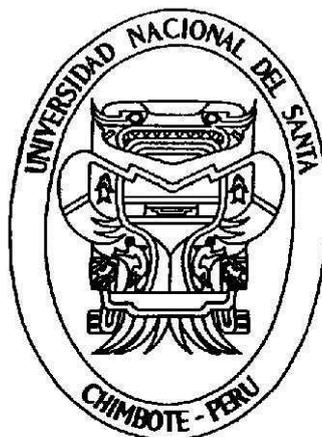


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE ACIDEZ EN EL PODER  
CALORÍFICO DEL BIODIESEL, OBTENIDO A PARTIR DE  
ACEITES RECICLADOS DE COCINA”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGIA**

**AUTORES**

**Bach. MARY CARMEN DIAZ ALVAREZ**

**Bach. SHEYLA MELINA GUERRERO ARRELUCEA**

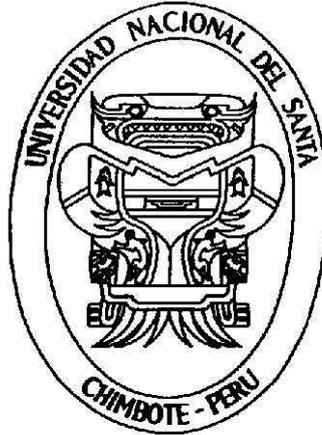
**ASESOR**

**Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN**

**Chimbote – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

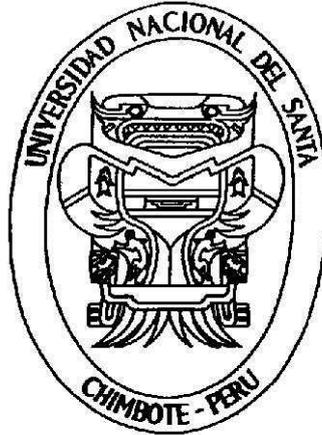
El presente Informe de Tesis titulado **“Influencia del Índice de Acidez en el Poder Calorífico del Biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina”**, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía. Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de Asesor

---

**ASESOR**

**Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE**  
**INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente Informe de Tesis titulado “Influencia del Índice de Acidez en el Poder Calorífico del Biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía. Ha contado con la revisión de quienes dejan constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmamos el presente trabajo en calidad de Jurados.

**REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR**

---

Mg. Hector Domingo Benites Villegas  
Presidente

---

Mg. Robert Fabian Guevara Chinchayan

---

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores

## **DEDICATORIA**

La concepción de esta investigación está dedicada a nuestros padres, pilares fundamentales en nuestras vidas, quienes han velado por nuestro bienestar y educación, siendo nuestro apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se nos presentaba sin dudar ni un solo momento en nuestra inteligencia y capacidad. Sin ellos, jamás hubiésemos podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar.

A Dios porque ha estado con nosotros a cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al culminar este trabajo de investigación queremos expresar nuestro agradecimiento a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, por cada momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda, agradecerles por la claridad y exactitud con la que nos enseñaron en cada clase, discurso y lección, que gracias a ellos se pudo lograr con éxito el desarrollo de la presente tesis.

Agradecemos también a nuestro asesor de Tesis el Ing. Robert Guevara Chinchayan por guiarnos en el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, agradecemos a los profesores encargados de los laboratorios de química y a Mirthyan Zafra Tejada por su apoyo en la parte experimental de la tesis.

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo determinar la composición fisicoquímica de aceites reciclados y del biodiesel y analizar la influencia del índice de acidez en el poder calorífico para optimizar el potencial energético del biodiesel.

Se realizó un análisis fisicoquímico a cada uno de los siguientes tipos de aceite: fresco, usado, reusado y desechado provenientes de la pollería “El Gigante” localizada en la ciudad de Nuevo Chimbote. Se evaluaron los siguientes parámetros: Densidad, humedad, índice de acidez, pH y el Índice de Peróxidos. Se ensayaron cuatro diferentes cantidades de catalizadores para la reacción de transesterificación manteniendo en todos los casos la cantidad de 200 ml de aceite y 50 ml de Metanol, tiempo de reacción (100 minutos) y temperatura de reacción (60°C).

Al biodiesel obtenido en cada caso se le determinó el Punto de Inflamación, índice de cetano, viscosidad cinemática, índice de acidez, poder calorífico y densidad.

Las propiedades del biodiesel obtenido cumplen con las especificaciones técnicas de las normas ASTM.

Gráficamente se observa que el punto máximo se alcanza cuando el índice de acidez es de 0.295 mg KOH/g con un Poder Calorífico de 47009.34 kJ/kg. Lo que nos indica que es recomendable trabajar con Aceites reciclados con un solo uso.

El Poder Calorífico del biodiesel disminuye cuando el índice de acidez es mayor a 0.30 mg KOH/g, dado que es un aceite reciclado de varios usos y desechados. Pero no se descarta el poder utilizar los aceites reciclados con varios usos, ya que se puede dar un tratamiento adecuado para su aprovechamiento.

Palabras Claves: Aceite reciclados, Biodiesel, Índice de Acidez, Poder Calorífico.

## ABSTRACT

The objective of this project was to determine the physicochemical composition of recycled oils and biodiesel and to analyze the influence of the acidity index on the calorific power to optimize the biodiesel's energy potential.

A physicochemical analysis was carried out for each of the following types of oil: fresh, used, reused and discarded from the restaurant "El Gigante" located in the city of Nuevo Chimbote. The following parameters were evaluated: Density, humidity, acidity index, pH and the Peroxide Index. Four different amounts of catalysts were tested for the transesterification reaction while maintaining in all cases the amount of 200 ml of oil and 50 ml of methanol, reaction time (100 minutes) and reaction temperature (60 ° C).

The Biodiesel obtained in each case was determined the Flash Point, cetane number, kinematic viscosity, acidity index, calorific power and density.

The properties of the biodiesel obtained comply with the technical specifications of the ASTM standards.

Graphically it is observed that the maximum point is reached when the acidity index is 0.295 mg KOH / g with a calorific power of 47009.34 kJ / kg. Which indicates that it is advisable to work with recycled oils with a single use.

The calorific power of biodiesel decreases when the acidity index is higher than 0.30 mg KOH / g, given that it is a recycled oil of various uses and discarded. But it is not ruled out to be able to use recycled oils with various uses, since it can be given an adequate treatment for its use.

**KEYWORD:** Recycled oil, Biodiesel, Acidity Index, Calorific Power.

## ÍNDICE

|   | Pág.     |
|---|----------|
| Hoja de conformidad del asesor  | i        |
| Hoja de conformidad del jurado evaluador de la tesis                        | ii       |
| Dedicatoria   | iii      |
| Agradecimiento  | iv       |
| Resumen   | v        |
| Abstract  | vi       |
| <b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>   | <b>1</b> |
| 1.1 Realidad Problemática   | 2        |
| 1.2 Antecedentes  | 4        |
| 1.3 Formulación de Problema   | 6        |
| 1.4 Importancia y justificación   | 6        |
| 1.5 Hipótesis   | 7        |
| 1.6 Objetivos   | 7        |
| <b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b>   | <b>8</b> |
| 2.1 Biodiesel   | 9        |
| 2.2 Características del biodiesel a partir de aceites vegetales             | 10       |
| 2.3 Propiedades   | 13       |
| 2.4 Materias primas para la producción de biodiesel                         | 15       |
| 2.5 Análisis de calidad de aceite   | 17       |
| 2.6 Condiciones necesarias para la obtención de biodiesel                   | 19       |
| 2.7 Parámetros físicas y químicas de calidad biodiesel                      | 25       |
| 2.8 Especificaciones a cumplir necesarias para el uso adecuado de biodiesel | 34       |

|   |    |
|---|----|
| 2.9 Efecto de la acidez y la humedad en el proceso de transesterificación   | 34 |
| 2.10 Principio de funcionamiento de la bomba calorimétrica                  | 35 |
| <b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS</b>                                   | 38 |
| 3.1 Lugar de ejecución  | 39 |
| 3.2 Materiales y equipos  | 39 |
| 3.3 Métodos   | 47 |
| 3.4 Métodos para la obtención de biodiesel                                  | 48 |
| 3.5 Análisis físico y químico de las muestras de biodiesel                  | 49 |
| 3.6 Diseño experimental   | 52 |
| <b>CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS</b>                                   | 54 |
| 4.1. Calculo del volumen de Metanol (CH <sub>3</sub> OH) a usar             | 55 |
| 4.2. Análisis Físico y Químico de las muestras de aceite residual de cocina | 56 |
| 4.3. Obtención de biodiesel   | 59 |
| 4.4. Análisis Físico y Químico de las muestras de biodiesel                 | 60 |
| 4.5. Influencia del Índice de Acidez en el Poder Calorífico del Biodiesel   | 61 |
| <b>CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>                                  | 62 |
| <b>5.1. Discusión de Resultados</b>   | 63 |
| <b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                          | 68 |
| 6.1. Conclusiones   | 69 |
| 6.2. Recomendaciones  | 71 |
| <b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA</b>   | 73 |
| <b>ANEXOS</b>   | 76 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel. | 9  |
| <b>Figura 2.</b> Reacción presente en la transesterificación                     | 21 |
| <b>Figura 3.</b> Esquema del viscosímetro de Ostwald                             | 28 |
| <b>Figura 4.</b> Esquema del Vaso abierto Cleveland                              | 30 |
| <b>Figura 5.</b> Esquema de la Bomba Calorimétrica                               | 31 |
| <b>Figura 6.</b> Reacción de oxidación de un ácido graso                         | 32 |
| <b>Figura 7.</b> Componente de la bomba calorimétrica                            | 36 |
| <b>Figura 8.</b> Gráfica del Poder Calorífico en Función al Índice de Acidez     | 61 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Propiedades físicos y químicos del biodiesel vs diésel mineral | 15 |
| <b>Tabla 2.</b> Parámetros físicos y químicos del biodiesel                    | 26 |
| <b>Tabla 3.</b> Caracterización de las muestras de aceite reciclado de cocina  | 59 |
| <b>Tabla 4.</b> Cantidades de Catalizador NaOH para cada ensayo.               | 60 |
| <b>Tabla 5.</b> Caracterización de las muestras de biodiesel.                  | 60 |
| <b>Tabla 6.</b> Índice de acidez y Poder Calorífico del Biodiesel              | 61 |

## **ANEXOS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Anexo 1.</b> Procedimiento                                 | 76 |
| <b>Anexo 2.</b> Especificaciones de aceite vegetal comestible | 83 |
| <b>Anexo 3.</b> Especificaciones del Biodiesel (B100)         | 84 |

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La situación actual por la que pasan los países del mundo para obtener recursos energéticos es urgente, debido a la escasez de yacimientos de recursos petrolíferos y al aumento de la demanda de energía en los últimos años.

El Perú tiene un alto consumo de combustible diesel comparado con el de las gasolineras. El uso de combustibles fósiles ha afectado el equilibrio ecológico de nuestro planeta, teniendo efectos sobre el clima y causando alrededor de 4,000 muertes cada año en Lima, en consecuencia, a los contaminantes atmosféricos como óxidos de azufre y partículas, cuyas emisiones al aire son atribuidas al parque automotor (Consejo Nacional del Ambiente, 2004).

Los estudios realizados en varios países indican que el biodiesel obtenido de aceites reciclados de cocina probablemente no reemplace al combustible diesel completamente; sin embargo, una sustancial cantidad de diesel puede ser mezclado con biodiesel preparado de aceites reciclados de cocina, ayudando en parte a disminuir la dependencia de combustible basado en petróleo.

El gobierno peruano impulsa la producción del biodiesel, ya que desde el año 2003 se cuenta con la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles (Ley N° 28054); sin embargo, no se cuenta con una norma técnica definida para este combustible. El gobierno viene orientando sus acciones tomando como referencia la normativa de los Estados Unidos.

Los aceites reciclados de cocina poseen distintos índices de acidez debido al tipo de aceite, al tiempo de utilización y a la temperatura con la que han sido utilizados.

El índice de acidez de aceites reciclados resultan ser muy negativos en cuenta al rendimiento debido a la formación de jabones mediante la neutralización de los

ácidos grasos libres en el aceite y saponificación de triglicéridos (Cvengros y Povazanec, 1995).

La neutralización de los ácidos grasos libres se puede evitar utilizando aceites de bajo índice de acidez. Sin embargo, los aceites más rentables económicamente presentan cierto contenido en ácidos, como los aceites o grasas usadas (Freedman et al., 1984).

La reacción de saponificación puede evitarse parcialmente utilizando aceites y alcoholes esencialmente anhidros (Wright et al., 1944). Se debe tener buena prevención con las condiciones de reacción, con la temperatura y concentración de catalizador para reducir al máximo la saponificación.

Es por ello que esta investigación aporta a la ampliación del campo de estudio del biodiesel, se buscara un índice de acidez óptimo del aceite reciclado de cocina para dar un valor máximo del Poder Calorífico del Biodiesel y de esta manera no depender mucho del Diesel, sino que sea en cantidades sustanciales.

## 1.2. ANTECEDENTES:

**Bouaid, Vázquez, Martínez y Araci (2015).** Demostraron que se puede lograr producir biodiesel de alta calidad a partir de muestras de aceite de fritura usado con diferentes ácidos grasos libres (AGL) contenidos de hasta el 4%. Se ha observado que el rendimiento de éster metílico (biodiesel) disminuye de 97,2% a 95% por aumento del contenido de AGL del aceite de 0% a 4%.

**Zavaleta y Suavo (2016).** Demostraron que es posible obtener biodiesel con aceites vegetales residuales de restaurantes, ya que su grado de acidez (1,56%) fue inferior al 3%. Las condiciones óptimas para lograr la máxima conversión de la reacción se obtuvieron cuando se usó una concentración de metanol del 30%, una concentración de hidróxido de potasio del 0,4% respecto al peso del aceite y un tiempo de reacción de 3 hrs 30 min a una temperatura constante de 60°C. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento de biodiesel del 85,97%. Al biodiesel obtenido bajo las mejores condiciones de reacción se le analizó el número de acidez, obteniendo el valor de 0,68 mgKOH/g.

**Herrera y Velez (2008).** Estudiaron la caracterización del aceite residual de frituras de la industria alimentaria de Colombia, y obtuvieron biodiesel por medio de transesterificación a base de metanol. Obteniendo un biodiesel con un grado de acidez de 2.47 % y un Poder Calorífico de 46913.18 kJ/kg. Todos los resultados de la caracterización fueron comparados con las especificaciones técnicas estipuladas en las normas internacionales para biocombustibles, concluyéndose que se obtuvo un biocombustible con propiedades físico-químicas dentro de los rangos aceptados por las normas ASTM, lo cual hace a este residuo una materia adecuada para la obtención del biodiesel.

**Echeverría, Martínez, Medina, Rodríguez y Ruiz (2013).** En su trabajo estudiaron el efecto de la temperatura (55-65°C), cantidad de catalizador (0.25-0.5 g KOH) y relación aceite/metanol (0.1-0.3) para la síntesis de biodiesel a partir de ácidos grasos de aceite de cocina usado. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas como densidad (g/cm<sup>3</sup>), viscosidad (cSt) y poder calorífico (MJ/Kg) de diferentes muestras de biodiesel obtenido y se compararon con las del biodiesel comercial. En los resultados notaron que el efecto de la temperatura sobre el poder calorífico es significativo, al aumentar 10°C la temperatura de 55 a 65°C, el poder calorífico disminuye de 51.55 a 37.42 MJ/Kg.

**Ramirez (2006).** La viscosidad, densidad e índice de acidez son los parámetros físicos para determinar el rendimiento del biodiesel, estos tres parámetros son representativos en la calidad del biodiesel.

**La NTP 209.001 (1983).** Muestra valores que deben cumplir todos los aceites vegetales comestibles. Indica que el índice de acidez debe ser menor de 0.2 mg KOH/g aceite para ser utilizado para consumo Humano.

**La NTP 321.125 (2008),** muestra valores que deben cumplir los biodiesel. Indica que el máximo Número Acidez del biodiesel debe ser de 0.5 mg KOH/g, valor obtenido por el método ASTM D 664.

**Benjumea, Agudelo, Zapata y Mendoza (2004).** Probaron exitosamente un ómnibus impulsado con biodiesel elaborado a base de aceite reciclado donado por la red de comida rápida McDonald's. Este tipo de aceite residual usado en Río de Janeiro también es objeto de estudios en otras partes del país. En otros proyectos, los comedores universitarios y colegiales recolectan el aceite usado el cual posteriormente es transformado en biodiesel para impulsar los vehículos de transporte público (Benjumea et al., 2004).

Martínez et al. (2015). Obtuvieron con éxito un biodiesel a partir de aceite de cocina usado, con un índice de acidez de 0.32 mg KOH/g y un rendimiento de 83.5 %.

### **1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA:**

¿En qué medida el índice de acidez influye en el poder calorífico para que el biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina, sea el óptimo?

### **1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION**

La necesidad de fuentes alternativas de energía es primordial debido a diversos aspectos como: el agotamiento irreversible de los combustibles fósiles, el impacto negativo sobre el medio ambiente de las emisiones de dióxido de carbono y la contaminación directa del suelo y el agua en los procesos de extracción y transporte de crudo de petróleo.

El biodiesel, preparado a partir de aceite usado de cocina tiene dos ventajas muy importantes, por una parte se evita la emisión de gases contaminantes como producto de la combustión porque no contiene azufre y la presencia de oxígeno en su composición química hace que la combustión sea más completa, reduciendo la emisión de partículas de carbono elemental, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados y la otra ventaja es que se realiza un reciclaje de material de uso altamente contaminante antes de ser eliminados y lleguen a la bahía por medio de las tuberías.

Para lograr minimizar la dependencia del petróleo diesel; se debe lograr que en el proceso de obtención de biodiesel se consigan balances energéticos positivos y lleguen al mercado a un coste similar al de los productos derivados del petróleo a los que se pretende sustituir (Ballesteros, 2003).

En el presente trabajo de investigación se encontró el poder calorífico máximo en función al índice de acidez del biodiesel a partir de aceites reciclados de cocina, así

como diversos parámetros físico-químicos que le dan calidad a la muestra, para poder servir de aplicación a motores de combustión interna.

## **1.5. HIPOTESIS**

La influencia del incremento del índice de acidez hasta el 0.2 mg KOH/g, permite alcanzar un valor óptimo en el poder calorífico del biodiesel obtenido a partir de aceites reciclados de cocina de hasta 45 000 kJ/kg.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo General:**

Analizar la influencia del índice de acidez en el poder calorífico para optimizar el potencial energético del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina.

### **1.6.2. Objetivos Específicos:**

- Analizar las muestras de aceites reciclados de cocina, para la obtención de biodiesel.
- Determinar la composición fisicoquímica de las muestras de aceites reciclados de cocina.
- Obtener biodiesel a través de una reacción de transesterificación por medio de metanol.
- Determinar la composición fisicoquímica de las muestras de biodiesel.
- Determinar numéricamente la influencia del índice de acidez en el poder calorífico inferior del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina.

## **CAPITULO II**

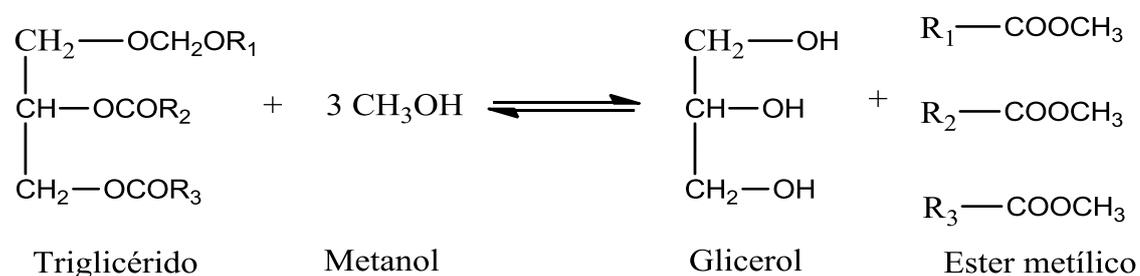
### **MARCO TEORICO**

## 2.1. BIODIESEL

El biodiesel está constituido generalmente de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos de cadena larga; se obtiene a partir de la reacción (denominada Transesterificación) entre un tipo de aceite vegetal u otro cuerpo graso y un alcohol en presencia de un catalizador, para ser utilizados tanto en fuentes fijas (hornos, calderas, motores diesel estacionarios) como móviles (motores de ignición por compresión - motores diesel) (Barriga, 2011, p. 6).

La ASTM (American Standards for Testing and Materials) lo define como “Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplean en los motores de ignición de compresión o en calderas de calefacción”.

La Figura 1 muestra la reacción que transforma las moléculas de triglicéridos, grandes y ramificadas, en moléculas de ésteres alquílicos, lineales, no ramificadas, de menor tamaño y muy similares a las del petrodiesel.



**Figura 1.** Reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel.

**Fuente:** (Crespo & Martínez, 2001)

Los aceites vegetales y las grasas animales están constituidos por moléculas de ácidos grasos y glicerol. A éste último, los aceites y grasas le deben su elevada viscosidad. El proceso de Transesterificación, en sencillo, consiste en reemplazar el

glicerol (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente («más ligero») usualmente Metanol o Etanol, formando moléculas más pequeñas (ésteres monoalquílicos, comúnmente denominado biodiesel), con una viscosidad similar a la del combustible diésel derivado del petróleo. (Castro Pareja, 2007)

## **2.2. CARACTERISTICAS DEL BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES VEGETALES**

Según Montefrío (2010) las características que presenta el biodiesel desde el punto de vista cualitativo son las siguientes:

- Presentan propiedades mejores que el diésel y mayor índice de cetano.
- Es un biocombustible seguro en su manejo y almacenamiento.
- Mayor eficiencia térmica en los motores (alta relación de compresión).
- Un requerimiento de un control preciso del tiempo de ignición (emisiones rendimiento).

### **VENTAJAS:**

- El biodiesel no contiene azufre, ni compuestos aromáticos, metales o residuos de petróleo.
- Logra producir una combustión más limpia, disminuye en un 90% la cantidad de hidrocarburos, sin quemar monóxidos de carbono y aldehídos.
- Es biodegradable.
- Es el principal combustible alternativo en cumplir con los requisitos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA)
- Este Biodiesel es un recurso renovable, biodegradable y no tóxico.
- Además, funciona en cualquier motor diésel convencional, no requiere ninguna modificación. Puede almacenarse puro o en mezcla, igual que el diésel.

- Puede almacenarse en cualquier lugar donde el petrodiesel se guarda, excepto en tanques de concreto; en elevados niveles de mezcla, produce el deterioro de materiales de goma y poliuretano. Por su poder de solvente, el biodiesel produce la limpieza de los tanques usados por el diésel de petróleo.
- El combustible debe ser almacenado en un ambiente limpio, seco y oscuro, debiendo obviar temperaturas extremas. Por otra parte, no requiere mayores cambios en las estaciones expendedoras.
- Este biocombustible puede usarse puro o mezclarse en cualquier proporción con el combustible diésel de petróleo.
- la combustión de biodiesel disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales quemados, entre 75-90% en hidrocarburos aromáticos.
- Este biodiesel no presenta aumentos de emisiones de dióxido de carbono, ya que las reducidas emisiones en comparación con el petrodiesel, se compensan con la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de las semillas oleaginosas.
- Es biodegradable en solución acuosa, el 95% desaparece en 28 días y tiene un punto de inflamación de 150°C que se compara muy favorablemente al diésel de petróleo cuyo valor es de 50° C.
- La producción de biodiesel se realiza a partir de cultivos que abundan en nuestro país, como es la palma africana.
- El biodiesel combustible probado satisfactoriamente en más de 15 millones de km en los Estados Unidos y por más de 20 años en Europa.
- Los olores desagradables de la combustión del diésel del petróleo, son remplazados por el aroma de las palomitas de maíz o papas fritas que se producen con el biodiesel.

- La Oficina del Presupuesto del Congreso y el Departamento de Defensa, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, junto con otros organismos han determinado que el biodiesel es la opción más económica de combustible alternativo que reúne todos los requisitos del Acta de Política Energética.
- Mejora la cohesión económica y social y posibilita la creación de puestos de trabajo.
- Ayuda a contribuir a reducir la dependencia de combustible fósil del país.
- Reducirán las importaciones de diésel mineral.

#### **DESVENTAJAS:**

- Uno de los mayores problemas que se encuentran a la hora de decidir el uso de Biodiesel como combustible es el de las malas propiedades que posee a bajas temperaturas. Para un Biodiesel procedente de un aceite residual el Punto de Obstrucción por Filtros Fríos (POFF) está entre  $-7$  y  $0$  °C , lo cual es insuficiente para invierno.
- Mayor Viscosidad. Debido a que el biodiesel tiene una viscosidad mayor que el diesel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores. Si el spray es alterado por el flujo de combustible se puede generar una coquización del inyector o dilución del lubricante.
- Problemas de Corrosión. Pueden aparecer algunos problemas debido a corrosiones y partículas de desgaste en el aceite, que hay que tener en cuenta no solo en lo que afecta al motor, sino también respecto a la instalación.
- La presencia de K y Na puede causar la precipitación de jabones obstruyendo los filtros. Estos se presentan en el Biodiesel debido a un defectuoso proceso de lavado en su producción.
- Glicerina Libre y Total. Hay que controlar muy bien los niveles de estos dos

parámetros debido a que afectan de forma muy directa a la bomba de inyección.

- Problemas de Estabilidad. Posee menor estabilidad a la oxidación que el diesel debido a que posee dobles enlaces y oxígeno en su molécula. Esto es importante a la hora de almacenar durante mucho tiempo el biodiesel.
- Precios poco competitivos frente a los derivados fósiles y el enfrentamiento de cultivos energéticos, que también son empleados como cultivos alimenticios, lo que producen una situación poco deseada al entremezclar el mercado alimenticio con el de los combustibles, distorsionando los precios y creando un impacto desfavorable en el mercado.

## **EMISIONES**

Las principales emisiones contaminantes del biodiesel son los óxidos de nitrógeno, los cuales incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). (Benjumea, Agudelo, & Cano, 2004)

## **2.3. PROPIEDADES**

El biodiesel tiene mejores propiedades lubricantes y mucho mayor índice de cetano que el diésel de poco azufre. El agregar en una cierta proporción biodiesel al gasóleo reduce significativamente el desgaste del circuito de combustible; y, en baja cantidad y en sistemas de altas presiones, extiende la vida útil de los inyectores que dependen de la lubricación del combustible. (Methanol Institute, 2006)

El poder calorífico del biodiesel es 37,27 MJ/L (megajulios por litro) aproximadamente. Esto es un 9% menor que el diésel mineral. La variación del poder calorífico del biodiesel depende de la materia prima usada más que del proceso. (Kaltschmitt et. al, 1997)

El biodiesel es líquido a temperatura ambiente y su color varía entre dorado y marrón

oscuro según el tipo de materia prima usada. Es inmiscible con el agua, tiene un punto de ebullición alto y baja presión de vapor. Su punto de inflamación (superior a 130 °C) es mucho mayor que el del diésel (64 °C) o la gasolina (40 °C). Tiene una densidad de aproximadamente 0,88 g/cm<sup>3</sup>, menos que el agua. (ASTM D6751, 2008)

Más allá, no tiene virtualmente ningún contenido de azufre y se suele mezclar como aditivo con el diésel de bajo contenido en azufre. (Bruce S, MacDonald, Barker, Robert , & William, 2007).

La conversión de triglicéridos en ésteres de metilo o etilo a través del proceso de transesterificación, reduce el peso molecular a un tercio del triglicérido y también reduce la viscosidad en un factor de aproximadamente ocho y aumenta la volatilidad marginalmente. El biodiesel tiene una viscosidad cercana a los combustibles diésel. Estos ésteres contienen 10-11% de oxígeno en peso, lo que puede fomentar más combustión en un motor alimentado con el diésel basado en hidrocarburos en un motor. El uso de grasas animales, puede ser eficaz para mejorar la calidad de ignición del combustible diésel terminado sin tener ningún efecto negativo en sus propiedades de flujo en frío. Dado que la volatilidad aumenta marginalmente, el problema de arranque persiste en condiciones de frío. El biodiesel tiene menores valores de calentamiento volumétrico (alrededor del 12%) que los combustibles diésel, pero tiene un alto índice de cetano y punto de ceniza. Los factores químicos que influyen en las propiedades de lubricidad de Biodiesel es el éster metílico y los monoglicéridos son la composición principal que determina la lubricidad del biodiesel que cumple con los estándares internacionales. Los ácidos grasos libres y los diglicéridos también pueden afectar la lubricidad del biodiesel, pero no tanto como los monoglicéridos. El biodiesel se considera combustible limpio que no tiene azufre sin compuestos aromáticos y tiene alrededor del 10% construido en oxígeno,

lo que ayuda a quemar completamente su alto índice de cetano mejora la calidad de encendido incluso cuando se mezcla en el diésel de petróleo. Es una propiedad general de los hidrocarburos que la temperatura de auto ignición es mayor para los hidrocarburos más volátiles. Por lo tanto, las fracciones de destilado medio menos volátiles de petróleo crudo que hierven en el intervalo de 250-370°C son adecuadas como combustibles diésel. (Montefrio, Xinwen, & Obbard , 2010)

**Tabla 1.** Propiedades físicas y químicas del biodiesel vs diésel mineral

| <b>Datos físico-químicos</b>                   | <b>Biodiesel</b>                        | <b>Diésel</b>            |
|--|---|--------------------------|
| Composición combustible                        | Ester metílico<br>Ácidos grasos C12-C22 | Hidrocarburos<br>C10-C21 |
| Poder calorífico interior,<br>kcal/kg (aprox.) | 9500                                    | 10800                    |
| Viscosidad cinemática, cSt<br>(a 40°C)         | 3,3-3,0                                 | 3,0-4,5                  |
| Peso específico, g/cm <sup>3</sup>             | 0,875-0,900                             | 0,850                    |
| Azufre, %P                                     | 0                                       | 0,2                      |
| Punto de ebullición, °C                        | 190-340                                 | 180-335                  |
| Punto de inflamación, °C                       | 120-170                                 | 60-80                    |
| Punto de escurrimiento, °C                     | -15/+16                                 | -35/-15                  |
| Numero de cetano                               | 48-60                                   | 46                       |
| R/E Aire/comb. p/p                             | 13.8                                    | 15                       |

**Fuente:** (Montefrio, Xinwen, & Obbard , 2010)

#### **2.4. MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL**

Las principales materias primas para la elaboración de biodiesel son las oleaginosas y sus aceites derivados.

Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel (girasol, colza, soja, palma, higuera, aceites de fritura usado, sebo de vaca). A continuación, se detallan las principales materias primas para la elaboración

de biodiesel (Garcia & Garcia, 2006):

- **Aceites vegetales convencionales**

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia) (Vicente, 2001).

- **Grasas animales**

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales.

- **Aceites de fritura usados**

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. La utilización de aceites usados presenta dificultades logísticas, no sólo por su recolección, como se ha dicho, sino también por su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo.

- **Aceites de otras fuentes**

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.

- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de microalgas

## 2.5. ANÁLISIS DE CALIDAD DE ACEITES

### Métodos Físicos

- **Densidad**

Esta es una constante que no varía mucho para un aceite determinado cuando está puro y fresco, pero es afectada por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite.

Esta es la medida del volumen que ocupa determinado peso del aceite que se expresa en g/ml (gramos/mililitros). (Bernal de Ramírez, 1993)

Así tenemos:

$$\rho_{aceite} = \left( \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \right) * \rho_{agua} \quad (1)$$

Donde:

$M_1$  = Picnómetro vacío

$M_2$  = Picnómetro lleno (Agua destilada)

$M_3$  = Picnómetro lleno (Aceite o Biodiesel)

- **Humedad**

Se define como la relación de la masa del agua presente en el aceite, o agua libre, y la masa dada de material respecto a su peso anhidro, expresada en porcentaje.

### Métodos Químicos

- **Índice de Acidez**

Se define como el número de miligramos de hidróxido de sodio requeridos para neutralizar la acidez libre por gramo de muestra. El resultado se expresa como el porcentaje de ácido oleico ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) presente en la muestra.

El índice de acidez es una medida del grado de descomposición de aceite o la grasa, por acción de las lipasas, la degradación se acelera por acción de luz y calor. Es una determinación usada con frecuencia como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites y grasas. (Herrera & Bolaños,2003)

$$\text{índice de acidez} = \frac{W_{\text{ácido oleico}}}{W_{\text{muestra}}} \quad (2)$$

$$\text{índice de acidez} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times PM \times 100}{d_{\text{aceite}} \times V_{\text{aceite}}} \quad (3)$$

Donde:

$V_{\text{NaOH}}$  = Volumen de NaOH (ml NaOH)

$C_{\text{NaOH}}$  = Concentración de NaOH (mol/ml)

$PM$  = Peso molecular del ácido

$d_{\text{aceite}}$  = Densidad del aceite (g/ml)

$V_{\text{aceite}}$  = Volumen del aceite (ml)

- **Índice de Saponificación**

Son los miligramos de KOH necesarios para saponificar 1g de materia grasa. Ésta nos permite ver si el tipo de lípido es saponificable (contiene ácidos grasos o no los contiene)

La saponificación consiste en la hidrólisis alcalina de un lípido (con hidróxido de potasio o hidróxido de sodio). Los lípidos derivados de ácidos grasos (ácidos monocarboxílicos de cadena larga) dan lugar a sales alcalinas (jabones) y alcohol, que son fácilmente extraíbles en medio acuoso. (Guarnizo 2009)

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(V_B - V_M) \times N \times 56.1}{W_{\text{muestra}}} \quad (4)$$

Donde:

$V_B$  = ml de KOH gastados en la titulación testigo

$V_m$  = ml de KOH gastados en la titulación problema

- **Índice de Peróxidos**

Esta prueba es empleada para cuantificar la alteración del aceite causada por el enranciamiento, en el cual se determinan los miliequivalentes de oxígeno activo contenidos en un Kilogramo de grasa, calculados a partir del yodo liberado del yoduro de potasio, operando en las condiciones especificadas. Las sustancias que oxidan al yoduro de potasio en las condiciones descritas, las consideramos peróxidos u otros productos similares provenientes de la oxidación de las grasas, por lo cual el índice obtenido es considerado, con una aproximación bastante aceptable, como una expresión cuantitativa de los peróxidos de la grasa muestra (Miller, 2003).

## **2.6. CONDICIONES NECESARIAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.**

### **A. Síntesis de obtención de biodiesel**

La metodología establecida para la obtención de biodiesel a partir de grasas animales y vegetales que son triglicéridos, formados por glicerina y ácidos grasos. Desde el punto de vista químico los aceites vegetales son triglicéridos que contiene tres cadenas de ácidos grasos, unidas con el alcohol (metanol) y glicerina que al hacer biodiesel se transforman los aceites en ésteres, separando la glicerina, que se hunde hasta el fondo. El biodiesel flota encima y puede aspirarse con un sifón. Este proceso se llama transesterificación. Consiste en sustituir a la glicerina por un alcohol mediante una reacción química con NaOH catalizador. (Sagñay, 2016)

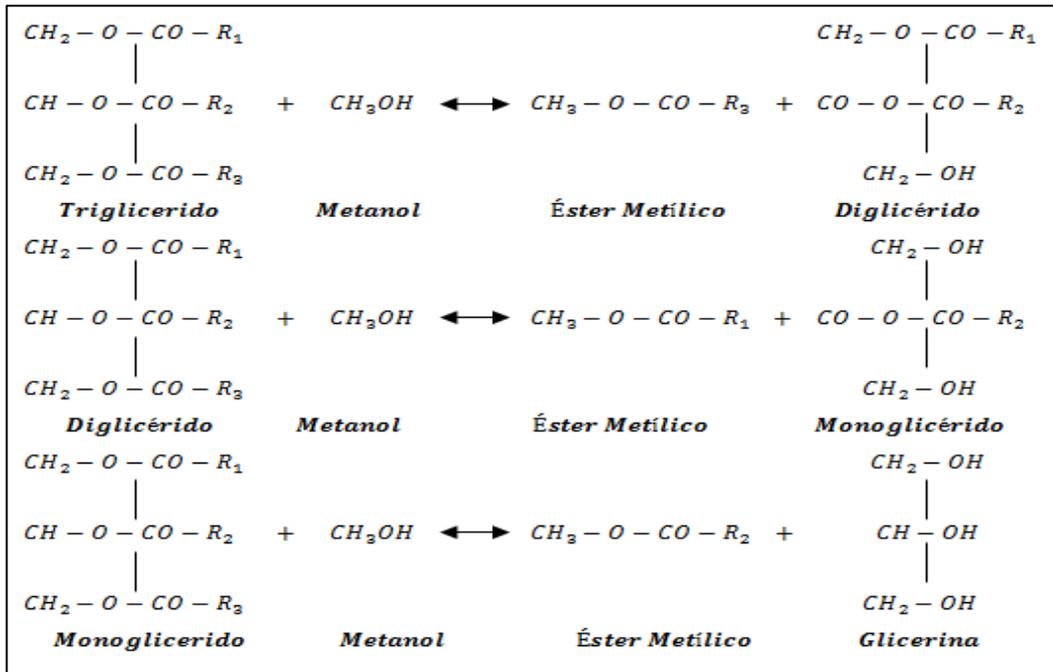
### **B. Síntesis del proceso de transesterificación**

El proceso químico mediante el cual se obtiene el biodiesel es conocido como reacción de transesterificación. El proceso de transesterificación se lleva a cabo entre

el aceite (triglicérido) y el alcohol en presencia de un catalizador. Es una secuencia de tres reacciones reversibles en las que el triglicérido es convertido en diglicérido y luego el diglicérido es transformado en un mono glicérido el cual finalmente se transforma en glicerol. Comúnmente se utilizan alcoholes de cadena corta normalmente la transesterificación se produce utilizando un catalizador básico o ácido, el cual está limitado por impurezas como agua y ácidos grasos libres. Por otro lado, la producción de es a través de reacciones en condiciones supercríticas, a elevadas presiones y temperaturas que implican el uso de una gran cantidad de energía y altos costos de operación. Otro utilizado método es la utilización de lipasas, éstas pueden realizar la esterificación de ácidos grasos libres y la transesterificación de triglicéridos sin la formación de jabones. (Castellanos A., 2015)

En la transesterificación los alcoholes más utilizados son el etanol y el metanol. El comportamiento de los ésteres metílicos y etílicos es muy parecido, pero se ha comprobado que los metílicos aportan una potencia ligeramente superior que los etílicos, y una menor viscosidad. Además, debemos tomar en cuenta que el metanol tiene menor coste y reacciona rápido y a baja temperatura, nos damos cuenta de que es el más adecuado para utilizar. El producto final ésteres metílicos son los que se aprovechan como biodiesel, mientras que la glicerina se obtiene como subproducto. Esta reacción se realiza en presencia de un catalizador (en nuestro caso NaOH), que es el encargado de que ésta tenga lugar a una velocidad adecuada. (Barros X., 2015)

En la figura 2 se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.



**Figura 2.** Reacción presente en la transesterificación

**Fuente:** Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006, 248-268.

En la figura, R1, R2 y R3 son cadenas generalmente largas de ácidos grasos. Los ácidos grasos que se presentan con mayor frecuencia en las grasas y aceites, son:

- Ácido palmítico:  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$  (16 carbonos, saturado)
- Ácido esteárico:  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$  (18 carbonos, saturado)
- Ácido oleico:  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$  (18 carbonos, 1 doble enlace, insaturado)
- Ácido Linoléico:  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$  (18 carbonos con 2 enlaces dobles)
- Ácido linolenico: (18 carbonos, con 3 dobles enlaces).

### **C. Tipo de alcohol utilizado**

El alcohol es uno de los insumos principales para la producción de biodiesel, este representa un volumen de 10 a 15% de los insumos consumido. Entre los más importantes están el metanol y etanol, sin embargo, se ha demostrado mayor dificultad durante la síntesis de biodiesel cuando se usa etanol como medio de reacción debido a las emulsificaciones causadas por el mismo. (Jeong, Yang, & Park, 2014).

### **D. Relación molar metanol: aceite**

La relación molar metanol: aceite depende de la temperatura y tiempo de reacción, unas de las variables que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol, y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho (producción de esteres) además, el metanol y el etanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción general se forma una emulsión que desciende rápidamente formándose una capa rica de glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico (biodiesel). (Miliarium, 2014)

### **E. Tipo de catalizador**

#### **Catalizador de tipo y de la humedad**

Si el aceite contiene un elevado contenido de ácidos grasos, los catalizadores ácidos son los más adecuados, tales como  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , sin embargo, cuando el

contenido de ácidos grasos libres no es considerablemente, catalizadores como alcóxido y metóxido de sodio son particularmente eficientes, mismo que KOH, NaOH, también puedan ser utilizado. Una de las desventajas que tiene es la posibilidad de llevar a cabo la hidrólisis de algunos ésteres, resultando en jabón y que conduce a la formación de éster bajo. La transesterificación con estos alcoholes ocurre aproximadamente 400 veces más rápido que en presencia de un catalizador ácido en la misma proporción.

En general, los catalizadores básicos son mejores que los ácidos porque la reacción es más rápida. Por otro lado, un catalizador alcalino puede causar la formación de una emulsión al aumentar la viscosidad de la solución resultante durante el consumo del catalizador. Es muy importante que la solución del catalizador y el alcohol se utilicen de inmediato para evitar la absorción de humedad y por lo tanto mantener la actividad del catalizador. Por otra parte, el catalizador debe mantenerse en un ambiente con poca humedad anhidro. Debido a su contacto con el aire puede reducir su eficacia a través de las interacciones con la humedad y CO<sub>2</sub>. (Salazar , 2012)

#### **F. Concentración del catalizador**

La presencia de un catalizador acelera significativamente el ajuste del blanco equilibrio, con catalizadores tales como hidróxido de potasio o de sodio señalar que el rendimiento óptimo observado fue de 1,0% que da el mejor rendimiento y la viscosidad de ésteres formados. Por lo que se debe utilizar concentraciones superiores a 1,0% disminuye la producción de ésteres de metilo y no da como resultado una buena separación de las fases, además de ello da la posibilidad a la formación de un jabón debido a un exceso de catalizador (Mogollon et al. 2013).

El proceso de calentado y la mezcla es de base fundamental para el inicio de transesterificación, que da inicio al proceso de elaboración de biodiesel con la actuación de los dos reactivos químicos tanto el metanol e hidróxido de sodio a temperaturas de 60 a 65°C respectivamente. (Yépez J., 2017)

## **G. Proceso de separación del biodiesel**

### **Separación del biodiesel**

Para realizar el análisis, identificación y caracterización del biodiesel es necesario separar los ácidos grasos de la glicerina. Una vez completada la reacción el glicerol puede separarse por decantación en un embudo de separación, la literatura expone que al menos una hora es el tiempo requerido para que la separación ocurra. Una vez sucedida, el glicerol (parte inferior del embudo) debe ser descartado cuidadosamente. (Salazar , 2012)

### **Purificación de biodiesel**

El objetivo de la purificación es la obtención de mezclas de ésteres metílicos con bajos niveles de contaminación. La literatura relata que la concentración de metanol debe ser inferior al 0.2% por lo tanto, el proceso de purificación inicia con varias etapas de lavado con el fin de remover desechos del catalizador y de metanol presente. Otra manera más de purificar es a través de lavados con una solución de cloruro de sodio saturada la cual es capaz de llevar consigo los restos del catalizador utilizado. (Sanchez N., 2015)

Existen varios procesos de lavado del biodiesel, el lavado con el agua elimina las grasas libres saturadas, que retarda la emulsión. El lavado en seco, promueve el glicerol y jabón restante por precipitación. (Yépez J., 2017)

## **Secado del biodiesel**

El excedente de agua debido a la reacción misma y a los lavados realizados para la purificación de biodiesel puede ser retirado añadiendo sulfato de sodio anhidro o sulfato de magnesio, sin embargo, si no se dispone de estos elementos apenas calentar hasta la ebullición del agua (por encima de 100 °C) durante 45 min conlleva a resultados aceptables. (Salazar , 2012)

Luego del secado si el biodiesel final, presenta burbujas y de coloración turbia, es porque aún contiene agua. Para eliminar las burbujas presentes debemos sacar con una pipeta con la finalidad de obtener un éster metílico puro. La deshidratación o secado del biodiesel implica que las moléculas de agua que se encuentran en suspensión en la muestra sean llevadas a la superficie de evaporación en un desecador, la presencia de agua en el biodiesel reduce el rendimiento. (Yépez J., 2017)

## **2.7. PARÁMETROS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CALIDAD BODIESEL**

Las caracterizaciones físicas y químicos del biodiesel son realizados bajo los parámetros establecidos de la normativa ASTM, contempladas dentro de la normativa Peruana NTP 321.125 que rige para los biocombustibles en el país.

Según Sánchez Iris las características físicas y químicas de un biocombustible va depender de los siguientes parámetros de calidad establecidos en la producción de biodiesel. Como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Parámetros físicos y químicos del biodiesel**

| <b>Parámetro</b>                | <b>Unidad</b>  | <b>Norma</b> |
|---------------------------------|--|--------------|
| <b>Caracterización física</b>   |  |              |
| Densidad                        | g/mL   | ASTM D 1298  |
| Índice de refracción            | -----  | NTC 289      |
| Viscosidad cinemática           | mm <sup>2</sup> /s                                   | ASTM D 445   |
| Humedad y material volátil      | % en masa  | NTC 287      |
| Punto de inflamación            | °C   | ASTM D 93    |
| Poder calorífico                | KJ/kg  | ASTM D 240   |
| <b>Caracterización química</b>  |  |              |
| Índice de peróxido              | meq O <sub>2</sub> /kg de aceite                     | NTC 236      |
| Índice de acidez y de la Acidez | Acidez: % en masa de acuerdo con el tipo de grasa(*) | ASTM D 664   |
| Índice de yodo                  | g I <sub>2</sub> /100 g de aceite                    | NTC 283      |
| Índice de saponificación        | mg KOH/g de aceite                                   | NTC 335      |
| Corrosión a la lámina de Cobre  | -----  | ASTM D 130   |
| Contenido de metales            | Ppm  | ASTM D 5863  |

**Fuente:** Sánchez I., 2012

## Caracterización Física

**Densidad:** Es un método muy apropiado para determinar la densidad de líquidos transparentes. Puede usarse para aceites viscosos si se espera el tiempo suficiente para que el densímetro alcance el equilibrio, o para líquidos opacos realizando una corrección. 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 a la del producto en depósito ASTM D 1298.

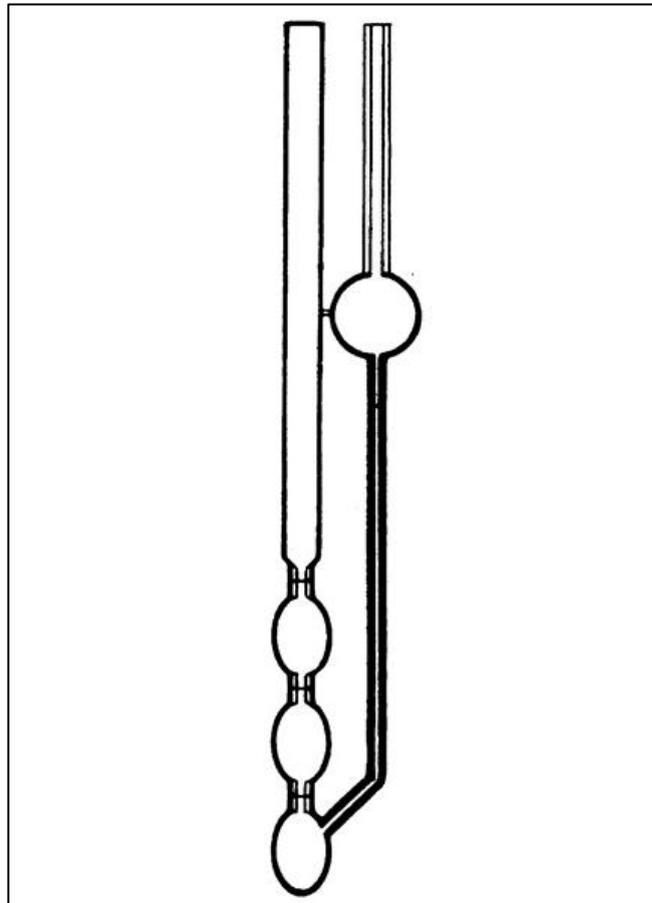
La densidad da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor. (Ciria, I., 2005).

**Viscosidad:** es una relación entre la viscosidad y la densidad de la muestra; es una Medida de la resistencia al flujo de un líquido bajo la acción de la gravedad. En el SI, la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo ASTM 445.

La viscosidad del biodiesel es medido mediante el método ASTM 445, que es mediante un viscosímetro de Ostwald (un tubo capilar calibrado que se utiliza para la medición precisa del flujo entre dos puntos premarcados en el tubo). En este tipo de viscosímetros generalmente contruidos en vidrio, se determina la viscosidad de un líquido midiendo el tiempo de flujo ( $t$ ) entre dos puntos calibrados de un volumen dado ( $V$ ) del líquido, en un tubo capilar bajo la influencia de la gravedad. (Normas American Society for Testing and Materials, 2008).

Puede ser ventajosa para algunos motores la especificación de un mínimo en viscosidad debido a la pérdida de potencia a causa de las pérdidas en las bombas de inyección y en los inyectores. 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. El límite superior para la viscosidad del biodiesel ( $6,0 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) a  $40^\circ\text{C}$ ) es mayor que la máxima viscosidad permitida en la NTP 321.003. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)



**Figura 3.** Esquema del viscosímetro de Ostwald

Fuente: Adatec S.A. Metrología

**Índice de refracción:** este parámetro específico sobre la calidad de los biocombustibles, ASTM D1647.

Suele medirse a  $20$ ,  $25$  o  $40^\circ\text{C}$ , tomando como referencia la línea D del sodio ( $589 \text{ nm}$ ), y se realizan como mínimo dos mediciones de donde se toma la media, tomándose cuatro cifras decimales en un Refractómetro de Abbe. Su utilidad radica

en casos como la identificación y caracterización de líquidos puros, grasas y aceites. (Matissec, R. et al, 1992).

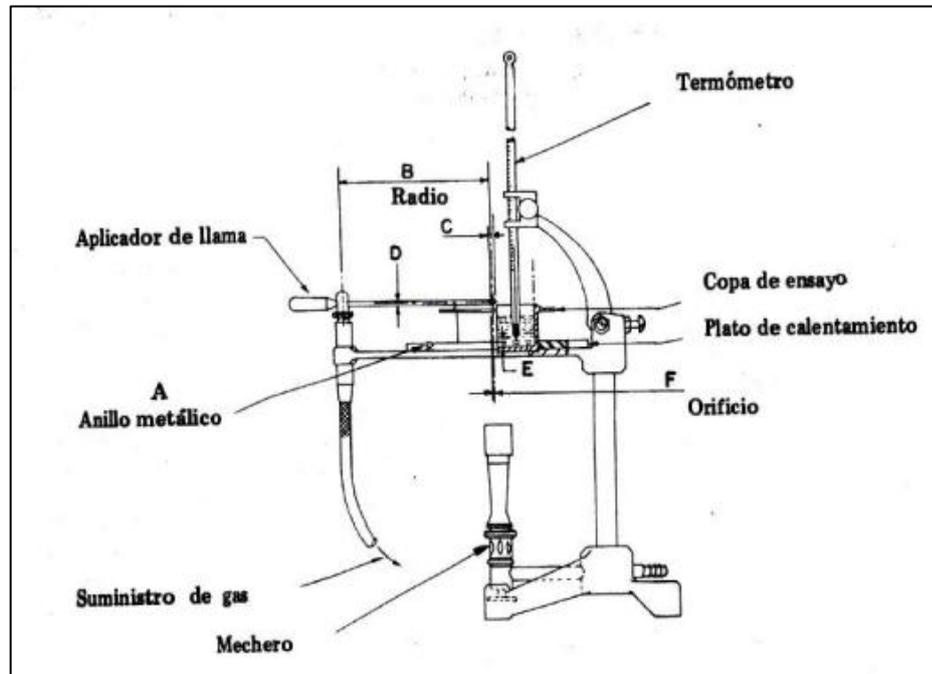
**Humedad y punto volátil:** este parámetro indica el contenido de humedad y material volátil contenido en el biocombustible. La cantidad del volumen identificado depende de la solubilidad del biodiesel.

El método usado para medir estos parámetros es la Norma ASTM D203. Consiste en el Método gravimétrico, donde se determina indirectamente cantidad de humedad de una muestra alimenticia por medio de una diferencia de masa. El agua es el único ingrediente de los alimentos que está prácticamente presente en todos ellos y su cantidad, estado físico y dispersión en los alimentos afectan su aspecto, olor, sabor y textura. Los alimentos en general pueden considerarse integrados por dos fracciones primarias: su materia seca y cierta cantidad de agua o humedad; esta agua no está solamente adherida a la superficie de los alimentos sino que también se encuentra íntimamente asociada como tal a ellos y por tanto incorporada a su naturaleza y composición química. (Montoya, C., 2007)

**Punto de inflamación:** este punto nos indica, que la temperatura más baja que aplica sobre la llama que inflama el vapor de la muestra. No está directamente relacionado al desempeño de la máquina. Sin embargo, es de importancia su conexión con requerimientos legales y precauciones de seguridad envueltos en la manipulación y el almacenamiento del combustible que son normalmente especificados para cumplir con regulaciones de seguros e incendios. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

El punto de inflamación se determina en vaso abierto Cleveland o en vaso cerrado Perski- Maters, siendo el primero el más usado.

El montaje de vaso abierto de Cleveland consiste generalmente en un recipiente de bronce tipo copa, tarado a medida normalizada, una fuente de calor que puede ser eléctrica (con regulador) o a gas, termómetros, soportes y un aplicador de llama que produce la inflamación. (Aguirre, L., 2001)



**Figura 4.** Esquema del Vaso abierto Cleveland

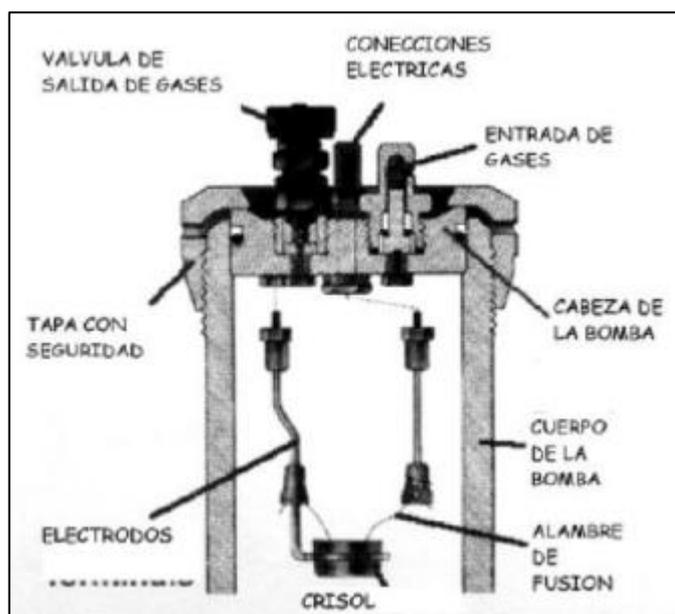
Fuente: ASTM D93 (2010). Standard Test Methods for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. United States.

En el caso del biodiesel, para la norma ASTM D 92 el límite mínimo es de 100 °C.

**Poder calorífico:** el poder calorífico dentro del biodiesel, indica que los altos valores de este parámetro evitan las pérdidas, de potencia en el motor, además de disminuir el tiempo de incendio en el motor. (ASTM D240)

El método para determinar el Poder Calorífico se realiza con la ayuda de la bomba calorimétrica. Este equipo se usa para determinar el poder calorífico de un combustible cuando se quema a volumen constante.

La norma ASTM D240 establece como requisito que el poder calorífico se encuentre alrededor de 39500 KJ/Kg.



**Figura 5.** Esquema de la Bomba Calorimétrica

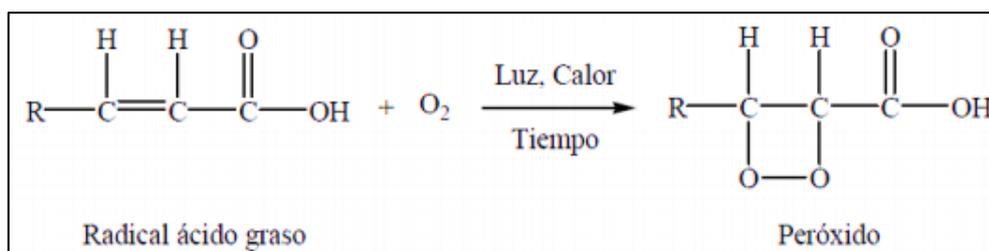
Fuente: ASTM D240. Standard Test Methods for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. United States.

### Caracterización química

**Índice de peróxido:** este parámetro determina la calidad del biodiesel obtenido. Este parámetro no está establecido dentro de la normativa ASTM.

El índice de peróxido es la cantidad de estas sustancias en la muestra, expresada en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de grasa, el cual el yoduro de potasio oxida bajo las condiciones de ensayo. (ICONTEC, 1998)

Los peróxidos se forman en los puntos de insaturación de las cadenas de carbonos de los ácidos grasos. (Jérome, H., 2007)



**Figura 6.** Reacción de oxidación de un ácido graso

Fuente: Diseño conceptual de una planta de biodiesel, Universidad de Chile

El principio de esta prueba es el tratamiento de la porción de ensayo, en una solución de ácido acético y cloroformo o ácido acético e iso-octano, con una solución de yoduro de potasio. Titulación del yodo liberado con una solución normalizada de tiosulfato de sodio. (ICONTEC, 1998)

**Índice de acidez:** Este parámetro es utilizado para determinar el nivel de ácidos grasos libres o ácidos del proceso que pueden estar presentes en el biodiesel. Se ha demostrado que biodiesel con número de acidez alto incrementan los depósitos en el sistema de combustible e incrementan la potencialidad de corrosión. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

El número de acidez del biodiesel mide un fenómeno diferente que para combustibles diesel derivados del petróleo. El número de acidez de biodiesel mide los ácidos grasos libres o subproductos de la degradación no encontrados en combustibles diesel derivados del petróleo. Los nuevos diseños de sistemas de combustibles con mayores temperaturas de reciclo pueden incrementar la degradación lo cual puede resultar en valores de acidez elevados e incrementar el potencial de taponamiento de filtros. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

**Índice de yodo:** indica la estabilidad de los biocombustibles tales como, punto de nube y fluidez que garantiza el buen uso de biodiesel ASTM D5863.

El punto de nube es importante en el sentido que define la temperatura a la cual una nube o niebla de cristales aparecen en el combustible bajo ciertas condiciones de ensayo prescritas. Esta temperatura se relaciona con la temperatura a la cual empiezan a precipitar cristales en el combustible en uso. El biodiesel generalmente tiene un punto de nube mayor que el combustible de petróleo. El punto de nube de biodiesel y su impacto en las propiedades de flujo en frío de la mezcla resultante deberá ser monitoreado por el usuario para asegurar una operación libre de problemas en climas fríos. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

**Número de Cetano:** Es una medida de la calidad de ignición del combustible e influencia el humo blanco y la robustez de la combustión. El requerimiento de número de cetano depende del diseño del motor, de su tamaño, de las variaciones de velocidad y carga y de las condiciones atmosféricas y de arranque. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

El índice de cetano calculado, método ASTM D 976 o ASTM D 4734 no debe ser utilizado para aproximar el número de cetano con biodiesel o sus mezclas. No hay data sustancial que sustente el cálculo del índice de cetano para biodiesel o sus mezclas. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

## **2.8. ESPECIFICACIONES A CUMPLIR NECESARIAS PARA EL USO ADECUADO DE BIODIESEL**

Para cumplir con las normas que rigen para la producción de biodiesel, se debe cumplir con las normas internacionales para comprobar la calidad de este producto las cuales son: (Norma Técnica peruana (NTP 321.125), 2008).

- Norma Europea: NORMA EN 14214: 2008.
- Norma Americana: NORMA ASTM D 6751: 2012

## **2.9. EFECTO DE LA ACIDEZ Y LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN**

Los ácidos grasos libres (AGL) y el contenido de humedad son parámetros claves para la determinación de la viabilidad del proceso de transesterificación de aceite vegetal. En la transesterificación, los AGL y el agua siempre producen efectos negativos, ya que la presencia de AGL y agua son las causas de formación de jabón, consumen el catalizador y reducen la efectividad del mismo, dificultad en la separación de glicerol y la prevención de la purificación del biodiesel crudo, todo lo que resulta en una conversión baja. En los métodos catalizados, la presencia de agua tiene efectos negativos en el rendimiento del biodiesel. En la transesterificación catalizada por ácido, los ácidos grasos se pueden formar mediante la reacción del carbocatión II con el agua en la mezcla de reacción. Estos AGL reaccionan con el catalizador alcalino para producir jabones que inhiben la separación del biodiesel, la glicerina y el agua de lavado. Para llevar la reacción catalizada por base hasta la culminación; se necesita un valor de AGL más bajo que 3%. (Atadashi, I. et al, 2011)

La presencia de agua tiene un mayor efecto negativo en la transesterificación que la de los AGL porque cuando el agua está presente, especialmente a temperaturas

elevadas, se pueden hidrolizar los triglicéridos a diglicéridos y formar un AGL. Sin embargo, la presencia de agua a temperaturas medias conduce a la formación excesiva de jabón. Cuando un catalizador alcalino tal como el hidróxido de sodio o potasio está presente, el AGL va a reaccionar para formar un producto saponificado. La formación de productos saponificados de ácidos grasos saturados tiende a compactarse a temperatura ambiente y la mezcla de reacción puede gelificarse y formar una sustancia semisólida que es muy difícil de recuperar. (Atadashi, I. et al, 2011)

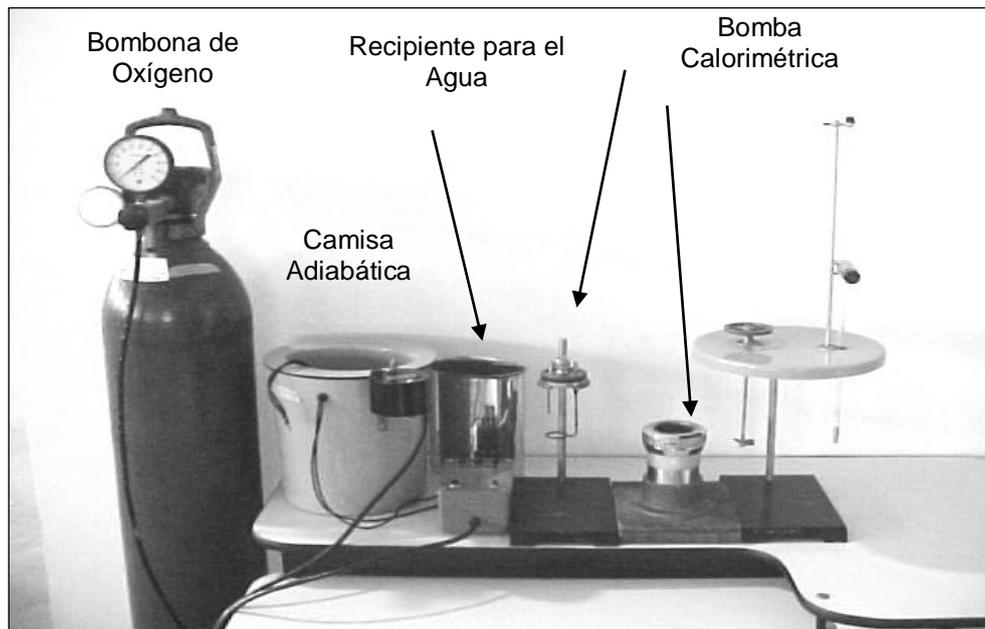
En el proceso de transesterificación, el aceite vegetal debe tener un índice de acidez menor que uno y todos los reactivos deben ser sustancialmente anhidros. Si el valor de ácido es mayor que uno, más NaOH o KOH debe ser suministrado para neutralizar los AGL. El agua puede provocar la formación de espuma y jabón. Los jabones resultantes pueden inducir un aumento en la viscosidad, la formación de geles y espumas, y hacer difícil la separación de glicerol. (Dalla, B. et al, 2010)

## **2.10. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA**

### **CALORIMETRICA**

La Bomba Calorimétrica se usa para determinar el Poder Calorífico de un Combustible cuando se quema a volumen constante.

A continuación, se explica de manera resumida su funcionamiento. El combustible cuyo Poder Calorífico se desea determinar se coloca en un crisol para combustible (si el combustible es sólido, deberá colocarse en forma de pastilla) dentro de la bomba calorimétrica. Adicionalmente se agrega el oxígeno necesario para la combustión. La bomba calorimétrica se rodea de una camisa de agua que absorberá el calor liberado por el combustible. Todo esto se realiza dentro de una camisa adiabática para evitar fuga de calor que afecte el proceso.



**Figura 7.** Componente de la bomba calorimétrica

**Fuente:** Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Mecánica

Sin embargo, el calor que absorbe el agua no es el poder calorífico del combustible, debido a diversos factores, entre los cuales pueden nombrarse: absorción de calor por la propia bomba, liberación de calor del alambre que provoca el encendido del combustible, liberación de calor por la formación de ácido nítrico y sulfúrico, entre otros.

Al aplicar la ecuación de Primera Ley al proceso de combustión a volumen constante, tomando en cuenta todos los factores nombrados con anterioridad, se obtiene la siguiente ecuación:

$$H = \frac{M_S C_{v_S} \Delta T - e_1 - e_2}{M_C}$$

$$e_2 = m \cdot h$$

donde  $M_S$  es la masa de la bomba calorimétrica, sus accesorios y el agua utilizada (masa del sistema);  $Cv_S$  es el calor específico promedio de la bomba calorimétrica, sus accesorios y el agua utilizada (calor específico del sistema);  $\Delta T$  es el cambio de temperatura registrado durante la experiencia;  $H$  es el poder calorífico del combustible;  $e_1$  es la corrección por el calor que libera la formación de ácidos de nitrógeno y azufre (puede despreciarse en esta experiencia);  $e_2$  es la corrección por el calor generado por la combustión del filamento de ignición;  $m$  es la masa o longitud del filamento de ignición;  $h$  es el poder calorífico del filamento por unidad de masa o longitud;  $M_C$  es la masa de combustible.

Debido a que los gases producidos durante la combustión al final se encuentran a temperaturas bastante bajas y a que el ensayo se lleva a cabo a alta presión, la mayor parte del agua presente en los productos condensa, por lo cual el poder calorífico que se estará determinando en esta experiencia es el superior. Como no se puede medir en el laboratorio la cantidad de agua presente después de la combustión, es imposible el cálculo del poder calorífico inferior del combustible.

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

### 3.1. Lugar de Ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Procesos Físico-Químicos de la Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Santa.

### 3.2. Materiales y Equipos

#### 3.2.1. Equipos

- Balanza Analítica

Marca: Deriver

Modelo: AA-200



- Estufa

Marca: MMMERT



- Bomb Calori Plain

Marca: Parr

Número de serie:1341EE



- Agitador Magnético

Marca: Nahita



### 3.2.2. Instrumentos

- Viscosímetro Capilar de Oswald



- Papel pH



- Picnómetro



- Mechero



- Embudos



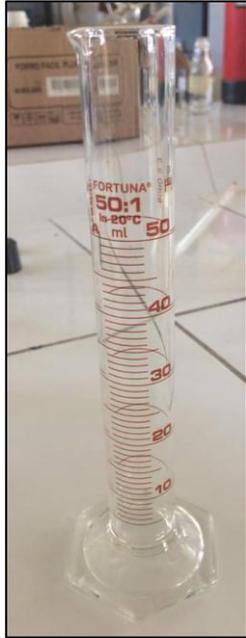
- Papel Filtro



- Termómetro



- Probeta de 50, 100 y 250 ml



- Peras de decantación de 250 ml



- Vasos de precipitados



- Buretas



- Crisoles de porcelana



### 3.2.3. Sustancias Reactivas

- Metanol



- Hidróxido de sodio (90% p/p de pureza)



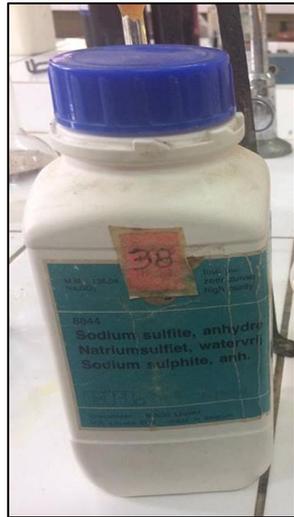
- Agua destilada



- Fenolftaleína



- Sulfato de sodio



### 3.2.4. Fluido de Trabajo

- Aceite



- Biodiesel



### **3.3. Métodos**

#### **3.3.1. Muestra de Análisis**

El aceite utilizado es un aceite residual recolectado del restaurant “El Gigante” de la ciudad de Nuevo Chimbote, el cual fue almacenado en un recipiente de plástico de 2000 ml cerrado herméticamente y protegido contra la luz.

#### **3.3.2. Tratamiento preliminar del aceite residual**

Se filtraron las impurezas de las muestras de aceites.

Las muestras de aceite fueron calentadas a 35 °C y se agitaron para obtener homogeneidad en éstas. Luego se dejaron enfriar a 25° C y se procedió a realizar las pruebas.

#### **3.3.3. Análisis Físico y Químico de las muestras de aceite residual de cocina**

##### **3.3.3.1. Densidad**

La Densidad se determinó mediante el Método del picnómetro.

$$\rho_{aceite} = \left( \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \right) * \rho_{agua}$$

Donde:

$M_1$  = Picnómetro vacío

$M_2$  = Picnómetro lleno (Agua destilada)

$M_3$  = Picnómetro lleno (Aceite)

##### **3.3.3.2. Humedad**

La humedad se determinó por secado y por diferencia de los pesos de acuerdo al método 934.06 (37.1.10) del A.O.A.C (1996).

$$\%H = \frac{P_m - (P_f - P_i)}{P_m} \times 100\%$$

Donde:

$\%H$  =Humedad en porcentaje de masa

$P_m$  =Peso de la muestra

$P_f$  =Peso final de la placa con la muestra

$P_i$  =Peso de la placa vacía

### 3.3.3.3. Índice de Acidez

El índice de acidez se determinó por el Método de titulación

$$\text{índice de acidez} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH} \times PM \times 100}{d_{aceite} \times V_{aceite}}$$

Donde:

$V_{NaOH}$  = Volumen de NaOH (ml NaOH)

$C_{NaOH}$  = Concentración de NaOH (mol/ml)

$PM$  = Peso molecular del ácido

$d_{aceite}$  = Densidad del aceite (g/ml)

$V_{aceite}$  = Volumen del aceite (ml)

### 3.3.3.4. pH

Se determinó mediante el uso de papel pH de un rango de 7 a 12.

### 3.3.3.5. Índice de Peróxidos

Se determinó mediante el Método Volumétrico.

## 3.4. Método para la obtención de biodiesel

Se obtuvo cuatro muestras de biodiesel mediante el proceso de Transesterificación.

Se midió 200 ml de aceite para cada ensayo y 50 ml de alcohol (metanol).

Mediante un agitador magnético, se disolvió el NaOH en el alcohol lo cual permitió obtener el metóxido de sodio.

Se calentó el aceite a 60 °C. Se agregó el metóxido de sodio al aceite y se agitó por 100 minutos.

El producto se dejó decantar durante 24 horas en peras de decantación, luego se separó el biodiesel de la glicerina formada en la parte inferior de la pera de decantación.

El biodiesel obtenido se lavó cuatro veces con agua destilada. Por cada 200 ml de biodiesel se usó 200 ml de agua destilada. Se realizó un secado en estufa a 105 °C, por 30 min. (Arteaga et al, 2009).

### **3.5. Análisis Físico y Químico de las muestras de biodiesel.**

#### **3.5.1. Punto de Inflamación**

Se determinó según el Método basado en ASTM D 93.

#### **3.5.2. Índice de Cetano**

Se determinó según el Método basado en ASTM D 4737.

#### **3.5.3. Viscosidad Cinemática**

Se determinó según el Método basado en ASTM D 445.

La determinación de la viscosidad cinemática del biodiesel a 20°C se realizó usando un viscosímetro Brookfield. La calibración del viscosímetro se llevó a cabo a las temperaturas de 10, 15, 20 y 30°C utilizando un control de temperatura y un enfriador externo acoplado al termostato. Como líquido de calibración se usó agua bidestilada con una conductividad menor a 2µS. Las variaciones de temperatura en el mismo se registraron con un termómetro de alta precisión de  $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ , el procedimiento se repitió 4 veces.

#### **3.5.4. Índice de Acidez**

Se determinó según el Método basado en ASTM D 664.

Se determinó por medio de la titulación de la muestra con una solución estándar de hidróxido de potasio 0,01M; la muestra fue preparada agregando 7g de

biodiesel en 10 mL de Metanol; se utilizó fenolftaleína como indicador para determinar el punto final de la reacción.

### 3.5.5. Poder Calorífico

Se determinó según el Método basado en ASTM D 240.

Se determinó mediante el uso de la Bomba Calorimétrica.

Haciendo uno de las siguientes ecuaciones:

$$H = \frac{M_s C_{v_s} \Delta T - e_1 - e_2}{M_c}$$

$$\Delta T = (T_{\text{máx}} - T_e) + P_2 - P_1$$

$$P_2 = 0,5 R_2 \times t_2$$

$$P_1 = 0,5 R_1 \times t_1$$

Donde:

H: Poder Calorífico

$M_s$ : Masa del sistema

$C_{v_s}$ : Capacidad térmica de absorción de la bomba calorimétrica = 2440 Cal/°C

$\Delta T$ : Variación de temperatura

$e_1$ : Calor liberado por el fusible = 1600 cal/g

$e_2$ : Calor liberado por la formación de ácido nítrico y ácido sulfúrico = 1530 cal/g

$T_{\text{máx}}$ : Temperatura máxima alcanzada por el agua

$T_e$ : Temperatura a la cual se ha encendido el combustible

$P_2$  y  $P_1$ : Factores de corrección

$R_1$ : Régimen de aumento de la temperatura por minuto antes del encendido, (°C/min).

$R_2$ : Régimen de disminución de temperatura después de la temperatura máxima, (°C/min).

t1: Tiempo transcurrido desde el momento del encendido hasta alcanzar la temperatura ambiente, [min].

t2: Tiempo transcurrido desde la temperatura máxima a temperatura ambiente, (min).

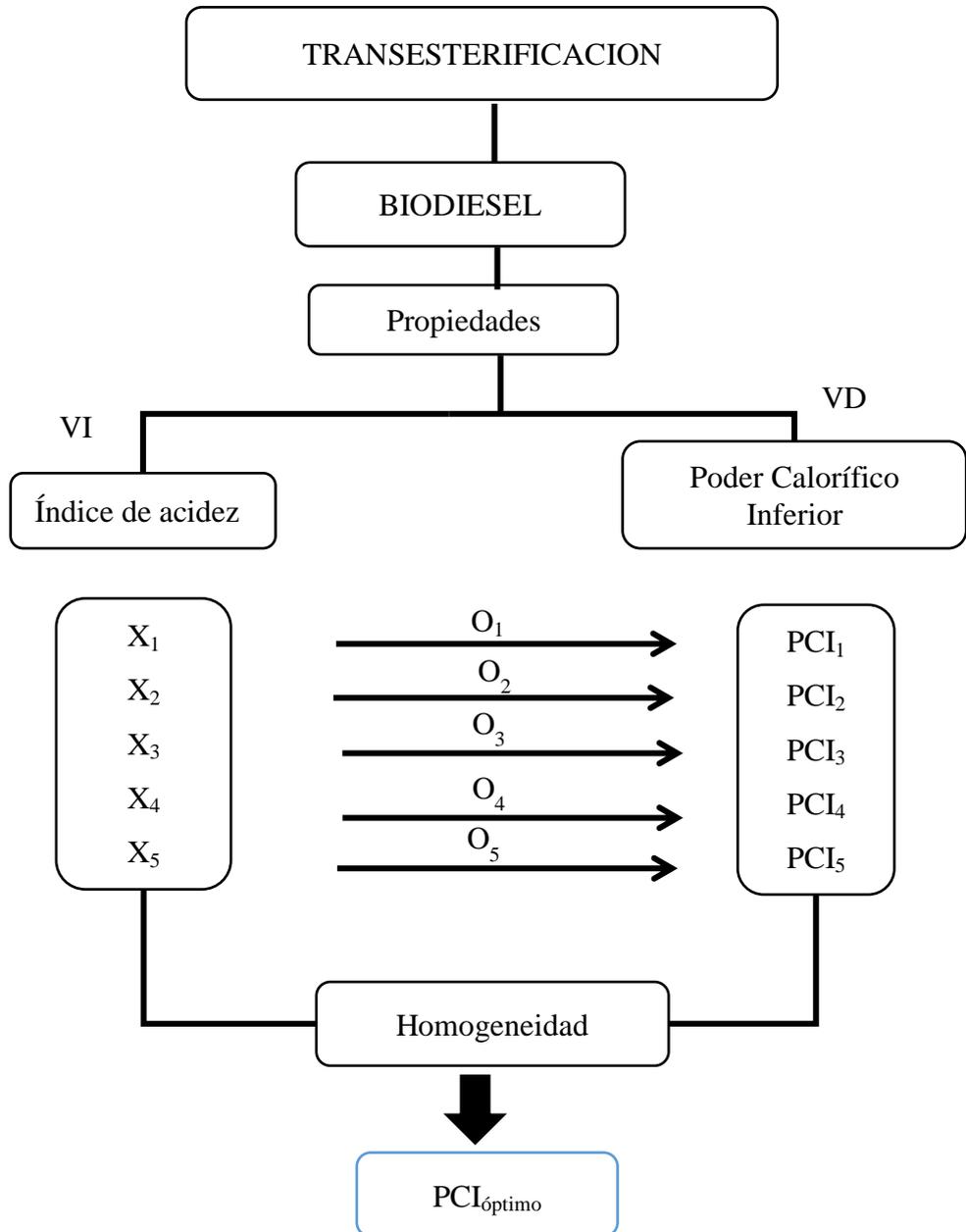
### **3.5.6. Densidad**

Se determinó según el Método basado en ASTM D 1298.

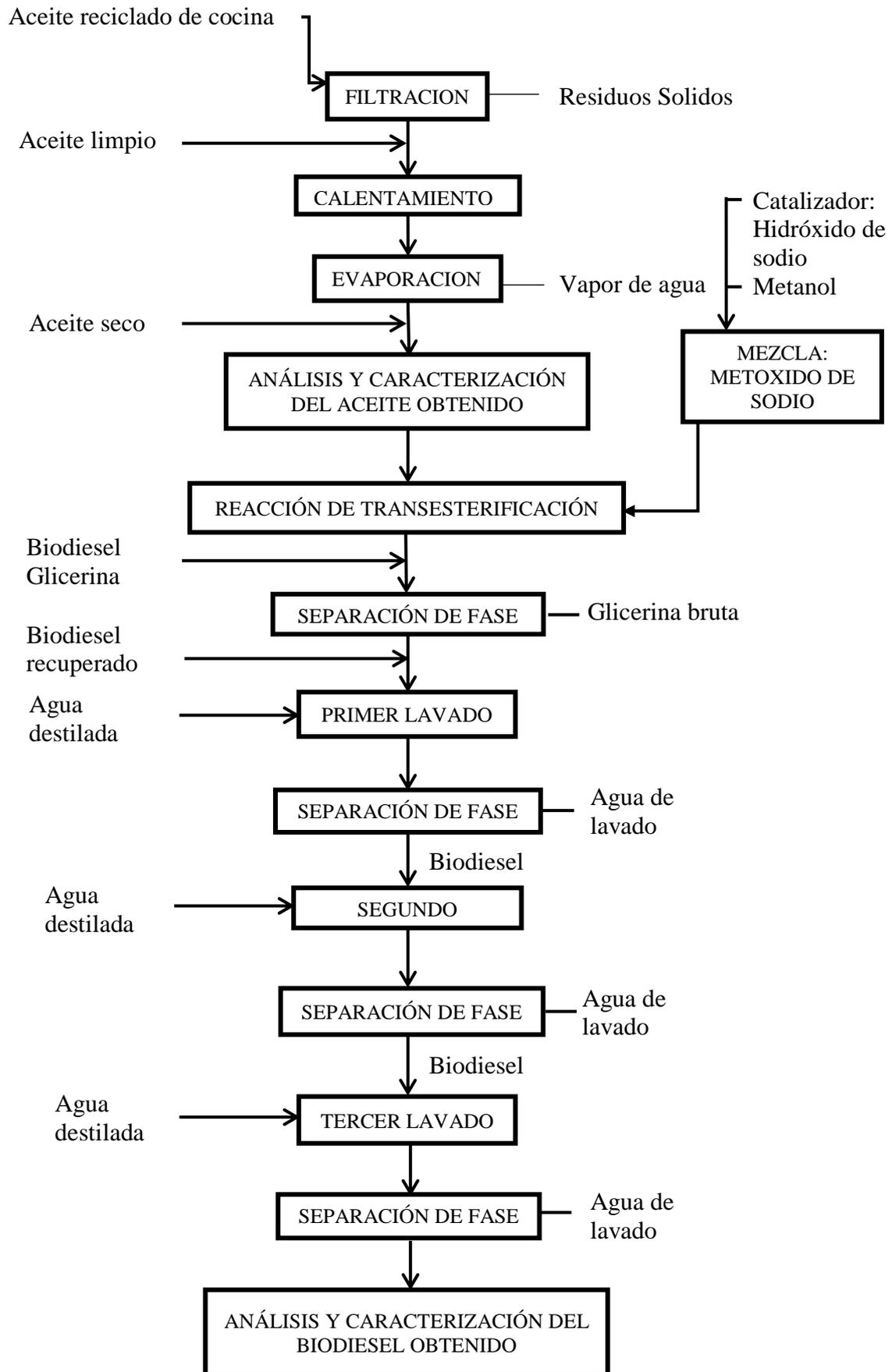
Las medidas de densidad para el biodiesel a 15°C se realizaron utilizando un picnómetro de cuello capilar tipo Wood-Brusie con capacidad de 50 mL; previa calibración del picnómetro con agua bidestilada a 10, 15, 20, 25 y 30°C(Giraldo et al., 2009).

### 3.6. Diseño Experimental

#### 3.6.1. Esquema de diseño experimental



### 3.6.2. Diagrama de Flujo experimental



**CAPITULO IV**  
**CALCULOS Y RESULTADOS**

#### 4.1. Calculo del volumen de Metanol (CH<sub>3</sub>OH) a usar

Según Ames y López (2013):

El peso molecular del aceite (triglicéridos) para el cálculo de la cantidad de CH<sub>3</sub>OH a usar se obtiene a través del índice de saponificación según la norma técnica ASTM D 5558-95 (Stándar Test Method Determination of the saponification Value of Fats and Oils).

El valor o índice de saponificación de un aceite es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesario para saponificar 1g de aceite completamente. Dado que los aceites están formados por triglicéridos principalmente, y que cada triglicérido necesita 3 moléculas de KOH para saponificarse, el índice de saponificación puede ser usado para estimar aproximadamente el peso molecular promedio del aceite utilizado.

Entonces como siempre se requieren 3 moles de KOH para la hidrólisis alcalina y sabiendo que el peso molecular del KOH es 56g/mol por lo tanto en 3 moles de KOH sería 168 000 mg/mol entonces podemos decir:

$$I.S. = \frac{168000}{PM_{trigliceridos}}$$

Se puede observar que el índice de saponificación es inversamente proporcional al peso molecular del triglicérido entonces la razón entre el peso de la muestra y el número de moles, será el peso molecular del aceite.

$$PM_{trigliceridos} = \frac{168000}{I.S.}$$

En nuestra investigación, experimentalmente no fue posible la determinación del índice de Saponificación, se tomó 201.5 mg KOH/ g como valor experimental. (Murcia et al, 2013)

Entonces:

$$PM_{\text{trigliceridos}} = \frac{168000}{201.5}$$

$$PM_{\text{trigliceridos}} = 833.74 \text{ g/mol}$$

Calculamos así la cantidad de  $\text{CHO}_3(\text{OH})$  a usarse:

$$\% = \frac{PM_{\text{CHO}_3(\text{OH})} \times 6}{PM_{\text{trigliceridos}}}$$

$$\% = \frac{32.042 \text{ g} \times 6}{833.74 \text{ g}}$$

$$\% = 23.06$$

Por lo tanto se debe agregar 23.06% de  $\text{CHO}_3(\text{OH})$  con base al volumen a usar del aceite:

$$\text{Cantidad de } \text{CH}_3\text{OH} = 200 \text{ ml} \times 23.06\%$$

$$\text{Cantidad de } \text{CH}_3\text{OH} = 46 \text{ ml}$$

## 4.2. Análisis Físico y Químico de las muestras de aceite residual de cocina.

### a) Cálculos de la densidad

$$\rho_{\text{aceite}} = \left( \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \right) * \rho_{\text{agua}}$$

**- Aceite Fresco**

$$\rho_{aceite\ fresco} = \left( \frac{43.854 - 20.150}{46.056 - 20.150} \right) * \frac{1g}{ml} = 0.9150$$

**- Aceite Usado**

$$\rho_{aceite\ usado} = \left( \frac{43.941 - 20.152}{46.134 - 20.152} \right) * \frac{1g}{ml} = 0.9156$$

**- Aceite Reusado**

$$\rho_{aceite\ reusado} = \left( \frac{44,097 - 20,155}{46.290 - 20,155} \right) * \frac{1g}{ml} = 0.9161$$

**- Aceite Desechado**

$$\rho_{aceite\ desechado} = \left( \frac{44,193 - 20,188}{46.357 - 20,188} \right) * \frac{1g}{ml} = 0.9173$$

**b) Cálculo de la Humedad**

$$\%H = \frac{P_m - (P_f - P_i)}{P_m} * 100\%$$

**- Aceite Fresco**

$$\%H = \frac{50 - (92.6495 - 43.2)}{50} * 100\% = 1.101$$

**- Aceite Usado**

$$\%H = \frac{50 - (92.7055 - 43.2)}{50} * 100\% = 0.989$$

**- Aceite Reusado**

$$\%H = \frac{50 - (92.711 - 43.2)}{50} * 100\% = 0.978$$

### - Aceite Desechado

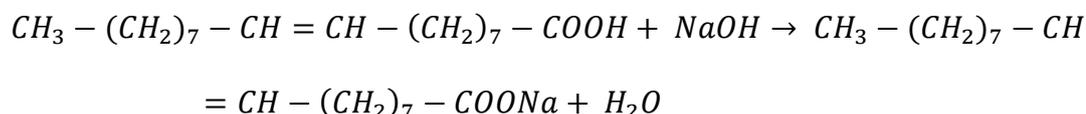
$$\%H = \frac{50 - (91.8005 - 43.2)}{50} \times 100\% = 0.999$$

### c) Índice de Acidez

$$\text{índice de acidez} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH} \times PM \times 100}{d_{aceite} \times V_{aceite}}$$

La acidez se expresa en gramos de ácido oleico por cien gramos de grasa (% m/m), se consideran todos los ácidos grasos libres como si fueran ácido oleico.

En la reacción que tiene lugar, un mol de NaOH reacciona con un mol de ácido oleico, de modo que:



Suponiendo que el peso molecular de ácido oleico es la suma de sus pesos particulares de sus componentes químicos parciales.

$$\begin{aligned} PM &= (12 + 3) + (12 + 2) \times 7 + (12 + 1) + (16 + 1) + (12 + 2) + (12 + 1) \\ &+ (12 + 2) \times 7 + (12 + 16 + 16 + 1) \end{aligned}$$

$$PM = 282$$

### - Aceite Fresco

$$\text{índice de acidez} = \frac{3.3 \times 0.1 \times 0.282 \times 100}{0.915 \times 10} = 1.017$$

### - Aceite Usado

$$\text{índice de acidez} = \frac{3.5 \times 0.1 \times 0.282 \times 100}{0.9156 \times 10} = 1.078$$

#### - Aceite Reusado

$$\text{índice de acidez} = \frac{3.8 \times 0.1 \times 0.282 \times 100}{0.9161 \times 10} = 1.170$$

#### - Aceite Desechado

$$\text{índice de acidez} = \frac{4 \times 0.1 \times 0.282 \times 100}{0.9173 \times 10} = 1.230$$

**Tabla 3. Caracterización de las muestras de aceite reciclado de cocina**

| Parámetro           | Unidad               | Muestra       |              |                |                  |
|---------------------|----------------------|---------------|--------------|----------------|------------------|
|                     |                      | Aceite fresco | Aceite usado | Aceite reusado | Aceite desechado |
| Densidad            | g/ml                 | 0.9150        | 0.9156       | 0.9161         | 0.9173           |
| Humedad             | %                    | 1.101         | 0.989        | 0.978          | 0.999            |
| Índice de Acidez    | %m ácido oleico/m    | 3.65          | 1.78         | 1.95           | 1.09             |
| Ph                  |                      | 7             | 7            | 7              | 7                |
| Índice de Peróxidos | Meq. O2/kg de aceite | 3.3345        | 9.4564       | 10.7898        | 11.0981          |

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. Obtención de biodiesel

#### 4.3.1. Transesterificación de las muestras de aceites reciclados de cocina

El alcohol utilizado en el proceso de transesterificación fue metanol 99 %.

Se usó 50 ml de Metanol por cada muestra de 200 ml de aceite. (Miliarium, 2014)

Se realizó un ensayo preliminar para fijar la cantidad adecuada de catalizador alcalino (NaOH) para la obtención de biodiesel a partir de aceite fresco, usado, reusado y desechado como se muestra en la tabla 10. (Zuleta et al, 2008)

**Tabla 4. Cantidades de Catalizador NaOH para cada ensayo.**

| <b>Muestra</b>   | <b>Catalizador NaOH (g)</b> |
|------------------|-----------------------------|
| Aceite fresco    | 3.3                         |
| Aceite usado     | 3.5                         |
| Aceite reusado   | 3.8                         |
| Aceite desechado | 4.0                         |

Fuente: Elaboración Propia

En tiempo de reacción fue de 100 minutos, el proceso fue realizado a una temperatura de 60 °C, con un reactor a 700 rpm. (Yépez J., 2017)

#### 4.4. Análisis Físico y Químico de las muestras de biodiesel.

**Tabla 5. Caracterización de las muestras de biodiesel.**

| <b>Parámetro</b>             | <b>Unidad</b>      | <b>Muestra</b>       |                     |                       |                         |
|------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
|                              |                    | <b>Aceite fresco</b> | <b>Aceite usado</b> | <b>Aceite reusado</b> | <b>Aceite desechado</b> |
| <b>Punto de Inflamación</b>  | °C                 | 180.25               | 170.50              | 170.38                | 168.50                  |
| <b>Índice de Cetano</b>      |                    | 47                   | 48                  | 48                    | 50                      |
| <b>Índice de Acidez</b>      | mg<br>KOH/g        | 0.250                | 0.330               | 0.350                 | 0.450                   |
| <b>Viscosidad Cinemática</b> | mm <sup>2</sup> /s | 3.56459              | 3.70808             | 3.90678               | 4.04567                 |
| <b>Poder Calorífico</b>      | kJ/kg              | 46920.10             | 46913.25            | 46910.35              | 45898.99                |
| <b>Densidad</b>              | g/ml               | 0.865                | 0.873               | 0.883                 | 0.889                   |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5. Influencia del Índice de Acidez en el Poder Calorífico del Biodiesel

Tabla 6. Índice de acidez y Poder Calorífico del Biodiesel

| Muestra                                | Índice de Acidez (mg KOH/g) | Poder Calorífico (kJ/kg) |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| Biodiesel obtenido de Aceite Fresco    | 0.250                       | 46920.10                 |
| Biodiesel obtenido de Aceite Usado     | 0.330                       | 46913.25                 |
| Biodiesel obtenido de Aceite Reusado   | 0.350                       | 46910.35                 |
| Biodiesel obtenido de Aceite Desechado | 0.450                       | 45898.99                 |

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica del Poder Calorífico en Función al Índice de Acidez

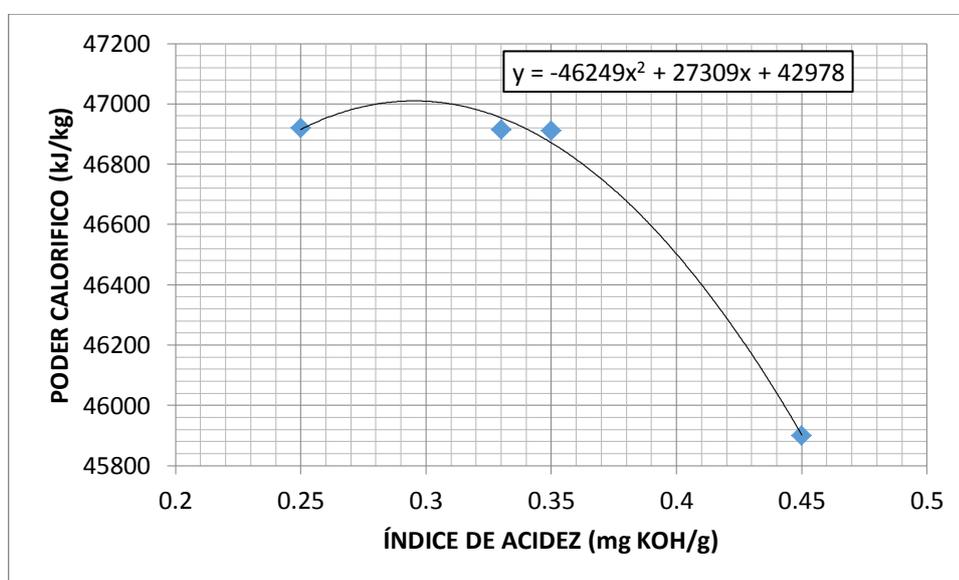


Figura 8. Gráfica del Poder Calorífico en Función al Índice de Acidez

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar que el punto máximo se alcanza cuando el índice de acidez es de 0.295 mg KOH/g con un Poder Calorífico de 47009.34 k/kg.

**CAPITULO V**  
**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## 5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El valor promedio obtenido en esta investigación para la densidad de las muestras de aceite reciclado de cocina fue de 0.916 g/ml. Este resultado es comparable a la de la referencia en donde se reportó que la densidad fue de 0.9156 g/ml. (Herrera et al, 2008)  
La densidad es una constante que no varía mucho para un aceite determinado cuando está puro y fresco, pero es afectada por la rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite. (Bernal de Ramírez, 1993)
- En la tabla de caracterización de las muestras de aceite reciclado de cocina se muestra los resultados obtenidos para la humedad, obteniendo un promedio de 1.017 %.  
El resultado de la humedad en los aceites reciclados de cocina estuvo próximo a lo que determinó Herrera, un valor de 1.25 % para el aceite residual de frituras. (Herrera et al, 2008)  
La Norma técnica peruana 209.001:1983, especifica que la humedad en aceites vegetales comestibles no debe contener más de 0.1% de agua. Se puede decir que la humedad del aceite reciclado de cocina ha aumentado debido al deterioro por el número de usos, su oxidación y el tiempo de almacenamiento. Este alto contenido de agua puede generar problemas en la reacción de transesterificación como la catálisis de la reacción de saponificación y la hidrólisis de los biodiesel obtenidos.
- El valor promedio obtenido para el índice de acidez fue 2.12 % ácido oleico. Este valor se encuentra dentro del intervalo recomendado para obtener biodiesel (< 3% en masa).

Este resultado se aproxima al índice de acidez promedio para aceites reciclados de frituras de 2.47 % ácido oleico reportado por Herrera en 2008.

La Norma técnica peruana 209.001:1983, especifica que la acidez en aceites vegetales comestibles no debe contener más de 0.2%. Se puede decir que el aceite reciclado de cocina sufrió degradación por el número de usos y el tiempo de almacenamiento. Además este valor de acidez indica una alta presencia de ácidos grasos libres que favorecen la formación de jabón dificultando la separación del biodiesel.

- El valor del pH medido para el aceite reciclado de cocina fue de 7. Se debe obtener un pH neutro de 7, para asegurar el proceso de transesterificación.
- El valor promedio del índice de peróxidos para el aceite reciclado de cocina en esta investigación fue de 8.67 Meq. O<sub>2</sub>/kg de aceite.

De acuerdo con el autor antes mencionado, podemos decir que este valor obtenido es comparable a los índices de peróxidos obtenido de la caracterización de aceite reciclado de fritura de 10.45 Meq. O<sub>2</sub>/kg de aceite. (Herrera et al, 2008)

La Norma técnica peruana 209.001:1983, especifica que el índice de peróxidos en aceites vegetales comestibles no debe ser mayor de 5 meq. O<sub>2</sub>/ kg de aceite. El índice de peróxidos es alto comparado con los valores para los aceites puros, ya que el índice de peróxidos de los aceites puros debe estar entre cero y cinco, este valor obtenido se debe a los procesos a que el aceite fue sometido y al tiempo de almacenamiento del mismo, cabe decir que este valor esta entre los valores normales del

índice de peróxidos de un aceite residual menores a 20 meq O<sub>2</sub> / kg de aceite.

- Los valores de acidez y valores de índice de peróxidos si bien son valores dentro de los rangos aceptables para un aceite residual, no quiere que no afecten la estabilidad del biodiesel obtenido a partir de esta materia prima.
- El valor promedio del punto de Inflamación de las muestras de biodiesel obtenidos fue de 172.41 °C.

De acuerdo a los resultados el biodiesel obtenido se encuentra dentro de los rangos establecidos por la NTP 321.125:2008 (min. 93°C) y por la normas internacionales para biodiesel ASTM D 6751-02 (mín. 120 °C). Además se puede decir que el biodiesel no tiene tendencia a evaporarse fácilmente y, por lo tanto, no presenta problemas para su almacenamiento a temperatura ambiente.

Este parámetro está relacionado con el contenido de metanol residual, para que se obtenga un valor alto de punto de Inflamación es necesario una pequeña cantidad de metanol, caso contrario se podría afectar los equipos de bombeo del combustible, sellos y empaques.

El valor obtenido en esta investigación es comparable con el valor promedio reportado por la bibliografía, que fue de 170.67 °C para biodiesel obtenido de aceite residual de frituras. (Herrera et al, 2008)

- El valor promedio obtenido del índice de cetano del biodiesel fue de 48.25, este valor cumple con las especificaciones técnicas de la NTP 321.125: 2008 y la norma internacional ASTM que indican un valor mínimo de 47.

Esta medida está relacionada a la calidad de ignición del combustible e influencia el humo blanco y la robustez de la combustión. El requerimiento de número de cetano depende del diseño del motor, de su tamaño, de las variaciones de velocidad y carga y de las condiciones atmosféricas y de arranque. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

- El valor promedio del Índice de Acidez reportado en esta investigación fue de 0.345 mg KOH/g. Este valor cumple con las especificaciones de la NTP 321.125:2008 donde nos dicen que el valor máximo es de 0.5, y las especificaciones de las normas internacionales ASTM, donde el valor máximo especificado es de 0.8.

El número de acidez del biodiesel mide un fenómeno diferente que para combustibles diesel derivados del petróleo. El número de acidez de biodiesel mide los ácidos grasos libres o subproductos de la degradación no encontrados en combustibles diesel derivados del petróleo. Los nuevos diseños de sistemas de combustibles con mayores temperaturas de reciclo pueden incrementar la degradación lo cual puede resultar en valores de acidez elevados e incrementar el potencial de taponamiento de filtros. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008)

El valor de índice de acidez obtenido en esta investigación es comparable con la reportada por Martínez et al. 2015, que fue de 0.32 mg KOH/g. Esto es debido a que se usó la misma materia prima.

- El valor promedio de la viscosidad cinemática de esta investigación fue de 3.80628 mm<sup>2</sup>/s. Este resultados cumple con las especificaciones técnicas de la NTP 321.125: 2008 y de las normas internacionales ASTM que indican el rango de 1.9 – 6.0 mm<sup>2</sup>/s.

Este resultado hace que el biodiesel obtenido sea ventajoso para algunos motores, debido a que medidas altas de la viscosidad causa pérdida de potencia a causa de las pérdidas en las bombas de inyección y en los inyectores. 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. (Norma Técnica Peruana 321.125, 2008).

El valor de la viscosidad cinemática obtenido en esta investigación es comparable con la reportada por Herrera et al, 2008, que fue de 0.31950 mm<sup>2</sup>/s.

- El valor promedio obtenido en esta investigación del Poder Calorífico es de 46660. 6725 kJ/kg.

En la norma internacional ASTM el poder calorífico debe estar alrededor de 45000 kJ/Kg y el biodiesel obtenido esta alrededor de este valor. Además es comparable con el biodiesel reportado por Herrera et al, 2008, que obtuvo un Poder Calorífico de 46913, 18 kJ/kg y con el valor reportado por Echeverría et al, 2013, que obtuvo muestras de biodiesel cuyo Poder Calorífico disminuía de 51.55 a 37. 42 MJ/kg.

**CAPITULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. CONCLUSIONES

- Se trabajó con cuatro tipos de aceites de cocina de origen vegetal: fresco, usado, reusado y desechado. Al analizar estas muestras se apreció que presentan diferente acidez debido al deterioro por el número de usos, su oxidación y el tiempo de almacenamiento.

Se logró una limpieza eficaz del aceite reciclado de cocina, lo que permitió contar con una materia prima adecuada para obtener un biodiesel que cumple con las especificaciones técnicas de la Norma Técnica Peruana 321.125:2008 y la norma Internacional ASTM.

- La caracterización fisicoquímica de las muestras de aceites reciclados de cocina dio como resultado valores adecuados, que permitieron obtener biodiesel con características óptimas.
- Se obtuvo cuatro muestras de biodiesel a través de la reacción de transesterificación. Se ensayaron cuatro diferentes cantidades de catalizadores para la reacción de transesterificación manteniendo en todos los casos la cantidad de 200 ml de aceite y 50 ml de Metanol, tiempo de reacción (100 minutos) y temperatura de reacción (60°C).

La obtención del biodiesel a partir de un aceite reciclado de cocina fue satisfactoria. Lo cual lo hace una alternativa para el aprovechamiento de este residuo, y así contribuir a la disminución del impacto ambiental ocasionando por los centros comerciales e industriales.

- Los valores promedios obtenidos en las caracterización del biodiesel obtenido a partir aceite reciclado de cocina fueron los siguientes:  
Punto de Inflamación: 172.41 °C.  
Índice de Cetano: 48.25  
Índice de Acidez: 0.345 mg KOH/g  
Viscosidad Cinemática: 3.80628 mm<sup>2</sup>/s  
Poder Calorífico: 46660. 67 kJ/kg  
Densidad: 0.878 g/ml
- Gráficamente se observa que el punto máximo se alcanza cuando el índice de acidez es de 0.295 mg KOH/g con un Poder Calorífico de 47009.34 kJ/kg. Lo que nos indica que es recomendable trabajar con Aceites reciclados con un solo uso. Los resultados de Índice de Acidez y Poder Calorífico obtenidos en esta investigación son adecuados dado que se encuentran dentro de las especificaciones técnicas de la norma internacional ASTM.
- El Poder Calorífico del biodiesel disminuye cuando el índice de acidez es mayor a 0.30 mg KOH/g, dado que es un aceite reciclado de varios usos y desechados. Pero no se descarta el poder utilizar los aceites reciclados con varios usos, ya que se puede dar un tratamiento adecuado para su aprovechamiento.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable almacenar el aceite residual de cocina en recipientes de plásticos cerrados herméticamente.
- Es muy importante el cálculo de la cantidad de Alcohol antes de realizar el proceso de transesterificación, dado que a una mayor cantidad el alcohol se evapora en el calentamiento.
- Si es posible realizar el proceso de transesterificación a temperaturas cercanas a 100 °C y ajustar el pH a 7 para evitar mayores formaciones de jabón.
- Para la limpieza del biodiesel es recomendable solo hacerla con agua destilada y no agregar otro compuesto químico, dado que se puede ocasionar daños como la corrosión en el almacenamiento de este combustible y en el motor.
- El obtener combustibles por nuevas fuentes de energía es muy rentable. El utilizar el aceite residual de cocina de los centros comerciales y de los domicilios, es favorable para una mejora económica y disminución de la contaminación en el ambiente. Por lo que se recomienda realizar un análisis de la factibilidad económica del aprovechamiento de este residuo, para usarlo como mezcla con el combustible diesel y usarlo en el parque automotor de la ciudad.
- Se debe tener en cuenta que es importante la caracterización de la materia prima para obtener biodiesel, dado que de esta depende la calidad del biocombustible.

- Al manipular los reactivos (principalmente en NaOH), se debe tomar precauciones y usar los equipos de protección necesarias. Los reactivos deben estar el menor tiempo expuestos al ambiente.
- Si la acidez presente en la materia prima es alta, es recomendable agregar más catalizador (NaOH o KOH).
- Después de la limpieza del biodiesel se debe realizar un calentamiento para eliminar el exceso de agua y metanol que no reacciono en la transesterificación.
- Sería de mucha utilidad la existencia de una norma con las especificaciones y técnicas de la obtención del biodiesel a partir de aceite residual de cocina para encontrar un biodiesel de mayor rendimiento, con variaciones en los reactivos y en la cantidad de estos.
- Entre los productos que se obtienen de la reacción de transesterificación está la glicerina, la cual podría ser utilizada en procesos industriales. Se recomienda realizar procesos para su posterior aprovechamiento.
- La Bomba Calorimétrica utilizada no es la indicada para una investigación precisa, dado que no se puede determinar el poder calorífico inferior sino solo la superior. Se recomienda utilizar una bomba definida por la norma ASTM. En nuestra investigación, usamos la bomba con la que cuenta la Universidad Nacional del Santa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agudelo, A. (2008). *Evauación del biodiesel en un motor diesel operando en condiciones de carga*. Universidad Tecnológica , Colombia.
- Benjumea, P., Agudelo, J., & Cano, G. (2004). Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para al producción de biodiesel. *Revista Scientia et Técnica*, 169.
- Bruce S, MacDonald, L., Barker, W., Robert , K., & William, F. (2007). *Determination of Sulfur in Biodiesel by X-Ray Fluorescence Spectroscopy*. Obtenido de [https://www.astm.org/COMMIT/E48\\_MacDonald.pdf](https://www.astm.org/COMMIT/E48_MacDonald.pdf)
- Castellan, G. (1987). *Fisicoquímica. Naucalpan de Juárez, México: (2° Edición ed.)*. Naucalpan de Juarez, Mexico: Pearson Educación.
- Castro Pareja, P. (2007). *Opciones para la producción y uso de biodiésel en el Perú*. Lima, Perú: Forma e Imagen.
- Ciria , I. (2005). *Propiedades y características de combustibles diesel y biodiesel*. Wearcheck Ibéria. España.
- Matissec, R., Schnepel, F. & Steiner, G. (1992). *Análisis de los alimentos:Grasas y sustancias acompañantes*. Berlín, Alemania. Editorial: Springer- Verlag.
- Aguirre, L. (2001). *Validación de métodos analíticos*. España. Editorial: A.E.F. Industria.
- Crespo, V., & Martínez, A. (2001). Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral. En *Ingeniería Química* (págs. 135-145). Madrid.
- Garcia, J., & Garcia, J. (2006). *Biocarburentes líquidos: biodiesel y bioetanol*. Universidad de Alcalá, España.

- Jeong, G., Yang, H., & Park, D. (2014). Optimization of animal fat ester using response surface methodology. En *Bioresource Technology* (págs. 25-30).
- Miliarium. (2014). *Biocombustibles*. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Biocombustibles/VariablesReaccionTransesterificacion.asp>.
- Montefrio, M., Xinwen, T., & Obbard, J. (2010). *Recovery and pre-treatment of fats, oil and grease from grease interceptors for Biodiesel production*. Obtenido de [https://www.academia.edu/3814097/Recovery\\_and\\_pre-treatment\\_of\\_fats\\_oil\\_and\\_grease\\_from\\_grease\\_interceptors\\_for\\_biodiesel\\_production](https://www.academia.edu/3814097/Recovery_and_pre-treatment_of_fats_oil_and_grease_from_grease_interceptors_for_biodiesel_production)
- Sagñay, R. (2016). *Determinar las características del motor 3,7l v6 T1-VCT DOHC de la camioneta Ford F 150 y su rendimiento con uso de combustibles*. s.l. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Salazar, N. (2012). *Caracterização de biodiesel e misturas BXX por GCxGC-FID e GCxGC qMS*. s.l. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Química, Brasil.
- Murcia, B., Chaves, L., Rodríguez, W., Andredy, M. & Alvarado, E. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista colombiana de biotecnología*, Volumen 15, Número 1, (págs. 61-70).
- Urbano, R., Rios, J. *Aprovechamiento del aceite vegetal usado para la obtención de biocombustible (biodiesel) como fuente de energía en una empresa de frituras*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/56211173/52421365-Biodiesel-Articulo>.
- Varty, A., Lishawa, S.. *Haciendo Biodiesel de Aceite Vegetal Usado*. Obtenido de <https://greenteacher.com/article%20files/haciendobiodiesel.pdf>.

- Herrera, J., Vélez, J. (2008). *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel)*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Enweremadu, C., Mbarawa, M. (2009). Aspectos técnicos de la producción y análisis de biodiesel a partir de aceite de cocina usado. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 13, (págs. 2205-2224).
- Blanchar, H., Contreras G., Garcia, N., Nieves A., Quintero, G. & Reyez, M. (2015). *Obtención de Biodiesel a partir de aceite usado*. Universidad Popular del Cesar. Colombia.
- Rodríguez, P. (2008). *Practica de Laboratorio: Medida de la acidez del aceite de oliva*. Granada. Obtenido de [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_13/M\\_PAZ\\_GARCIA\\_2.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_13/M_PAZ_GARCIA_2.pdf)
- Dalla, B., Pisarello, M. & Querini, C. (2010). *Procesos de Producción de Biodiesel: Uso de Materias Primas Alternativas y de Alta Acidez*. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE). Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería Química. Santa Fe, Argentina. Obtenido de <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/02/procesos-de-produccion-de-biodiesel-uso-de-materias-primas-alternativas-y-de-alta-acidez.pdf>
- Atadashi, I., Aroua, M. & Aziz, A. (2011). *Biodiesel separation and purification: A review*. *Renewable Energy*, Número 36, (págs.. 437-443).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard D6751. Standard Specification for Diesel Fuel Oils. ASTM, West Conshohocken, 2008.
- Norma Técnica Peruana. NTP 321.125. Biocombustibles. Biodiesel. Especificaciones. Indecopi. 2008.

# ANEXOS

## ANEXO 1: Procedimiento

### 1.1. Filtrado y secado:

Luego de la recolección de las 4 muestras de aceite, se procedio a realizar el filtrado con ayuda de papel filtro y embudo para filtración, para el secado del aceite utilizamos Sulfato de Sodio, asi obtuvimos el aceite mas limpio para poder almacenarlo por 7 dias.



## 1.2. Medición del Índice de Acidez y pH del aceite.

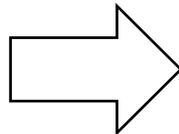
Se midió 10 ml de aceite y se disolvieron 20 ml de metanol en un vaso de precipitado.

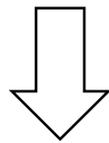
Se añadió 3 gotas de fenolftaleína y se agitó.

Se preparó una disolución de NaOH 0.1N, se vertió en una bureta.

Se llevó a cabo la valoración, se colocó el vaso de precipitado bajo la bureta. Se dejó caer la disolución de NaOH 0.1 N, agitando continuamente el contenido del vaso de precipitado.

La valoración en cada muestra tuvo fin cuando la disolución adquirió un color rosa permanente, se cerró la llave de la bureta y se midió el volumen de NaOH consumido.





Para determinar el pH, se colocó la disolución en el papel pH con la ayuda de una pipeta. Se usó un papel pH del rango de 7 a 12 por tratarse de un pH neutro.

### **1.3. Obtención del biodiesel**

Se midió 200 ml de aceite para cada ensayo. Se obtuvo metóxido de sodio disolviendo la cantidad de NaOH necesaria para cada ensayo en 60 ml de metanol, mediante un agitador magnético.



Se calentó el aceite a 60 °C. Se agregó el metóxido de sodio al aceite y se agitó. Se calentó y se agitó por 100 minutos.



El producto se dejó decantar durante 24 horas en peras de decantación, luego se separó el biodiesel de la glicerina formada en la parte de inferior de la pera de decantación.



#### **1.4. Medición del Poder Calorífico del Biodiesel**

a) Preparación del Equipo.

Se tomó con una pipeta 1,5 ml de biodiesel. El biodiesel se colocó en el crisol de la bomba. Se llenó el recipiente de agua con 2000 gramos de agua. Se cortó un trozo de alambre de ignición de 15 cm y se ató firmemente a los electrodos de la bomba calorimétrica, asegurándose que el alambre toque el combustible. Se cerró la bomba, se presurizó con oxígeno a 20 atmósferas y se introdujo en el recipiente del agua. Se introdujo el recipiente dentro de la camisa adiabática y se colocó la tapa correspondiente.

b) Prueba Preliminar.

Se determinó la precisión del termómetro del equipo. Una vez que se alcanzó el equilibrio térmico entre los distintos componentes del sistema, se encendió el agitador.

Se tomó nota cada minuto de la temperatura del agua en la bomba hasta que la temperatura se estabilizó.

c) Prueba Principal.

Luego de estabilizada la temperatura, se conectó eléctricamente los electrodos de la bomba, presionando el interruptor correspondiente. En ese momento el hilo de hierro se tornó incandescente y se fundió, se formó óxido de hierro y se quemó completamente el combustible. En ese momento la temperatura comenzó a subir rápidamente. Se tomó nota cada minuto de la temperatura del agua en la bomba hasta que la temperatura se estabilizó.



ANEXO 2. Especificaciones de aceite vegetal comestible

| Requisito  | Especificación   | Referencia   |
|--|--|--|
| <b>Calidad<sup>1)</sup></b>                                    |  |  |
| Agua   | No contener más de 0,1 % de agua.  | NTP<br>209.001:1983<br>(Revisada el<br>2012)<br>ACEITES<br>VEGETALES<br>COMESTIBLES.<br>Definiciones y<br>requisitos<br>generales. |
| Acidez   | No tener una acidez libre expresada como ácido oleico, mayor de 0,20 %                             |  |
| Índice de peróxido   | No mayor de 5 miliequivalentes por kilo de muestra.  |  |
| Aceite mineral   | Exentos de aceite de origen mineral.   |  |
| Resistencia al frío (aplicable solo para aceites winterizados) | Cumplir con una resistencia al frío mínima de 5 horas a 0°C  |  |
| Sinérgicos antioxidantes <sup>2)</sup>                         | Ácido cítrico (sin limitación)<br>Citrato de sodio (sin limitación)<br>Ácido fosfórico (100 mg/Kg) |  |

Fuente: NTP 209.001: 1983. Aceites Vegetales Comestibles. Definiciones y requisitos generales.

**ANEXO 3.** Especificaciones del Biodiesel (B100)

| <b>Propiedad</b>  | <b>Método de Ensayo (a)</b> | <b>Biodiesel B100</b> | <b>Unidades</b>    |
|---|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Contenido de calcio y magnesio combinado  | <b>EN 14538</b>             | 5 Máx.                | ppm(ug/g)          |
| Punto de inflamación. (Copa cerrada)  | <b>ASTM D 93</b>            | 93 min.               | °C                 |
| Control de Alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:)                                     |                             |                       |                    |
| 1.Contenido de Metanol  | <b>EN 14110</b>             | 0.2 Máx.              | % volumen          |
| 2.Punto de inflamación  | <b>ASTM D 93</b>            | 130.0 min.            | °C                 |
| Agua y sedimento  | <b>ASTM D 2709</b>          | 0.050 Máx.            | % volumen          |
| Viscosidad cinemática a 40°C  | <b>ASTM D 445</b>           | 1.9-6.0 (b)           | mm <sup>2</sup> /s |
| Ceniza sulfatada  | <b>ASTM D 874</b>           | 0.02 Máx.             | % masa             |
| Azufre ©  | <b>ASTM D 5453</b>          | 0.0015 Máx.<br>(15)   | % masa<br>(ppm)    |
| Corrosión a la lámina de cobre  | <b>ASTM D 130</b>           | N° 3                  |                    |
| Número Cetano   | <b>ASTM D 613</b>           | 47 min.               |                    |
| Punto nube  | <b>ASTM D 2500</b>          | Repotar (d)           | °C                 |
| Residuo de carbón ©   | <b>ASTM D 4530</b>          | 0.05 Máx.             | % masa             |
| Número acidez   | <b>ASTM D 664</b>           | 0.5 Máx.              | Mg KOH/g           |
| Glicerina libre   | <b>ASTM D 6584</b>          | 0.02 Máx.             | % masa             |
| Glicerina total   | <b>ASTM D 6584</b>          | 0.240 Máx.            | % masa             |
| Contenido de fósforo  | <b>ASTM D 4951</b>          | 0.001 Máx.            | % masa             |
| Temperatura de destilación.<br>Temperatura del 90% de recuperado equivalente presión atmosférica. | <b>ASTM D 1160</b>          | 360 Máx.              | °C                 |
| Contenido de sodio y potasio, combinado   | <b>EN 14538</b>             | 5 Máx.                | ppm(ug/g)          |
| Estabilidad a la oxidación  | <b>EN 14112</b>             | 3 min.                | horas              |

**Fuente:** NTP 321.125, (2008). Biocombustibles. Biodiesel. Especificaciones.