

- **HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH)**

Catalizador de mayor uso, que se encuentra disponible en forma de cristales, que en el proceso de transesterificación se requiere disolver; esta se conoce que es una sustancia muy corrosiva y ocasiona severas quemaduras en el cuerpo, es importante manipular el producto con los respectivos cuidados, debido a que este puede reducir su eficiente al exponerse a la humedad ambiente, además al

mezclarse con el metanol se forma una reacción exotérmica, por lo cual se debe realizar la disolución en un lugar refrigerado (Campos et al. 2017).

El hidróxido de sodio (NaOH) es uno de los catalizadores más común, que se utiliza en la neutralización del aceite (esterificación); en este proceso se realiza una agregación de un catalizador básico para neutralizar el aceite, sin embargo, existen circunstancias que pueden limitar la efectividad del mismo, puesto que requieren de una cantidad específica para neutralizar los ácidos grasos libres, que por el contrario un exceso o déficit del mismo ocasiona la formación de jabones, mismos que son desfavorable para los procesos subsecuentes (Bonilla et al., 2017).

El mismo autor indica que se debe realizar una valoración inicial que permite conocer la cantidad de catalizador básico necesario para desacidificar el aceite; se requiere calentar y agitar el aceite, al mismo tiempo que se diluye la soda cáustica en agua destilada, es importante mantener la solución herméticamente cerrada para evitar contacto con el aire y que esta pueda absorber vapor de agua o CO<sub>2</sub>. Una vez calentada la muestra se agrega alcohol isopropílico y se le añade fenolftaldeína, posterior a ello es necesario colocar en una bureta la solución preparada de NaOH; la solución indicadora que agregada indica la cantidad necesaria para neutralizar los ácidos grasos presentes en el aceite (Bonilla et al., 2017).

### **2.3.6. PARÁMETROS A MEDIR DE UN BIODIESEL**

#### **2.3.6.1. DENSIDAD (KG/M<sup>3</sup>)**

Días y Guerrero (2018) puntualiza que es un método muy apropiado para determinar la densidad de líquidos transparentes, cuando se emplea esta determinación en conexión con la medida de grandes volúmenes de producto, los errores de corrección de volumen son minimizados efectuando las lecturas a una temperatura próxima, sin embargo, a mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.

### **2.3.6.2. VISCOSIDAD CINEMÁTICA (mm<sup>2</sup>/s)**

Este parámetro tiene en cuenta la resistencia a deformaciones graduales, en otras palabras, indica la forma con la que el combustible se desliza por las diferentes partes del motor, dependiendo directamente de la temperatura, en caso de existir una viscosidad alta puede llegar a obstruir los filtros del motor (Heras y Lojano, 2020).

Desde el punto de vista de Pisarello (2010) el límite superior para la viscosidad del biodiesel (6,0 mm<sup>2</sup>/s) a 40 °C, para la determinación de la viscosidad cinemática de los productos obtenidos, tanto transparentes como opaco, mediante la medición del volumen de un líquido que fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado, Por otra parte, la máxima viscosidad permisible está limitada por consideraciones que involucran el diseño y el tamaño del motor, y las características del sistema de inyección. Ruiz (2016) reporta como valor mínimo 1,9 mm<sup>2</sup>/s y un valor máximo de 6,5 mm<sup>2</sup>/s.

### **2.3.6.3. PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)**

Agudelo y Artunduanga (2019) acontece que también es denominado flash point, es la temperatura mínima a la que un líquido desprende vapores que cuando se combinen con el aire y en presencia de una fuente de ignición, se puedan encender; El biodiesel debe tener un punto de inflamación de mínimo 120 °C.

Ruiz (2012) generaliza que el biodiesel, es biodegradable aproximadamente 21 días, su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio, por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura, esta posee un alto poder lubricante y protege el motor diésel reduciendo su desgaste, así como sus gastos de mantenimiento.

Se considera al punto que tiene un combustible a temperatura mínima, en los cuales los vapores desprendidos se inflaman en la presencia de una chispa, este parámetro es importante para motores de combustión interna, donde su punto de inflamación debe ser mayor a 215 °C (Mideros, 2013).

#### **2.3.6.4. PUNTO DE NUBE (°C)**

Martínez (2010) argumenta que la temperatura a la cual el biodiesel comienza a solidificarse, generalmente el biodiesel tiene un punto de nube más elevado que el del diésel tradicional. Cuando las temperaturas son muy bajas, el biodiesel presenta problemas porque deja de fluir por los conductos del motor. Cuellar (2007) indica que no es posible tener un límite para cada tipo de biodiesel, este varía de acuerdo a las características de cada uno, por ejemplo, el biodiesel proveniente de aceite de palma tiene un punto de nube de 14 °C, lo cual indica que debe mantenerse a una temperatura mayor para que se encuentre en estado líquido.

Por el contrario, Caldas (2018) expone que dicho parámetro indica el principio del cambio de fase líquido-sólido; es el momento en el cual este inicia su cambio de fase de líquido a sólido, es cuando se presentan las primeras dendritas de combustible sólido que pueden generar más daños dado que impide el flujo del mismo por el motor haciendo que pueda funcionar y de un momento a otro se detenga por taponamiento parcial de inyección o hacer que se traben los pistones por no producir ningún tipo de combustión en la cámara del mismo proceso.

#### **2.3.6.5. CENIZAS SULFATADAS**

El catalizador remanente, del 5 al 20 % que está en circulación, entra a través de una corona de tubos periféricos y mantiene la parte superior del lecho catalítico al nivel requerido para dar la alimentación el tiempo suficiente de reacción para lograr el rendimiento deseado, por ende, es importante rescatar que los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro del inyector, la bomba inyectora, pistones y aros y la formación de depósitos en el motor. El sulfato reduce las pérdidas por volatilización y favorece la consecución de una combustión completa (Echeverría, 2018).

#### **2.3.6.6. NÚMERO DE CETANO**

Según Paz (2017) el número de cetano indica la facilidad con la que el diésel enciende, un alto valor en el número de cetano refleja que se tiene poco tiempo de ignición entre la inyección del combustible, la compresión y el inicio de la

combustión del ciclo de cuatro tiempos; esto lo convierte en una de las propiedades más importantes en la determinación de la calidad del biodiesel pues afecta directamente el rendimiento del combustible.

De acuerdo a (2020) basándose a la norma ASTM D 6751-03, se establece que el límite permisible para mezclas B100 de biodiesel es como mínimo 47 equivalente a números de cetano, por lo tanto, el número de cetano determinado de manera experimental se lleva a cabo cuando es posible realizar una prueba de motor en la que se combustiona el biodiesel, sin embargo, también es posible predecir o aproximar su valor mediante una ecuación que relaciona la temperatura media de ebullición, es decir, la temperatura a la cual se obtiene el 50% de recuperación de la mezcla.

#### **2.3.6.7. AGUA Y SEDIMENTOS (%)**

El agua en el combustible, ocasiona la corrosión en los componentes del motor y además de la proliferación de microorganismos que promueven la formación de lodos que son capaces de ocasionar la obstrucción de filtros y líneas del motor. Tras evaluar el contenido de sedimentos, si su contenido es alto trae consecuencias en la oxidación del biodiesel, siendo un indicativo en el deterioro del biodiesel; las muestras de biodiesel deben tener un valor máximo de agua y sedimentos de 0,050% (Ruiz, 2016).

#### **2.3.6.8. PODER CALORÍFICO**

Generalmente el biodiesel posee 12% menos poder calorífico con respecto al diésel, lo cual indica que tiene menor energía, lo cual también depende de su composición, variaciones que pueden afectar al desempeño del motor, como es en el nivel del ruido y los gases que son emitidos (Torres et al., 2015).

De acuerdo a Sánchez et al. (2016) es el contenido de energía del biodiesel o la energía de combustión, que tiene un valor entre 8 y 15% menor con respecto al diésel, situación que trae posibles problemas en el desempeño del motor.

### **2.3.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL**

La ventaja más importante en la producción de biodiesel es la reducción de gases de efecto invernadero como es el CO<sub>2</sub> y la reducción de la gran mayoría de emisiones tóxicas. La diferencia establecida entre el diésel y el biodiesel es que el segundo es el resultado obtenido de la producción de plantas oleaginosas que en toda su vida útil han consumido CO<sub>2</sub> que se expulsan cuando son convertidas en biodiesel.

De acuerdo a Torres et al. (2015) el biodiesel presenta ventajas de:

- a) Contenido de azufre casi nulo.
- b) Características lubricantes que aportan tiempo en la vida útil del motor.
- c) Baja toxicidad.
- d) Puede utilizarse en motores sin modificación.
- e) Según el punto de inflamabilidad es más seguro.
- f) Es biodegradable.
- g) Posee un mayor número de cetanos, lo cual presenta diferencias mínimas en torque y potencia.
- h) Mayor punto de ignición o inflamación.
- i) Mayor lubricidad que favorece al circuito de alimentación y bomba de inyección.

### **2.4. RENDIMIENTO DEL PROCESO EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

Dentro de la reacción de transesterificación, existe un rendimiento que se ve influenciado por diferentes variables como son la calidad de la materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, tipo de alcohol, relación molar alcohol/aceite y las condiciones de reacción como temperatura, presión y agitación (García et al. 2013). Ramírez et al. (2012) afirma que el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del Biodiesel varían de acuerdo a la materia prima de la cual se obtuvo el aceite.

De acuerdo a Ramírez et al. (2012) para obtener el valor del rendimiento del proceso, se utiliza el peso del biodiesel obtenido sobre el peso del aceite.



$$R(\%) = \frac{\text{peso biodiesel puro}}{\text{peso del aceite} + \text{peso de aditivos}} * 100 \quad (6)$$

Arbeláez y Rivera (2007) en sus investigaciones mencionan que el mayor rendimiento obtenido en su investigación fue de 84,14 %, con una relación molar alcohol/aceite 6:1 y un porcentaje de catalizador de 0,5% con respecto al peso del aceite. También agrega que es posible tener un rendimiento de 98% valor que depende del tipo de aceite o grasa utilizada.

## **2.5. MUESTREO DE COSTEO DE PRODUCCIÓN**

Representa los costos de las operaciones realizadas, desde la adquisición de material hasta su procesamiento (Cruz, 2014).

Moreno (2009) indica que una empresa industrial que realiza procesos de la materia prima para obtener un producto de interés, requiere un análisis de costo de producción basados en tres aspectos importantes: mano de obra directa, materia prima directa y otros costos de producción.

### **2.5.1. MATERIA PRIMA**

Es la que se utiliza dentro de la elaboración del artículo o producto, representa el costo principal en la fabricación del producto; también se lo ha definido como los materiales que son requeridos en los procedimientos necesarios para la obtención del producto final requerido (Cruz, 2014).

Cuando se requiere un análisis de costo de la producción de biodiesel, se requiere conocer como insumos, los precios de aceite utilizado, catalizador (soda caustica) y metanol; en los procesos se consideran consumo de electricidad, agua, mano de obra y depreciación de equipo (Vértis, 2009). Avellaneda (2010) menciona que mantener un valor de la materia prima baja, produce una reducción en el costo final de producción.

### **2.5.2. MANO DE OBRA DIRECTA**

Defina a los costos que se cancelan a los trabajadores en horas, por el tiempo de trabajo empleado en la fabricación de un producto (Pacheco, 2019). También es definido como recursos humanos, que hace referencia a la parte humana que se

requiere para la transformación de la materia prima en un producto final elaborado, donde un trabajador recibe una paga por el aporte en tiempo (Ríos y Gómez, 2008).

### **2.5.3. COSTOS DE PRODUCCIÓN A PARTIR OTRAS FUENTES DE ENERGÍA**

Crispin y Quintero (2018) indican que el biodiesel a partir de aceite de palma tiene un costo de producción aproximado de 0,23 y 0,31 US\$/l, que difieren con otras materias primas como la soya (0,53 US\$/l) dentro de Estados Unidos, el autor menciona que la *Jatropha* estima un costo de producción de entre 0,83 a 0,86 US\$/l.

Para que un combustible sea eco-viable, se requiere que esta alternativa energética cumpla con las características necesarias y además que el conjunto de procesos necesarios, tenga al final un costo equivalente al diésel que se utiliza a base de petróleo; es así que ejemplarizan al biodiesel de EE. UU que tiene un costo de 0,55 US\$/l en comparación con el petrodiesel que su valor está en \$0,35 US\$/l (Ramírez et al., 2012).

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en una empresa atunera que se encuentra ubicada en el cantón Manta de la provincia de Manabí. La muestra de residuos aceitosos se extrajo para su posterior procesamiento en el laboratorio ambiental de la ESPAM - MFL donde se ejecutaron las actividades previstas en esta investigación.



Figura 3.1. Área de estudio para la extracción de la muestra de residuos aceitosos (Google Earth, 2022).

### 3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

Se desarrolló en el transcurso de 5 meses, para los procesos que se establecen en el procedimiento, ejecutado desde octubre del 2021 a febrero 2022.

### **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.3.1. MÉTODOS**

##### **3.3.1.1. MÉTODO DEDUCTIVO**

Es caracterizado por tomar los conocimientos generales a una situación particular; con la aplicación de este método primero se formula una teoría, se generaliza y por último se lo comprueba con hechos reales (Ibáñez, 2015). Se tomó la información general que se tiene para llegar a un punto específico que es el estudio del biodiesel obtenido a partir de los residuos proveniente de las trampas de grasas.

##### **3.3.1.2. MÉTODO DE ESTADÍSTICO**

Requiere de una serie de pasos que permiten obtener un resultado confiable; es decir que su aplicación es de gran importancia, puesto que evita conclusiones erróneas; Además permite la medición de las variables y su procesamiento a través de tablas de frecuencia, medida de tendencias y dispersión que son comunes para la interpretación de los datos (Burgos et al., 2021).

##### **3.3.1.3. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

Se utilizó este método, con la finalidad de corroborar la originalidad de la investigación; así mismo permite destacar ideas e información relevantes de investigaciones anteriormente realizadas; es así que este método cuenta con pasos importantes como es la definición del problema, búsqueda de información, organización de la misma y por último el análisis de la información obtenida en relación a los datos revelados por la investigación en cuestión (Gómez et al., 2014).

##### **3.3.1.4. MÉTODO ANALÍTICO**

Permite desglosar el objeto de estudio de manera que se puede estudiar todas las partes. Echavarría et al. (2010) menciona que a través de método se obtiene un resultado a partir de la descomposición del problema o fenómeno en pequeños componentes.

### 3.3.2. TÉCNICAS

#### 3.3.2.1. EXPLORATORIA

Se utiliza al investigar sobre temas que son pocos estudiados, donde se establecen las bases para estudios con mayor profundidad; esta técnica permite ser más flexibles y sus estudios suelen ser más amplios y dispersos. Zafra (2006) menciona que es factible aplicar una técnica exploratoria cuando es posible continuar con investigaciones avanzadas.

### 3.4. FACTORES EN ESTUDIO

Factor A: Temperatura

Factor B: Relación molar alcohol/aceite

Factor C: Concentración de catalizador

#### 3.4.1. NIVELES

Tabla 3.1. Niveles de estudio de acuerdo a los factores establecidos.

FACTORES	NIVELES		RESPUESTA
	Bajo (1)	Alto (2)	
Temperatura (A)	60 °C	80 °C	Rendimiento del proceso
Relación molar alcohol/aceite (B)	6:1	9:1	
Concentración de catalizador (C)	0,8%	1,3%	

**Fuente.** Elaboración propia.

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se siguieron los lineamientos de un Diseño Completamente al Azar (DCA), que de acuerdo a Vera et al. (2018) permite comparar dos o más tratamientos; el diseño presentado en la tabla 3.1 cuenta con un arreglo factorial  $2^3$ , es decir tres factores con dos niveles por cada factor, aplicando tres repeticiones en cada tratamiento, el arreglo fue seleccionado por la necesidad de la investigación de conocer si es posible encontrar interacción entre los factores establecidos (Fernández, 2020), dada al presentar un nivel de significancia menor a 0,05.

Por último, se realizó el análisis de ANOVA, que permite verificar si existe diferencia estadística significativa de las medias obtenidas en la aplicación de los tratamientos, posterior a ello se realizaron las pruebas múltiples de medias o pruebas de comparaciones múltiples que permite examinar la diferencia entre las medias y estimar el grado de discrepancia. Es importante mencionar que el ANOVA requiere cumplir con una distribución normal, y una homocedasticidad de las varianzas.

**Tabla 3.2.** Planteamiento del diseño experimental con las variables y niveles determinados.

Tratamientos	Nomenclatura	Temperatura	Relación molar	Concentración de catalizador	Aceite a utilizar
T1	A1B1C1	60 °C	6:01	0,80%	50 cm <sup>3</sup>
T2	A1B1C2	60 °C	6:01	1,30%	50 cm <sup>3</sup>
T3	A1B2C1	60 °C	9:01	0,80%	50 cm <sup>3</sup>
T4	A1B2C2	60 °C	9:01	1,30%	50 cm <sup>3</sup>
T5	A2B1C1	80 °C	6:01	0,80%	50 cm <sup>3</sup>
T6	A2B1C2	80 °C	6:01	1,30%	50 cm <sup>3</sup>
T7	A2B2C1	80 °C	9:01	0,80%	50 cm <sup>3</sup>
T8	A2B2C2	80 °C	9:01	1,30%	50 cm <sup>3</sup>
					400 cm <sup>3</sup>

**Fuente.** Elaboración propia.

### 3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

A partir de los factores considerados (temperatura, relación molar y concentración de catalizador) y sus niveles correspondientes, se obtiene un total de ocho tratamientos, cada uno utiliza 50 cm<sup>3</sup> de aceite que es la unidad experimental (UE) (Muentes et al., 2018), es decir esta proporción es necesaria en cada proceso de transesterificación aplicando los diferentes tratamientos; para ello se requiere de matraces de vidrio de triple entrada para cada unidad experimental, realizando tres repeticiones de cada arreglo, en total se necesita un volumen de 1200 cm<sup>3</sup> de aceite (24 U.E.) para cumplir con el diseño experimental establecido en la tabla 3.2.

### 3.7. VARIABLES A MEDIR

#### 3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Factores físico químicos (Temperatura, Relación molar y Concentración de catalizador).

#### 3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Rendimiento del proceso de extracción de biodiesel.

Se establecieron como variable fija, una velocidad de agitación constante de 700 RPM tomando en cuenta un valor elevado para evitar posibles limitaciones en la reacción (Montero, 2002). El tiempo fue de 1 hora y 30 min (90 min), óptimo para completar con el proceso químico de transesterificación (Alarcón, 2014). Además, se utilizó como catalizador el hidróxido de sodio (NaOH) que requiere de una pureza del 85% y el alcohol metílico al 99% (Ávila et al., 2008).

### **3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO**

Como base para la ejecución experimental fue realizado a partir de los objetivos de investigación planteados.

#### **3.8.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE LAS TRAMPAS DE GRASA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO**

##### **3.8.1.1. ACTIVIDAD 1. EXTRAER EL ACEITE PROVENIENTE DE LAS TRAMPAS DE GRASA EN UNA EMPRESA ATUNERA**

Se tomaron 20 l de residuos aceitosos, transportados en un reservorio a los laboratorios de la ESPAM MFL; el producto aceite/materia sólida fue separado con el principio de sedimentación de partículas discretas que requiere de un incremento de temperatura; de esta manera la materia sólida se separa del material aceitoso (Pérez y Urrea, 2011). El método consiste en la acción de la gravedad en forma estática, siendo necesario el tiempo suficiente a temperatura de 50 °C para una mayor maleabilidad de las muestras (Orduz y Portilla, 2017).

Una vez separadas las etapas, se extrajo el aceite con un vaso de precipitación, para luego proceder con el método de filtración que permite la separación de los sólidos presentes en un fluido (Lasprilla, 2019); y por último las muestras fueron almacenadas hasta su posterior proceso.

### 3.8.1.2. ACTIVIDAD 2. CARACTERIZAR EL ACEITE OBTENIDO DEL MATERIAL PROCESADO

Se requirió de 1000 cm<sup>3</sup> (1 l) del aceite extraído para realizar los análisis físico-químico correspondientes; en la tabla 3.3, se presentan los parámetros considerados de acuerdo a Avellaneda (2010).

**Tabla 3.3.** Parámetros considerados para la caracterización del aceite.

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA
Densidad (20 °C)	g/ml
Índice de acidez	mg NaOH/g
Acidez	%
Índice de saponificación	mg/g
Humedad	%
Viscosidad (25 °C)	mm <sup>2</sup> /s

**Fuente.** Datos tomados de Lozada y Velázquez (2009).

- **Densidad a 20 °C.**

$$\rho = \frac{m_{v_2} - m_{v_1}}{v} \quad (9)$$

$\rho$  = Densidad.

$m_{v_2}$  = Masa final.

$m_{v_1}$  = Masa inicial.

$v$  = Volmen.

- **Índice de acidez-**

Se realizó el análisis para determinar la presencia de ácidos grasos libres, donde Delgado (2010) presenta la siguiente fórmula.

$$\text{ÍNDICE DE ACIDEZ} = \frac{V * N * 40 \text{ o } 56,11}{P}$$

$V$  = Volumen en mililitros de solución de álcali utilizado.

$N$  = Normalidad de la solución titulante.

$P$  = Peso en gramos de muestra.

40 = Peso molecular del NaOH.

56,11 = Peso molecular del KOH.



- **Índice de saponificación (Is)**

Para el análisis de índice de saponificación se aplicó la metodología utilizada por Ramírez (2018) que se presenta a continuación:

$$IS = \frac{(V_1 - V_2)EQ.* N}{m}$$

$V_2$  = Volumen de solución ácido clorhídrico o sulfhídrico utilizado en la muestra.

$V_1$  = Volumen de solución ácido clorhídrico del ensayo en blanco.

$N$  = Normalidad del ácido clorhídrico o sulfhídrico (0,5).

$m$  = Masa de la muestra analizada.

$EQ.$  = Equivalente químico KOH (56,11).

### 3.8.1.3. ACTIVIDAD 3. PURIFICAR EL ACEITE EXTRAÍDO

Se consideraron los resultados obtenidos en la caracterización del aceite, actuando según los siguientes puntos:

- **NEUTRALIZACIÓN, LAVADO Y SECADO**

Se realizó una neutralización con base en el resultado obtenido en el parámetro del Índice de Acidez, al obtener resultados mayores a los límites, se requirió de una saponificación, producida al agregar NaOH en un 10 – 15%, cantidad precisa para producir una reacción únicamente de los ácidos libres, para ello se utiliza una temperatura de 60-70 °C que genera una aceleración de la producción de jabón (Pary, 2019). Torossi (2006), sugiere que si el porcentaje de acidez es mayor al 5% es necesario agregar 1 g de catalizador por cada 1000 g de aceite de muestra.

Césare et al. (2009) menciona que la cantidad de catalizador requerida para la neutralización se define utilizando la ecuación de Tickell:

$$Y = X + 9^{(*)}$$

$Y$  = Cantidad en g de catalizador para 1l de aceite.

$X$  = Cant. de sol. al 0,1% consumidos para la neutralizar AGL de 1g de aceite.

(\*) = Cantidad estándar para transesterificar 1l de aceite.

- **DESHIDRATACIÓN DEL ACEITE**

Considerando que el aceite obtenido proviene de las aguas residuales de procesos industriales de empresas pesqueras, el contenido de humedad es evidente por lo cual, con fundamento de Álvarez (2013) el aceite es sometido durante una hora a 105 °C de temperatura, donde se logra la eliminación de humedad que se encuentre en la muestra de aceite.

- **FILTRACIÓN DEL ACEITE**

De acuerdo a Torossi (2006) se filtra el aceite pre calentado a 35 °C, que en concordancia con la metodología de Espinoza y Palmay (2009) se recomienda esta técnica con el fin de disminuir la viscosidad del fluido y facilite la filtración del mismo, para luego utilizar un papel filtro n°40, que permita retener residuos sólidos que queden del proceso.

### **3.8.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE INCREMENTE EL RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

#### **3.8.2.1. ACTIVIDAD 4. REALIZAR EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN A LOS TRATAMIENTOS ESTABLECIDOS**

Fue utilizado el laboratorio de Química Ambiental de la ESPAM “MFL”, para el cumplimiento de esta actividad con una serie de procesos que se detallan a continuación:

- **PREPARACIÓN DEL REACTIVO METÓXIDO SÓDICO EN EL REACTOR**

En primer lugar, se realizó la disolución del catalizador (NaOH) en el alcohol metanol, utilizando un vaso de precipitación que permita la homogeneización de los reactivos, es decir hasta la formación del metóxido de sodio. Se consideró lo que indica Campos et al. (2017), donde menciona que es necesario tener un sistema cerrado (recipiente hermético), debido a que el catalizador básico puede absorber humedad y disminuir su pureza, por lo cual Castañeda (2017) sugiere realizarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml donde se introdujo los componentes que fueron mezclados cuidadosamente utilizando una bala magnética (Gandón et al., 2017).

Para la estimación de la cantidad necesaria de acuerdo a la relación molar se aplicó la metodología utilizada por Chuquilin (2019), donde utiliza la siguiente ecuación:

### Relación molar metanol/aceite para 6:1 y 9:1

- **Moles de aceite.**

$$PM_{TG} = \frac{(3 \times 56,108 \times 1000)}{I.S.} \quad (10)(\text{Manrique, s. f})$$

$$PM_{TG} = \frac{(168000)}{I.S.}$$

$$Vol_{ac} = 50dm^3$$

$$M_{ac} = Vol_{ac} * \rho_{ac} \quad (11)$$

$$X \text{ moles}_{ac} = \frac{M_{ac}}{PM_{TG}} \quad (12)$$

$PM_{TG}$  = Peso molecular del aceite.

$I.S.$  = Índice de saponificación del aceite.

$M_{ac}$  = Masa del aceite.

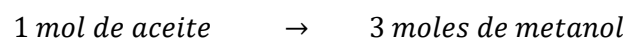
$Vol_{ac}$  = Volumen del aceite.

$\rho_{ac}$  = Densidad del aceite.

$X \text{ moles}_{ac}$  = Moles de aceite requeridos.

Se relaciona el peso molecular del hidróxido de potasio y el valor obtenido en el índice de saponificación en las unidades de mg KOH/g; esto hace referencia a la cantidad de mg de KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa o aceite, que considerando la reacción estequiométrica para la obtención de biodiesel, sería de  $(3 \times PM_{KOH})mg$  mismos que reaccionan con 1 mol de triglicérido (Manrique, 2014).

- **Moles de metanol requeridos**



$$X \text{ mol}_{ac} \quad \rightarrow \quad X \text{ mol}_{CH_3OH} \quad (13)$$

$$Masa_{CH_3OH} = X \text{ moles}_{CH_3OH} * PM_{CH_3OH} \quad (14)$$

$$Vol._{CH_3OH} = Masa_{CH_3OH} * \rho_{CH_3OH} \quad (15)$$

$Masa_{CH_3OH}$  = Masa de metanol.

$X \text{ moles}_{CH_3OH}$  = Moles de metanol según la relación molar.

$PM_{CH_3OH}$  = Peso molecular del metanol.

$Vol._{CH_3OH}$  = Volumen de metanol.

- **Cantidad de catalizador requerida**

$$mg \text{ de NaOH} = \frac{Cons, NaOH}{Vol._{ac}} * 100$$

$$mg \text{ de NaOH} = mg$$

- **TRANSESTERIFICACIÓN**

Los valores de la relación alcohol: aceite, temperatura y cantidad de catalizador se utilizaron de acuerdo a la definición de los tratamientos previamente establecidos en la tabla 3.2 variables de interés para la determinación del tratamiento con el mejor rendimiento del proceso.

Se utilizó un balón o matraz de tres vías de 500 ml para el sistema de calefacción, asentado sobre una plancha de calentamiento para alcanzar las temperaturas deseables (Guayara et al., 2017), además se requiere de un sistema de circulación de refrigeración para evitar la volatilización del metóxido (Valencia et al., 2018).

El aceite fue agregado en el matraz donde Lombeida (2015) recomienda un pre calentarlo a 30 °C y con una agitación de 100 rpm que permite la homogeneización; luego se adicionó el metóxido y se mantuvo la temperatura correspondiente a los valores establecidos en el diseño para la transesterificación (60 °C y 80 °C), agitando constantemente a 700 rpm durante 90 min (Montero, 2002). El montaje del sistema se realizó de acuerdo a los instrumentos utilizados por Valencia et al. (2018).

- **DECANTACIÓN DE LOS PRODUCTOS**

Se realiza una separación de los compuestos resultantes de la transesterificación, con base en el principio de inmiscibilidad (Chulliquín, 2019), donde se observó el glicerol que es de mayor densidad (fase inferior) y el biodiesel que presentó menor densidad (fase superior), para separar las fases Hinojosa (2015) menciona que la mezcla es colocada en un embudo de decantación, siendo importante un reposo de 12 y 16 horas (Serrano y Lucas, 2016).

- **LAVADO DEL BIODIESEL**

El proceso de lavado consiste en separar las impurezas como son glicerina, metanol, catalizador y jabón, que fácilmente son arrastrados por el agua utilizada en este proceso y separadas del biodiesel por diferencia de densidad de los fluidos (Falcón, 2010). Pary (2019) y Serrano y Lucas (2016), sugieren que se debe realizar el lavado con agitación por media hora a 55 °C, y se efectúa con una relación biodiesel/agua destilada de 1:1 (Martínez et al., 2007). Luego se deja en reposo para la separación de los compuestos y que el agua de color lechoso, quede debajo para ser evacuada al abrir la llave del reactor en la parte inferior, es importante que el proceso se repita las veces necesarias hasta que el agua a decantar sea transparente (Arias y Vera, 2016).

Luego de realizar el lavado, Torossi (2006) sugiere agregar 10 g de sulfato de sodio y posteriormente se filtra llevando a la estufa a 120 °C.

Rodríguez (2019) menciona que luego del lavado, el biodiesel se torna con un aspecto turbio, ocasionado por la presencia de gotículas de agua que forman emulsiones con el biodiesel.

- **SECADO DEL BIODIESEL**

El proceso requiere de una temperatura de 100 °C por 85 min, donde se retiró el biodiesel del embudo de decantación, para ubicarlo en un vaso de precipitación que fue colocado en la estufa, para luego retirarlo cuando se alcance una temperatura ambiente y colocarlo en un recipiente de vidrio rotulado (Marquínez et al., 2020).

### 3.8.2.2. ACTIVIDAD 5. CALCULAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO

Se calculó el porcentaje de rendimiento del proceso aplicando la fórmula que toma en consideración el peso final (biodiesel) sobre el peso inicial (aceite), para ello se plantea la siguiente ecuación (Arce, 2019):

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso de biodiesel (g)}}{\text{Peso muestra de aceite (g)}} \times 100 \quad (15)$$

Esta ecuación se utilizó en todas las unidades experimentales que se realizaron, tomando en consideración que el volumen obtenido de cada unidad experimental ya colocado en vasos de precipitación de 50 ml, se pesó en una balanza de precisión que aborda muestras pequeñas evitando sesgos en los resultados (RAIG, 2018).

### 3.8.2.3. ACTIVIDAD 6. CARACTERIZAR EL BIODIESEL CON MAYOR RENDIMIENTO EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Para cumplir con esta actividad es necesario realizar el siguiente proceso:

- **PURIFICAR EL BIODIESEL**

Para eliminar partículas que hayan quedado posterior al proceso de transesterificación propios del aceite reutilizado, se realizó un filtrado del biodiesel obtenido, con el uso de filtros n° 40 (Serrano y Lucas, 2016).

- **ANALIZAR EL BIODIESEL OBTENIDO**

Se realizaron los análisis físico-químicos necesarios para caracterizar el biodiesel obtenido es técnicamente viable; para ello se requirió del análisis de los siguientes parámetros:

**Tabla 3.4.** Parámetros requeridos para caracterizar un biodiesel.

PROPIEDAD	UNIDAD
Poder calorífico	J/g
Punto de inflamación	°C
Cenizas	%
Densidad 20 °C	kg/m <sup>3</sup>
Agua y sedimentos	% en volumen
Viscosidad cinemática 40 °C	mm <sup>2</sup> /s
Índice de cetano	--

**Fuente.** Barbosa, Ramírez y Morales, (2013).

### 3.8.3. ESTABLECIMIENTO DEL COSTO UNITARIO DEL TRATAMIENTO CON MEJORES CUALIDADES PARA SU DESARROLLO EN LA INDUSTRIA

#### 3.8.3.1. ACTIVIDAD 7. CALCULAR EL CONSUMO DE MATERIA PRIMA E INSUMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BARRIL DE BODIESEL

Se realizó la conversión de las unidades utilizadas en el proceso de transesterificación para conocer el consumo de estos al producir un barril de biodiesel. Este proceso se sustenta con el uso de la escala de conversiones del sistema internacional (SI), donde Ecopetrol (2014) menciona que la unidad de medida universal del petróleo es el barril (bl), que equivale a 158,98 litros o dm<sup>3</sup>. Por lo cual se desarrolló la siguiente ecuación:

- **Relación de los valores a escala laboratorio**

$$Vol_{ac} = \frac{Vol_{ac_{lab}} * Vol_{biod}}{Vol_{biod_{lab}}}$$

$Vol_{ac}$  = Volumen de aceite a utilizar.

$Vol_{biod_{lab}}$  = Volumen de biodiesel obtenido en laboratorio.

$Vol_{ac_{lab}}$  = Volumen de aceite utilizado en laboratorio.

- **Aceite utilizado en barriles**

$$V_{1ac.bl} = Vol_{ac} = \frac{1dm^3}{1000dm^3} = \frac{1 bl}{158,98 dm^3} \quad (16)$$

$V_{1ac.bl}$  = Volumen de aceite utilizado en barriles.

$V_{ac_{lab}}$  = Volumen de aceite utilizado a nivel laboratorio.

- **Cantidad de hidróxido de sodio necesario para 1 barril de biodiesel**

Para obtener el consumo del hidróxido de sodio en las proporciones equivalentes, se utiliza una regla de tres para extrapolar los valores de consumo con referencia a un barril de biodiesel.

$$\text{Cons. NaOH}_{1bl} = \frac{V_{2ac.bl} * X \text{ NaOH}_{V1 \text{ biodiesel}}}{V_{1 \text{ biodiesel}}} \quad (17)$$

$\text{Cons. NaOH}_{1bl}$  = Consumo de hidróxido de sodio para 1 barril de biodiesel.

$V_{2ac.bl}$  = Volumen de aceite necesario para 1 barril de biodiesel.

$X \text{ NaOH}_{V1 \text{ biodiesel}}$  = Consumo de NaOH del biodiesel obtenido inicialmente.

$1 \text{ bl}_{biod.}$  = Un barril de biodiesel.

- **Consumo de alcohol metanol para un barril de biodiesel**

Para calcular el consumo de alcohol necesario, es importante considerar la relación molar y otras situaciones que considera (Álvarez, 2013).

- **Masa del aceite y alcohol**

$$m_{aceite} = (PM_{aceite})n \quad (18)$$

$$m_{alcohol} = (PM_{alcohol})n$$

$m_{aceite}$  = Masa requerida de aceite para una relación molar.

$m_{alcohol}$  = Masa requerida de alcohol para una relación molar.

- **Volumen de alcohol requerido según la relación molar**

$$V_{alcohol} = m_{alcohol} / \rho_{alcohol} \quad (19)$$

$V_{alcohol}$  = Volumen de alcohol.

$m_{alcohol}$  = Masa requerida de alcohol para una relación molar 9:1.

$\rho_{alcohol}$  = Densidad del alcohol.

- **Volumen total requerido para el volumen de muestra utilizado**

$$V_{f alcohol} = \frac{V_{alcohol}}{V_{aceite}} * V_{muestra} \quad (20)$$



$V_{muestra}$  =Volumen de la muestra utilizado.

$V_{alcohol}^f$  =Volumen de alcohol final a utilizar.

### 3.8.3.1. ACTIVIDAD 7. EFECTUAR UN ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Se realizó el análisis de costo de producción considerando la siguiente fórmula (Vallejos y Chiliquinga, 2017):

$$CP = MD + MP + MOD + CIF \quad (21)$$

$CP$  = Costo de producción.

$MD$  = Material directo.

$MP$  = Materia prima.

$MOD$  = Mano de obra directa.

$CIF$  =Costo indirecto de fabricación.

Dentro del material directo y materia prima, se consideraron los materiales fundamentales que se utilizan en el proceso metodología explicada por Álvarez (2013).

Dentro del parámetro de la mano de obra directa, se considera la cantidad de operarios que se requieren para ejecutar las actividades necesarias en la obtención del producto final.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2004) menciona que el valor de mano de obra directa va a ser igual al producto de la cantidad de operarios y el salario básico con las cargas sociales.

$$MOD = Cant.O * SB \quad (22)$$

$Cant.O$  = Cantidad de operarios.

$SB$  = Salario básico, con carga social.

### 3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de varianza de tres factores con la finalidad de conocer si existe diferencia significativa entre ellos. Donde se requirió del análisis de los residuos que permite evaluar la calidad del modelo de efectos para la comprobación de los supuestos de normalidad y la prueba de shapiro-Wilk que permite conocer si las muestras presentan una distribución normal. Luego, se aplicó un supuesto de homogeneidad de varianza, utilizando el test de Levene. Por último, se realizó una prueba de comparación múltiple a través del método de Tukey que compara los posibles pares de medias y se realizó un análisis de interacción de los factores en estudio. Los procesos estadísticos se ejecutaron con un software estadístico que facilite la obtención e interpretación de los datos obtenidos.

Tabla 3.5. Detalle estadístico del ANOVA con tres factores.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
AB	1
AC	1
BC	1
A*B*C	1
Error	16
Total	23

**Fuente.** Elaboración propia

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE LAS TRAMPAS DE GRASA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

Se recolectó la muestra de aceite del proceso de separación materia sólida/aceite (Ver Anexo 1), posteriormente fue filtrada en laboratorio utilizando tela lino que posee mayor porosidad y con papel filtro nº 40, que permita la eliminación de residuos sólidos procedentes de la muestra inicial; Luego fue almacenada en un recipiente de plástico herméticamente cerrada a temperatura ambiente para minimizar los procesos de oxidación (Juárez y Sammán, 2007) y así realizar la caracterización del aceite filtrado, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4.1.** Caracterización física y química del aceite residual extraído.

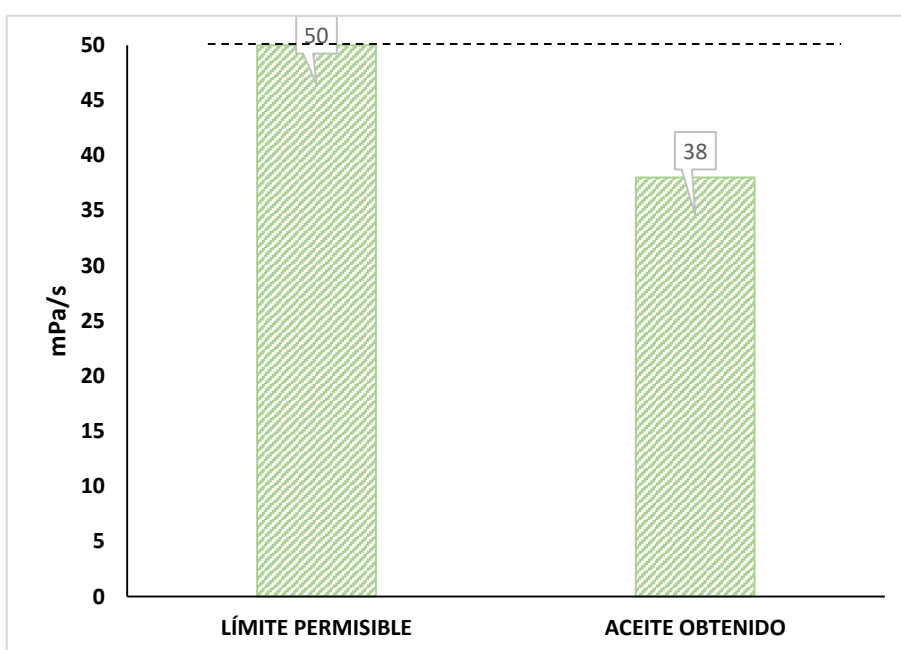
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO
Humedad	%	0,4	0,05
Viscosidad cinemática a 40 °C	mPa/s	38	50
Densidad a 20 °C	g/ml	0,927	0,96
Porcentaje de acidez	%	3,63	0,98
Índice de Acidez	mg KOH/g	7,22	1,24
Índice de saponificación	mg KOH/g aceite	260,4	No reportado

**Fuente.** Autoría, con datos proporcionados de INEN

En el parámetro de humedad resultó un valor de 0,4%, que sobrepasa el límite máximo permisible de 0,05%, niveles que se requieren en la posterior transesterificación; no obstante Zuleta et al. (2007) reportó resultados de 0,25% en aceite crudo de palma y Macías (2014) obtuvo en aceite crudo de pescado un valor de 0,49% los cuales se asemejan a los presentados en el aceite residual de pescado obtenido de una trampa de grasa.

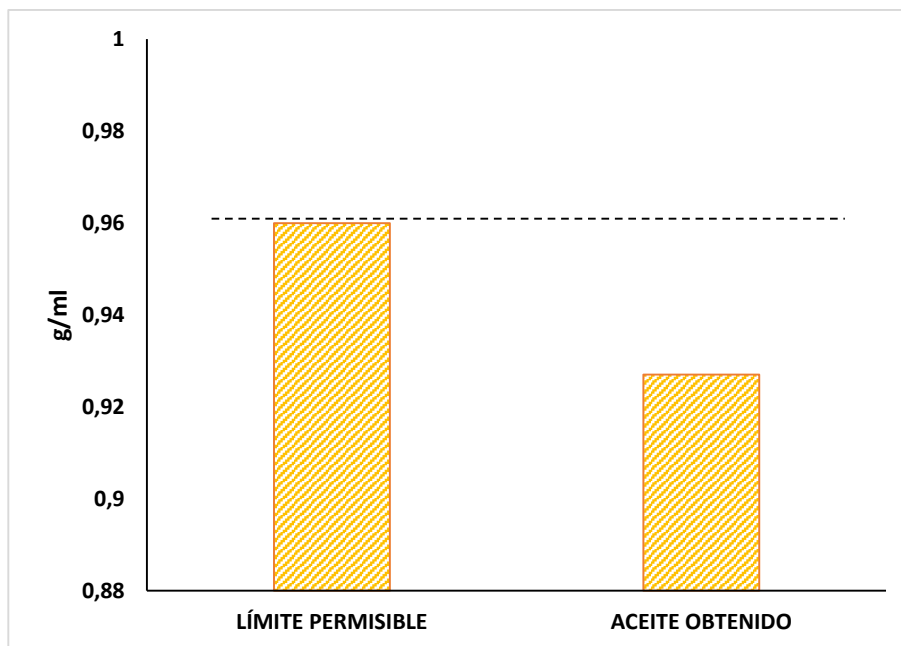
Álvarez (2013) menciona que, al presentarse agua (exceso de humedad) en el proceso de transformación se genera una disminución en el rendimiento, debido a la formación de jabón generado al consumir el catalizador y por ende se produce un descenso en la producción de biodiesel. Es decir que la muestra de aceite de residuos de pescado requiere de deshidratación, previo al proceso de transesterificación para minimizar la saponificación que es incrementada cuando se presencia humedad.

El porcentaje de acidez fue de 3,63%, elevado en comparación con los valores máximos permisibles para posterior transesterificación (0,98%), sin embargo, Pinzón et al. (2016) encontró valores semejantes de 3,46% en aceite de vísceras de pescado. En la investigación de Rodríguez et al. (2015) al estudiar vísceras de tilapia encontraron una acidez que variaba de 3 a 15%, acreditado a los hábitos alimenticios, calidad de la materia prima, así como las condiciones de conservación del aceite. Martínez (2019) explica que los valores de acidez pueden ser variables, entre 2 a 10% en aceites usados de cocina y de 5 a 10% en grasas animales, valores mediante procesos de neutralización deben reducirse a menos de 2%.



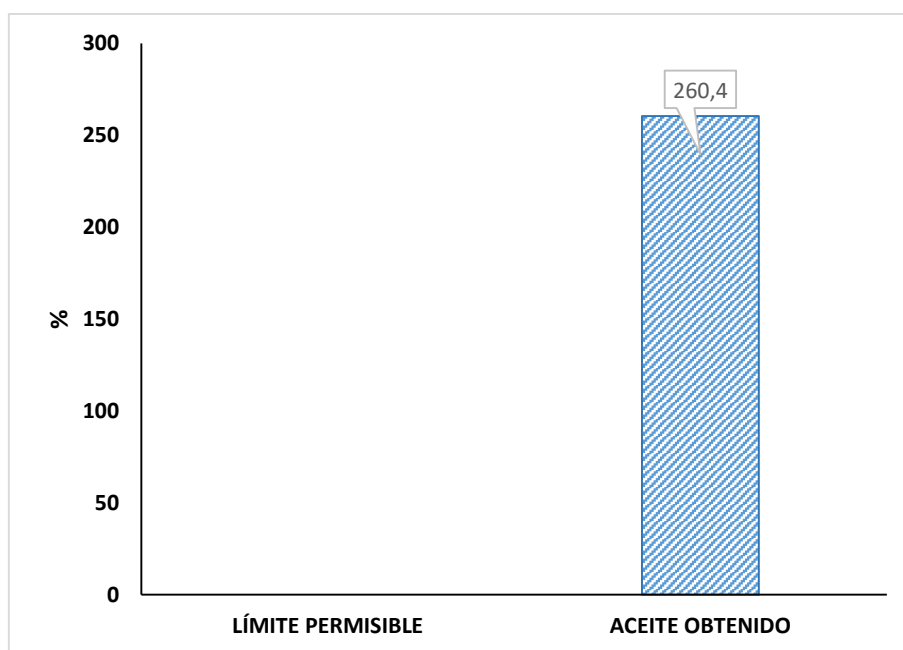
**Figura 4.1.** Resultados de viscosidad del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles.  
**Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM.

Se obtuvo que el aceite de pescado posee una viscosidad de 38 mPa/s, inferior al límite máximo permisible de 50 mPa/s (ASTM-D445). Los resultados se asemejan a los reportados por Montenegro et al. (2012) que en aceite de girasol encontró una viscosidad de 37,1 mm<sup>2</sup>/s (mPa/s), en aceite de canola 37 mm<sup>2</sup>/s (mPa/s), sin embargo, en aceite de vísceras de pescado se obtuvo 61,6 mm<sup>2</sup>/s (Pinzón et al., 2016), mismos que son superiores al encontrado en la presente investigación.



**Figura 4.2.** Resultados de densidad del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles. **Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM.

El análisis de densidad del aceite presentó resultados de 0,927 g/ml, similares a los obtenido por Sarracent y Gandón (2016) que presenciaron una densidad en aceite de soya de 0,917 a 0,92 g/ml y en aceite de vísceras de pescado un valor de 0,92 g/ml (Escudero, 2019). Tejada et al. (2013) agrega que estos resultados son favorables en los procesos de separación que se requieren posteriormente.



**Figura 4.3.** Resultados de índice de saponificación del aceite residual de una trampa de grasa en relación a los límites permisibles. **Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM.

Los resultados de la tabla 4.1 y la figura 4.3 manifiestan que el índice de saponificación del aceite residual de pescado fue de 260,4 mg KOH/g, valores que se asemejan a los encontrados por Rodríguez et al. (2015) quienes en aceite de vísceras de tilapia obtuvieron resultados de 220,887 hasta 254,684 mg KOH/g.

Además, se encontraron valores de 240 mg KOH en aceite de soya y hasta 277,32 mg KOH en aceite de girasol (Arriola y Monjaras, 2003). Moreno (2015) presencié un valor de 248-265 mg KOH/g en aceite de coco. Los valores elevados de índice de saponificación se atribuyen a los altos contenidos de ácidos grasos saturados de peso molecular relativamente bajos.

En resumen, dentro de la caracterización del aceite residual de pescado, los parámetros de humedad y acidez sobrepasan los límites permisibles, por lo cual se procedió a purificación con los métodos de neutralización, lavado y secado, obteniendo así los siguientes resultados:

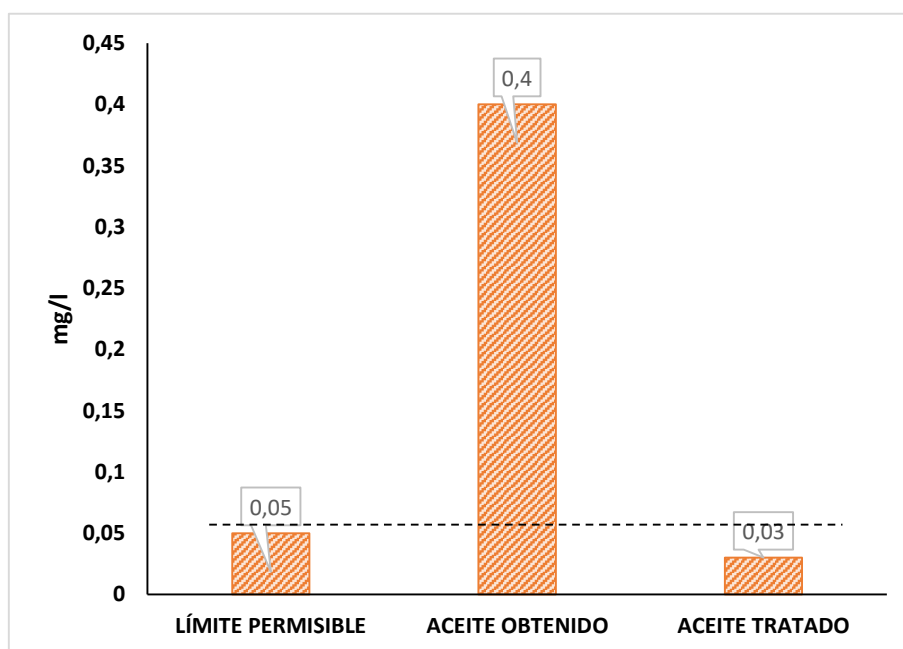
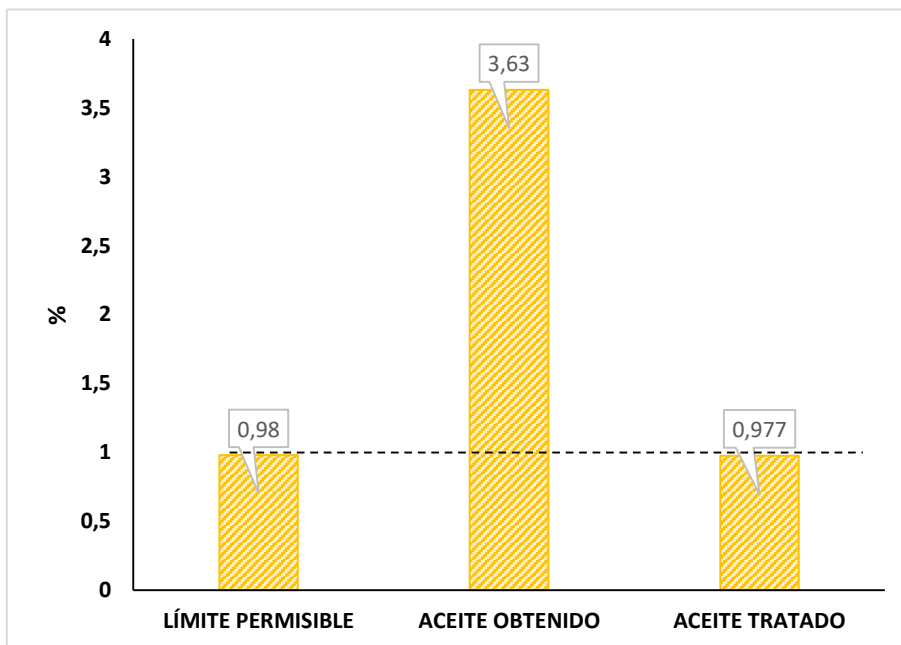


Figura 4.4. Resultados de la humedad antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa. **Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM

Inicialmente el aceite sin purificar presentó una humedad de 0,4% que luego de efectuar la purificación se disminuyó el porcentaje de humedad, alcanzando valores de 0,03%, cumpliendo con las especificaciones de humedad máxima de 0,05%. Torres et al. (2016) menciona que la presencia de humedad en el aceite, ocasiona una reacción con el catalizador, formando una sustancia jabonosa. Álvarez (2013)

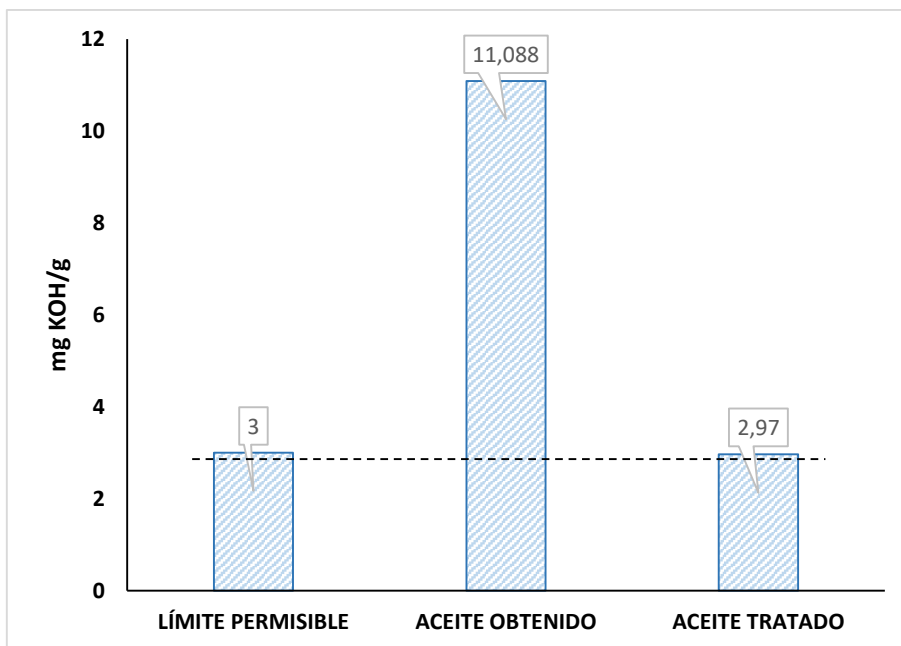
en su investigación presentó valores mínimos de humedad (0,0039%), mientras que Paredes y Vidal (2017) encontró una humedad de 0,03% en aceite reciclado, similar a las presentadas en la figura 4.4.



**Figura 4.5.** Resultados de porcentaje acidez antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa.

**Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM

La acidez fue uno de los parámetros corregidos, en el cual se agregó NaOH de acuerdo a la dosificación establecida por Césare et al. (2009), que permitió la disminución del porcentaje de acidez con el proceso de neutralización; reduciendo la acidez a 0,97% y cumpliendo con los parámetros requeridos a priori a la aplicación de proceso de transesterificación.



**Figura 4.6.** Resultados de índice de acidez antes y después de refinar el aceite residual de una trampa de grasa.  
**Fuente.** Elaboración propia con datos tomados de las normas ASTM

El índice de acidez fue de 7,22 mg KOH/g, el cual sobrepasa los límites permisibles de 3 mg KOH/g. Mora et al. (2014) encontró en aceite vegetal de desecho una acidez de 2,02 mg KOH/g que son bajos en relación al aceite de pescado.

Una acidez elevada es común por su composición y baja calidad en aceites de desechos como son aceites de cocina, aceites de trampas de grasa y otras; Paucar et al. (2015) reiteró que generalmente el nivel de acidez es influenciado por la baja calidad de la materia prima o por cambios en las propiedades durante su almacenamiento.



## 4.2. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO QUE INCREMENTE EL RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Inicialmente, se requirió de la dosificación de metanol e hidróxido de sodio necesarios para los procesos subsiguientes:

- Para obtener la cantidad de metanol necesaria, se considera una relación molar 6:1 y 9:1 que se calcula de acuerdo a la proporción de aceite utilizada en el diseño experimental, además, se requiere de las características del metanol detalladas en la **tabla 4.2.** y el desarrollo de las fórmulas a continuación:

Tabla 4.2. Propiedades del metanol.

Alcohol	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Concentración (%)	PM (g/mol)
Metanol	0,794	99	32

**Fuente.** Cedeño (2022)

Se obtuvo el peso molecular de los triglicéridos a partir del producto de 3 moles adicionales de alcohol con el peso molecular dividido para el índice de saponificación adquirido en la caracterización del aceite; posteriormente se convirtió en moles de aceite para relacionarlo con los moles de metanol, de manera que se obtuviese las cantidades necesarias para cada relación.

$$PM_{TG} = \frac{(3 \times 56,108 \times 1000)}{260,4}$$

$$PM_{TG} = 646,405$$

$$M_{ac} = 50 \text{ cm}^3 * 0,927$$

$$M_{ac} = 46,35$$

$$X \text{ moles}_{ac} = \frac{46,35}{646,405}$$

$$X \text{ moles}_{ac} = 0,0717$$

$$1 \text{ mol de aceite} \rightarrow 6 \text{ moles de metanol}$$

$$0,0717 \text{ mol} \rightarrow X \text{ mol}_{CH_3OH}$$

$$X \text{ mol}_{CH_3OH} = 0,4302 \text{ mol}$$

$$Masa_{CH_3OH} = 0,4302 \text{ mol} * 32 \text{ g/mol}$$

$$Masa_{CH_3OH} = 13,7664 \text{ g}$$

$$Vol._{CH_3OH} = 13,7664 \text{ g} * 0,749 \text{ g/cm}^3$$

$$\mathbf{Vol.}_{CH_3OH} \mathbf{6 mol} = \mathbf{10,311 cm^3}$$

$$1 \text{ mol de aceite} \quad \rightarrow \quad 9 \text{ moles de metanol}$$

$$0,0717 \text{ mol} \quad \rightarrow \quad X \text{ mol}_{CH_3OH}$$

$$X \text{ mol}_{CH_3OH} = 0,6453$$

$$Masa_{CH_3OH} = 0,6453 \text{ mol} * 32 \text{ g/mol}$$

$$Masa_{CH_3OH} = 20,6496 \text{ g}$$

$$Vol._{CH_3OH} = 20,6496 \text{ g} * 0,749 \text{ g/cm}^3$$

$$\mathbf{Vol.}_{CH_3OH} \mathbf{9 mol} = \mathbf{15,4665 cm^3}$$

Se obtuvo que en 50 cm<sup>3</sup> de aceite se requieren 10,311 cm<sup>3</sup> (ml) de CH<sub>3</sub>OH en una relación molar 6:1 (Factor B, Nivel Bajo); y en el caso de una relación molar 9:1 (Factor B, Nivel Alto) se requieren 15,4665 cm<sup>3</sup> (ml).

- Se aplicó la siguiente fórmula para la obtención de las cantidades en gramos de NaOH requerida de acuerdo a la cantidad de aceite que se utilizó.

$$mg \text{ de NaOH}(C, \text{Bajo}) = \frac{0,8 \%}{50 \text{ ml}} * 100\%$$

$$\mathbf{mg \text{ de NaOH} = 0,4 \text{ mg}}$$

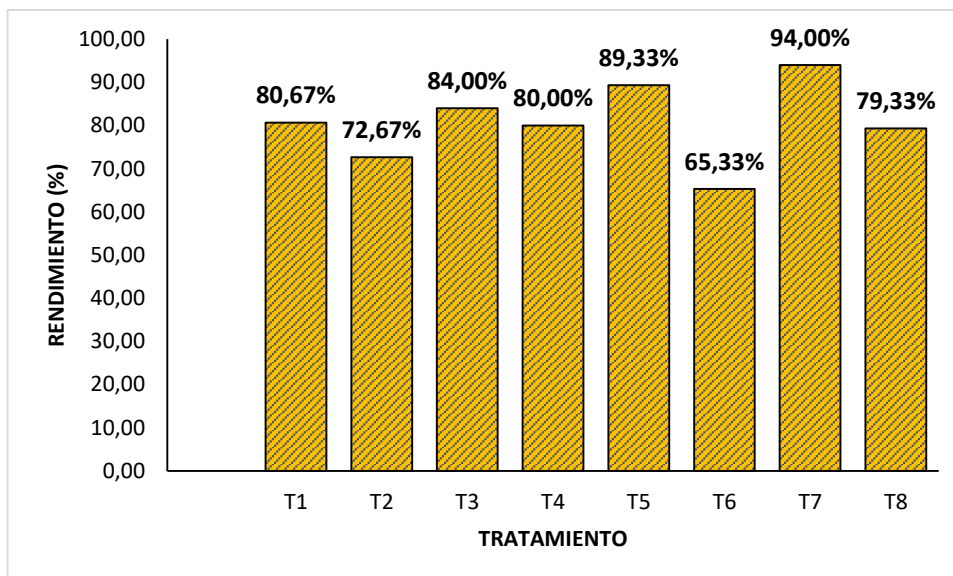
$$mg \text{ de NaOH} (C, \text{Alto}) = \frac{1,3}{50} * 100$$

$$\mathbf{mg \text{ de NaOH} = 0,65 \text{ mg}}$$

En el Factor C (nivel Bajo) se requirieron de 0,4 mg de NaOH equivalentes al 0,8% de catalizador y para el nivel alto 0,65 mg de NaOH (1,3%).

Se manejaron las proporciones calculadas para la transesterificación, aplicando los tratamientos conforme se estipula en la **tabla 3.2**, estudiando los factores de temperatura, relación molar alcohol/aceite y concentración del catalizador, así como el efecto al combinar los factores.

A continuación, se presentan las medias porcentuales de los rendimientos alcanzados de acuerdo a la fórmula 6, desarrollada a partir de los volúmenes de biodiesel obtenidos de acuerdo a los tratamientos aplicados (Ver ANEXO 3-H).



**Figura 4.7.** Comparación de los rendimientos obtenidos según los tratamientos. **Fuente.** Elaboración propia.

La figura 4.7 identifica que el tratamiento T7 posee el mejor porcentaje de rendimiento del proceso, con un 94% de rendimiento en la extracción de biodiesel, continuamente se encuentra el T5 con una media de 89,33%; el T3 logró un 84%; y los valores siguientes presentan similitudes entre T1, T3, T4 y T8 con sus respectivas medias de 80,67%, 84%, 80% y 79,33%; además los tratamientos menos efectivos se encontraron en el T2 con 72,67% y el T6 con una media de 65,3%.

Ordoñez et al. (2013) alcanzó un rendimiento de 87,50% en aceite residual de cocina, por su parte Paredes y Vidal (2017) indicaron haber alcanzado un rendimiento de 94,6% en aceite reutilizado al manejar 60 °C, REA: 1:7 y CC: 1,1%; Avellán et al. (2020) en aceite de *Jatropha* consiguió un rendimiento del 91%, López et al. (2015) presentó valores similares de 98% de rendimiento en aceite usado de cocina, al aplicar un Catalizador al 1% y una relación 12:1.

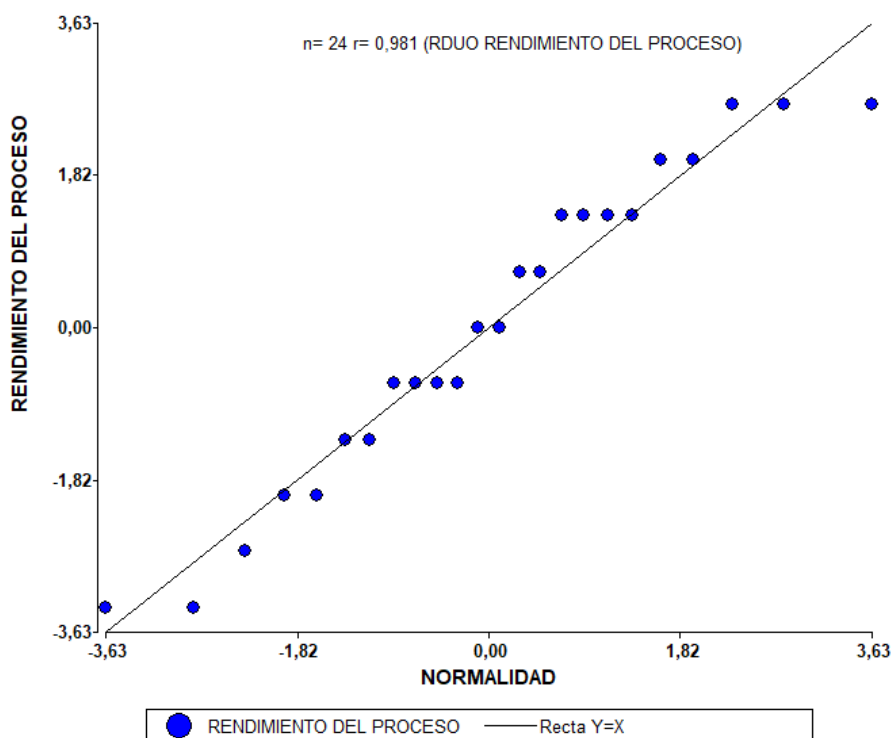
Kara et al. (2018) estudió el aceite de residuo de pescado obteniendo una conversión del 99,1% utilizando una relación molar 9:1 y una concentración de catalizador del 1%; proporciones similares a las utilizadas en la presente investigación. Por su parte Espootin et al. (2021) encontró un rendimiento en la producción de biodiesel de 94,6% a partir de aceites de desecho de pescado. Además, Rojas y Girón (2011) en su estudio alcanzaron un rendimiento de biodiesel con aceite de pescado entre 76 y 98%.

Posteriormente se realizaron los análisis estadísticos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianza, procesos necesarios para posterior análisis de varianza:

**Tabla 4.3.** Análisis de normalidad a través de la prueba de shapiro will.

Shapiro-will					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilaterales D)
Residuo de la variable de respuesta	24	0	1,63	0,94	0,3975

**Fuente.** Elaboración propia



**Figura 4.8.** Normalidad de los residuos de Shapiro-will. **Fuente.** Elaboración propia

Con la prueba de Shapiro-will se obtuvo un valor no significativo de los residuos de las muestras (0,3975) (tabla 4.3) que permite aceptar la hipótesis nula de los residuos, indicando que los valores de respuesta presentan una distribución normal y con ello se demuestra una normalidad de los datos.

**Tabla 4.4.** Análisis de homogeneidad de varianza a través del test de Levene.

Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.	
Rendimiento	Se basa en la media	0,506	7	16	0,817
	Se basa en la mediana	0,208	7	16	0,979
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,208	7	10,522	0,976
	Se basa en la media recortada	0,479	7	16	0,836

**Fuente.** Elaboración propia

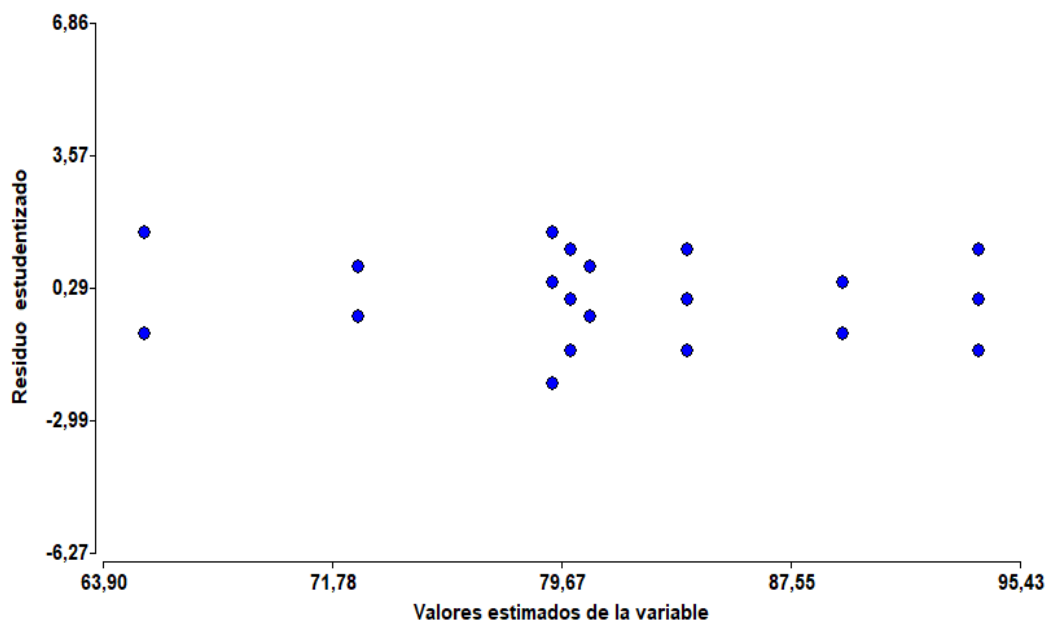


Figura 4.9. Gráfico de residuos para homogeneidad de varianza (test de Levene). **Fuente.** Elaboración propia.

La figura 4.5 presenta que los valores analizados se encuentran en una distribución normal, es decir que las varianzas son similares entre sí. Analizando los valores de residuos con el test de Levene, se identifica un valor de significancia de 0,817 aceptando la hipótesis nula para los supuestos de homocedasticidad.

Con las pruebas aplicadas para el análisis de residuos, se determina que existe normalidad en los residuos, es decir que el valor de significancia es mayor a 0,05. La prueba de Levene muestra que entre los resultados se presenta una homogeneidad de varianza, presentando valores de significancia mayor a 0,05.

Tabla 4.5. Análisis de varianza del rendimiento del proceso.

F.V	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	1696	7	242,29	63,2	0,0001
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	42,67	1	42,67	11,13	0,0042
B: Relación molar alcohol/aceite	322,67	1	322,67	84,17	0,0001
C: Concentración del catalizador	962,67	1	962,67	251,13	0,0001
INTERACCIONES					
AB	24	1	24	6,26	0,0236
AC	266,67	1	266,67	69,57	0,0001
BC	66,67	1	66,67	17,39	0,0007
ABC	10,67	1	10,67	2,78	0,1147
Error	61,33	16	3,83		
Total	1757,33	23			

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizó el análisis de varianza de los factores utilizados y sus interacciones obteniéndose que:

- La temperatura empleada incide significativamente en el rendimiento del proceso de obtención de biodiesel, dado que el valor de p es menor a 0,05.
- La relación molar contemplada obtuvo un p-valor de 0,0001 con respecto a la variable de respuesta (rendimiento del proceso) existiendo significancia entre los niveles utilizados.
- Las concentraciones empleadas presentan significancia estadística en la obtención del biodiesel, presentando un valor de p menor a 0,05.

En lo referente a las interacciones efectuadas de temperatura y relación molar, temperatura y concentración, relación molar y concentración presentaron lo siguiente:

- La interacción temperatura y relación molar manifestaron un valor de p menor a 0,05, presentando significancia, es decir que las diferentes temperaturas 60 °C y 80 °C vs la relación molar 6:1 y 9:1 incrementan el rendimiento del proceso en la obtención de biodiesel.
- La interacción de temperatura y concentración obtuvo un valor de p-valor de 0,0001, indicando significancia estadística.
- Así mismo la Relación molar (alcohol/aceite) y concentración del catalizador presentaron significancia estadística dado que el valor de p es menor a 0,05. Sin embargo, las interacciones de Temperatura - relación molar - concentración del catalizador presentan un p-valor de 0,114; es decir que las interacciones de las mismas no presentan medias significantes.

**Tabla 4.6.** Prueba de Tukey de los tratamientos aplicados.

PRUEBA DE TUKEY								
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
T6 (1,3.6:1.80)	65,33	3	1,13	A				
T2 (1,3.6:1.60)	72,67	3	1,13		B			
T8 (1,3.9:1.80)	79,33	3	1,13			C		
T4 (1,3.9:1.60)	80,0	3	1,13			C		
T1 (0,8.6:1.60)	80,67	3	1,13			C		
T3 (0,8.9:1.60)	84,0	3	1,13			C	D	
T5 (0,8.6:1.80)	89,33	3	1,13				D	E
T7 (0,8.9:1.80)	94,00	3	1,13					E

**Fuente.** Elaboración propia

Se aplicó la prueba de Tukey para los tratamientos utilizados, definiendo al tratamiento T7 con una temperatura de 80 °C, una relación molar de 9:1 y concentración de catalizador de 0,8% como el mejor resultado; este presentó una

media de 94,00% de rendimiento en el proceso de extracción de biodiesel; al igual se considera de mayor rendimiento el T5 que utilizó una temperatura de 80 °C, relación molar de 6:1 y una concentración de catalizador de 0,8%; presentando un rendimiento de 89,33%.

Posteriormente se analizaron los factores utilizados como son temperatura, concentración del catalizador y relación molar alcohol/aceite, que facilita la deducción de la incidencia de los factores en el rendimiento, así se describen consecutivamente en las figuras 4.6; 4.7 y 4.8.

Tabla 4.7. Prueba de Tukey del factor temperatura.

TEMPERATURA (A)	Medias	n	E.E	Grupo 1	Grupo 2
60	79,33	12	0,57	A	
80	82,00	12	0,57		B

**Fuente.** Elaboración propia

La prueba de Tukey para la temperatura, mostró que a 80 °C se tiene una media de rendimiento de 82,00%, mayor que la media de 79,33% presentado a 60 °C.

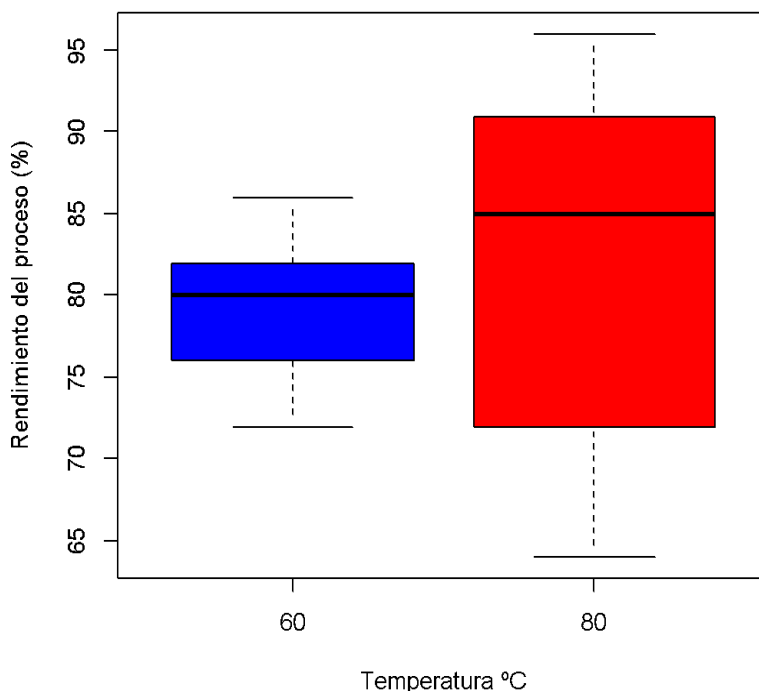


Figura 4.10. Rendimiento del proceso según el factor temperatura. **Fuente.** Elaboración propia

La figura 4.10. indica que utilizando una temperatura de 80 °C se alcanzó mejores rendimientos con una media de 82%. Paredes y Vidal (2017) obtuvieron mejor rendimiento al utilizar una temperatura de 60 °C (rendimiento de 94,6%). Por su parte Torres et al. (2017) menciona que utilizando una temperatura a partir de 60

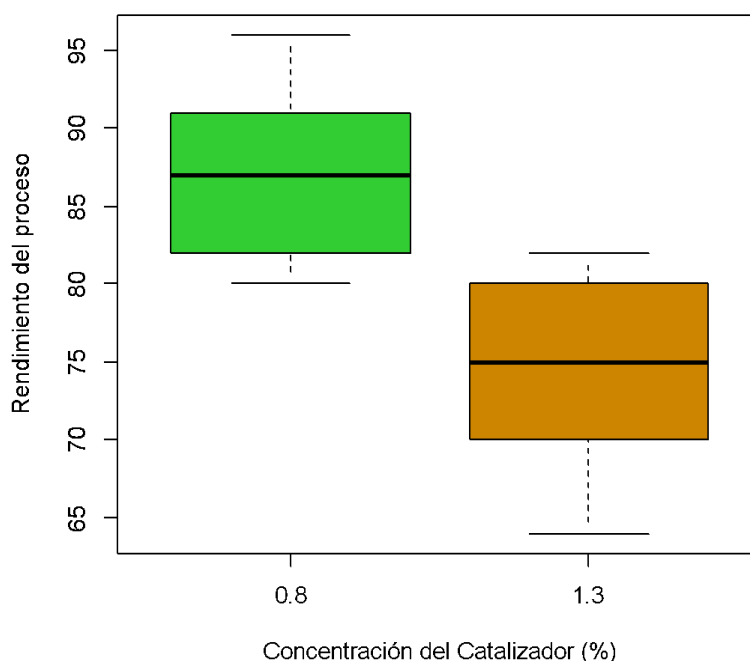
°C, se genera una mejor cinética de reacción en el proceso, que se debe a la evaporación del contenido de agua de las muestras; Sarrecent y Gandón (2016) asienta que es posible obtener rendimientos mayores a 80% al utilizar una temperatura por encima de los 50 °C y menor al punto de ebullición del alcohol, principio que cumplen las temperaturas utilizadas en la investigación que se encuentran entre 60 a 80 °C; a partir de ello se comprende que los resultados a 80 °C tuvieren mejores rendimientos.

**Tabla 4.8.** Prueba de Tukey del factor concentración.

CONCENTRACIÓN (C)	Medias	N	E.E	Grupo 1	Grupo 2
1,3	74,33	12	0,57	A	
0,8	87,00	12	0,57		B

**Fuente.** Elaboración propia

En la prueba de Tukey de la variable concentración del catalizador, se presentaron dos grupos de medias diferentes, donde la concentración baja (0,8% de catalizador) posee mejores resultados con una media de 87% y con una concentración de 1,3% la media fue de 74,33%.



**Figura 4.11.** Rendimiento del proceso según la concentración del catalizador. **Fuente.** Elaboración propia

Se analizó el factor concentración y es notorio su efecto en la variable de respuesta pues, utilizando la concentración más baja se obtiene mejor rendimiento, obteniendo el valor más alto de 96%, cuando se maneja una CC (Concentración



del catalizador) de 0,8%. Por el contrario, al utilizar una CC más elevada se produce una disminución en el rendimiento, que llega hasta un 64% y máximo 82%.

Muñoz (2018) expone que utilizando una CC menor a 1% se obtiene un mejor rendimiento del proceso. La concentración del catalizador es un factor de importancia en la transesterificación por su determinación en el rendimiento de la reacción, aumentando así la viscosidad del aceite y dificultando la reacción entre los componentes; sin embargo, una cantidad mínima no permite consumir la reacción quedando incompleta (Sarracent y Gandón, 2016).

Tabla 4.9. Prueba de Tukey del factor relación molar.

RELACIÓN MOLAR (B)	Medias	N	E.E	Grupo 1	Grupo 2
6:1	77,00	12	0,57	A	
9:1	84,33	12	0,57		B

**Fuente.** Elaboración propia

La tabla 4.9 muestra la incidencia de la variable relación molar en la media de rendimiento del proceso, identificando que el nivel alto (9:1) presenta un efecto significativo en la variable de respuesta, siendo de 84,33% (relación 9:1) y 77% (en la relación 6:1).

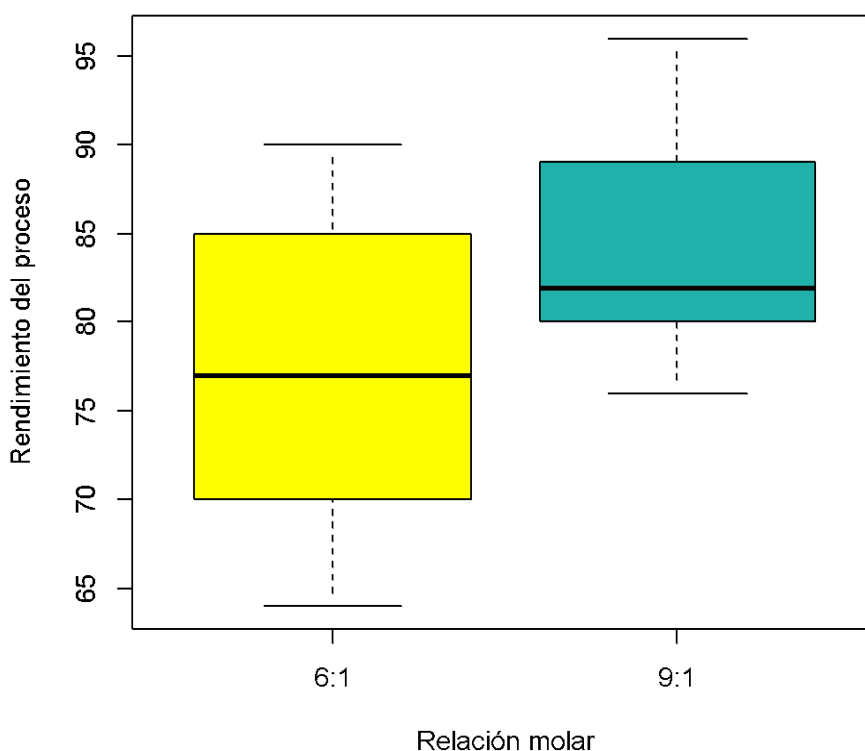


Figura 4.12. Rendimiento del proceso según el factor Relación Molar alcohol/aceite. **Fuente.** Elaboración propia

En la **figura 4.12** se identifica que la relación molar (REA) con mejor resultado fue de 9:1, que presenció una media de 84,33%; mientras que al utilizar una REA 6:1 obtuvo una media de 77%. Álvarez (2013) en un biodiesel con aceites usados consiguió un rendimiento mayor a 90% al utilizar una relación molar 6:1; mientras Bonilla et al. (2017) añade que es preferible el uso de una relación molar elevada, para evitar una reacción reversible; además, hace énfasis en la importancia del tipo de aceite utilizado determinante en su efectividad, Castillo et al. (2013) resalta el uso de una REA mayor a 6:1.

Por su parte Guerrero et al. (2013) encontró que, en la transesterificación de aceites usados, presenta mejor rendimiento al utilizar una relación molar 9:1, características que se asemejan al aceite utilizado en la presente investigación y concuerda con los datos, obteniendo mejor rendimiento en aquellos tratamientos con una relación molar 9:1. Es decir que, al utilizar mayor cantidad de metanol en la producción de biodiesel, se obtiene mejor rendimiento, siempre que exista un equilibrio entre las proporciones agregadas y según las propiedades químicas y físicas del aceite (Falcón y Guerrero, 2018).

**Tabla 4.10.** Prueba de Tukey del factor temperatura\*relación molar.

TEMPERATURA*RELACIÓN MOLAR	Medias	n	E.E	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
60.6:1	76,67	6	0,8	A		
80.6:1	77,33	6	0,8	A		
60.9:1	82	6	0,8		B	
80.9:1	86,67	6	0,8			C

**Fuente.** Elaboración propia

La tabla 4.10 presenta el efecto significativo de la interacción entre la variable temperatura y relación molar en la variable de respuesta, identificando que la combinación de los niveles altos (9:1) y (80 °C) presentan resultados favorables en la media, obteniendo un valor de 86,67%.

**Tabla 4.11.** Prueba de Tukey del factor temperatura\*concentración.

TEMPERATURA*CONCENTRACIÓN	Medias	n	E.E	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
80.1,3	72,33	6	0,8	A			
60.1,3	76,33	6	0,8		B		
60.0,8	82,33	6	0,8			C	
80.0,8	91,67	6	0,8				D

**Fuente.** Elaboración propia

Mediante la prueba de Tukey de la interacción entre la temperatura y concentración del catalizador, se presentó que la combinación 80 °C y 0,8% de concentración del catalizador, presenta una media de 91,67%.

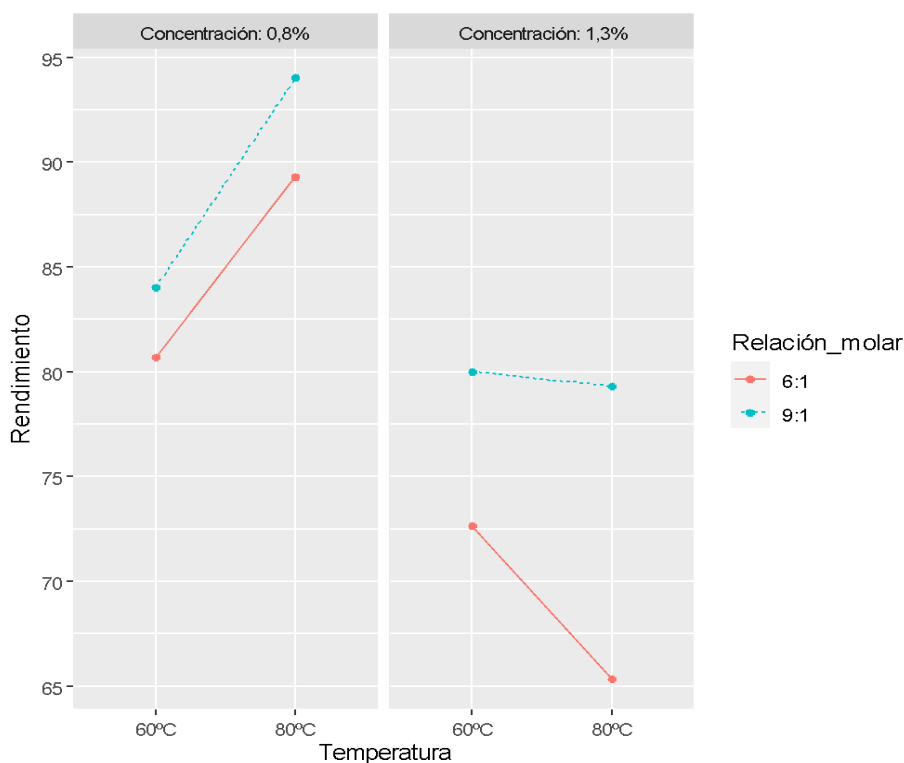
**Tabla 4.12.** Prueba de Tukey del factor relación molar\*concentración

CONCENTRACIÓN*RELACIÓN MOLAR	Medias	n	E.E	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
1,3.6:1	69	6	0,8	A			
1,3.9:1	79,67	6	0,8		B		
0,8.6:1	85	6	0,8			C	
0,8.9:1	89	6	0,8				D

**Fuente.** Elaboración propia

La prueba de Tukey para la interacción de las variables relación molar y concentración, mostró una media más elevada en la combinación de una concentración del catalizador de 0,8% y una relación molar alcohol/aceite de 9:1, que presenta un valor de 89% de rendimiento en la extracción de biodiesel.

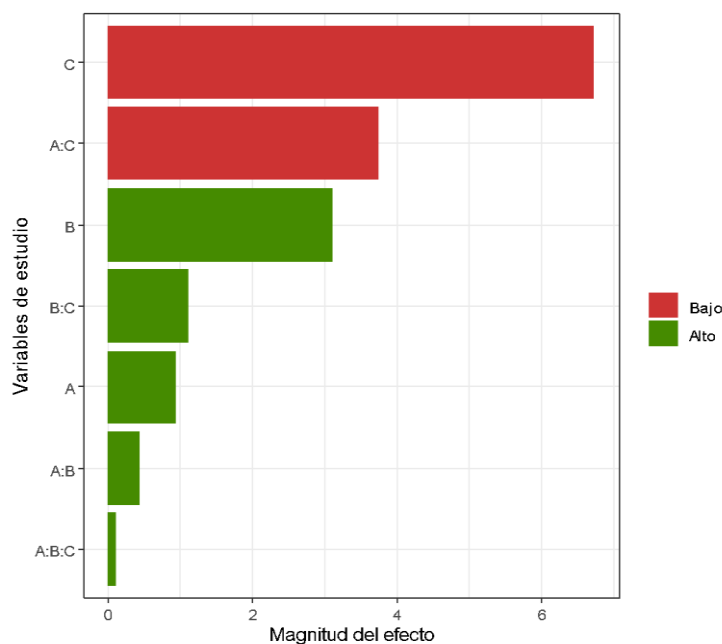
Se realizó un análisis de interacción entre los factores en estudio, presentada en la figura 4.13 que indica la interacción entre todas las variables utilizadas.



**Figura 4.13.** Interacción de las variables utilizadas en la obtención del rendimiento del proceso. **Fuente.** Elaboración propia

En el análisis de varianza no presentó una significancia triple entre los factores A (Temperatura), B (Relación molar) y C (Concentración); sin embargo, se corroboró mediante la figura 4.13 la incidencia del tratamiento T7 en el rendimiento del proceso, que efectivamente se visualiza al utilizar una temperatura de 80 °C, relación molar 9:1 y una concentración del catalizador de 0,8%; los cuales obtuvieron una media cercana a 95%. Además, se encontró interacción significativa al presentarse líneas no paralelas en la relación de dos factores AB, AC y CB demostrando la prevalencia de los niveles de cada factor definidos en el T7 (80 °C, 9:1 y 08%), acentuando su mayor incidencia en el rendimiento del proceso para la obtención de biodiesel.

Mediante el gráfico de Pareto en la figura 4.14 se identifica las variables con mayor efecto en relación a la variable de respuesta (rendimiento del proceso).



**Figura 4.14.** Diagrama de Pareto del rendimiento del proceso. **Fuente:** Elaboración propia.

La **figura 4.14** expresa la magnitud del efecto ocasionado por los factores y sus posibles interacciones, indicando que la variable C (Cantidad de catalizador) posee una gran importancia en el porcentaje de extracción de biodiesel, así como su combinación con la temperatura, el factor B (Relación molar) incide en una proporción menor, posteriormente se encuentra el factor A (Temperatura); y por último la combinación de los factores A.B.C. el cual no presenta mayor efecto sobre el porcentaje de rendimiento.

La magnitud del efecto de la Concentración de catalizador concuerda con lo descrito por López et al. (2015) quien en su investigación identificó una diferencia significativa con un p-valor de 0,04; además asienta que la cantidad de catalizador utilizada es influyente en la saponificación, debido a la presencia de sodio y su poder electronegativo que favorece en reacciones que no son de interés, por su parte Demirbas et al. (2016) estudió el efecto de la cantidad de catalizador, determinando que al utilizar una concentración cercana a 0,5% se obtiene mejor rendimiento en la obtención de biodiesel. Así mismo López et al. (2015) mencionan haber obtenido mejor rendimiento al utilizar una menor concentración de catalizador (1%).

Luego de definir al T7 como el mejor tratamiento, se procedió con la elaboración de 1l de biodiesel, cantidad requerida para la caracterización física-química del producto final, procesada a partir de las condiciones consideradas. El biodiesel obtenido se comparó con las especificaciones que establece la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2482:2009, obteniendo los siguientes resultados de la caracterización:

**Tabla 4.13.** Parámetros físicos-químicos del biodiesel con mejor rendimiento.

PARÁMETRO	UNIDADES	BODIESEL	ESPECIFICACIÓN	
			BAJO	ALTO
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	883,7	860	900
Cenizas	%(m/m)	0,015		0,02
Contenido de agua	mg/kg	560	--	500
Acidez	%	0,27		
Índice de acidez	mg KOH/g	0,392	--	0,5
Viscosidad cinemática a 40 °C	mPa/s (mm <sup>2</sup> /S)	2,7	3,5	5
Punto de inflamación	°C	120	120	--
Índice de cetano	-	41,62	49	--
Poder calorífico	MJ/kg	34,4		

**Fuente.** Elaboración propia.

El biodiesel proveniente de aceites residuales de trampa de grasa de una atunera presentó una densidad de 883,7 kg/m<sup>3</sup>, que se encuentra dentro de las especificaciones para un biocombustible (biodiesel) oscilando entre 860 y 900 kg/m<sup>3</sup>; Martinello y Bogino (2013) obtuvieron una densidad de 840 kg/m<sup>3</sup> en biodiesel a partir de aceite de maní.

El parámetro de contenido de agua fue de 560 mg/kg, que sobrepasa los límites máximos permisibles de 500 mg/kg. Por su parte Murcia et al. (2013) encontró resultados similares de 516 mg/kg en biodiesel de aceites desechados; Vivas (2010) señala que altos niveles de contenido de agua ocasionan problemas de corrosión y crecimiento de microorganismos en el motor. Sin embargo, González (2012) sugiere utilizar un sistema de evaporación al vacío, que permita extraer mayor cantidad de agua sin ocasionar daños en el producto.

Los resultados indicaron que el índice de acidez del biodiesel es de 0,392 mg KOH/g de aceite, que cumple con los requisitos de un biodiesel (máximo 0,5 mg KOH/g). Avellaneda (2010) en un biodiesel a partir de aceite reciclado obtuvo una acidez de 0,3 mg KOH/g de aceite, Arteaga et al. (2010) obtuvo resultados similares en biodiesel de grasas refinadas de pollo con una acidez de 0,32 mg KOH/g.

La tabla 4.13 muestra un valor de cenizas  $<0,02\%$ , que cumple con los requisitos indicados en las especificaciones de producción de biodiesel. Deepika y Heather (2014) manifestaron en un biodiesel de aceite de bacalao un valor de 0,0035% de cenizas que se asemejan a los valores de la presente investigación.

La viscosidad en el biodiesel caracterizado obtuvo un valor de 2,7 mPa/s que de acuerdo a las especificaciones de la tabla se encuentra dentro de los límites especificados. Mohammed y Amru (2017) encontraron en biodiesel de aceite de pescado una viscosidad de 5,47 mPa/s resultado superiores a los presentados.

Además, en la tabla 4.12, se identificó que el biodiesel tiene un punto de inflamación de 120 °C, valores que se encuentran dentro de las especificaciones para un biodiesel. Sin embargo, Avellaneda (2010) menciona que mantener niveles elevados de punto de inflamación son beneficiosos para un biocombustible, Además, los bajos resultados de punto de inflamación indican presencia de alcohol en la composición del biodiesel, lo cual se asimila a la situación presentada en el biodiesel de residuos de pescado, que tuvo un valor de inflamación bajo.

El biodiesel a partir de aceites residuales de pescado de una trampa de grasa, presentó un índice de cetano de 41,62; resultado que se encuentra por debajo del valor recomendado para biodiesel; Paredes y Vidal (2017) presentaron un valor

bajo en aceite de colza que oscila entre 35 a 40. Montenegro et al. (2012) agrega que obteniendo un índice de cetano mínimo, es posible la presencia de dificultades en el encendido y con ruidos excesivos.

Sánchez et al. (2012) menciona que el índice de cetano se incrementa en relación al peso molecular de los ácidos grasos, por ello es conveniente realizar una composición con aceites de mayor peso molecular o por lo consiguiente mezclar en proporciones con el diésel, de manera que se incremente el valor de cetano.

Se obtuvo un poder calorífico de 34,4 MJ/kg, resultado favorable para la calidad del biodiesel, con resultados elevados disminuye el tiempo de encendido del motor y se produce pérdidas de potencia en el motor (Heras y Lojano). de igual manera Arteaga et al. (2010) presentó un valor de 40,2 kJ/kg en biodiesel de grasa de pollo. Así mismo Gutiérrez et al. (2021) encontró un poder calorífico de 39,8 KJ/kg.

### 4.3. ESTABLECIMIENTO DEL COSTO UNITARIO DEL TRATAMIENTO CON MEJORES CUALIDADES PARA SU DESARROLLO EN LA INDUSTRIA

Para establecer el costo unitario de la producción de biodiesel con las mejores condiciones consideradas en el desarrollo experimental, se realizó el análisis de los precios en el mercado y su factibilidad económica de producción a partir de los residuos de pescado de una trampa de grasa.

Para ello se requirió el análisis:

- Para el costo de materia prima se encontró que el metanol a nivel industrial posee un valor de \$445 por cada 1000 l (Agudelo y Artunduaga, 2019), mientras que el catalizador hidróxido de sodio (NaOH) tiene un precio aproximado de \$19 por kilogramo.

**Tabla 4.14.** Análisis de costo de producción de un barril de biodiesel.

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
NOMBRE DE PROYECTO:		EVALUACIÓN DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN EL RENDIMIENTO DEL BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS ACEITOSOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS			
Hoja 1 de 1					
RUBRO:	Obtención de biodiesel				UNIDAD: bl
DETALLE:					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Planta de biodiesel	1	1,2	1,2	3,8	4,56
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4,56</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Operador responsable de planta	3	4,29	12,87	0,8	10,3
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>10,3</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B	
Aceite de residuo de pescado	l	201,93	0	0	
Metanol	l	47,47	0,45	21,36	
NaOH	Kg	0,92	19	17,48	
Agua	m3	0,8	2	1,6	
Energía (kW/producción)	k/W	20	0,1	2	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>38,84</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
Transporte de aceite residual	U	20	0,18	100	18
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>18</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>71,7</b>
COSTO INDIRECTO					20
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					<b>86,04</b>
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA					



Se obtuvo que el valor de los insumos necesarios para la producción de un barril de biodiesel (159 litros) es aproximadamente de \$38,84 que equivalen a \$0,24 por litro; Con la aproximación de los valores reales, se calcula que el costo de mano de obra por barril es de \$10,30; Los costos de equipos se calculan en \$4,56 por barril de producción.

**Tabla 4.15.** Costo de producción del biodiesel.

Costo de producción	Valor por barril	Valor por litro
	\$ 86,04	\$ 0,54

**Fuente.** Elaboración propia

Aplicando la fórmula que indica Pacheco (2019) se obtuvo que el costo total para la producción de un barril de biodiesel fue de \$86,04; equivalentes a \$0,54 por litro. Es decir que la producción de biodiesel a partir de aceites de residuos de una trampa de grasa en empresas atuneras es factible económicamente.

Se encontró que Crispin y Quintero (2018) obtuvieron en biodiesel de aceite de *Jatropha* un costo estimado de \$0,833 a \$0,86 por litro de producción y López (2011) obtuvo un costo por galón de \$ 2,49 (\$ 0,655/ litro), valores que se comparan con el precio de \$0,54 por litro del biodiesel obtenido en la presente investigación.

El costo de producción del biodiesel obtenido a partir de aceite de pescado es asequible al considerar que existe una creciente demanda de biocombustible siendo de 28% entre los años 2021 -2026 (FAO, 2004). Sin embargo, en Ecuador el costo del diésel por litro es de \$0,502 y por galón es de \$ 1,9; mismos que presentan un subsidio del gobierno (Fernández et al., 2012) y por ende los diferentes tipos de biocombustibles obtenidos de diversas fuentes, no son competitivos con el diésel, a pesar que existan materias primas de bajo costo, es insuficiente para alcanzar los precios del diésel.

A pesar de ello, es posible realizar mezclas para obtener composiciones elementales que aporten a la disminución de los niveles de contaminación; Carvajal et al. (2017) expresa que al utilizar menos del 60% de biodiesel se obtienen mejores resultados en la disminución de emisiones contaminantes, así mismo Llanes et al. (2017) han estudiado que la mezcla de biodiesel con diésel puede incrementar la biodegradabilidad del combustible.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES.

- La caracterización físico-química demostró que la calidad del aceite es apropiada para los proceso de transesterificación, se obtuvo una viscosidad cinemática de 38 mPa/s, densidad a 20 °C de 0,927 g/ml e índice de saponificación de 260,4 mg KOH/g; sin embargo los parámetros de acidez y humedad presentaron niveles alterados siendo de 3,66% y 0,4% respectivamente, requiriendo de la purificación del aceite con el fin de corregir sus valores de acuerdo a las especificaciones, logrando disminuir la humedad a 0,03 g/ml y la acidez 0,98%.
- Se determinó que el mejor tratamiento se obtuvo en el T7 con las condiciones de Temperatura a 80 °C, Relación molar alcohol/aceite 9:1 y concentración del catalizador de 0,8%, presentando un rendimiento del proceso de 94%, el cual fue caracterizado y manifestó que cumplen con las condiciones, presentando una densidad de 883,7 kg/m<sup>3</sup>, cenizas de 0,015%, contenido de agua en 560 mg/kg, índice de acidez de 0,392 mg KOH/g, viscosidad cinemática de 2,7 mPa/S, punto de inflamación de 120 °C, índice de cetano 41,62 y poder calorífico 34,4 MJ/kg.
- Con el análisis de costo de producción, se obtuvo que la elaboración de un barril de biodiesel presenta un valor de \$86,04 equivalentes a \$0,54 por litro.
- Se aceptó la hipótesis de investigación donde las variables Temperatura (A), Relación molar (B) y Concentración del catalizador (C) utilizadas para la extracción de biodiesel demostraron un efecto significativo en el rendimiento del biodiesel; por otro lado, las interacciones Temperatura/Relación molar, Temperatura/Concentración y Relación molar/Concentración del catalizador también mostraron un efecto significativo; situación que no se presentó en la interacción ABC.

## 5.2. RECOMENDACIONES.

- Es factible realizar procesos adicionales de desodorización y decoloración del aceite a priori al proceso de transesterificación, que permita obtener un biodiesel con mejor aspecto.
- Es necesario realizar un análisis completo y corregir los parámetros que se encuentran elevados como es el parámetro de humedad que se encuentra en 560 mg/kg; además es idóneo emplear otros métodos de obtención de biodiesel más estandarizados.
- Se sugiere realizar un análisis de factibilidad, con la mezcla del biodiesel y el diésel a base de petróleo, mismo que tiene múltiples beneficios para el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C., Rodríguez, K., González, S. y Rios, L. (2015). Evaluación de la Estabilidad Oxidativa del Biodiesel de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) mediante el uso de Antioxidantes Sintéticos y Biodiesel de Palma. *Rev. Inf. Tecnol.* Vol. 26, núm. 2. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000200007>
- Alarcón, R. (2014). Bogotá D.C. CO. Obtención de biodiesel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma. [Tesis de ingeniería mecánica, Universidad Santo Tomás]. Facultad de Ingeniería mecánica.
- Altieri, M. y Nicholls, C. (2000). Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental (1ra.ed.). México D.F: PNUMA -Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Álvarez, J. (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio. Chihuahua, ME. [Tesis de maestría en ciencias en energías renovables con Especialidad en Biomasa, Centro de investigaciones en Materiales Avanzados]. 78 pp.
- Anguaya, C. (2007). Estudio de estabilidad en almacén del biodiesel obtenido de aceite de soya (*Glycine max*), palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*), higuera (*Ricinus communis*) y piñón (*Jatropha curcas*). Zamorano, Honduras. Zamorano. Carrera de Agroindustrias alimentarias. 71 pp.
- Arbeláez, M. y Rivera, P. (2007). Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceites vegetales colombianos. Medellín. [Tesis de ingeniería de procesos, Universidad EAFIT]. <https://core.ac.uk/download/pdf/47237236.pdf>
- Arias, F. y Vera, J. (2016). Construcción de un reactor piloto para la generación de biodiesel a base de aceite de palma africana (*elaeis guineensis*) en la ESPAM "MFL". [Tesis de Ingeniería en Medio Ambiente, ESPAM "MFL"]. Manabí, EC. 57 pp. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec>
- Arteaga, H., Siche, R., Pagado, S. y Cáceres, H. (2010). Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel a partir de grasa refinada de pollo. *Rev. Scientia Agropecuaria*, 1(1), 37-45, Universidad Nacional de Trujillo, Perú
- Arteaga, H., Siche, R., Pagado, S. y Cáceres, H. (2010). Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel a partir de grasa refinada de pollo. *Rev. Scientia Agropecuaria*, 1(1), 37-45, Universidad Nacional de Trujillo, Perú
- Arteaga, H., Siche, R., Pagador, S. y Cáceres, H. (2010). Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel

- a partir de grasa refinada de pollo. Trujillo, Perú. Rev. Scientia Agropecuaria, Vol. 1 (1). Universidad Nacional de Trujillo.
- Avellán, A., García, S., Moreira, C., García, O., Banchón, C. (2020). Factores limitantes en la producción del biodiesel de *Jatropha curcas* L. Rev. RIEMAT, 4(2), art. 2. Universidad Técnica de Manabí.
- Avellaneda, F. 2010. Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tarragona, ES. [Tesis doctoral, Universidad Rovira I Virgili]. Departamento de Ingeniería Química.
- Ávila, A., Bula, A. y Homero, S. (2008). Cinética de la transesterificación de la oleína de palma africana con etanol. Rev. INCI, 33(3). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008000300015](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000300015)
- Barbosa, R; Ramírez, L. y Morales, N. (2013). Obtención de biodiesel (etil-éster) mediante catálisis básica a nivel planta piloto derivado de aceites usados de la industria alimenticia. Rev. UNAD. Vol. 8. (1), 20 pp.
- Barrera, D. (2006). Evaluación de las propiedades de superficie del óxido de zinc y su actividad catalítica en la transesterificación del aceite de palma con metanol. [Tesis de ingeniería química, Universidad de los Andes]. Bogotá, CO. 112 pp.
- Bulla, E. (2014). Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura. Bogotá, CO. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Mecánica y Mecatrónica. 214 pp.
- Burgos, R., Pascual, V. y Palacios, R. (2021). Etapas del método estadístico. Rev. Ciencia Huesteca Boletín Científico de la Escuela superior de Huejutla, 9(17), 35-36.
- Cabello, C., Rincón, S. y Zepeda, I. (2016). Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. Tesis de Ingeniería en Agroindustria. Rev. Afinidad, Vol. 74 (577), Universidad Autónoma de Yucatán.
- Cabrera, C. (2021). Contaminación e impacto ambiental en la bahía de chancay. Rev. Instituto de Investigación, 4(8). [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v04\\_n8/contaminaci%C3%B3n\\_impacto\\_ambiental.htm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v04_n8/contaminaci%C3%B3n_impacto_ambiental.htm)
- Caldas, M. (2018). Desarrollo de una metodología para la estimación de las propiedades térmicas del biodiesel a través de métodos ópticos. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UN. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1201/1/R1007882.pdf>
- Campos, Ch., Delgado, H., Esquivel, J., Samamé, J. y Sirlupú, J. (2017). Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiesel a partir de aceite

residual recolectado de la industria chiflera piurana. Piura, PE. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. 118 pp.

Campos, Ch., Delgado, H., Esquivel, J., Samamé, J. y Sirlupú, J. (2017). Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiesel a partir de aceite residual recolectado de la industria chiflera Piurana. Piura, Perú. [Tesis de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad de Piura]. Facultad de Ingeniería. 118 pp.

Castañeda, J. (2017). Puesta en marcha de instalación para síntesis de Biodiesel. Síntesis y caracterización de biodiesel obtenido a partir de aceites vegetales. [Tesis de Ingeniería química]. 153 pp.

Castellar, G., Angulo, E. y Cardozo, B. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. Barranquilla, CO. Rev. Prospect. Vol.12 (2).

Castillo, A., Labrada, B., Penedo, M. y Sánchez, E. (2013). Simulation of the Production Process of Biodiesel From Jatropha Curcas Oil. Rev. RTQ, 33(2), Santiago de Cuba.

Castillo, K. (2018). Caracterización teórica de parámetros del biodiésel y estudio de algunas de sus emisiones. [Trabajo de grado en Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Madrid]. 98 pp.

Cedeño, D., Loureiro, J., Delgado, M., Delgado, C., y Fajardo, P. (2020). Evaluación de un humedal artificial aireado en efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria atunera, Manta, Manabí, Ecuador. Rev. Científica Multidisciplinaria. Mikarimin. Vol. 6. Centro de Investigación y Desarrollo, Universidad Regional Autónoma de Los Andes. 14 pp.

Cedeño, M. y Sepa, L. (2018). Comportamiento de dos tipos de alcohol en la obtención de aceite útil a partir de residuos aceitosos de pescado en CIESA. [Tesis de Ingeniería en Medio Ambiente, ESPAM]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec>

Césare, M., Castillo, L., Beteta, V., Calle, J. y León, J. (2009). Evaluación de la purificación de biodiesel en la etapa final de producción. Rev. Soc. Quím. Perú. 76(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v76n1/a03v76n1.pdf>

Charry, G. (2005). Transesterificación de aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea usando CaO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como catalizadores. Bogotá, CO. [Tesis de ingeniería química, Universidad de los Andes]. 95 pp.

Chulliquín, Y. (2019). Optimización del proceso de transesterificación convencional del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) aplicando nuevos parámetros de concentración de metanol e hidróxido de sodio. Tarapoto, Perú. [Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín]. 94 pp. <https://n9.cl/2wrzz>

- Crispin, M. y Quintero A. (2018). Metodología aplicada en análisis tecno-económico y medio ambiental en base a procesos de ingeniería: aplicación a estudios de biocombustibles. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). <http://www.fao.org/3/i1712s/i1712s06.pdf>
- Cruz, I. (2014). Instituto Tecnológico de Sonora. Determinación del costo unitario, una herramienta financiera eficiente en las empresas. El Buzón de Pacioli. 48 pp. Disponible en <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no87/Pacioli-87 eBook.pdf>
- Cuellar, M. (2007) Posibilidades del biodiesel de palma y sus mezclas con diésel en Colombia. Características del Biodiesel de palma y las mezclas. CO. Fedepalma. Foro Nacional. Manejo de Biodiesel y sus mezclas. *Revista Palmas*, 28(1). 63-72. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1291>
- Deepika, D. y Heather, M. (2014). The potential of fish processing wastes for biodiesel production. Rev. The Harris Center, Memorial University. Centre for Aquaculture and Seafood Development (CASD), Research Scientist Heather Manuel, MSc., MBA
- Delgado, M. (2010). Transesterificación de los ácidos grasos del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) con metanol para la obtención de biodiesel. Tingo María, Perú. [Tesis de ingeniero en recursos naturales renovables, Universidad Agraria de la selva].
- Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W. y Sheikh, M. (2016). Biodiesel production from non-edible plant oils. Rev. Sage Journals, 34(2), 290-318. <https://doi.org/10.1177%2F0144598716630166>
- Díaz, F. y Guerrero, L. (2018). Influencia del índice de acidez en el poder calorífico del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina [Tesis de ingeniería en energía, Universidad Nacional del Santa]. Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía. UN. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3046/47075.pdf?sequence=1>
- Dinis, V. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: Nuevos métodos de síntesis. Universidad de Extremadura. Facultad de Ciencias Departamento de Ingeniería Química y Química Física. 323 pp.
- Echavarría, J., Ramírez, C., Zuluaga, M. y Ortiz, J. (2010). El método analítico como método natural. Roma, Italia. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 25(1)
- Echeverría, J. (2018). Análisis de las propiedades fisicoquímicas del Biodiesel a base de aceite de higuera b10. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte], Repositorio Institucional UN.

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8042/1/04%20MAUT%20053%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.

- Espinoza, A. y Palmay, P. (2009). Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado. Riobamba, EC. [Tesis de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Facultad de ciencias. 109 pp.
- Falcón, I. (2010). Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual. Tingo María (Perú). [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables] . 92 pp.
- Falcón, I. y Guerrero, T. (2018). Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual. Rev. Investigación y Amazonía, 6(1), 37-44.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2004). Costo de producción. <http://www.fao.org/3/V8490S/v8490s06.htm>
- Fernández, L., Montiel, J., Millán, A. y Badillo, J. 2012. Producción de biocombustibles a partir de microalgas. El Fuerte, México. Rev. Ra Ximhai, 8 (3), 101-115, Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El fuerte, Sinaloa.
- Fernández, P. (2020). Diseño de experimentos: Diseño factorial. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, ES.]. <https://n9.cl/955f>
- Franco, M. (2013). Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales en condiciones súper-críticas. [Proyecto Fin de Máster, Ingeniería de Procesos Químicos, Universidad Politécnica de Catalunya] Máster en Investigación en Ingeniería de Procesos Químicos
- García, A., Cendales, E. y Eslava, A. (2016). Motores de combustión interna (mci) operando con mezclas de etanol gasolina: revisión. Rev. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 26 (1). Universidad Militar Nueva Granada.
- García, C., Pacheco, R., Valdez, S., Márquez, E., Lugo, M. y Ezquerra, J. (2009). Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos. Rev. Cyta Journal of Food. Vol. 7.
- García, M., Gandón, J. y Maqueira, Y. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. La Habana, Cuba. Rev. Scielo. Vol.33, no.2.
- Google Earth. (2022). <https://earth.google.com/web/@-0.9685351,-80.66675584,38.80845352a,12382.21526117d,35y,0h,0t,0r>
- Gómez, E., Navas, F., Aponte, G., Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. Rev. Dyna, 81(184), 158-163. Medellín, CO. Universidad Nacional de Colombia.



- González, A., Jiménez, I., Rodríguez, S. y Restrepo, J. (2008). Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Bogotá, CO. Universidad de los Andes Colombia. Rev. De Ingeniería. Vol. 1 (28).
- González, E. (2012). Caracterización fisicoquímica de biodiesel producido a partir de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*). [Tesis de grado, Ingeniero en Agroindustria alimentaria, Zamorano]. Zamorano, Honduras.
- Guayara, A., Rodríguez, A. y Rubio, J. (2017). Evaluación del proceso de obtención de biodiesel por catálisis heterogénea a partir de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en el proceso de cocción. Rev. INNOVA, Journal, 2(12), 99-111.
- Guayara, A., Rodríguez, A. y Rubio, J. (2017). Evaluación del proceso de obtención de biodiesel por catálisis heterogénea a partir de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en el proceso de cocción. Quito, EC. INNOVA. Rev. Journal. Vol. 2 (12). Universidad Internacional SEK.
- Guerra, M. (2014). Modelado de un reactor catalítico heterogéneo para la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal. [Tesis de Ingeniería química, Universidad de Valladolid]. Escuela de Ingenierías Industriales. 134 pp.
- Guerrero, C., Parra, J. y Sierra, F. (2013). Optimization of biodiesel production process for Homogeneous catalysis from used cooking oil. Rev. Internacional Conference on Renewable and Power Quality. 1(11).
- Guldhe, A., (2015). Advances in synthesis+ of biodiesel via enzyme catalysis: Novel and sustainable approaches. Renewable y Sustentable. Energy Reviews, 41, 1447-1464. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.035
- Gutiérrez, J. y Pérez, D. (2019). Generación de biodiesel mediante el proceso de transesterificación a partir de aceite reutilizado utilizando un prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel en la ciudad de Estelí en el periodo 2018-2019. Estelí, Nicaragua. Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM-Estelí. UNAN-Managua.83 pp.
- Gutiérrez, U., González, A., Vera, J., Riesco, J. y Blancas, F. (2021). Evaluación del proceso de obtención de biodiesel a partir de grasa de pollo. Rev. Memorias del XXVII congreso internacional anual de la SOMIM 22 al 24 de septiembre de 2021, Pachuca, Hidalgo, Mexico. Universidad de Guanajuato, Salamanca.
- Heras, C. y Lojano, D. (2020). Estudio de la factibilidad de los aceites usados de palma y lubricantes para la elaboración de combustibles [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana sede cuenca], Repositorio Institucional UN.<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18776/1/UPS-CT008776.pdf>

- Heras, C. y Lojano, D. Estudio de la factibilidad de los aceites usados de palma y lubricantes para la elaboración de combustibles. [Tesis de grado, Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca], Cuenca, EC.
- Hernández, A. (2016). Desarrollo de una propuesta de disminución de los sedimentos (haze) generados en el proceso de fabricación de biodiésel de la empresa biodiésel de la costa. Bogotá, CO. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química.
- Hernández, L., Benítez, M. y Aguilera, B. (2018). Obtención y caracterización del biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* L. *Rev. Ciencia*, 1(1), 1-11. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba.
- Herrera, J. (2008). Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Pereira, CO. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química. Programa de Tecnología Química. 91 pp.
- Hinojosa, V. (2015). Producción de biodiesel a partir de microalgas nativas cultivadas en un fotobiorreactor a escala laboratorio. Quito, EC. [Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad San Francisco de Quito USFQ. 40 pp.
- Kara, K., Ounji, M., Lotfi, M., Mahi, M., Kasimi, M. y Ziyad, M. (2017). Biodiesel production from waste fish oil with high free fatty acid content from Moroccan fish-processing industries. *Rev. Egyptian Journal of Petroleum. Rev. Science Direct*, 27(2), 249-255. doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.07.010.
- Lasprilla, L. (2019). Propuesta para desarrollar un método de filtración para disminuir partículas contaminantes presentes en el biodiésel de recepción por la empresa idae ingeniería s.a.s. [Tesis de grado, Fundación Universidad de América-Facultad de ingenierías-Departamento de ingeniería Química]. <https://repository.uamerica.edu.co/>.
- Leung, D., y Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying. *Fuel Process Technol*, 87, 883-89
- Leyva, C. y Linares, G. (2017). Revisión: biocombustibles de segunda generación. [Tesis de grado, Ingeniería Agroindustrial]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9773/Leyva%20Guertero%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Llumitasig, M. y Soledispa, H. (2017). Caracterización energética del biodiesel obtenido por transesterificación a partir de materia orgánica y su influencia como aditivo en el rendimiento mecánico del motor del vehículo Mazda BT-50". Latacunga, EC. [Tesis de Ingeniería Automotriz, Departamento de ciencias de la energía y mecánica, ESPE]. 146 pp
- Lombeida, N. (2015). Diseño de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino (*Ricinus communis*). Quito, EC. [Tesis de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional]. 154 pp.

- López, L. Bocanegra, J. y Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. Bogotá, CO. Rev. Ing. Univ. Vol. 19 (1).155-172, enero-junio de 2015. ISSN 0123-2126
- Lozada, R. y Velázquez, J. (2009). Transesterificación alcalí-catalizada del aceite de higuera. Medellín, CO. Rev. Investigaciones aplicadas. Vol. 1(6). Universidad Pontificia Bolivariana.
- Machado, C. (2010). Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Biblioteca Olade. Organización Latinoamericana de Energía. Disponible en <http://biblioteca.olade.org/>
- Mancheno, M., Arévalo, P., Romero, J., Matute, D. y Ramos, R. (2017). Rev. Ciencias de la Vida. Vol. 26(2). [Ingeniería Ambiental en Biotecnología. Universidad Politécnica Salesiana]. Disponible en <http://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.09>
- Manrique, G. (2014). Caracterización de grasas y aceites. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. [https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/gmanrique/images/Grasas\\_y\\_Aceites.pdf](https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/gmanrique/images/Grasas_y_Aceites.pdf)
- Marín, J., Chinga, C., Velásquez, A., González, P. y Zambrano, L. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaerobios discontinuos. Rev. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Vol. 25 (1). 16 pp.
- Marquínez, A., Loor, N., Guamán, C., Vélez, J., Solórzano, K., Rodríguez, J. y Riera, M. (2020). Obtención de biodiesel a partir de aceite de coco (Cocos nucifera L.) Obtaining biodiesel from coconout oil (Cocos nucifera L.). Rev. Riera. Vol. 6 (1).
- Martínez, C., Beltrán, L. Ortiz, J. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética? El Fuerte, México. Rev. Ra Ximhai, vol. 8 (3b), pp 93-100. Universidad Autónoma Indígena de México
- Martínez, G., Ponce, R. y Reyes, L. (2007). Diseño del proceso químico a escala de laboratorio para la producción de biodiesel a partir de grasa de pollo. San Salvador, EL Salvador. [Tesis de Ingeniería Química, Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química]. 253 pp.
- Martínez, R. (2019). Elaboración y caracterización de biodiesel como energía alternativa a partir de aceite de pescado. [Tesis de grado, Universidad de Ibagué], Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12313/1288/1/Tra bajo%20de%20grado.pdf>
- Medina, E., Ruíz, M., Morales, J. y Cerezal, P. (2018). Evaluación del perfil de ácidos grasos de Isochrysisgalbana mediante el uso de métodos ácidos y

alcalinos de transesterificación. *Informador Técnico. Rev. Dialnet*. Vol. 83, 1. doi: <http://doi.org/10.23850/22565035.1574>

- Medina, I., Chávez, N. y Jáuregui, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable Aguascalientes, ME. Universidad Autónoma de Aguascalientes. *Rev. Investigación y ciencia*. Vol. 20 (55), pp 62-70.
- Medina, M. y Ospino, Y. (2011). Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales. Cartagena de Indias, CO. [Grupo de investigación INBIO. Tecnologías limpias. Universidad de Cartagena].
- Mehmood, A. y Saqib, J. (2020). Engine Performance and Emission Analysis using Neem and Jatropha Blended Biodiesel. *Rev. La granja*, 32(2), Universidad Politécnica Salesiana.
- Mohammed, S. y Amru, B. (2017). Biodiesel Production from Fish (Cyprinus carpio) Waste and Evaluation of Engine Performance. *Rev. Sains Malaysiana*, 46(10), 1771-1778. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2017-4610-14>
- Montenegro, M., Sierra, F. y Guerrero, C. (2012). Producción y caracterización de biodiesel a partir de aceite de pollo. *Rev. Informador Técnico*, 76(1), 62-71, Colombia.
- Montero, A. (2002). Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol. [Tesis de ingeniería química, Escuela superior de ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos]. 72 pp.
- Moreno, S., Barragán, M., Madrid, M., Henríquez, B., Campo, M., Rincón, L., Molina, M., Pineda, L. y López, A. (2009). Cómo definir los costos de tu empresa. *Cartilla práctica*. 62 pp. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/11865/100000208.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muentes, S., Sánchez, A., Labrada, B., Lafargue, F. y Díaz, M. (2018). Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L., en la provincia de Manabí, Ecuador. Santiago de Cuba, Cuba. [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Universidad de Oriente]. *Rev. Scielo*. Vol. 38 (2).
- Murcia, B., Chaves, L. y Rodríguez, W. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 15(1), 61-70.
- Navas, M. (2018). Estudio de catalizadores sólidos heterogéneos en la transesterificación de triglicéridos para obtener biodiesel de segunda generación. [Tesis doctoral en ciencias exactas, Centro de investigación y desarrollo. Repositorio Institucional CONICET Digital. <https://ri.conicet.gov.ar>

- Ordoñez, B., Chaves, L., Rodríguez, W., Murcia, M. y Alvarado, E. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Rev. UNAL, Art. De Investigación. CO.
- Orduz, O. y Portilla, J. (2017). Determinación de las curvas características de la sedimentación tipo ii con diferentes coagulantes comerciales a nivel laboratorio. Bogotá, CO. [Tesis de ingeniería civil, Universidad Católica de Colombia, Facultad de ingeniería civil]. 107 pp.
- Pacheco, F. (2019). Costo de producción. ED. Universidad de Santo Tomás. 1ra ED. 45 pp.  
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18470/M%C3%B3dulo\\_Costos\\_Produccion%20DIAGRAMACION.pdf?sequence=3](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18470/M%C3%B3dulo_Costos_Produccion%20DIAGRAMACION.pdf?sequence=3)
- Pagani, A. y Gualdoni, P. (2018). Sector pesquero. 2do Informe de monitoreo ciudadano. <https://nulan.mdp.edu.ar/3004/1/pagani-gualdoni-2018.pdf>
- Paredes, J. y Vidal, M. (2017). Diseño y construcción de una planta de producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado. [Tesis de grado, Ingeniero Mecánica, Universidad de San Francisco de Quito, 61 pp]
- Parra, J., Sierra, F. Fajardo, G. (2013). Optimization of biodiesel production process for homogeneous catalysis from used cooking oil. Conferencia: International Conference on Renewable Energies and Quality (ICREPQ2`13), 1(1), Bilbao, ES.
- Pasqualino, J. (2006). Cynara cardunculus as an alternative crop for biodiesel production. [Tesis doctoral en Química]. Tarragona, ES. 226 pp.
- Paz, J. (2017). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diésel por Espectroscopia Infrarroja. [Tesis de maestría, Universidad de Córdoba], Repositorio Institucional UN.  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v22n4/art05.pdf>.
- Pérez y Darquea (2018). Estudios de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales Rev. INNOVA, vol. 3 (3). URL.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>
- Pérez, F. y Urrea, M. (2011). Abastecimiento de aguas. Tema 7. Decantación y floculación. OCW UPCT. Disponible en <https://ocw.bib.upct.es>
- Pisarello, M. (2010). Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes, 247. Retrieved from. [Tesis de maestría, Universidad central de Cuenca], Repositorio Institucional UN.  
<http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/291/tesis.pdf?sequence=1>
- RAIG. (2018). Balanzas de precisión. Formato HTML. Disponible en <https://www.raig.com/blog/balanzas-de-precision-24/>

- Ramírez, H., Arteaga, H. y Siche, R. (2012). Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de colza silvestre (*Brassica Campestris*). [Universidad Nacional de Trujillo. Rev. Scientia Agropecuaria. Vol. 35 (44).
- Ramírez, M., Chávez, N., Jáuregui, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. Rev. Investigación y ciencia. 20(12), 62-70. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67424409008.pdf>
- Ramírez, T. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles. Pedro Escobedo, MX. [Tesis para maestro en ciencia y tecnología en la especialidad de Ingeniería Ambiental, Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica]. 74 pp.
- Ramos, F., Díaz, M. y Villar, M. (2016). Planta Piloto de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur-Conicet. Biocombustibles. Rev. CONICET. Vol. 25 (147). 5 pp.
- Ren, J., Tan, S., Dong, L., Mazzi, A., Scipionia, A. y Sovacool, B. (2014). Determining the life cycle energy efficiency of six biofuel systems in China: A Data Envelopment Analysis. *Bioresource Technology*, 162, 1–7.
- Résendiz, M., Mendoza, R. y Bravo, P. (2019). Biodiesel y Combustóleo, alternativa Sostenible. [TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río. UAEH].
- Reyes, P. y Di Scipio, S. (2012). Caracterización físico-química de emulsiones de aceite de maíz en agua. Caracas, VE. [Universidad Simón Bolívar. Departamento de Termoquímica y fenómenos de transferencia]. Rev. De la Facultad de Ingeniería Vol. 27 (1). Pp 56- 69.
- Ríos, G. y Gómez, L. (2008). Análisis de costeo para un sistema de producción de lechería especializada “un acercamiento al análisis económico en ganadería de leche”: Estudio de caso. Rev. Dyna. 1 (155). 37-46
- Rodríguez, A. (2019). Producción y análisis de muestras de biodiesel para el proyecto de Cooperativa Cowichan Bio-Diesel Co-op en Alberta, Canadá. [Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Industrial y de Alimentos]. [https://academic.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/35004/Trabajo%20final%20de%20grado\\_Asier%20Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academic.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/35004/Trabajo%20final%20de%20grado_Asier%20Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, J. (2011). Análisis de sistemas catalíticos empleados en la obtención de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha Curcas*. [Caso de estudio, Especialización en Química aplicada]. 45 pp. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/378/1/Juan%20Carlos%20Ortiz%20Rodriguez.pdf>
- Rodríguez, J., Ruiz, L., Santoyo, M. y Miranda, L. (2016). Determinación del índice de acidez y acidez total de cinco mayonesas. Rev. Investigación y Desarrollo

en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1 (2). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias Biólogas.

- Rojas, A. y Girón, E. (2011). Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales: una revisión. *Rev. Ing Unv*, 15(1), 197-218.
- Rojas, D., Salazar, J., Montoya, D. y Muñoz, E. (2019). Problemática de la contaminación del aire en Colombia y estrategias de solución para la calidad del Aire en Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia). *Problemática de la contaminación del aire en Colombia. Rev. Ambiental Éolo. Ed.* (18).
- Ruiz, M. (2016). Metodología de purificación del biodiesel producido en la planta experimental de RECOPE, utilizando resinas de intercambio iónico. San Pedro- Montes de Oca, Costa Rica. [Tesis de licenciatura Química, Universidad de Costa Rica, Facultad de ciencias Básicas]. 86 pp.
- Ruiz, P. (2012). Biodiésel. Obtenido de Estudio de la Viscosidad: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9403>
- Salinas, E. y Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. Distrito Federal, ME. *Rev. El cotidiano*, Vol 1 (157). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- Sánchez, I. y Figueroa, M. (2013). Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenidoporExpresiónde5 especies nativas y cultivadas en Guatemala: *Crescentia cujete*(Morro), *Mammea americana* (Mamey), *Pachira aquatica* (Zapotón), *Cucumis melo* (Melón) y *Acrocomia mexicana* (Coyolio). Guatemala. [Tesis de Química farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia]. 151 pp.
- Sánchez, S., Torres, A., Lugo, R., Cervantes, J. Torres, E. (2016). Caracterización de propiedades físicas del biodiesel a partir de aceite de coco y medición del poder calorífico. Durango, Dgo. *Memorias del XXXI Congreso Nacional de Termodinámica*.
- Sánchez, Y., Piloto, R., Pérez, L. y Frontela, N. (2012). Predicción del número de cetano de biocombustibles a partir de su composición de ácidos grasos. *Rev. Ingeniería mecánica*, 15(2), La Habana. Instituto Superior Politécnico José Echeverría.
- Serrano, A. y Lucas, V. (2016). Construcción de un reactor piloto para la generación de biodiesel a base de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) en la ESPAM "MFL". Bolívar- Manabí, EC. [Tesis de ingeniería en medio ambiente, ESPAM "MFL"]. 57 pp.
- Solís, J. (2017). Diseño y construcción de un reactor híbrido tipo batch para la producción de biocombustibles: biodiésel y bioetanol como caso de estudio. Nuevo León, ME. [tesis de magister en ciencias de la ingeniería con

orientación en energías térmica y renovable, Universidad autónoma de Nuevo León, Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica]. 168 pp.

- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. *Rev. Investigación y Desarrollo. Departamento de Capacitación y desarrollo de Mercado.* 15 pp.
- Torossi, F. (2006). Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiésel a partir de aceite de fritura usado. *Rev. An Quím.* 102(3). 43-49, Real Sociedad Española de Química.
- Torres, A., Castillo, V., Lugo, R., Lugo, H., Cervantes, J., Aguilar, R. (2015). Poder calorífico inferior de biodiesel de distintas fuentes y su desempeño en el motor. Pachuca, Hgo. [Memorias del XXX Congreso Nacional de Termodinámica].
- Torres, L., Ben, Ch., Alcocer, B. y De la Rosa, D. (2017). Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. Cancún, ME. *Rev. De ciencias naturales y agropecuarias.* Vol. 4 (13). Instituto Tecnológico de Cancún.
- Torres, M. (2020). Ambiental Determinación del índice de cetano aproximado, la viscosidad cinemática y las propiedades geológicas del biodiesel a nivel laboratorio. [Tesis de maestría, Escuela de Ingeniería Química]. Repositorio Institucional UN.  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lin/torres\\_gonzalez\\_ma/etd\\_4061136273481.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lin/torres_gonzalez_ma/etd_4061136273481.pdf)
- Valencia, J., Saavedra, S., Porras, O., Bermúdez, C. y Gonzales, J. (2018). Obtención de Biodiésel a partir de aceite y semillas de *Jatropha curcas*, utilizando catalizadores inmovilizados y transesterificación in situ asistida por ultra sonido. *Rev. ESPACIOS,* 39(16), pag. 24.
- Vallejos, H. y Chiliquinga, M. (2017). Costos. Modalidad Órdenes de Producción. [Universidad Técnica del Norte]
- Vera, F., Ormaza, R., Coello, J., Yanchapanta, V. y Gusqui, S. (2018). Aplicación de un diseño experimental completamente al azar para determinar la variabilidad de tamaños en la síntesis de nanopartículas magnéticas de hierro. *Rev. Ciencia Digital.* 2 (41). 140-153.
- Vertís, E. (2009). Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1279/IME\\_141.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1279/IME_141.pdf?sequence=1)
- Vidales, A., Leos, M. y Campos, M. (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. Aguascalientes, ME. *Rev. Conciencia Tecnológica.* (40). Instituto Tecnológico de Aguascalientes.



- Vivas, A. (2010). Estudio y obtención de biodiesel a partir de residuos grasos de origen bovino. [Tesis de grado, Químico Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira].
- Vizueté, G., Pizarro, E. y Téllez, O. (2018). Plan de manejo de residuos de pescado para el Puerto Pesquero Artesanal de Coquimbo. Coquimbo, Chile. Universidad Técnica de Manabí. Rev. Agrociencias. Núm. 19.
- Zafra, O. (2006). Tipo de investigación. Bogotá, CO. Revista científica general José María Córdova, 4(4).13-14.
- Zapata, W. y Méndez, W. (2014). Desarrollo de la metodología analítica de determinación de parámetros de calidad en aceite vegetal de consumo humano y de tempate para uso como combustible. León, Nicaragua. [Tesis (Lic. en Química), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Departamento de Química]. 90 pp. <http://hdl.handle.net/123456789/3431>
- Zuleta, E., Díaz, J. y Bastidas, M. (2007). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elais guineensis*) con etanol. Rev. Energética, 1(38), 47-53. Medellín, CO.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. Proceso de obtención del aceite



Anexo 1-A. Trampa de grasa.



Anexo 1-B. Recopilación de la muestra



Anexo 1-C. Filtración del aceite

## ANEXO 2. Análisis físico-químicos del aceite



Anexo 2-A. Análisis de densidad con pignómetro.



Anexo 2-B. Análisis de viscosidad Humedad



Anexo 2-C. Análisis de densidad Humedad

## ANEXO 3. Proceso de transesterificación



Anexo 3-A. Medición cantidad de aceite



Anexo 3-B. Montaje del experimento



Anexo 3-C. Proceso de transesterificación



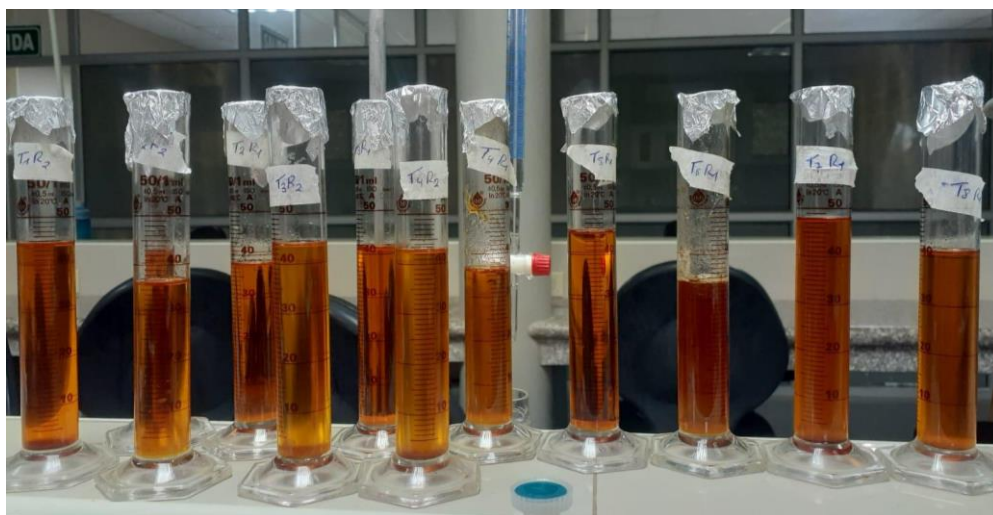
**Anexo 3-D.** Separación de la glicerina



**Anexo 3-E** Lavado del biodiesel



**Anexo 3-F** Lavado final del biodiesel



**Anexo 3-G** Resultado del proceso de transesterificación.

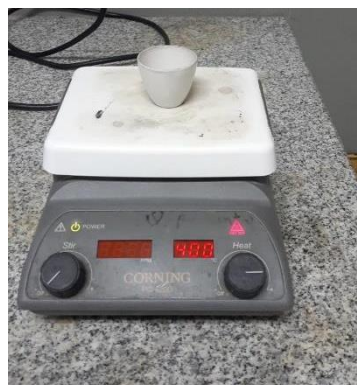
VOLUMEN	TRATAMIENTO	REPETICIONES (ml)		
		R1	R2	R3
50	T1	41	40	40
	T2	37	36	36
	T3	41	43	42
	T4	39	40	41
	T5	45	44	45
	T6	34	32	32
	T7	48	46	47
	T8	40	39	40

**Anexo 3-H.** Resultado en volumen de la aplicación de los tratamientos.

#### ANEXO 4. Caracterización del biodiesel



**Anexo 4-A.** Análisis de densidad del biodiesel.



**Anexo 4-B.** Análisis de cenizas del biodiesel



**Anexo 4-C.** Filtrado del biodiesel.