



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL

“CALIDAD DE BIODIESEL A PARTIR DEL PORCENTAJE DE ACIDOS GRASOS  
LIBRES DE ACEITE USADO”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

TEQUÉN ARROYO YAVAR EDGAR

ASESOR:

M. Sc. RODAS CABANILLAS JOSÉ LUIS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

CHICLAYO – PERÚ

2017

## **PÁGINA DEL JURADO**

---

Dr. Francisco Ríos Ahuanari

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

Mgtr. Cesar Augusto Zatta Silva

**SECRETARIO DEL JURADO**

---

Dra. María Raquel Maxe Malca

**VOCAL DEL JURADO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos, y todos las personas que me  
han venido apoyando durante el tiempo de mi  
carrera como profesional

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos por el apoyo moral y económico, por los consejos e impulsarme a seguir adelante.

A mis amigos, profesores, asesores por el apoyo en esta investigación.

## **DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

La presente tesis representa el requisito para obtener el título de Ingeniero Ambiental en la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo.

Yo Yavar Edgar Tequen Arroyo con el DNI: 72544842 declaro que la investigación titulada “CALIDAD DE BIODIESEL A PARTIR DEL PORCENTAJE DE ACIDOS GRASOS LIBRES DE ACEITE USADO”, es auténtica, personal y original. En tal hecho, declaro que el contenido será de mi responsabilidad.

---

Yavar Edgar Tequén Arroyo

DNI: 72544842

## **PRESENTACIÓN**

En el mundo la necesidad de cambio de conciencia en el cuidado del medio ambiente está cambiando tal vez todavía muy lento, lo más importante es la iniciativa de formar una conciencia en cada uno de los seres humanos para vivir dignamente nosotros y las nuevas generaciones.

En el Perú la realidad de una calidad de vida más humana es una secuencia de manifestaciones que son todavía pura teoría, tal vez la situación económica, de un país en proceso de desarrollo inclinado en lo comercial lo más rápido y práctico no permite incluir invertir en proyectos para el cuidado del medio ambiente.

Es nuestra iniciativa como futuros profesionales en presentar y ejecutar cambios en el cuidado del medio ambiente, por tal motivo presento mi trabajo de investigación, seguro de aportar en un cambio de conciencia en nuestra localidad y del país, para esta generación de las generaciones futuras con una iniciativa del uso de aceite usado de cocina para sus diferentes transformaciones como el biodiesel.

## ÍNDICE

|   |               |
|---|---------------|
| Dedicatoria .....   | II            |
| Agradecimiento .....  | III           |
| Declaratoria De Autenticidad.....   | IV            |
| Presentación .....  | V             |
| Resumen.....  | IX            |
| Abstract.....   | X             |
| I. Introducción.....  | 1             |
| 1.1. Realidad Problemática .....  | 2             |
| 1.2. Trabajos Previos .....   | 2             |
| 1.3. Teorías Relacionadas Al Tema.....  | 5             |
| 1.3.1. Calidad De Biodiesel.....  | 5             |
| 1.3.5. Porcentaje De Acidos Grasos Libres De Aceites Usados.....              | 11            |
| 1.4. Formulación Del Problema.....  | 13            |
| 1.5. Justificación.....   | 13            |
| 1.6. Hipótesis .....  | 14            |
| 1.7. Objetivos .....  | 14            |
| II. Método .....  | 15            |
| 2.1. Diseño De Investigación .....  | 15            |
| 2.2. Variables, Operacionalización.....                                       | 15            |
| 2.3. Población Y Muestra .....  | 17            |
| 2.4. Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos,<br>Y Confiabilidad..... | Validez<br>17 |
| 2.5. Métodos De Análisis De Datos.....  | 17            |
| 2.6. Aspectos Éticos.....   | 17            |
| III. Resultados .....   | 18            |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.- Procedimiento Y Montaje .....           | 18 |
| 3.2.- Parámetros Del Biodiesel .....          | 19 |
| 3.2.1.- Densidad .....                        | 19 |
| 3.2.2.-Viscosidad .....                       | 21 |
| 3.2.3.- Índice De Acidez.....                 | 23 |
| 3.2.4.-Porcentaje De Conversión.....          | 25 |
| 3.4.- Estimacion De Costos Del Biodiesel..... | 29 |
| IV. Discusión .....                           | 30 |
| V. Conclusiones .....                         | 32 |
| VI. Recomendaciones .....                     | 33 |
| VII. Propuesta.....                           | 34 |
| VIII. Referencias.....                        | 37 |
| Anexos .....                                  | 41 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Propiedades del Biodiesel .....  | 7  |
| Tabla 2 : Operacionalización de Variable .....                                    | 16 |
| Tabla 3 : Resultados obtenidos del análisis de densidad del biodiesel .....       | 19 |
| Tabla 4 : Resultados obtenidos del análisis de viscosidad del biodiesel.....      | 22 |
| Tabla 5 : Resultados obtenidos del análisis de índice de acidez del biodiesel.... | 24 |
| Tabla 6 : Resultados del Porcentaje de conversión del Biodiesel .....             | 26 |
| Tabla 7 : Costos de producción para la obtención de biodiesel .....               | 29 |
| Tabla 8 : Norma técnica peruana 321.125.2008 .....                                | 45 |
| Tabla 9 : Norma Internacional Astm Para Biodiesel .....                           | 46 |
| Tabla 10 : Análisis de varianza del porcentaje de conversión del biodiesel .....  | 49 |
| Tabla 11 : Ficha De Recolección De Datos.....                                     | 53 |
| Tabla 12 : Matriz de Consistencia .....   | 54 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Comparación De Las Densidades Obtenidas Con Las Normas De Calidad. ....   | 20 |
| Figura 2: Comparación De Las Viscosidades Obtenidas Con Las Normas De Calidad. .... | 23 |
| Figura 3: Comparación Del Índice De Acidez Obtenido Con Las Normas De Calidad. .... | 25 |
| Figura 4: Diferencias De Los Porcentajes De Conversión Del Biodiesel. ....          | 27 |
| Figura 5: Comparación Del Consumo Según Combustible. ....                           | 28 |
| Figura 6: Proceso De Segregacion Del Aceite .....                                   | 42 |
| Figura 7: Reacción Del Proceso De Transesterificación .....                         | 43 |
| Figura 8: Proceso De Elaboración Del Biodiesel. ....                                | 44 |
| Figura 9 : Montaje Del Reactor A Utilizar .....                                     | 47 |
| Figura 10 : Separación Del Biodiesel (Utilizado Koh Como Catalizador). ....         | 47 |
| Figura 11 : Separación Del Biodiesel (Utilizando Cao Como Catalizador). ....        | 48 |
| Figura 12: Color Biodiesel. ....  | 50 |
| Figura 13: Pruebas En El Motor .....  | 51 |
| Figura 14 : Plano De Planta De Tratamiento De Aceites Usados .....                  | 52 |
| Figura 15: Análisis de los Parámetros del Biodiesel. ....                           | 55 |

## RESUMEN

Los residuos, especialmente los aceites de descarte, son un grave problema con los que los municipios tienen que lidiar, porque generan altos costos en el mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua residual y problemas en el mantenimiento del alcantarillado. Este trabajo plantea elaborar un combustible alternativo, que viene a ser el biodiesel a partir de los aceites usados que las personas generan.

La investigación se llevó a cabo de la siguiente manera: se tomó como muestra aceites usados de un restaurante del pueblo joven 9 de Octubre, de estos se procedió a tomar 150 ml por cada tratamiento que se le daba al aceite usado. Ya en el proceso se tomó dos tipos de catalizador el KOH (1%) y el CaO (1%), estos fueron tratados junto con el etanol y se procedió a realizar la reacción de transesterificación en dos tiempos de 30 y 60 minutos. Al final se produjo a analizar los parámetros tales como: densidad, índice de acidez, viscosidad, porcentaje de conversión y posteriormente probarlo en un motor a combustión interna.

Los mayores resultados se obtuvieron cuando la reacción duro 60 minutos y con KOH utilizado como catalizador, tal es el caso de la densidad 876.56 Kg/m<sup>3</sup> , viscosidad 1.85 cp , índice de acidez 0.36 mg KOH/g y porcentaje de conversión 76.67%. Pero también se notó que el color de este biodiesel es más oscuro que el hecho con CaCO como catalizador.

Para la prueba del biodiesel en el motor de combustión, se procedió a elegir el biodiesel de mejor calidad, en este caso el hecho en 60 minutos con KOH como catalizador, se consumió 150 ml en dos minutos y al principio se notó una humareda producto de que el motor es mayormente usado con petróleo y todavía tenía algunos restos de este en el interior.

**Palabras Claves: Calidad de Biodiesel - Porcentaje de ácidos grasas libres de aceite usado**

## ABSTRACT

Waste, especially waste oils, is a serious problem with which municipalities have to deal, because they generate high costs in the maintenance of wastewater treatment plants and problems in the maintenance of sewage. This work proposes to develop an alternative fuel, which comes to be biodiesel from the used oils that people generate.

The research was carried out as follows: used oils were sampled from a restaurant in the young town of October 9, from which they proceeded to take 150 ml for each treatment that was given to the used oil. Already in the process two types of catalyst were taken: KOH (1%) and CaO (1%), these were treated together with ethanol and the transesterification reaction was performed in two times of 30 and 60 minutes. In the end, the parameters such as density, acidity index, viscosity, conversion rate and subsequently tested on an internal combustion engine were analyzed.

The highest results were obtained when the reaction lasted 60 minutes and with KOH used as catalyst, such as density 876.56 kg / m<sup>3</sup>, viscosity 1.85 cp, acid number 0.36 mg KOH / g and 76.67% conversion rate. But it was also noted that the color of this biodiesel is darker than that made with CaCO as a catalyst.

For the biodiesel test in the combustion engine, the best quality biodiesel was chosen, in this case the fact in 60 minutes with KOH as a catalyst, 150 ml was consumed in two minutes and at first a humored product of That the engine is mostly used with oil and still had some remains of this on the inside.

**Keywords: Quality of Biodiesel - Percentage of oil free fatty acids**

## INTRODUCCIÓN

La contaminación a nivel mundial en las últimas décadas se ha acelerado, producto del desarrollo industrial y la demanda por parte del crecimiento de la población. Esto ha hecho que se generen más residuos y causen graves daños al ambiente.

El aceite vegetal tiene un gran uso en los hogares, restaurantes y centros comerciales. Estos la mayoría de veces se utilizan para las frituras donde sufren cambios químicos y físicos que hacen que se vuelva inservibles.

Como contaminante un litro de aceite usado contiene aproximadamente 5000 veces más carga contaminante que el agua residual, que pueden crear una capa encima del agua que prohíbe el ingreso de oxígeno y por lo tanto las especies acuáticas mueren. Por otro lado en las plantas de tratamiento su costo de depuración es muy elevado, hasta cinco veces a comparación del proceso de descontaminación de otros contaminantes en el agua.

El aprovechamiento de estos residuos generados por la misma población, está siendo una alternativa para reemplazar a los combustibles tradicionales y reducir su impacto al ambiente. En el presente trabajo se realizara un biocombustible, biodiesel, para así comprobar su utilización de estos aceites en la elaboración de combustibles alternativos.

## **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Los aceites usados es uno de los grandes problemas en la contaminación del agua, ya que las personas no tienen otra opción más que arrojarlo a la red de desagüe.

Según el Instituto de Tecnología Industrial de Argentina, la mala disposición de aceites usados ocasiona los siguientes problemas: la contaminación del agua por derrames y disposición inadecuada, el deterioro de las tuberías de alcantarillado, el incremento de los costos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento y la contaminación de los cursos de agua como arroyos y canales. Constatándose que el agua es la más afectada por la mala disposición de los aceites usados.

Las familias peruanas tienen como base en su cocina la aplicación de aceites en los diferentes platos que se preparan y así como en otros países que no existe una buena disposición de los aceites, estos son arrojados a la red de desagüe. Muchos justifican su aptitud a la ausencia de un sistema de recolección en las ciudades para poder segregar estos residuos.

El aprovechamiento de los aceites residuales en Chiclayo, es una debilidad por la falta de gestión de estos residuos. Los hogares de la zona urbana del distrito de Chiclayo tienen como característica un nivel socioeconómico medio y servirán de muestra para el aprovechamiento de los aceites usados de cocina para la elaboración biodiesel.

La participación ciudadana y el aprovechamiento de los residuos, en este caso aceites usados, contribuyen a solucionar un problema importante en cuidado del ambiente.

## **1.2. TRABAJOS PREVIOS**

(Vieitez, 2012): realizó la investigación denominada: “Viabilidad en la elaboración de biodiesel a partir de aceites de fritura de descarte en Uruguay”, dicho autor realizó una caracterización de diferentes muestras de aceite usado y evaluar su calidad para la utilización como materia prima en la elaboración de biodiesel, además también se estudió la eficiencia del proceso de transesterificación en los aceites usados.

El investigador concluyó que el mayor contenido de éster obtenido a partir de un aceite usado fue de 95.7%. Por lo tanto, los aceites usados pueden ser una materia prima alternativa y apropiada para la elaboración de biodiesel si el momento de su descarte está regulado convenientemente por normativas de calidad. Pero los contenidos de Ester no pudieron alcanzar lo exigido por las normas de calidad, por lo que es necesario de una etapa más para obtener un biodiesel de calidad.

Los aceites usados pueden ser una materia prima alternativa y apropiada, ya que el mayor contenido de ésteres fue de 95.7%. Lo que el autor utilizó fue comparar la calidad de los aceites usados frente a los aceites nuevos o sin uso para poder determinar si sería viable en una producción de biodiesel.

(Solarte, V, 2013): en su tesis: "Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en 4 barrios de la ciudad de Cali", llegaron a la conclusión que según los resultados el 20% de las viviendas encuestadas eliminan los residuos de aceite de cocina a través del desagüe lo cual representará un total de 3843 viviendas de los cuatro barrios las cuales realizan esta acción. Aunque también hay que tener en cuenta que una significativa cantidad de viviendas lo separan renvalsándolo y posteriormente lo botan a la basura, es decir, 11477 viviendas, representando un 43%. Por consecuencia las empresas encargadas del tratamiento del agua que obtienen beneficios, como la reducción en costos de depuración y las fundaciones que tengan especial sensibilidad por el recurso hídrico, podrían ser los posibles financiadores, así como cualquier empresa privada o pública que quiera apoyar el proyecto.

Si se llega a recolectar las empresa de agua obtendrían beneficios a la hora de sus operaciones, también notaron en su trabajo que la población mostro disposición a la hora de recolectar el aceite usado y otra cosa importante fue que obtuvieron cifras sobre cuanto aceite consumen las familias, 499923 litros al mes en total. Este aporte nos ayudaría mucho, ya que así podemos dirigimos con seguridad en que vamos a aprovechar esos aceites.

(Ávila y Tunala ,2014) En su tesis: “Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diésel en diferentes proporciones”, diseño y construyó un prototipo de reactor semiautomático y utilizó el proceso de transesterificación , que se utiliza para convertir el aceite en biodiésel y este es sometido a diferentes ensayos físico-químicos para determinar si cumplen con las normas internacionales , luego estos autores probaron el biodiésel en un motor y lo sometieron a pruebas mecánicas de torque , potencia , consumo de combustible , y opacidad de gases combustionados .

Los autores concluyeron que el birreactor implementado tiene una capacidad diaria para producir 40lt de biodiésel de excelente calidad. Con lo que el biodiésel elaborado en el birreactor es óptimo para la utilización en motores diésel, sin la necesidad de ninguna modificación. Además que el precio de producción de 1lt de biodiésel es de 0.94 ctvs. de dólar; comparado con el precio del diésel es casi el triple, por lo que no es rentable su producción, a menos que el biodiésel entre en los subsidios del país, como lo es el diésel.

Lo rescatable del trabajo es que demostraron que el biodiésel puede utilizarse en motores sin ninguna modificación, haciendo de este un combustible alternativo y amigable con el ambiente. Por otro lado muestra una deficiencia en el costo de producción.

(Barros, 2014): En su proyecto “Obtención de biodiésel a partir de aceite de cocina usado de la ENM”, en la cual se realizó mediante la reacción de transesterificación, utilizando diversas pruebas variando la temperatura y tiempo de reacción para que puedan encontrar el más idóneo en el proceso. Para que la reacción sea más rápida el autor realizó las pruebas en una máquina de ultrasonidos.

El autor concluye que es muy recomendable la producción de este biodiésel en la mayoría de organizaciones o empresas que cuenten con una cocina, y por tanto se encuentren con grandes cantidades de aceite usado. El uso de este aceite para la producción de biodiésel supondrá un ahorro significativo, tanto por la eliminación de los gastos de tratamiento residual, como por el partido que

se le pueda sacar al propio biodiesel, ya sea mezclado para usar como combustible, o cualquiera de los otros usos arriba señalados.

Identificaron que el mayor problema de los aceites es su tratamiento, esto supone un gasto en las plantas de depuración, por lo tanto si se emplea el aceite como biodiesel, este problema desaparecería. En nuestro medio esto se ve reflejado en la poca cultura de las personas y la falta de gestión de las autoridades.

### **1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA**

#### **1.3.1. CALIDAD DE BODIESEL**

La calidad del biodiesel se determina mediante una serie de análisis tanto físicos, químicos o visuales como por ejemplo, puede comprobarse visualmente, Debe tener el aspecto del aceite vegetal, pero con un matiz marrón, parecido a la sidra y midiendo su pH el cual debe ser neutro (pH 7). (Biodisol, 2008).

Existen otros parámetros en los que se puede decir que el biodiesel es de buena calidad o no como lo es el caso de la densidad (hasta 900 kg/m<sup>3</sup>) y viscosidad (hasta 5 mm<sup>2</sup>/g) según la norma internacional ASTM y la norma técnica peruana en la tabla 4 y 5 respectivamente de los anexos se encuentra todos los parámetros que la norma nacional como internacional exige para asegurar la calidad del biodiesel.

##### **1.3.1.1. BODIESEL**

Para poder entender la definición de biodiesel, hay que saber primero que es un biocombustible. En la ley N° 28054 “Ley de Promoción del mercado de Biocombustibles”. Refiere a los biocombustibles como:

“Productos químicos que se obtengan de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplan con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes.”

La definición de biodiesel la encontramos en el decreto supremo 021-2007-EM “REGLAMENTO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES”. Que nos dice:

“El biodiesel es una sustancia oleaginosa obtenida a partir del aceite de palma, higuera, piñón, soya, colza, girasol y otros vegetales oleaginosos, así como grasas animales y aceites comestibles usados.”

Esta definición se deriva de los biocombustibles, la única diferencia es que el biodiesel es un derivado de aceites vegetales o grasas animales por lo que lo hace un producto esencialmente oleaginoso.

El biodiesel deriva de dos términos, uno es el prefijo BIO que es por su naturaleza renovable y biológica y el DIÉSEL porque es utilizado básicamente en motores de ese tipo. Además el biodiesel está compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceite o grasas, vegetales o animales. (Bioenergy,2014).

Podemos deducir que el biodiesel es un combustible oleaginoso renovable derivado de aceites o grasas, animales o vegetales, compuesto por una cadena larga de ácidos grasos. Las principales materias primas para producir biodiesel son la palma, la soya, el girasol, el higuera y los aceites comestibles usados.

#### **1.3.1.2 PROPIEDADES DEL BODIESEL**

Las propiedades más importantes a la hora de analizar el biodiesel son: la densidad; es una propiedad de fácil medición que sirve para evaluar el desempeño de los combustibles en los motores diésel, como también el poder calorífico y el número de cetano (Benjumea, Chávez y Vargas, 2006). Y la viscosidad, que es la resistencia de un fluido al pasar por cierto conducto y determina el buen funcionamiento del motor. Rodríguez(2008) enfatiza que la diferencia entre la viscosidad del biodiesel y su

aceite de origen puede ser aprovechada para monitorizar el avance de la reacción de transesterificación.

En la siguiente figura se establecen las características del

**Tabla 1**  
*Propiedades del Biodiesel*

| Datos físico-químicos                       | Biodiesel                               | Diesel                  |
|---|---|-------------------------|
| Composición combustible                     | Éster metílico<br>Ácidos grasos C12-C22 | Hidrocarburo<br>C10-C21 |
| Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.) | 9500                                    | 10800                   |
| Viscosidad cinemática, cSt (a 40°C)         | 3,5-5,0                                 | 3,0-4,5                 |
| Peso específico, g/cm <sup>3</sup>          | 0,875-0,900                             | 0,850                   |
| Azufre, % P                                 | 0                                       | 0,2                     |
| Punto ebullición, °C                        | 190-340                                 | 180-335                 |
| Punto inflamación, °C                       | 120-170                                 | 60-80                   |
| Punto escurrimiento, °C                     | -15/+16                                 | -35/-15                 |
| Número cetano                               | 48-60                                   | 46                      |
| Relación estequiométrica Aire/comb. p/p     | 13,8                                    | 15                      |

**Fuente:** Tejada.et al., 2013

La figura presenta una comparación de las propiedades del biodiesel con el diésel (petróleo), se observa que el número de cetano es mayor en el biodiesel, lo cual favorecería a la combustión, de igual manera pasa en el punto de inflamación lo que lo hace un combustible más seguro.

### 1.3.1.3 ELABORACIÓN DE BIODIESEL

#### 1.3.1.3.1 MATERIALES:

- **Aceite** : puede ser de aceite nuevo(sin usar), de grasas de animales o de aceite reciclado , siendo los ingredientes más comunes los aceites nuevos principalmente de soya o de girasol y los aceites usados que son obtenidos después del proceso de fritura de alimentos .
- **Alcohol**: se puede hacer con dos, metanol o etanol, uno más difícil de conseguir que el otro, y el metanol mayormente se usa cuando se trabaja con aceites reciclados.

- **Catalizador:** Es importante contar con catalizadores para que la reacción sea posible, estos pueden ser ácidos homogéneos ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $H_3PO_4$ ), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas,  $SO_4/ZrO_2$ ,  $WO_3/ZrO_2$ ), básicos heterogéneos ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na/NaOH/Al_2O_3$ ), básicos homogéneos ( $KOH$ ,  $NaOH$ ) o enzimáticos (Candida, Penicillium, Pseudomonas), los que mayormente se utilizan son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan más rápido.

Si el aceite usado que se va a utilizar para la reacción presenta un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad, los catalizadores ácidos son los más adecuados. (García, 2007). Por otro lado López y Mariscal (2005) indican que en la reacción con catalizadores homogéneos disminuyen su concentración por la formación de jabones; todo lo contrario pasa con los catalizadores heterogéneos donde la formación de jabones es casi nula, disminuyendo de esta manera el tiempo de reacción, además que los catalizadores heterogéneos se pueden reutilizar, reduciendo así los costos de producción.

#### **1.3.1.3.2. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN**

Es el proceso más importante de toda la elaboración del biodiesel. Baxter (2009) dice que el proceso de transesterificación es cuando los triglicéridos hacen reaccionar con moléculas de bajo peso molecular como el alcohol (metanol o etanol), se produce un intercambio de sus grupos funcionales, a esto se le llama reacción de transesterificación. Los alcoholes comienzan a reaccionar con el triglicérido para

formar diglicérido , siguen reaccionando y se forma moniglicerido y al final se forma glicerol o glicerina de tres moléculas de éster metílico , que viene a ser nada menos que el biodiesel.

En la reacción de Transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, a menos que sin él no sería posible esta reacción.

En el anexo 2 se grafica el proceso de transesterificación donde se observa que la molécula de éster metílico (biodiesel) tiene dos grupos de oxígeno lo cual se deduce que ante un proceso de combustión del biodiesel, este va ser más eficiente que el de las moléculas de petróleo que no tiene ningún grupo de oxígeno.

#### **1.3.1.3.3. LAVADO**

Según López y Ortiz (2015), Existe varias pruebas de lavado:

- **El lavado con niebla:** Consiste en rociar pequeñas gotas sobre el biodiesel, que se trasladaran hasta el fondo arrastrando impurezas. Hay que tener cuidado cuando se utilizan gotas de mayor tamaño ya que pueden formar emulsiones.  
Este procediendo es efectivo pero tarda mucho tiempo, porque las gotas tienen que atravesar todo el biodiesel y se emplea mucha agua, ya que hay que rociar demasiadas gotas para que estas puedan lavar al combustible.
- **El lavado con burbujas:** Consiste en retirar impurezas haciendo pasar burbujas de aire por el

biodiesel, este método puede que aumente la oxidación del biodiesel sobre todo cuando se va a almacenar durante mucho tiempo

Este método al igual que el anterior tarda mucho y además no se puede conservar el biodiesel por mucho tiempo por el mismo método que hace que pueda haber una reacción oculta dentro del biodiesel.

- **Lavado por agitación:** consiste en agregar 1:3 del volumen de agua por el volumen total del biodiesel; por agitación el agua removerá el alcohol e impurezas a una fase inferior “lechosa” que puede ser fácilmente retirada por decantación, por lo que este método es recomendado por su facilidad, seguridad y eficiencia, lo malo es que requiere por lo general no más de 3 lavados por muestra.

Este proceso es el mayor utilizado por los pequeños productores, es menos costoso y no demora mucho tiempo, además que la calidad resultante del biodiesel es mejor por que al momento de agitar estamos removiendo todas las impurezas.

#### **1.3.1.3.4. SECADO**

Una vez lavado el biodiesel, es necesaria una etapa de secado para eliminar los excesos de agua. Bentel, Bravo y Cortel (2011) , señalan que este proceso consiste en conectar un compresor de aire a un tubo de cobre con orificios. La idea es crear burbujas que se transmitan a través de todo el biodiesel, para dar lugar a una interface que separe

fácilmente al biocombustible del agua, y que ésta se evapore de forma eficiente.

El secado es importante porque elimina los restos de agua que queda en el biodiesel, por lo tanto puede demorar el proceso de combustión en el motor y puede dañarlo.

El diagrama de proceso de biodiesel se encuentra en el anexo 3 , donde se muestra los diferentes procedimientos que pasan los aceites para la obtención de biodiesel junto con los subproductos que se genera, en este caso la Glicerina.

### **1.3.5. PORCENTAJE DE ACIDOS GRASOS LIBRES DE ACEITES USADOS**

Este porcentaje de ácidos grasos nos indica el estado del aceite después de un tiempo de almacenamiento, el proceso más común para determinar la cantidad es la titulación con fenolftaleína y también se puede expresar como porcentaje de ácido oleico. (Herrera, 2008).

#### **1.3.5.1. ACEITES VEGETALES USADOS**

Para la asociación RBA AMBIENTAL (2013) los aceites vegetales usados son todos aquellos aceites provenientes, en forma continua o discontinua, de establecimientos de todo tipo que elaboran productos comestibles y que, en su utilización, han sufrido un proceso térmico que ha cambiado las características propias del aceite original.

Los aceites vegetales usados son aquellos residuos que han sido usados en la elaboración de productos comestibles, especialmente frituras, generados usualmente en establecimientos de comida y hogares. Estos aceites han sufrido cambios producto de la exposición térmica al que han sido sometidos.

Se estima que cada persona genera al año unos cuatro litros de aceite usados (Fernández ,2010). La cantidad no es mucha, pero

si se habla en proporciones grandes en las ciudades, nos damos cuenta que las cantidades son muy grandes que no son bien segregados. También existe un estudio del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (2012) donde concluye que anualmente se consumen 850 mil toneladas de aceite y se estima que puede generarse 150 millones de litros anuales de aceites vegetales usados en dicho país.

#### **1.3.5.1. IMPACTOS DE LOS ACEITES USADOS**

La Agencia De Protección Ambiental (2015) señala que los aceites usados generan una película superior hidrofílica que impide la resuspensión de gases (como el oxígeno) y afecta aún más la demanda de éstos en el efluente. De esta manera se disminuye la disponibilidad del oxígeno para ser consumido por otros organismos, como por ejemplo, los peces y las algas, ocasionando la extinción de especies, pero también la mala segregación de estos aceites ocasiona problemas en el alcantarillado , obstruyendo tuberías que provoca la aparición de vectores (roedores, insectos).

El mayor efecto al ambiente por parte de los aceites usados es que impiden la llegada de más oxígeno al agua, perjudicando a los peces y algas, principalmente, que necesitan de este gas para vivir.

Todo esto desencadena grandes gastos al estado, a la hora de controlar las plagas y mantener el alcantarillado y a las empresas por depurar el agua en las plantas de tratamiento.

#### **1.3.5.1 MANEJO DE LOS ACEITES USADOS**

Descrito anteriormente los daños que los aceites usados causan al ambiente y sistemas de alcantarillado y de la gran peligrosidad que estos representan, en algunas ciudades especialmente del extranjero han tenido que implementar un sistema de manejo

con la finalidad de disminuir el impacto que ocasionan y aprovecharlos elaborando distintos productos.

Proceso del manejo de aceite usado: (ver anexo 1 ).

Los principales subprocesos del manejo de aceites usados son:

- **Generación:** es cuando terminamos el proceso de fritura y nos queda como residuo el aceite.
- **Almacenamiento:** este depende de la cantidad generada por el consumidor, si la cantidad es pequeña se depositará en botellas, de lo contrario se depositará en barriles o baldes para luego ser llevada a los puntos de acopio.
- **Transporte:** aquí el aceite usado es recogido y transportado por una empresa para su posterior tratamiento.
- **Tratamiento:** los aceites que son recogidos pasan por una serie de procesos para ser utilizados como materia prima.

#### **1.3.5.1 USO DE LOS ACEITES USADOS**

Hoy en día se están sacando buen provecho de los aceites usados. Blanco (2013), menciona que se pueden utilizar estos aceites en Industrias tan diversas como la química, la cosmética o la farmacéutica que se aprovechan de este residuo para elaborar abonos, barnices, cera, cremas, detergentes, jabones, lubricantes, pinturas, velas, etc. Solo falta generar más conciencia de los pobladores para poder aprovechar al máximo los aceites usados.

#### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá obtener biodiesel de calidad a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado?

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

El progresivo agotamiento de las reservas de petróleo, ha llevado a los científicos a elaborar otras alternativas para compensar el desabastecimiento, que a la vez sean amigables con el ambiente. La investigación a desarrollar plantea la producción de biodiesel, combustible alternativo, a partir de los

aceites usados, ya que es un desecho altamente contaminante para el agua y demás ocasiona deterioro a las tuberías por la mala segregación de estos aceites. A este proceso se le unirá un catalizador generado a partir de las cáscaras de huevo, para comprobar su eficiencia en la producción.

Así la presente investigación contribuye al desarrollo nuevas técnicas en la elaboración de biodiesel, generando menos costos en el desarrollo del proceso y aprovechando residuos que son comunes en todas las ciudades, ayudando a reducir la contaminación, haciéndolo ambientalmente viable.

## **1.6. HIPÓTESIS**

Se obtendrá biodiesel de calidad a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el rendimiento del aceite de cocina usado para la obtención de biodiesel.

### **1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la eficiencia de la reacción según la fuente de catalizador.
- Analizar parámetros fisicoquímicos del biodiesel obtenido.
- Demostrar el biodiesel obtenido en un proceso de combustión.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Presenta un diseño no experimental.

### **2.2. VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN**

#### **2.2.1. VARIABLES**

**Variable 1:** Calidad de Biodiesel.

**Variable 2:** Porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado

#### **2.2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 2**  
Operacionalización de Variable

| Variable   | Definición conceptual   | Definición operacional  | Indicadores                                  |                              | Categoría     | Escala de medición |
|--|---|---|--|------------------------------|---------------|--------------------|
| Calidad de Biodiesel.                              | Es una sustancia oleaginoso obtenida a partir del aceite de palma, higuera, piñón, soya, colza, girasol y otros vegetales oleaginosos, así como grasas animales y aceites comestibles usados.   | Producto de la reacción de transesterificación, que tiene como indicador principal la densidad, viscosidad e índice de acidez. Adicionalmente se halla el rendimiento mediante el porcentaje de conversión. | Densidad(Kg/m <sup>3</sup> )                 | 860-900                      | Buena calidad | Razón              |
|  |   |   |  | Menor de 860 y mayor que 900 | Mala calidad  |                    |
|  |   |   | Porcentaje de conversión (%)                 | Menor del 50 %               | Buena calidad |                    |
|  |   |   |  | Mayor del 50%                | Mala calidad  |                    |
|  |   |   | Viscosidad(cp)                               | 3.5-5.00                     | Buena calidad |                    |
|  |   |   |  | Menor de 3.5 y mayor que 5   | Mala calidad  |                    |
|  |   |   | Porcentaje de ácidos grasos libres(mg KOH/g) | Menor que 0.5                | Buena calidad |                    |
|  |   |   |  | Mayor que 0.5                | Mala calidad  |                    |
| Porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado | Este porcentaje de ácidos grasos nos indica el estado del aceite después de un tiempo de almacenamiento, el proceso más común para determinar la cantidad es la titulación con fenolftaleína y también se puede expresar como porcentaje de ácido oleico. | Resultado que proviene del proceso de titulación con la fenolftaleína y se compara con las normas de calidad existentes.  | Ácidos grasos libres (mgKOH/g)               | Menor que 0.5                | Buena calidad | Razón              |
|  |   |   |  | Mayor que 0.5                | Mala calidad  |                    |

Fuente: Elaboración propia.

## **2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

**Población** : Aceites recolectados del Pueblo Joven 9 de Octubre-Chiclayo.

**Muestreo** : No Probabilístico.

**Muestra** : Por Conveniencia, 5 litros de aceite usado.

## **2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**

### **2.4.1. TÉCNICAS**

En la presente investigación se utilizó la técnica de observación, ya que los datos fueron recogidos directamente de los fenómenos ocurridos en el proceso de elaboración de biodiesel y los resultados fueron anotados en cuadros diseñados para poder analizarlos.

### **2.4.2. INSTRUMENTOS**

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- Densímetro
- Viscosímetro
- Termómetro

### **2.4.3. VALIDEZ**

Solo se validó mediante el laboratorio.

## **2.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS**

Se consideraran los datos como: densidad, viscosidad, rendimiento, los cuales fueron analizados en el paquete estadístico: Excel, para determinar si hay diferencia significativa en los resultados.

## **2.6. ASPECTOS ÉTICOS**

La investigación se caracteriza por ser veraz y objetiva, porque da una solución al problema de la mala segregación de los aceites de cocina. Aparte que se realizó responsablemente siguiendo el cronograma y los procedimientos de laboratorio.

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1.- PROCEDIMIENTO Y MONTAJE**

El procedimiento se realizó mediante la reacción llamada transesterificación, utilizando los aceites de fritura del pueblo joven 9 de octubre, además de etanol y como catalizadores, hidróxido de potasio (KOH) y óxido de calcio (CaO) en concentraciones de 1%.

El proceso fue elaborado en una relación molar de 6:1 utilizando las siguientes cantidades: 150 ml de aceite usado, 166 ml de etanol y 1.34 g de KOH y 1.34g de CaO, este último se obtuvo de la calcinación de cáscaras de huevo.

El montaje del experimento consiste en un reactor de doble boca de capacidad de 500 ml, puesto sobre un calentador; este reactor de doble boca, se le colocó un termómetro que sirvió para controlar que la temperatura se mantenga constante (70 °C), por la otra boca se le iba agregando el alcohol junto con el catalizador y se le sellaba para evitar la pérdida de alcohol por evaporación. (Anexo 6)

Para llevar a cabo las experiencias se introducía el aceite en el reactor, calentándolo hasta una temperatura de 40 °C durante 10 minutos. Mientras tanto, se preparaba la disolución de hidróxido de potasio y etanol, para luego añadirse al aceite cuando éste alcanzaba la temperatura deseada, lo mismo se realizó cuando se utilizó el óxido de calcio. Finalmente, una vez completada la reacción, se dejaba reposar en un decantador, hasta que los ésteres (biodiesel) se separaban completamente de la glicerina. (Anexo 6).

## 3.2.- PARÁMETROS DEL BIODIESEL

### 3.2.1.- DENSIDAD

Es una propiedad muy importante, porque el combustible que ingresa a los motores debe ser medido con mucha precisión, de no ser así no se llegaría a una combustión adecuada y dañaría el motor.

La densidad fue analizada por medio de un picnómetro, primero fue pesado vacío en una balanza analítica, luego se llenó de agua al picnómetro y se volvió a pesar y después lo mismo con la muestra de biodiesel.

Se procedió a obtener la densidad por medio de la siguiente formula:

$$\frac{M3 - M1}{M2 - M1} (1000)$$

Donde:

M1: peso del picnómetro seco

M2: peso de picnómetro con agua

M3: peso de picnómetro con biodiesel

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis de densidad.

**Tabla 3**

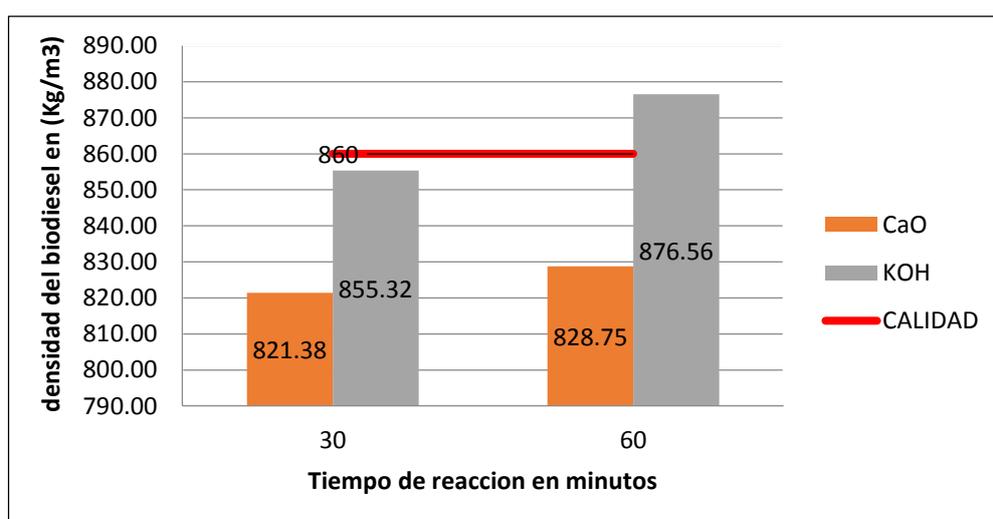
*Resultados obtenidos del análisis de densidad del biodiesel*

| CATALIZADOR | TIEMPO(minutos) |           |
|-------------|-----------------|-----------|
|             | <u>30</u>       | <u>60</u> |
| CaO         | 821.38          | 828.75    |
| KOH         | 855.32          | 876.56    |

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 3, muestra los resultados obtenidos en el análisis de densidad del biodiesel, así podemos observar que cuando se utilizó como catalizador al CaO y se expuso durante 30 minutos la reacción, el resultado con respecto a la densidad fue de 821.38 Kg/m<sup>3</sup>, en cambio cuando al mismo tipo de catalizador y se expuso a un tiempo de 60 minutos, el resultado de con respecto a la densidad fue de 828.75 Kg/m<sup>3</sup>. También podemos notar que con el otro tipo de catalizador (KOH) , cuando el tiempo de reacción fue de 30 minutos la densidad que se obtuvo fue de 855.32 Kg/m<sup>3</sup> , por otro lado cuando el tiempo de reacción fue de 60 minutos la densidad obtenida fue de 876.56 Kg/m<sup>3</sup> .

En la figura 1, se compara el parámetro de la densidad, en los dos tipos de catalizadores con el estándar de calidad de biodiesel internacional ASTM (línea roja), así podemos decir que: los resultados obtenidos con el catalizador CaO, cuando se produjo la reacción en tiempos de 30 y 60 minutos no han podido superar lo establecido por la norma. En cambio con el KOH como catalizador cuando se expuso a un tiempo de 30 minutos, este se aproxima al estándar, en comparación cuando la reacción ha sido en 60 minutos, la densidad ha sobrepasado el estándar, cosa que está permitido.



**Figura 1:** Comparación de las densidades obtenidas con las normas de calidad.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.2.-VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia a fluir de un líquido. En este caso la viscosidad debe ser baja, sino podría ocasionar problemas en el motor, además también puede generar pérdidas de potencia.

El análisis se realizó de la siguiente manera.

- Se utilizó un instrumento llamado viscosímetro; este sirve para determinar la viscosidad de un fluido y consta de dos orificios donde por uno de ellos se introduce el líquido y por el otro con la ayuda de una jeringa se succiona hasta que llegue a una señal .luego se deja que el líquido regrese a su lugar y se anota el tiempo que duro este.
- Se lleva el dato obtenido a la siguiente formula:

$$viscosidad = \frac{n_1(p_2 * t_2)}{p_1 * t_1}$$

Donde.

N<sub>1</sub>= viscosidad del agua

P<sub>2</sub>= densidad de la muestra de biodiesel

P<sub>1</sub>= densidad de la muestra de biodiesel

T<sub>2</sub>= tiempo que duro el agua en volver a la posición original.

T<sub>2</sub>= tiempo que duro la muestra en volver a la posición original.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis de viscosidad:

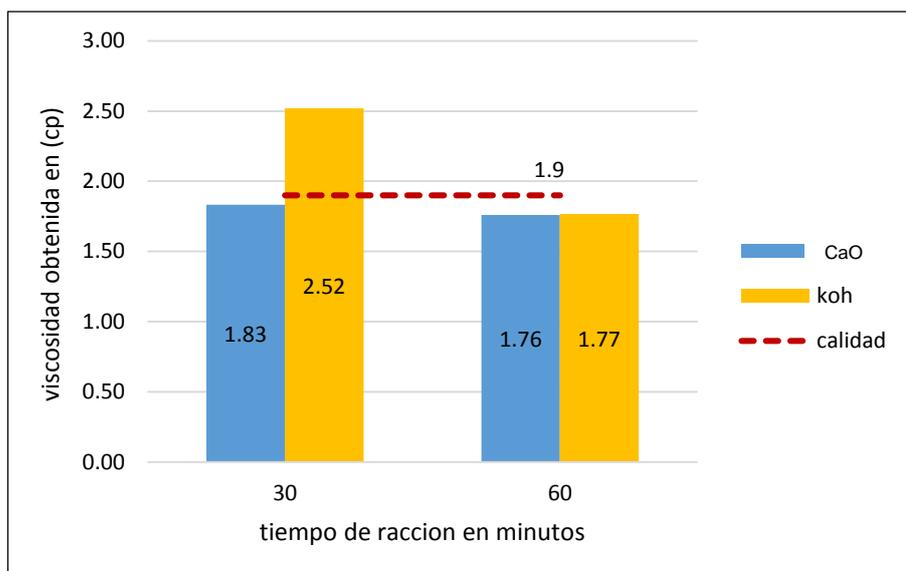
**Tabla 4:**  
*Resultados obtenidos del análisis de viscosidad del biodiesel*

| CATALIZADOR | TIEMPO(minutos) |           |
|-------------|-----------------|-----------|
|             | <u>30</u>       | <u>60</u> |
| CaO         | 1.49            | 1.78      |
| KOH         | 2.52            | 1.85      |

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4, muestra los resultados obtenidos en el análisis de la viscosidad del biodiesel, así podemos observar que cuando se utilizó como catalizador al CaO y se expuso durante 30 minutos la reacción, el resultado con respecto al índice de acidez fue de 1.49 cp., en cambio cuando al mismo tipo de catalizador y se expuso a un tiempo de 60 minutos, el resultado de con respecto a la viscosidad fue de 1.78 cp. También podemos notar que con el otro tipo de catalizador (KOH), cuando el tiempo de reacción fue de 30 minutos la viscosidad que se obtuvo fue de 2.52 cp., por otro lado cuando el tiempo de reacción fue de 60 minutos la viscosidad obtenida fue de 1.85 cp.

En la figura 2, se compara el parámetro de la viscosidad, con lo establecido por la norma NTP 321.215.2008, así podemos decir que, con el CaO como catalizador cuando el tiempo de reacción fue de 30 minutos, la viscosidad resultó ser muy baja y no llegó al límite establecido por la norma, de igual forma cuando el tiempo de reacción fue de 60 minutos la viscosidad resultó ser un poco mayor que cuando se realizó a 30 minutos pero tampoco pudo llegar al límite de lo establecido por la norma. Con el KOH como catalizador y un tiempo de reacción de 30 minutos, este valor resultó ser el mayor de todos y cumple con lo establecido con la norma anteriormente señalada.



**Figura 2:** Comparación de las viscosidades obtenidas con las normas de calidad. **Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3.- ÍNDICE DE ACIDEZ

Es la cantidad de ácidos grasos libres presente en el biodiesel .Si este valor es elevado, se producirán depósitos que afectarían gravemente al motor.

Para realizar las mediciones de este indicador se siguieron los siguientes pasos:

- Preparar una dilución del KOH al 0.1%.
- En un vaso precipitado se disuelve 1 ml de biodiesel en 10 ml de alcohol isopropilico puro y se calienta a baño maría.
- Añadir dos gotas de fenolftaleína
- Echar gota a gota con la ayuda de una jeringa la dilución de KOH hasta que la muestra presenta un color rosa y se mantenga ese mismo color durante 10 segundos.
- Se toma el gasto que se hizo en la jeringa y se coloca como dato en la siguiente formula:

$$IA = \frac{V_{disol\ KOH} \times N(KOH) \times M_{KOH}}{m_{muestra}}$$

Donde:

$V_{disol\ KOH}$ : Volumen gastado en la titulación.

$N(KOH)$ : Normalidad de la dilución de KOH

$M_{KOH}$ : Molaridad de la dilución

$m_{muestra}$  : Masa de la muestra

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis de índice de acidez:

**Tabla 5:**  
*Resultados obtenidos del análisis de índice de acidez del biodiesel*

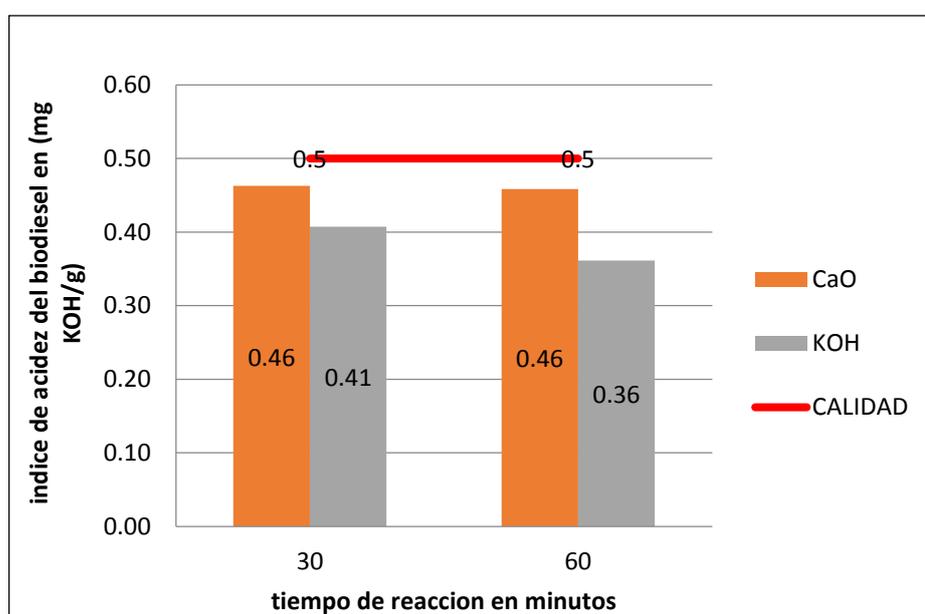
| CATALIZADOR | TIEMPO(minutos) |           |
|-------------|-----------------|-----------|
|             | <u>30</u>       | <u>60</u> |
| CaO         | 0.46            | 0.46      |
| KOH         | 0.41            | 0.36      |

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 5, muestra los resultados obtenidos en el análisis del índice de acidez del biodiesel, así podemos observar que cuando se utilizó como catalizador al CaO y se expuso durante 30 minutos la reacción, el resultado con respecto al índice de acidez fue de 0.46 mg KOH/g, en cambio cuando al mismo tipo de catalizador y se expuso a un tiempo de 60 minutos, el resultado de con respecto al índice de acidez fue de 0.46 mg KOH/g, también podemos notar que con el otro tipo de catalizador (KOH), cuando el tiempo de reacción fue de 30 minutos al índice de acidez que se obtuvo fue de 0.41 mg

KOH/g, por otro lado cuando el tiempo de reacción fue de 60 minutos al índice de acidez obtenido fue de 0.36 mg KOH/g.

En la figura 3, se compara el parámetro del índice de acidez, para el catalizador CaO en 30 minutos el valor de acidez se aproxima mucho al límite que manda la norma NTP 321.215.2008, lo mismo pasa cuando la reacción se produce en 60 minutos. En cambio con el catalizador KOH cuando la reacción se realizó en 30 minutos el valor de índice de acidez tampoco no es muy bajo, todo lo contrario pasa con el valor de índice de acidez cuando la reacción se realizó en 60 minutos, este resultado ser el más bajo de todos.



**Figura 3:** Comparación del índice de acidez obtenido con las normas de calidad. **Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.4.-PORCENTAJE DE CONVERSIÓN

El porcentaje de conversión nos dice cuanto un resultado se completado satisfactoriamente. Viene a ser una relación entre el índice de acidez del aceite original y el índice de acidez del biodiesel; producto final, por eso es que se dice que deriva del índice de acidez.

Para obtener el porcentaje de conversión se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{ conversion} = \frac{IA_{ACEITE} - IA_{BIODIESEL}}{IA_{ACEITE}} * 100$$

Donde:

IA<sub>aceite</sub> = índice de acidez del aceite

IA<sub>biodiesel</sub> = índice de acidez del biodiesel

Para este parámetro se tuvo que analizar el aceite usado, para ello se siguió los pasos en el punto 3.2.3 y se obtuvo 1.55 mg KOH/g como índice de acidez del aceite usado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de conversión.

**Tabla 6:**  
*Resultados del Porcentaje de conversión del Biodiesel*

| CATALIZADOR | TIEMPO(minutos) |           |
|-------------|-----------------|-----------|
|             | <u>30</u>       | <u>60</u> |
| CaO         | 70.13%          | 70.39%    |
| KOH         | 73.70%          | 76.67%    |

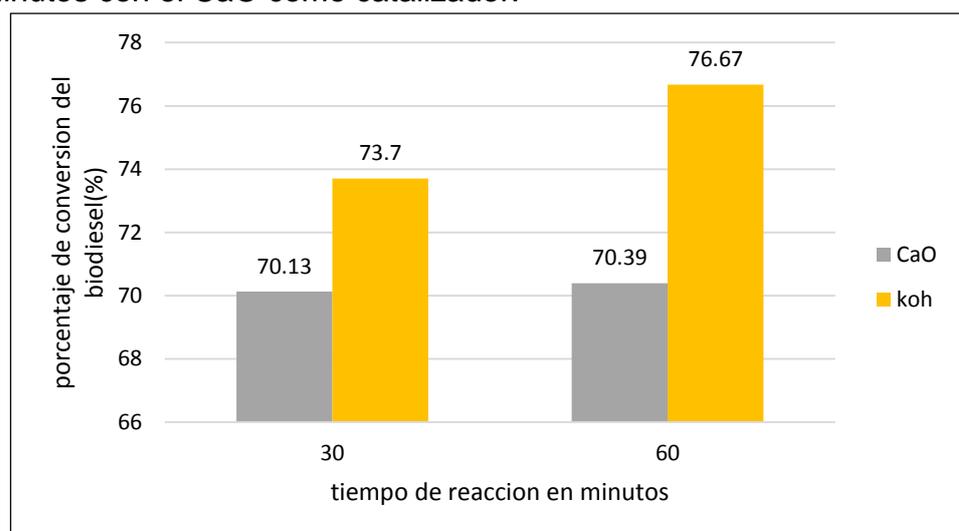
**Fuente:** Elaboración propia.

La Tabla 6 ,muestra los resultados obtenidos en el análisis del porcentaje de conversión al biodiesel, así podemos observar que cuando se utilizó como catalizador al CaO y se expuso durante 30 minutos la reacción, el resultado con respecto al porcentaje de conversión fue de 70.13% , en cambio cuando al mismo tipo el catalizador se expuso a un tiempo de 60 minutos el resultado con

respecto al porcentaje de conversión fue de 70.39% , también podemos notar que con el otro tipo de catalizador (KOH) , cuando el tiempo de reacción fue de 30 minutos al porcentaje de conversión que se obtuvo fue de 73.70% , por otro lado cuando el tiempo de reacción fue de 60 minutos al porcentaje de conversión obtenido fue de 76.67 %.

En análisis de varianza en el porcentaje de conversión de biodiesel, representado en la Tabla 9 (anexo 7), nos dice que cuando la probabilidad es menor a 0.05 se acepta la hipótesis alternativa ( $H_0$ ), en este caso se obtuvo 0.018 en las muestras (tipo de catalizador), por lo tanto el tipo de catalizador influye significativamente en el porcentaje de conversión del biodiesel, todo lo contrario pasa para las columnas (tiempo de reacción), 0.36 , y la interacción , 0.44.

En la figura 4, se encuentra las comparaciones de los porcentajes de conversión, de los diferentes tipos de catalizadores, por lo que podemos decir que cuando la reacción en 60 minutos con el KOH como catalizador obtuvo un mayor porcentaje de conversión a diferencia de los demás tratamientos. El menor porcentaje se obtuvo cuando la reacción se sometió a 30 minutos con el CaO como catalizador, casi al mismo nivel es cuando la reacción se sometió a 60 minutos con el CaO como catalizador.



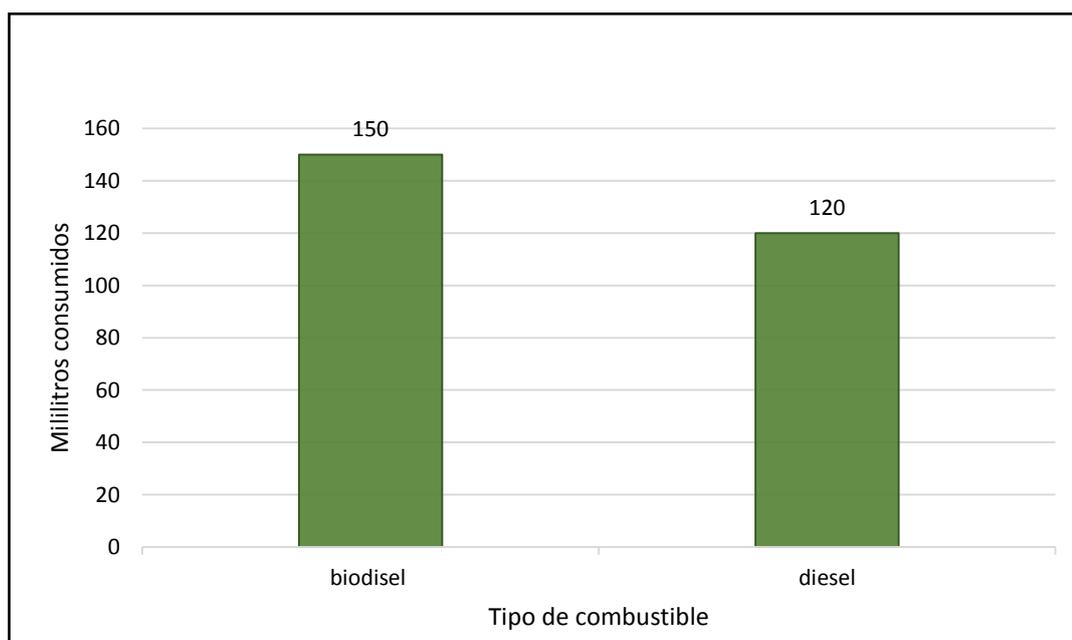
**Figura 4:** Diferencias de los porcentajes de conversión del biodiesel.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.- PRUEBAS DEL BODIESEL

La prueba del biodiesel se hizo en un motor estacionario modelo Ld de 18 Hp, ubicado en caserío Querpon , distrito de Olmos , para este caso se utilizó el biodiesel de mejor calidad que se pudo obtener en los ensayos anteriores, que fue el biodiesel preparado con KOH como catalizador( Anexo 9).

Al realizar la prueba se hizo una comparación del gasto de combustible (diésel y biodiesel) en un tiempo de dos minutos, resultando para el biodiesel un consumo de 150 ml y para el diésel un consumo de 120 ml, graficados en la figura 6. También se puede evidenciar cierta humareda cuando se probó con el biodiesel , ya que primero se probó con petróleo , esto hizo que quedan residuos en el interior y produzca esa humareda , también un ligero olor a aceite producto del material con que está hecho el producto.



**Figura 5:** Comparación del consumo según combustible.

**Fuente :** Elaboración propia.

### 3.4.- ESTIMACION DE COSTOS DEL BIODIESEL

Para determinar el precio del biodiesel, se consideraron los precios de la materia prima que se necesita. En la siguiente tabla se muestran los costos de producción para la obtención de biodiesel.

**Tabla 7 :**  
*Costos de producción para la obtención de biodiesel*

| <b>Insumo</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario<br/>(S/)</b> | <b>Precio total<br/>(S/)</b> |
|-----------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------|
| Aceite          | 150 ml          | 0.00                            | 0.00                         |
| Catalizador     | 1.34 gr         | 20 Kg                           | 0.027                        |
| Alcohol         | 166.51          | 4 Lt                            | 0.66                         |
| <b>TOTAL S/</b> |                 |                                 | <b>0.69</b>                  |

**Fuente:** Elaboración propia

Producir 240 ml de biodiesel, cuesta 0.69 soles, por lo tanto para producir un litro de biodiesel, este estaría costando 2.88 soles.

Como en los grifos los combustibles tienes los precios por galón, entonces un galón de biodiesel estaría costando 11.52 soles, ah comparación con el diésel que está costando 10.79.

Si bien es cierto la diferencia no es mucha, para un ciudadano que vive del transporte no le resulta, por eso que la mejor opción esta en realizar mezclas de diésel-biodiesel para así emparejar los costos.

#### IV. DISCUSIÓN

Según los resultados, los porcentajes de conversión se encuentran entre 70% y 76% en referencia con otros trabajos donde llegaron hasta porcentajes de 95.7% (Vieitez, 2012), esto se debe a que en este trabajo se llegó a realizar la reacción para la preparación de biodiesel con alcohol etílico de 96%. Por otro lado la diferencia del porcentaje de conversión y el tipo de catalizador se ve reflejada en cuanto se utilizó KOH como catalizador a un tiempo de 60 minutos, este porcentaje fue mayor cuando se utilizó a un tiempo de 30 minutos, por razones que en este tiempo de 30 minutos aun la reacción no está completa, otro factor viene a ser que el alcohol etílico como es de 96% contiene el otro 4% agua, entonces esto dificulta que la reacción presente un porcentaje mayor.

En el tema de biocombustibles, tanto los países de la Unión Europea como los Estados Unidos De Norteamérica, han creado normas que establecen cuales son los parámetros para que un biocombustible, especialmente biodiesel, esté apto para su aplicación en automóviles. El Perú no es ajeno a la promulgación de este tipo de normas, puesto que existe una ley de comercialización de biocombustibles y la NTP 321.125.2008 “Especificaciones Técnicas Biodiesel”, con las cuales el organismo supervisor OSINERMIN se rige a la hora de realizar inspecciones a los diferentes establecimientos que distribuyen este producto.

Según los resultados de la investigación, demuestran altas y bajas según sus parámetros a analizar. En el caso de la densidad, de acuerdo con la norma internacional ASTM – NORMAS DE CALIDAD DE BIODIESEL, dice que la densidad debe estar entre 860 y 900 kg/m<sup>3</sup>, el biodiesel analizado presenta densidades de 821.38 y 828.75 kg/m<sup>3</sup>, cuando se utilizó CaO como catalizador a 30 y 60 minutos respectivamente y cuando se utilizó KOH como catalizador se obtuvo 855.32 y 876.56 kg/m<sup>3</sup>, a un tiempo de 30 y 60 minutos respectivamente.

Para el caso de la viscosidad, de acudió a la norma NTP 321.125.2008, nos dice que para el biodiesel la viscosidad debe estar entre 1.9 a 6.00 cp. El biodiesel analizado presenta viscosidades de 1.49 y 1.78 cp, cuando se utilizó CaO como catalizador a un tiempo de 30 y 60 minutos respectivamente, cuando se utilizó

KOH como catalizador se obtuvo 2.52 y 1.85 cp, a tiempos de 30 y 60 respectivamente.

En el índice de acidez la norma antes mencionada, determina que este parámetro no debe de pasar los 0.50 mg KOH/g, en tal caso los análisis de este parámetro arrojaron que cuando se utilizó el CaO como catalizador y a un tiempo de 30 y 60 minutos se obtuvo un índice de acidez de 0.46 mg KOH/g y cuando se utilizó el KOH se obtuvo resultados de 0.41 y 0.36 mg KOH/g, a tiempos de 30 y 60 minutos respectivamente.

Los resultados analizados son un poco menor al trabajo realizado por Piñeiro en el 2014, en su tesis titulada "Obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado de la ENM", que obtuvo un biodiesel de gran calidad partir de los aceites usados, puesto que los insumos utilizados no son de la misma composición.

Una diferencia a simple vista es que el biodiesel resultante es más claro cuando se utiliza el CaO como catalizador, en comparación cuando se utiliza el KOH (Anexo 8), eso se debe a que al ser el CaO un catalizador heterogéneo, este no se va a combinar del todo con el aceite y el alcohol y solo tienen la función de acelerar la reacción, en cambio con el KOH por ser un catalizador homogéneo, es disuelto en el alcohol y cuando se acaba el proceso de transesterificación quedan residuos en el biodiesel que pueden dañar el motor, esto hace que se añada un proceso de lavado para quitar los residuos de KOH presentes en el biodiesel, este proceso de lavado hace elevar los costos y a la vez consume gran cantidad de agua donde también es bien difícil tratarla.

Cuando el biodiesel fue probado en el motor, gasto 150 mililitros en dos minutos. Durante la prueba se pudo observar que el motor humeaba, esto se debe a que adentro del motor todavía hay petróleo y al mezclarse los dos producen humo que con el uso que le vamos dando desaparece. Con esta prueba podemos afirmar lo que dice Ávila, 2014; en su trabajo: "Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diésel en diferentes proporciones", que no es necesario modificar los motores diésel para poder utilizar este combustible ya que el efecto es el mismo.

## V. CONCLUSIONES

- La eficiencia de la reacción viene a ser el porcentaje de conversión que nos da una idea de cuánto de aceite se ha podido convertir a biodiesel. En este caso la reacción fue sometida a 60 minutos usando el KOH como catalizador y se obtuvo mayor porcentaje (76.67%) de conversión a biodiesel, por otro lado cuando la reacción fue sometida a un tiempo de 30 minutos se obtuvo como menor porcentaje (70.13%) de conversión a biodiesel usando CaO como catalizador.
- En los análisis realizados al biodiesel según el tipo de catalizador se obtuvo como resultado que el KOH ya sea para la densidad (obteniéndose 876.56 Kg/m<sup>3</sup>), índice de acidez (obteniéndose 0.36 mg KOH/g) y viscosidad (obteniéndose 2.52 cp) y en cuanto al tiempo de combustión (60 minutos) los parámetros antes mencionados se encuentran dentro o se aproximan a los valores establecidos por la norma internacional y la NTP 321.125.2008.
- La prueba de combustión se realizó en un motor estacionario de combustión interna diésel (petrolero), mono cilíndrico, lo que lo hace más sencillo y económico; utilizado principalmente para bombear agua de los pozos. este motor se encendió durante dos minutos consumiendo 150 ml de biodiesel, con lo cual se pudo decir que este tipo de combustible se puede aplicar a motores diésel.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que las instituciones tanto pública y privadas, trabajen en proyectos de segregación y reaprovechamiento de residuos, en este caso residuos de aceites de cocina usados, ya que es un problema que merece ser atendido para evitar que a largo plazo genere demasiado costo.
- Las universidades deben de enfatizar más este tipo de investigaciones, para así poder desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al ambiente.
- Promover la inversión para una implementación de una planta de tratamiento de aceites usados, así prevenimos la contaminación y generamos otro medio de trabajo.
- Búsqueda de más soluciones para mejorar el proceso de transesterificación, ya que en el subproceso de lavado de biodiesel genera bastante agua residual y genera un costo elevado en la depuración de estas.
- Concientizar a las personas sobre los efectos que traería no disponer adecuadamente de los residuos, especialmente aceites de cocina usados y realizar eventos a través de los diferentes medios de comunicación para promover una cultura ambiental responsable.

## **VII. PROPUESTA**

### **7.1.- TITULO**

“Plan de manejo de aceites usados de cocina en la ciudad de Chiclayo”.

### **7.2.- JUSTIFICACION**

La mala disposición de los aceites usados en la familias de la ciudad, esto genera que las tuberías se obstruyan ocasionando daños al sistema, elevando los costos en el mantenimiento. Otra consecuencia es también la degradación del ambiente provocando la extinción de flora y fauna acuática.

Ante estos problemas el plan de manejo de aceites usados en la ciudad de Chiclayo, ayudara a minimizar todo los daños que se producen, aprovechándolo para convertirlos en materia prima para otros productos.

### **7.3.- OBJETIVOS**

Elaborar un plan de manejo de aceites usados para la ciudad de Chiclayo.

#### **7.3.1.- OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Cuantificar la cantidad de aceites usados que se genera en la ciudad de Chiclayo

Identificar los puntos de acopio y las rutas de recolección de los aceites usados

Sensibilizar a la población sobre el manejo de los aceites usados

### **7.4.- PLAN DE ACTIVIDADES**

#### **7.4.1.- PRIMERA ETAPA**

##### **7.4.1.1.- CAPACITACIÓN A LA POBLACIÓN**

La sensibilización a la población es muy importantes en el plan , ya que son ellos los que nos ayudaran a que la segregación de los aceites se haga de forma correcta , para

esto se pondrán en marcha diferentes campañas o eventos en cada urbanización de la ciudad con el fin de que la información llegue a todos , se repartirán volantes . También se difundirá información en los colegios y por las redes sociales.

#### **7.4.1.2.- ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE ACEITES GENERADOS EN LA CIUDAD**

La ciudad se dividirá por sectores, donde se tomara una muestra de casas, en la cual se le entregaran un recipiente donde pondrán sus aceites usados y serán entregados a trabajador municipal. Esta actividad durara un mes.

En caso de los centros de comida, que producen grandes cantidades de aceite, solo se entregara un registro donde apuntaran la cantidad de litros que han generado, por un periodo de un mes.

#### **7.4.2.- SEGUNDA ETAPA**

##### **7.4.2.1.- RECOLECCION EN LA FUENTE**

En esta etapa tanto las viviendas como los centros de comida, deberán recolectar sus aceites en envases de plástico que les entregara el municipio.

Para las viviendas se les entregaran depósitos de máximo un litro y los centros de comida por ser mayores generadores en tanques de máximo 20 litros .

##### **7.4.2.1.- RECOJO Y TRANSPORTE**

###### **7.4.2.1.1.- PUNTOS DE ACOPIO**

Los puntos de acopio solo están destinados para las viviendas ya que van a generar menos aceites, estos puntos de acopio estarán ubicados en parques o esquinas y

de acuerdo a la generación que se produzca en el sector.

El modelo del punto de acopio será como un contenedor, la diferencia está en que cuando los pobladores lleguen a dejar el envase con los aceites, este le entregara automáticamente uno vacío.

El transporte de estos residuos será semanal y llevado a la planta de tratamiento de aceites usados.

#### **7.4.2.1.2.- RECOJO EN CENTROS DE COMIDA**

Los centros de comida por generar más aceites, su recojo será directo en el establecimiento y será de forma semanal, además se llenara un registro para saber la cantidad de aceite que está generando el lugar y llevar mayor control.

#### **7.4.2.1.- TRATAMIENTO DE ACEITES USADOS**

Los aceites de las viviendas como de los centros de comida, serán llevados a la planta de tratamiento de aceites usados, aquí pasaran por un proceso de limpieza para retener los residuos que estos pueden tener, luego serán almacenados para ser llevados a las fábricas para la producción de diferentes productos.

En el plano (Anexo 10) se presenta el modelo que tendría la planta de tratamiento de aceites usados.

## VIII. REFERENCIAS

- Guía del correcto uso y descargue de aceites vegetales. [en línea]. Argentina. AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL. Enero del 2015. [fecha de consulta: 15 de abril del 2016]. Recuperado de: [http://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/guia\\_avus.pdf](http://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/guia_avus.pdf).
- ÁVILA Calderón, Christian y TUNALA Moreta Juan. Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como Biocombustible en Motores Diésel en diferentes proporciones. Tesis (Ingeniero Automotriz). Ecuador. Universidad De Las Fuerzas Armadas. 2014. 275p.
- BARROS Piñeiro, Xián. Obtención de Biodiesel a partir de aceite de Cocina Usado de la ENM. Tesis (Ingeniero Mecánico). España. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. 2014. 49p.
- BENTEL, Daniela, BRAVO, Catalina, CORTEL, Eduardo. Proyecto de Generación de Biodiesel a partir de aceites vegetales usados. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2011.
- Biodiesel. [en línea]. . España. BODISOL. 2008 [fecha de consulta : 20 de abril del 2016]. Recuperado de : <http://www.bodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-omunes/biodiesel-especificaciones-astm-normas-de-calidad-del-biodiesel/>.
- BENJUMEA , Pedro ;CHAVEZ, Germán ;VARGAS , Claudia . Efecto De La Temperatura Sobre La Densidad Del Biodiesel De Aceite De Palma Y Sus Mezclas Con Diésel Convencional. Energética [en línea] 2006, [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2016] Disponible en: <<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/energetica/article/view/24078/24717>> .ISSN 2357-612X.
- El Biodiesel [en línea]. Perú. BIOENERGY .(2014). [fecha de consulta: 20 de abril del 2016]. : [http://bioenergyperu.com/el\\_biodiesel.html](http://bioenergyperu.com/el_biodiesel.html).

- BLANCO, Analía. 2013. Fábrica de jabón. [www.fabricadejabon.es](http://www.fabricadejabon.es). [En línea] 21 de enero de 2013. [Citado el: 15 de abril de 2016.] <http://www.fabricadejabon.es/por-que-es-importante-reciclar-el-aceite-usado-de-las-comidas/>.
- CANDIA, Ricardo, VILCHES, Lesly y VILLANUEVA, José. Diseño e Implementación de un Proceso de obtención de un Biocombustible: Biodiesel a partir de aceite usado. España. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de abril de 2016.]. Disponible en : <http://slideplayer.es/slide/3465632/>.
- Decreto supremo 021-2007 EM . Diario El Peruano, Chiclayo, Perú , 18 de abril del 2007.
- FERNÁNDEZ Muerza, Alex. Reciclar Aceite Usado: para qué y cómo. España [en línea]. 15 de julio del 2010 [fecha de consulta : 17 de abril del 2016]. Disponible en : [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2010/06/24/193915.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2010/06/24/193915.php)
- BAXTER Quiñones, Francis .2009. ¿Cómo se hace biodiesel? [videograbación],(3:17 min) :son., col. Extraído de : <https://www.youtube.com/watch?v=wbNWO8GYc40>
- GARCIA, Juan y GRACIA , Jose. *biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol[en línea]*. Madrid : Elecé Industria Gráfica, 2007.[fecha de consulta : 10 de abril del 2016]. Disponible en : [http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4\\_Biocarburantes\\_liquidos\\_biodiesel\\_y\\_bioetanol.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4_Biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf).
- HARISTOY, Gonzalo. Comenzó campaña para reciclar aceite en lo Barnechea. Chile [en línea]. 08 de junio del 2015 [fecha de consulta: 20 de abril del 2016]. Disponible en: <https://www.civico.com/santiago/noticias/comenzo-campana-para-reciclar-aceite-en-lo-barnechea>.

- HERRERA Restrepo, Juan Alberto. Caracterización y Aprovechamiento del Aceite Residual de Frituras Para La Obtención De Un Combustible (Biodiesel). Tesis (Tecnólogo Químico). Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira.
- INSTITUTO de Tecnología INDUSTRIAL. Gestión Ambiental de aceites de fritura usados. Argentina [en línea]. 03 de octubre 2015 [fecha de consulta: 10 de abril de 2016]. Disponible en: [http://www.inti.gob.ar/pdf/publicaciones/Gestion\\_Ambiental\\_de\\_Aceites\\_y\\_frituras\\_usados.pdf](http://www.inti.gob.ar/pdf/publicaciones/Gestion_Ambiental_de_Aceites_y_frituras_usados.pdf).
- Ley N° 28054. diario el peruano .Lima, Perú , 28 de agosto del 2003
- LÓPEZ, Manuel y MARISCAL Rafael. Catalizadores para mejorar el ambiente. Instituto de catálisis y petroquímica [en línea]. 2005. [fecha de consulta: 15 de abril del 2016]. disponible en: <https://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/entrevistas/quien-es-quien/pdf/54.pdf>.
- LÓPEZ Dora; ORTIZ Eugenia. Comparación de técnicas de lavado de biodiesel [en línea]. 2015 [fecha de consulta : 18 de abril del 2016]. Disponible en : <http://latinoamericarenovable.com/2015/09/16/mexico-comparacion-de-tecnicas-de-lavado-de-biodiesel/>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Aceites de cocina Usados. España [en línea]. 18 de julio del 2012 [fecha de consulta : 18 de abril del 2016]. Disponible en : <http://www.magrama.gob.es/es/calidadyevaluacionambiental/temas/prevenccionygestionresiduos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>
- RBA AMBIENTAL. ¿Qué es el Aceite de Cocina Usado?. Argentina [en línea]. 27 de junio del 2013 [fecha de consulta: 17 de abril del 2016]. Disponible en: <http://www.rba-ambiental.com.ar/aceite-de-cocina-usado/que-es-el-aceite-de-cocina-usado/>.

- RIVEROS Santamaria, Lina Marcela y MOLANO, Miguel Ángel. Transesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido. rev.ing. [en línea]. 2006, n.24 [consultado:2016-05-09], pp.43-51. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932006000200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932006000200006&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0121-4993.
- RODRÍGUEZ Fernández, José. Estudio Bibliográfico y Experimental de las Emisiones y Prestaciones de un Motor Trabajando con Biodiesel. Tesis (doctoral). Director tesis: Dr. Magín Lapuerta Amigo. España .Universidad De Castilla-La Mancha.2008.366p.
- SOLARTE Burbano, Natalia y VARGAS Dorado Mabel. Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en cuatro (4) barrios de la ciudad de Cali. Tesis (Profesional en Mercadeo y Negocios Internacionales y Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales). Director tesis: Ing. Moisés Sandoval. Colombia. Universidad Autónoma de Occidente.2013.140p.
- TEJADA Tovar, Candelaria; TEJEDA Benítez, Lesly; VILLABONA Ortiz, Ángel y MONROY Rodríguez, Luis. Obtención de Biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. Luna Azul [en línea]. 2013, n.36 [Fecha De Consulta 2016-05-08], pp.10-25. Disponible en : <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742013000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742013000100002&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1909-2474.
- Uso de Biocombustibles en el Perú [documento en un blog]. Lima: Cunza Roca Hayde (2015) . [fecha de consulta: 16 de abril del 2016]. recuperado de : <http://slideplayer.es/slide/3383840/>
- VIETEZ Ignacio, [Et al.] .Viabilidad en la elaboración de biodiesel a partir de aceites de fritura de descarte en Uruguay . Uruguay , 2012. 6p

# **ANEXOS**

## Anexo 1

### PROCESO DE SEGREGACION DEL ACEITE

**Figura 6:** PROCESO DE SEGREGACION DEL ACEITE

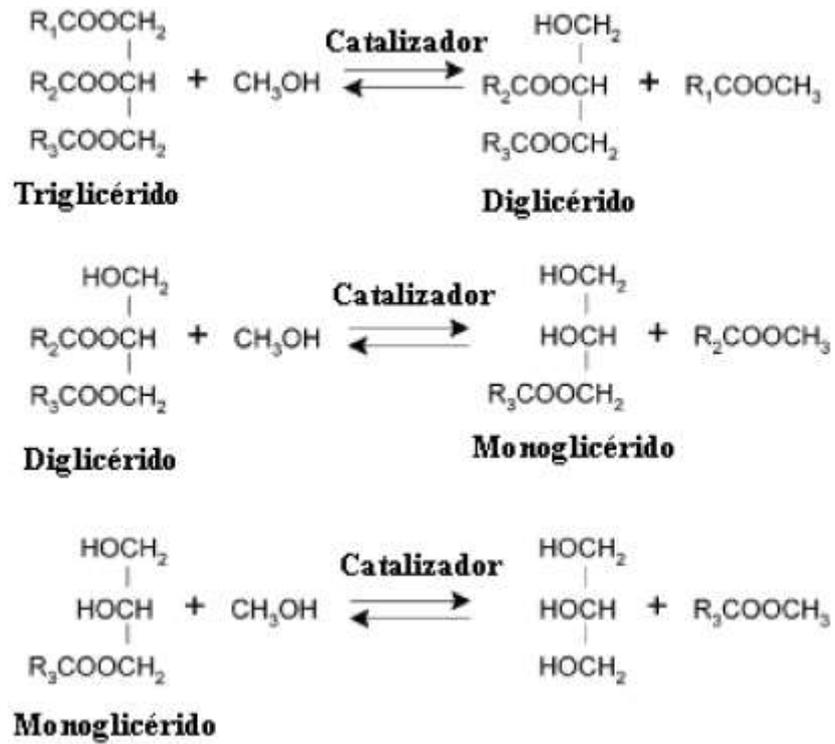


**Fuente:** Haristoy (2015).

## Anexo 2

### REACCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

*Figura 7: REACCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN*

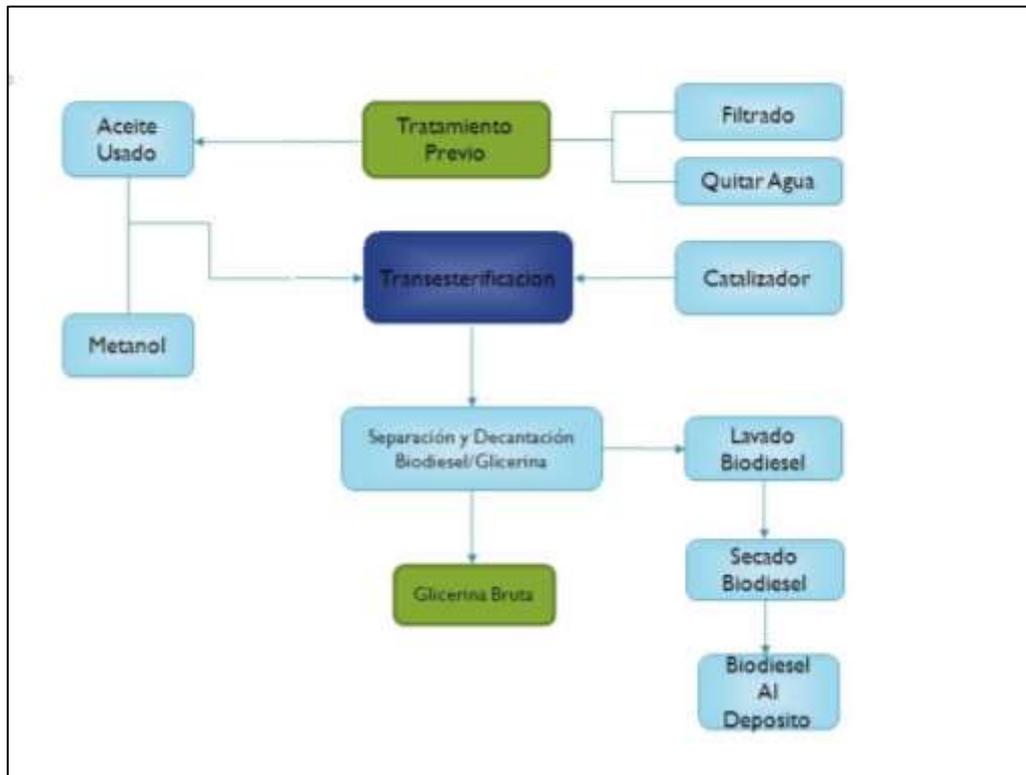


Fuente: Riveros (2006)

### Anexo 3

## PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

**Figura 8:** PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIESEL



Fuente: Candia (2015)

## ANEXO 4

### NORMA TÉCNICA PERUANA 321.125.2008

**Tabla 8:**

Norma técnica peruana 321.125.2008

| Propiedad  | Método de Ensayo (a) | Biodiesel B100      | Unidades                         |
|--|----------------------|---------------------|----------------------------------|
| Contenido de calcio y magnesio, combinado  | EN 14538             | 5 Máx.              | ppm ( $\mu\text{g} / \text{g}$ ) |
| Punto de inflamación. (Copa cerrada)   | ASTM D 93            | 93 mín.             | $^{\circ}\text{C}$               |
| Control de Alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:)  |                      |                     |                                  |
| 1. Contenido de Metanol  | EN 14110             | 0,2 Máx.            | % volumen                        |
| 2. Punto de inflamación  | ASTM D 93            | 130,0 mín.          | $^{\circ}\text{C}$               |
| Agua y sedimento   | ASTM D 2709          | 0,050 Máx.          | % volumen                        |
| Viscosidad cinemática a 40 $^{\circ}\text{C}$  | ASTM D 445           | 1,9 – 6,0 (b)       | $\text{mm}^2/\text{s}$           |
| Ceniza sulfatada   | ASTM D 874           | 0,020 Máx.          | % masa                           |
| Azufre (c)   | ASTM D 5453          | 0,0015 Máx.<br>(15) | % masa (ppm)                     |
| Corrosión a la lámina de cobre   | ASTM D 130           | N $^{\circ}$ 3      |                                  |
| Número Cetano  | ASTM D 613           | 47 mín.             |                                  |
| Punto nube   | ASTM D 2500          | Reportar (d)        | $^{\circ}\text{C}$               |
| Residuo de carbón (e)  | ASTM D 4530          | 0,050 Máx.          | % masa                           |
| Número acidez  | ASTM D 664           | 0,50 Máx.           | Mg KOH / g                       |
| Glicerina libre  | ASTM D 6584          | 0,020 Máx.          | % masa                           |
| Glicerina total  | ASTM D 6584          | 0,240 Máx.          | % masa                           |
| Contenido de fósforo   | ASTM D 4951          | 0,001 Máx.          | % masa                           |
| Temperatura de destilación.<br>Temperatura del 90% de recuperado<br>equivalente a presión atmosférica. | ASTM D 1160          | 360 Máx.            | $^{\circ}\text{C}$               |
| Contenido de sodio y potasio,<br>combinado   | EN 14538             | 5 Máx.              | ppm ( $\mu\text{g} / \text{g}$ ) |
| Estabilidad a la oxidación   | EN 14112             | 3 mín.              | horas                            |

FUENTE: Roca (2015)

## **ANEXO 5**

### **NORMA INTERNACIONAL ASTM PARA BIODIESEL**

**Tabla 9**

*Norma Internacional Astm Para Biodiesel*

| Propiedad  | Unidad             | Límites |        | Método de Ensayo                 |
|--|--------------------|---------|--------|----------------------------------|
|  |                    | Mínimo  | Máximo |                                  |
| Contenido en éster   | % (m/m)            | 96,5    | –      | EN 14103                         |
| Densidad a 15°C  | kg/m <sup>3</sup>  | 860     | 900    | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185      |
| Viscosidad a 40°C  | mm <sup>2</sup> /g | 3,50    | 5,00   | EN ISO 3104                      |
| Punto de inflamación   | °C                 | 120     | –      | prEN ISO 3679                    |
| Contenido de azufre  | mg/kg              | –       | 10,0   | prEN ISO 20846<br>prEN ISO 20884 |
| Resíduo de carbón<br>(en 10% de residuo destilado)             | % (m/m)            | –       | 0,30   | EN ISO 10370                     |
| Índice de cetano   |                    | 51,0    |        | EN ISO 5165                      |
| Contenido de cenizas sulfatadas                                | % (m/m)            | –       | 0,02   | ISO 3987                         |
| Contenido en agua  | mg/kg              | –       | 500    | EN ISO 12937                     |
| Contaminación total  | mg/kg              | –       | 24     | EN 12662                         |
| Corrosión de la tira de cobre<br>(3h a 50°C)                   | Clasificación      | Clase 1 |        | EN ISO 2160                      |
| Estabilidad a la oxidación 110°C                               | Horas              | 6,0     | –      | EN 14112                         |
| Índice de ácido  | mg KOH/g           |         | 0,50   | EN 14104                         |
| Índice de yodo   | g de yodo/100g     |         | 120    | EN 14111                         |
| Éster de metilo de ácido linoléico                             | % (m/m)            |         | 12,0   | EN 14103                         |
| Ésteres de metilo poli-insaturados<br>(> = a 4 dobles enlaces) | % (m/m)            |         | 1      |                                  |
| Contenido de metanol   | % (m/m)            |         | 0,20   | EN 14110                         |
| Contenido en monoglicéidos                                     | % (m/m)            |         | 0,80   | EN 14105                         |
| Contenido en diglicéidos                                       | % (m/m)            |         | 0,20   | EN 14105                         |
| Contenido en triglicéidos                                      | % (m/m)            |         | 0,20   | EN 14105                         |
| Glicerol libre   | % (m/m)            |         | 0,02   | EN 14105<br>EN 14106             |
| Glicerol total   | % (m/m)            |         | 0,25   | EN 14105                         |
| Metales del grupo I (Na+K)                                     | mg/kg              |         | 5,0    | EN 14108<br>EN 14109             |
| Metales del grupo II (Ca+Mg)                                   | mg/kg              |         | 5,0    | prEN 14538                       |
| Contenido de fósforo   | mg/kg              |         | 10,0   | EN 14107                         |

**Fuente:** García, 2007

## ANEXO 6

### MONTAJE DEL PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR EL BIODIESEL



**Figura 9 :** Montaje Del Reactor A Utilizar

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 10 :** Separación Del Biodiesel (Utilizado Koh Como Catalizador).



**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 11** : Separación Del Biodiesel (Utilizando CaO Como Catalizador).

**Fuente** : Elaboración propia

## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE CONVERSIÓN DEL BIODIESEL

**Tabla 10:**

*Análisis de varianza del porcentaje de conversión del biodiesel*

| ANÁLISIS DE VARIANZA             |                          |                           |                                  |             |                     |                             |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------|
| <i>Origen de las variaciones</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i>    | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
| tipo de catalizador              | 72.84452518              | 1                         | 72.84452518                      | 8.718297438 | 0.018350457         | 5.317655072                 |
| tiempo de reaccion               | 7.853366969              | 1                         | 7.853366969                      | 0.939919492 | 0.360692351         | 5.317655072                 |
| Interacción                      | 5.485905327              | 1                         | 5.485905327                      | 0.656573081 | 0.441207671         | 5.317655072                 |
| Dentro del grupo                 | 66.84289055              | 8                         | 8.355361319                      |             |                     |                             |
| Total                            | 153.026688               | 11                        |                                  |             |                     |                             |

**Fuente:** Elaboración propia.

## ANEXO 8

### COLOR BIODIESEL.

*Figura 12: Color Biodiesel.*



**Fuente:** Elaboración propia

## ANEXO 9

### PRUEBAS EN EL MOTOR

*Figura 13: Pruebas en el Motor*



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10

Figura 14 : Planta De Tratamiento De Aceites Usados



# PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITES USADOS

|  |  |                                 |                           |
|--|--|---------------------------------|---------------------------|
| <p>AUTOR :<br/>TEQUEN ARROYO YAVAR EDGAR</p> | <p>INSTITUCION :<br/>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p> | <p>UBICACION :<br/>CHICLAYO</p> | <p>ESCALA :<br/>1/250</p> |
|--|--|---------------------------------|---------------------------|

Fuente : Elaboración Propia

## ANEXO 11

### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**Tabla 11**  
*Ficha De Recolección De Datos*

| CATALIZADOR | TIEMPO<br>MINUTOS | DENSIDAD | ÍNDICE DE<br>ACIDEZ | VISCOSIDAD | PORCENTAJE DE<br>CONVERSIÓN |
|-------------|-------------------|----------|---------------------|------------|-----------------------------|
| CaCO        | 30                | 821.50   | 0.46                | 1.63       | 70.14%                      |
| CaCO        | 30                | 821.33   | 0.46                | 1.27       | 70.13%                      |
| CaCO        | 30                | 821.31   | 0.46                | 1.58       | 70.13%                      |
| CaCO        | 60                | 829.00   | 0.46                | 1.77       | 70.41%                      |
| CaCO        | 60                | 828.84   | 0.46                | 1.80       | 70.40%                      |
| CaCO        | 60                | 828.41   | 0.46                | 1.76       | 70.39%                      |
| KOH         | 30                | 855.65   | 0.44                | 2.45       | 71.33%                      |
| KOH         | 30                | 855.37   | 0.33                | 2.52       | 78.49%                      |
| KOH         | 30                | 854.94   | 0.44                | 2.57       | 71.30%                      |
| KOH         | 60                | 876.40   | 0.33                | 1.79       | 79.01%                      |
| KOH         | 60                | 876.48   | 0.33                | 1.87       | 79.01%                      |
| KOH         | 60                | 876.80   | 0.43                | 1.90       | 72.02%                      |

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 12

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Tabla 12**  
*Matriz de Consistencia*

|   |   |
|---|---|
| <b>TÍTULO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b> | Calidad De Biodiesel A Partir Del Porcentaje De Ácidos Grasos Libres De Aceite Usado  |
| <b>PROBLEMA</b>                           | ¿Se podrá obtener biodiesel de calidad a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado?   |
| <b>HIPÓTESIS</b>                          | Se obtendrá biodiesel de calidad a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado.   |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b>                   | Evaluar el rendimiento del aceite de cocina usado para la obtención de biodiesel.   |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar la eficiencia de la reacción según la fuente de catalizador.</li> <li>• Analizar parámetros fisicoquímicos del biodiesel obtenido.</li> <li>• Demostrar el biodiesel obtenido en un proceso de combustión.</li> </ul> |
| <b>DISEÑO DE ESTUDIO</b>                  | No experimental   |
| <b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>                | <p><b>POBLACION:</b> Aceites recolectados del Pueblo Joven 9 de Octubre- Chiclayo.</p> <p><b>MUESTRA:</b> Por Conveniencia, 5 litros de aceite usado.</p>   |
| <b>VARIABLES</b>                          | <p><b>Variable 1:</b> Calidad de Biodiesel.</p> <p><b>Variable 2 :</b> Porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado</p>   |

**Fuente:** Elaboración propia.

## ANEXO 13

### ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL BIODIESEL

**Figura 15 :** Análisis De Los Parámetros Del Biodiesel.

#### UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

**Nombre:** Tequen Arroyo Yavar Edgar

**Facultad:** Ingeniería

**Escuela:** Ingeniería Ambiental

**Procedencia:** biodiesel preparado en diversos tiempos y tipo de catalizador.

Se realizaron análisis del biodiesel para la elaboración de la tesis "RENDIMIENTO DE ACEITE DE COCINA USADO COMO SUSTRATO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL", los cuales se presentan a continuación.

| PARÁMETRO                          | TIEMPO     |            | CATALIZADOR |
|------------------------------------|------------|------------|-------------|
|                                    | 30 minutos | 60 minutos |             |
| DENSIDAD<br>(Kg/m <sup>3</sup> )   | 821.38     | 828.75     | CaO         |
|                                    | 855.32     | 876.56     | KOH         |
| ÍNDICE DE<br>ACIDEZ ( mg<br>KOH/g) | 0.46       | 0.46       | CaO         |
|                                    | 0.41       | 0.36       | KOH         |
| VISCOSIDAD(cp)                     | 1.49       | 1.78       | CaO         |
|                                    | 2.52       | 1.85       | KOH         |
| PORCENTAJE DE<br>CONVERSIÓN(%)     | 70.13      | 70.39      | CaO         |
|                                    | 73.70      | 76.67      | KOH         |



ING. MARIA RAQUEL MAXE MALCA  
Laboratorio de la UCV

**Fuente :** Universidad Cesar Vallejo