



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO  
DE RIESGOS NATURALES**

**OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE MEDIANTE ACEITES  
RESIDUALES DE FRITURAS AL VACÍO DE LA PLANTA DE  
ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
EQUINOCCIAL CAMPUS OCCIDENTAL.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**MIREYA MARGARITA TORRES BONILLA**

**DIRECTOR: DRA. ROSA MORALES**

**Quito, febrero, 2015**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015  
Reservados todos los derechos de reproducción

# DECLARACIÓN

Yo **MIREYA MARGARITA TORRES BONILLA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Mireya Torres B.

CI: 1715548630

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Producción de biocombustible mediante aceites residuales de frituras al vacío de la planta de alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial campus Occidental**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero/a Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Mireya Torres**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Dra. Rosa Morales

CI: 1708665367

## DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que guía mi camino, por poner en mi vida a personas valiosas, por bendecirme con tantas oportunidades y por darme la fuerza y salud para seguir adelante.

A mis padres, porque son los pilares de mi vida, siempre han estado a mi lado en momentos buenos y malos con sus consejos sabios, su ejemplo y su amor incondicional; a ustedes debo todo lo que soy y la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

A mi hermana Katy, que es mi gran amiga, siempre apoyándome en todo, por sus consejos, su manera de sobrellevar las cosas y ser un buen ejemplo para mí.

A mi sobrino Erick, que ha sido como mi hermano menor, quien llegó a alegrar la vida de todos con sus ocurrencias, inocencia y sinceridad; es parte de mi vida y a pesar de su edad he aprendido grandes lecciones de él.

A todas las personas que creyeron en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mami Margarita, por ser el ángel que Dios me mando, gracias “ma” por dedicarme tanto tiempo, por ayudarme cuando más necesito, por tantas desveladas juntas y por ser el apoyo para nunca decaer.

A mi papi Widman, gracias por darme la oportunidad para seguir superándome y cumplir una meta más en mi vida, por ser un ejemplo no solo de persona sino de profesional.

A los Ing. Fausto Viteri, Dra. Rosa Morales, Ing. Rubén Amagua e Ing. Fausto Ramos, gracias por compartir sus conocimientos, su tiempo, su paciencia y apoyo durante la realización de este trabajo.

A mis amigas y amigos, con los que compartí experiencias maravillosas, que me brindaron su amistad, respeto y ayuda de manera desinteresada en los momentos que más necesitaba. A los chicos que conocí al realizar esta tesis, que se convirtieron en compañeros y amigos; Juanpi te debo parte de esta tesis, infinitas gracias por tu ayuda, tu tiempo y tu paciencia.

A todas las personas que de una u otra forma aportaron con algo para la finalización de este trabajo, y todas las personas que estuvieron pendientes y creyeron en mí.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 ACEITES RESIDUALES .....	4
2.1.1 FRITURA ATMOSFÉRICA .....	5
2.1.2 FRITURA AL VACÍO .....	5
2.1.3 CAMBIOS Y ALTERACIONES EN EL ACEITE.....	5
2.1.4 PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE ACEITES RESIDUALES .....	6
2.2 BIOCOMBUSTIBLES .....	7
2.2.1 BIOCOMBUSTIBLES EN LA ACTUALIDAD .....	9
2.2.2 BIODIESEL .....	10
2.2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL .....	11
2.2.4 PARAMETROS DE CALIDAD DEL BIODIESEL .....	17
2.3 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL.....	23
2.4 POSICIONES QUE AVALAN Y REPRUEBAN EL USO Y PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL.....	25
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>27</b>
3.1 MATERIA PRIMA.....	27

	<b>Página</b>
3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	27
3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL .....	27
3.2.1 RENDIMIENTO .....	29
3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO .....	30
3.4 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL.....	31
3.4.1 INDICE DE CETANO CALCULADO (CCI) .....	31
3.4.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS.....	32
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	32
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	33
4.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL .....	35
4.2.1 TRANSESTERIFICACIÓN .....	35
4.2.1.1 Rendimiento .....	36
4.2.2 DECANTACIÓN .....	37
4.2.3 LAVADOS .....	38
4.2.4 SECADO .....	39
4.3 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL.....	39
4.3.1 ÍNDICE DE CETANO .....	39
4.3.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS DEL PRODUCTO FINAL .....	45
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>



	<b>Página</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	52
5.2 RECOMENDACIONES .....	54
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del aceite residual .....	4
<b>Tabla 2.</b> Emisiones del biodiesel al 100% y una mezcla con diesel .....	24
<b>Tabla 3.</b> Métodos de análisis para la caracterización físico-química del aceite de fritura al vacío .....	27
<b>Tabla 4.</b> Niveles del diseño experimental .....	30
<b>Tabla 5.</b> Tratamientos para los ensayos del diseño experimental .....	31
<b>Tabla 6.</b> Métodos de análisis para la caracterización físico-química del producto final .....	32
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la caracterización de la materia prima .....	33
<b>Tabla 8.</b> Rendimiento químico del biodiesel .....	36
<b>Tabla 9.</b> Medición de pH en el proceso de lavado .....	38
<b>Tabla 10.</b> Resultados del Índice de Cetano Calculado (CCI) .....	40
<b>Tabla 11.</b> Tabla ANOVA para el Índice de Cetano Calculado .....	40
<b>Tabla 12.</b> Pruebas de múltiples rangos del KOH .....	41
<b>Tabla 13.</b> Diferencias entre las medias muestrales .....	41
<b>Tabla 14.</b> Pruebas de múltiples rangos del metanol .....	42
<b>Tabla 15.</b> Diferencias entre las medias muestrales .....	43
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la caracterización físico-química del producto final .....	46

**Tabla 17.** Metilésteres identificados y porcentajes..... 47

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Reacciones reversibles consecutivas del proceso de transesterificación .....	13
<b>Figura 2.</b> Reacción de transesterificación con metanol y catalizador KOH .....	14
<b>Figura 3.</b> Compuestos determinantes de las características de ignición de un combustible.....	21
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo de los procesos de obtención de biodiesel.....	28
<b>Figura 5.</b> Separación del biodiesel y la glicerina .....	37
<b>Figura 6.</b> Medias del porcentaje de KOH .....	42
<b>Figura 7.</b> Medias del volumen de metanol .....	43
<b>Figura 9.</b> Interacción del metanol con KOH .....	44
<b>Figura 10.</b> Cromatografía del biodiesel de aceite de fritura al vacío con todos los compuestos identificados .....	48

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	60
ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA	
<b>ANEXO 2</b> .....	62
ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES PRODUCTO FINAL	
<b>ANEXO 3</b> .....	64
ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL	
<b>ANEXO 4</b> .....	65
FIGURAS	

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se detalla el proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite residual de fritura al vacío, mediante una reacción de transesterificación con metanol y KOH como catalizador, a condiciones específicas de temperatura, presión y agitación.

Primero, se realizó la caracterización físico-química del aceite residual recolectado en donde se determinó el porcentaje de ácidos grasos libres, índice de peróxidos, densidad, índice de saponificación e índice de yodo; con estos análisis se comprobó que el aceite de fritura al vacío es menos degradado que el aceite de fritura convencional, porque al trabajar con menor temperatura y menor presión se prolonga la vida útil del aceite.

Para el proceso de obtención de biodiesel se utilizó un diseño experimental AXB, donde las variables analizadas fueron el porcentaje de KOH y la cantidad de metanol sobre el índice de cetano del biodiesel obtenido, se trabajó con tres niveles de porcentaje de KOH (0.5%, 1% y 1.5%) y tres niveles de metanol (73 ml, 110 ml y 146 ml). El mejor tratamiento se obtuvo con 0.5 % de KOH y 146 ml de metanol, dando el mayor valor de índice de cetano 46.4.

Posteriormente, se realizó la caracterización físico-química del producto final, de la muestra que obtuvo mayor valor de índice de cetano, se determinó porcentaje de metilésteres, azufre, punto de inflamación, contenido de agua, viscosidad cinemática a 40 °C y corrosión a la lámina de cobre; los resultados fueron 92.7 %, <0.005 %, 177.2 °C, <0.025 %, 4.43 sCt, respectivamente. Estos resultados fueron comparados con las normas INEN 2482, la norma europea EN 14214 y la norma americana ASTM 6751-02, con las cuales se pudo observar que el biodiesel obtenido se encuentra dentro de los límites establecidos; pero los parámetros de contenido de

metilésteres e índice de cetano se encuentran ligeramente inferiores a las referencias, acercándose más a la normativa americana.

Los resultados obtenidos de los análisis del biodiesel son favorables, por lo tanto el producto final es de buena calidad, y en consecuencia, el biodiesel presenta un impacto positivo al medio ambiente, ya que reduce la contaminación y el calentamiento global causado por los gases de efecto invernadero; además, la utilización de aceite de fritura es una buena alternativa como fuente de energía; evita la contaminación de aguas y suelos que se genera por el mal manejo de este desecho.

## ABSTRACT

In this research work the process of obtaining biodiesel from vacuum waste oil is presented, through a transesterification reaction with methanol and KOH as catalyst, according to specific conditions of temperature, pressure and agitation.

Firstly, the physical-chemical characterization of collected residual oil was carried out, where the percentage of free fatty acids, and the peroxide, density, saponification and iodine indexes were determined. It was found that vacuum waste oil is less degraded than conventional waste frying oil, because when working with lower temperature and lower pressure oil life is prolonged.

Experimental design AXB was used for the process of obtaining biodiesel, where the variables analyzed were the KOH percentage and the amount of methanol according to the cetane index of the obtained biodiesel. Three levels of percentage of KOH (0.5% 1% and 1.5%) and three levels of methanol (73 ml, 110 ml and 146 ml) were used. The best treatment was obtained with 0.5% KOH and 146 ml of methanol, and the highest cetane value produced was 46.4.

Subsequently, the physical-chemical characterization of the final product, of the sample scored higher cetane value, was performed the percentage of methyl esters, sulfur, combustion point, water content, kinematic viscosity at 40 ° C and corrosion to copper foil was determined. The results were 92.7%, <0.005%, 177.2 ° C, <0.025%, 4.43 cSt, respectively. These results were compared with INEN 2482 standards, European standard EN 14214 and American ASTM 6751-02, with which it was observed that the biodiesel obtained is within the established limits; but the parameters of content related to methyl esters and cetane index are slightly below the references, getting closer to American standards.



The results of the analysis of biodiesel are favorable, therefore the final product is of good quality, and as a consequence, biodiesel has a positive impact on the environment, by reducing pollution and the global warming caused by the effect of greenhouse gases. In addition, the use of waste frying oil is a good alternative in the production of energy; prevents contamination of water and soils that is generated by the mismanagement of this waste.

# 1. INTRODUCCIÓN

Durante varios siglos la extracción y uso del petróleo, usado como materia prima para la fabricación de combustibles y la industria ha causado dos grandes problemas ambientales como son las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y los vertidos residuales en aguas y suelos, éstos han generado cambios climáticos a largo plazo. Por tal razón ha surgido una alternativa amigable con el ambiente que podría suplir parcialmente las fuentes de combustibles del petróleo, y es la producción de biocombustibles (Pérez 2010).

Los biocombustibles más comunes son el biogás y el biodiesel, éstos provienen de fuentes renovables que se producen a partir de la biomasa o material que contenga triglicéridos tales como aceites vegetales, grasas animales y aceites residuales de frituras; emplear biocombustibles reduce las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático, además reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y material particulado (Salinas & Gasca, 2009).

El biodiesel es un éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables como aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlo en motores. El biodiesel tiene una cantidad de energía similar al diesel de petróleo pero es un combustible más limpio, es biodegradable y puede ser utilizado puro o en mezclas como aditivo para mejorar la lubricidad del motor (Lede, 2007).

La obtención de biodiesel se realiza mediante síntesis orgánica, con la reacción química, llamada transesterificación, que consiste en hacer reaccionar el aceite con un alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador, para producir ésteres y glicerina, ésta última es un desecho que puede ser tratado para un uso posterior (Avellaneda, 2010).

Por otro lado, la producción de biocombustibles también ha generado conflictos en el ámbito social cuando se obtienen de aceites vegetales de semillas comestibles, ya que al ser generados con productos agrícolas para la alimentación disminuye la oferta y aumenta el precio de los alimentos, creando una competencia por las tierras y perjudicando a los sectores más pobres (Altieri & Bravo, 2007).

En este contexto, el uso de aceites residuales para la producción de biocombustible es una alternativa a los problemas sociales y ambientales, ya que al ser un desecho, estos pueden ser reciclados para producir biodiesel y de esta manera evitar la contaminación de aguas y suelos, además se puede impedir problemas sociales.

En la planta piloto de alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial se han realizado procesos de frituras al vacío de diferentes alimentos como mashua, durazno, cebolla, entre otros; que generaron aceites residuales que no pueden ser reutilizados y no tienen ninguna disposición final (Garcés, 2013; Parra, 2014; Serrano, 2013).

El estudio de la obtención de biocombustible a partir de aceite residual de fritura al vacío es una alternativa para sustituir los combustibles provenientes de petróleo, promover el cambio de la matriz energética, reducir los impactos ambientales y crear beneficios a sus productores y consumidores. Partiendo de lo mencionado anteriormente se plantean los siguientes objetivos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar biocombustible a partir de aceite residual de fritura al vacío generado en la planta piloto de alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar fisicoquímicamente el aceite residual de fritura al vacío.
- Aplicar la reacción de transesterificación para obtener biodiesel.
- Determinar la calidad del producto final.
- Evaluar el efecto de la cantidad de metanol y catalizador sobre el índice de cetano.
- Evaluar el impacto ambiental del biodiesel

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ACEITES RESIDUALES

El término aceite, se refiere a los lípidos de origen vegetal en estado líquido según la temperatura ambiente o el punto de fusión. Los aceites están compuestos por triglicéridos, cada uno es una molécula de glicerol esterificada con tres ácidos grasos (Yagüe, 2003).

Se considera aceite residual, a aquella sustancia que es sometida al proceso de degradación que se da durante la fritura. Éstos aceites son de mala calidad cuando provienen de mezclas de varios establecimientos y presentan problemas como: elevada acidez, contenido de agua y material sólido en suspensión; afectando así a la calidad del aceite; por tal razón, para darles un uso posterior, requieren tratamientos de filtración, decantación, eliminación del agua residual y análisis fisicoquímicos, como los que se detalla en la Tabla 1, (Burín, 2009).

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del aceite residual

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
<b>Densidad</b>	Es una constante que no varía mucho para un aceite cuando éste está puro o fresco, pero es afectada por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite. Es la medida del volumen que ocupa determinado peso del aceite que se expresa en g/ml (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).
<b>Índice de acidez</b>	Son los miligramos de KOH necesarios para saturar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de muestra (Leiva Bautista, 2011)
<b>Índice de saponificación</b>	Es el número de miligramos de hidróxido necesarios para saponificar 1g de aceite completamente (Leiva Bautista, 2011).
<b>Índice de yodo</b>	Es el número de miliequivalentes o partes de yodo absorbido por 100 partes en peso de sustancia. Este valor da una idea del número de enlaces insaturados de los ácidos grasos en el aceite (Leiva Bautista, 2011).
<b>Índice de peróxidos</b>	Mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o el aceite (Leiva Bautista, 2011).

### **2.1.1 FRITURA ATMOSFÉRICA**

La fritura es un proceso de cocción de alimentos por inmersión en un aceite o grasa, que se efectúa normalmente a temperaturas superiores al punto de ebullición del agua, entre 150 y 200 °C, (Andrés Bello, 2012). Esta operación es un complejo proceso de deshidratación, donde ocurren interacciones simultáneas de transferencia de calor y de masa; de esta manera tienen influencia sobre la calidad del producto sometido a la fritura y sobre el medio de fritura (Castellanos, Pinedo, & Hernández, 2012).

Durante el proceso de fritura no solamente se evapora el agua, sino que también existen otros compuestos que salen del alimento hacia el aceite, este hecho, combinado con el factor de una larga duración de fritura y temperaturas altas, dan lugar a la degradación del aceite (Quintana, 2014).

### **2.1.2 FRITURA AL VACÍO**

En la fritura al vacío el alimento se procesa a presión subatmosférica en un sistema cerrado, lo que permite disminuir la temperatura de ebullición del agua y, por tanto, la temperatura de fritura. El uso de bajas temperaturas, menores tiempos de fritura y ausencia de oxígeno contribuyen a preservar la calidad del aceite (Shyu, Hau, & Hwang, 2005). El proceso de fritura al vacío generalmente se realiza a una presión absoluta de 3.1 kPa, temperaturas entre 100 y 110 °C las que alcanza el aceite, siendo 24.7 °C la temperatura de ebullición del agua a esta presión (Andrés Bello, 2012).

### **2.1.3 CAMBIOS Y ALTERACIONES EN EL ACEITE**

Durante la fritura existen varios factores como la presencia de oxígeno, humedad del alimento y altas temperaturas que causan cambios físicos y

químicos en el aceite, dando lugar a reacciones como la hidrólisis causada por el agua y enzimas, oxidación y alteración térmica causada por el oxígeno y el calor. Al aumentar la temperatura en el proceso de fritura, se aceleran todos los procesos químicos y enzimáticos, degradando con mayor rapidez los aceites, sobre todo si hay residuos que potencian las reacciones de alteración actuando como catalizadores (Saguy & Dana, 2003).

Los principales cambios y alteraciones de los aceites calentados son tres:

- Hidrólisis que se produce en presencia de agua o humedad y calor, estos provocan la ruptura del enlace éster de los triglicéridos, los cuales se descomponen en monoglicéridos y diglicéridos y aparecen ácidos grasos libres, metilcetonas y lactonas en menor cantidad.
- Oxidación, en el que se conocen dos procesos, la autooxidación es la alteración más frecuente en la fritura, consiste en la acción del oxígeno sobre los ácidos grasos, especialmente los poliinsaturados, formándose compuestos inestables llamados hidroperóxidos o peróxidos y radicales libres, la termooxidación se produce por el efecto de las elevadas temperaturas, favoreciendo la alteración oxidativa.
- Polimerización es la presencia de radicales libres que se combinan entre sí o con los ácidos grasos y forman polímeros lineales o cíclicos, estos compuestos tienen mayor tamaño y peso molecular por lo que tienden a aumentar la viscosidad del aceite y la formación de espuma, forman una capa de consistencia plástica en la superficie del aceite y en el recipiente, que es muy difícil de eliminar (Yagüe, 2003).

#### **2.1.4 PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE ACEITES RESIDUALES**

El aceite usado de fritura es una alternativa que presenta mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más

barata, su utilización evita los costos de tratamiento como residuo. Además los aceites usados tienen bajo nivel de reutilización y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustibles (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

Apro (2008) señala que a nivel internacional, se puso en práctica la gestión y utilización de aceites usados, principalmente en la producción de biodiesel, por tal razón se describe los principales motivos que impulsan la utilización de dichos aceites:

- Los aceites usados son residuos considerados como un grave peligro para la comunidad, ya que al depositarse en las cloacas genera contaminación y además obstruye los desagües cloacales y pluviales.
- Los aceites usados tienen componentes cancerígenos (aclaramidas y radicales libres). Por lo tanto es una amenaza para los consumidores.
- Existen circuitos informales que hacen que los aceites usados vuelvan al consumo humano con mezclas de aceites nuevos y/o en elaboración de margarinas.
- No existe una legislación nacional sobre el tema, por lo que los generadores de aceites disponen de ellos sin control.

## **2.2 BIOCOMBUSTIBLES**

La producción de los biocombustibles surge a fines del siglo XIX, en el año 1895 en el que el Dr. Rudolf Diesel desarrolla el primer motor a diesel, previsto para funcionar con aceites vegetales, usando aceite de maní como combustible para la primera presentación del motor. Posteriormente Henry Ford diseña su primer automóvil, en 1908, en el cual se usó etanol como combustible. A principios del siglo XX, la empresa Estándar Oil emplea el 25% de etanol (proveniente del maíz) en gasolina; lo que generó un



problema debido a los altos costos de materia prima, almacenamiento y transporte; lo que hizo abandonar el proyecto. Al mismo tiempo el petróleo ingresa en el mercado como un producto barato, eficiente y disponible (Salinas & Gasca, 2009).

Años más tarde, surge la crisis de petróleo en la década de los setenta, provocando una disminución en la oferta y un aumento en el precio del petróleo, así como también en el de la gasolina que se incrementó a un 100%. A fines de 1979, debido a la crisis de los precios, se realiza una mezcla de gasolina y etanol, lo cual hace que los biocombustibles surjan como alternativa para sustituir el petróleo y eviten el posible agotamiento de los recursos no renovables(Salinas & Gasca, 2009).

Los biocombustibles son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos químicos, que se obtienen a partir de biomasa. Entre los biocombustibles se incluye al bioetanol, biodiesel, biometanol, y otros. Los productos más desarrollados y empleados de esta clase de combustibles son el bioetanol y el biodiesel (Stratta, 2000).

La biomasa es cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas o desechos metabólicos (el estiércol) (Salinas & Gasca, 2009). Esta materia está compuesta principalmente por sustancias orgánicas como son el carbono, hidrógeno y oxígeno (Pérez, 2010).

Los biocombustibles se clasifican en, los de primera generación y segunda generación. Los primeros son provenientes de cultivos alimentarios como son el maíz, la caña de azúcar, soja, entre otros para producir principalmente biodiesel y bioetanol. Los biocombustibles de segunda generación se obtienen de vegetales que no tienen función alimentaria, por lo que se pueden cultivar de tierras marginales que no sean para cultivo de alimentos, y se producen con innovaciones tecnológicas, lo que permite ser más ecológicos y avanzados que los actuales. La materia prima de estos

biocombustibles es la celulosa, la desventaja son los altos costos de manufactura (Salinas & Gasca, 2009).

### **2.2.1 BIOCOMBUSTIBLES EN LA ACTUALIDAD**

Actualmente el mundo presenta una crisis derivada de la producción energética basada en hidrocarburos, especialmente del petróleo; ya que estos por provenir de fuentes no renovables se están agotando, de igual manera que las posibilidades que se espera de ellos.

La economía mundial crece a un ritmo acelerado y está superando la capacidad del planeta para mantenerse; esta situación es cada vez más grave por la indiferencia del ser humano acerca del impacto que generan sus acciones, ya que se están consumiendo (sobreexplotando) los recursos naturales de manera que no permiten la regeneración de la naturaleza. Los bosques disminuyen cada vez más, los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera aumentan, las fuentes de agua dulce disminuyen y la producción de petróleo está alcanzando su límite máximo en la primera mitad del siglo XXI (Chumacero, 2007).

Varios son los países que dependen notablemente del petróleo y otros hidrocarburos para satisfacer sus necesidades, aunque no todos dispongan y se beneficien de éste recurso, debido a limitada capacidad de extracción y producción del mismo; ésta situación ha generado que las naciones no productoras dependan en gran cantidad de aquellas que sí disponen de este recurso; provocando así, que controlen el factor energético de sus estados; es, por esta razón que se han planteado la posible solución de emplear biocombustibles, provenientes de cultivos y producción de alimentos (Pérez, 2010).

La Unión Europea ha sido el principal productor de biodiesel en el mundo (más del 55% de la producción mundial), siendo liderada por Alemania, Francia e Italia (595 mil toneladas) en el 2008. Sin embargo en el 2007, la

UE tuvo que competir comercialmente con EEUU, que es el segundo productor de biodiesel a nivel mundial. Esta competencia generó varias denuncias por parte de la UE, debido a las subvenciones y el dumping de biodiesel que afectaba a su rentabilidad. En cuanto a los países sudamericanos, los más representativos debido a su producción y normativa desarrollada son: Brasil, Colombia y Argentina (Avellaneda, 2010).

### **2.2.2 BIODIESEL**

El biodiesel también puede ser llamado gasóleo, pertenece al grupo de los biocombustibles y químicamente están compuestos de ésteres de alquilo como: de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Se obtiene a partir de aceites vegetales, grasas animales, aceites residuales de frituras o cualquier materia que contenga triglicéridos (Fernández, 2009).

El biodiesel puede ser utilizado puro (conocido como “gasoil verde”), o ser utilizado como aditivo a otro combustible fósil, como es el Diesel, en mezcla de diferentes concentraciones; la más usada es al 20%, es decir 20 partes de éster vegetal y 80 partes de diesel de petróleo. Cuando es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan el 5% (Stratta, 2000).

El uso del biodiesel como combustible y aditivo ha sido aprobado en Estados Unidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA). En donde se lo ha catalogado como un combustible limpio, siempre y cuando sus características físico-químicas se encuentren dentro de las especificaciones de las normas europeas. La norma estándar es la UNE EN 14214 Europea y en el caso de Norteamérica la norma estándar es la ASTM D6751-02 (Avellaneda, 2010).

## **2.2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Existen cuatro formas de transformar los aceites vegetales en biodiesel, estas son: el uso directo de aceites y mezcla de las mismas con gasóleo mineral, micro-emulsiones, craqueo térmico y transesterificación. Esta última es la más utilizada para una verdadera conversión a ésteres metílicos y glicerina (Vicente, 2012).

### **2.2.3.1 Materia prima para la producción de biodiesel**

#### **a. Aceite**

Avellaneda (2010), afirma que las principales materias primas para la elaboración de biodiesel son las semillas oleaginosas y sus aceites derivados. Se puede decir que la producción de biodiesel proviene mayoritariamente de los aceites extraídos de semillas oleaginosas tradicionales, especialmente girasol, soja, colza y palma. Sin embargo, cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel (aceites de fritura usados, sebo de vaca, grasa de pollo y de pescado, etc).

#### **b. Alcohol**

La segunda materia prima para la producción de biodiesel es un alcohol, especialmente los de cadena corta, que puede ser metanol o etanol. El primero es de menor costo y tiene ventajas químico-físicas como: rapidez de reacción con triglicéridos, disuelve fácilmente al NaOH; su desventaja es que presenta alta toxicidad e inflamabilidad, y proviene de fuentes no renovables. El segundo se obtiene de fuentes renovables como caña de azúcar y otros alimentos, además por medio de destilación (P. Pérez, Gusberti, & Gallardo, 2009).

### **c. Catalizador**

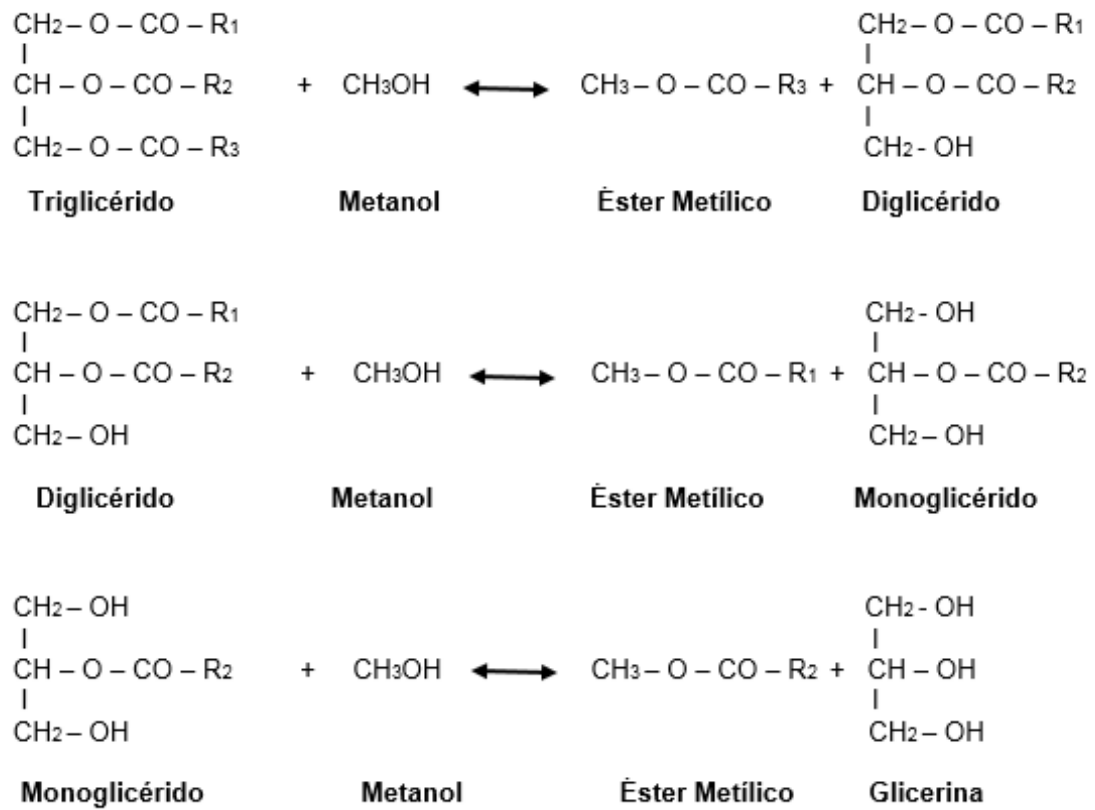
Los catalizadores son usados para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, estos puede ser ácidos, básicos o enzimáticos. Los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores básicos, ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas, a diferencia de los catalizadores ácidos que requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

Las bases fuertes que se pueden utilizar son KOH (hidróxido de potasio) y NaOH (hidróxido de sodio o sosa cáustica). Según Torossi (2006) el KOH es el catalizador más conveniente para aceites usados, ya que requieren menos temperatura y tiempo de reacción, además la ventaja del KOH es que la glicerina que queda en el proceso es menos tóxica que cuando se utiliza NaOH.

#### **2.2.3.2 Transesterificación**

La transesterificación se da mediante la reacción de un alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador, esta reacción depende principalmente de la naturaleza de la materia prima, la concentración del catalizador, la relación molar alcohol-aceite, la temperatura, la agitación, presión y tiempo de reacción, el contenido de humedad, y de ácidos grasos libres (Avellaneda, 2010).

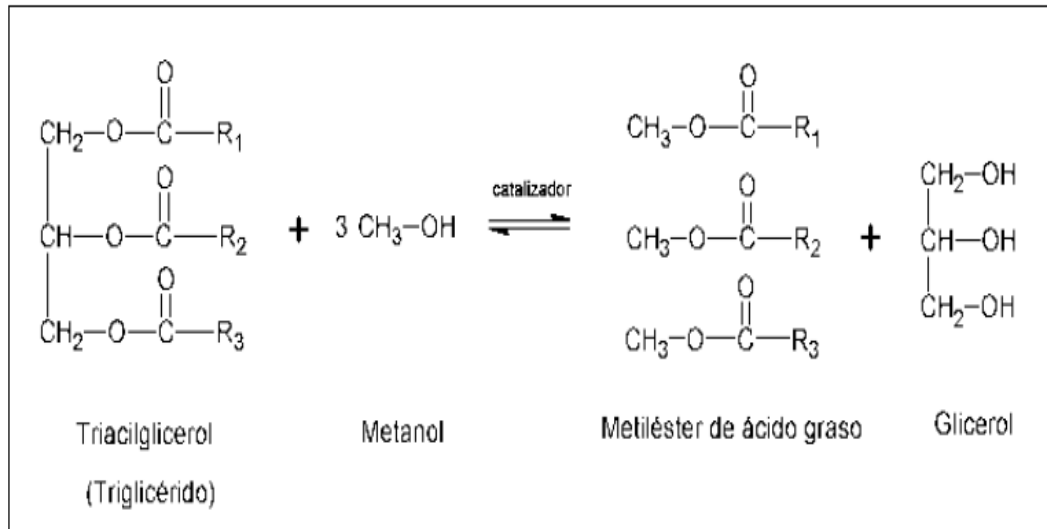
La reacción de transesterificación con alcohol consiste en reacciones reversibles consecutivas. La primera conversión es de triglicéridos a diglicéridos, mientras es seguido por la conversión de diglicéridos a monoglicéridos y de monoglicéridos a glicerol produciendo una molécula de metil éster de cada glicérido por paso. En la Figura 1 se puede observar las reacciones reversibles consecutivas (Uribe Gómez, 2010).



**Figura 1.** Reacciones reversibles consecutivas del proceso de transesterificación

(Herrera Restrepo & Vélez, 2008)

Debido a que las reacciones que se producen en la transesterificación son reversibles se utiliza un exceso de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación de ésteres de acuerdo con el principio de Le Chatelier. La reacción estequiométrica requiere 1 mol de triglicérido y 3 moles de alcohol, pero al usar un exceso se requiere 6 moles de alcohol para aumentar la producción de ésteres alquílicos y permitirles separar el glicerol de la fase formada (Uribe Gómez, 2010).



**Figura 2.** Reacción de transesterificación con metanol y catalizador KOH  
(Herrera Restrepo & Vélez, 2008)

Para que esta reacción sea completa, se necesita una temperatura promedio de 60 °C, un catalizador básico, en este caso KOH, agitación y un tiempo de reacción cercano a las 1.5 horas (Torossi, 2006).

En la síntesis del biodiesel, se forman entre el aceite y el alcohol metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina la cual puede ser procesada para darle un valor agregado (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

#### a. Variables que afectan a la reacción de transesterificación

Herrera Restrepo & Vélez (2008), afirman que existen variables que pueden afectar a la reacción de transesterificación y por lo tanto se vería afectado el rendimiento del mismo, estas variables son:

- **Acidez**

Los ácidos grasos y la humedad son parámetros que determinan la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite, ya que cuanto más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión; por tal razón para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, menor al 3%.

Cuando se usa aceites de bajo costo y grasas animales, suelen presentar gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiesel usando catalizadores alcalinos, ya que en un medio básico, los ácidos grasos reaccionan con el catalizador para formar jabones. Para ello se debe realizar una esterificación en dos etapas: primero debe realizarse un pretratamiento para convertir los ácidos grasos libres en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y segundo se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

- **Catalizador y concentración**

Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados, estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, las ventajas del uso de éstos se explica en el numeral 2.4.1.3.

El exceso de catalizador puede producir la formación de jabón, ya que los ácidos grasos que se encuentran en el aceite pueden reaccionar con el catalizador en presencia de agua o humedad produciendo jabones, lo cual disminuye el rendimiento de la reacción. Torossi (2006) sugiere que para aceites que contengan una acidez inferior al 5% se debe utilizar el 1% p/p de catalizador, siempre que se mantengan constantes los demás parámetros de la reacción.



- **Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol**

La transesterificación necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción a la producción de ésteres, por lo que requiere un relación estequiométrica de tres moles de alcohol y un mol de triglicérido, para producir tres moles de ésteres y un mol de glicerol. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. Pero un valor alto de relación molar de alcohol afecta la separación de glicerina por el incremento de solubilidad.

El metanol no solubiliza los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que exista transferencia de masa. Durante la reacción de metanólisis se forma una emulsión que se separa rápidamente, formándose en la parte inferior una zona rica en glicerol, mientras que en la parte superior se forma zona rica en éster metílico.

#### **2.2.3.3 Decantación (separación de fases)**

Una vez realizada la transesterificación ocurre la separación espontánea de fases por su inmiscibilidad. Las fases que se separan son el glicerol (fase inferior) debe ser retirado y se puede hacer por simple decantación o centrifugado y lo que queda son los metil ésteres (fase superior) (Lozada, 2008).

#### **2.2.3.4 Lavado o purificación**

La fase que corresponde a los metilésteres se debe lavar con agua destilada para purificarse y alcanzar mayor concentración.

El exceso de metanol se puede recuperar por calentamiento de la fase éster; los restos de glicerol y catalizador se pueden eliminar con lavados de agua hasta neutralizar (Avellaneda, 2010).

#### **2.2.3.5 Secado o evaporación**

Después de que el biodiesel ha sido lavado, debe ser secado a 110°C con una agitación suave para eliminar el agua remanente, el agua puede presentarse disuelta en el biodiesel o en forma de gotas en superficie; si el agua se encuentra suspendida en el biodiesel se presentan problemas en el equipo de inyección porque presenta corrosión a las partes del sistema. Además la presencia de agua permite el crecimiento de microorganismos, lo que hace que aumente la acidez y formación de lodos que taponarían los filtros. La normativa de calidad permite una cantidad de agua máxima de 500 ppm; pero a pesar de esto el biodiesel debe estar seco (Avellaneda, 2010).

#### **2.2.4 PARAMETROS DE CALIDAD DEL BIODIESEL**

Las propiedades del biodiesel dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido. Según Avellaneda (2010) los aspectos más importantes que se debe tomar en cuenta en la producción de biodiesel para asegurar un buen funcionamiento, libre de problemas en los motores diesel son:

- Reacción completa (evitar la presencia de mono, di y triglicéridos).
- Eliminación de la glicerina.
- Eliminación del catalizador y otras sustancias.
- Eliminación de alcohol.
- Ausencia de ácidos grasos libres.
- Ausencia de agua en el producto final.

El incumplimiento de estos aspectos podría presentar problemas en el motor como formación de depósitos en las boquillas de inyección, corrosión, etc. Mientras que, si no hay una adecuada eliminación del metanol podría causar problemas desde el punto de vista de la manipulación segura del combustible. Por estas razones se deben realizar una serie de ensayos para comprobar la calidad del biocombustible, que dependerá del nivel de impurezas remanentes en el producto final, a continuación se presenta los parámetros de evaluación de calidad para el biodiesel (Avellaneda, 2010).

#### **2.2.4.1 Densidad**

La densidad es el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa, es expresada en masa por unidad de volumen y depende tanto del estado en el que se encuentra el elemento como en la temperatura del mismo. La densidad se mide en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) o en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ). La influencia de ésta medida en el combustible es que a mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

#### **2.2.4.2 Punto de inflamación**

Es la temperatura más baja donde se observa la liberación de vapores de un líquido en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable con el aire (Lôbo, Ferreira, & CRUZ, 2009). Con el punto de inflamación se puede determinar la cantidad de compuestos volátiles o muy volátiles que tiene un combustible, esto se sirve para estimar las condiciones en las que va a ser almacenado (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

#### **2.2.4.3 Agua y sedimento**

El contenido de agua es la relación de la masa del agua presente en el biodiesel, o agua libre, y la masa dada de material respecto a su peso anhidro, expresada en tanto por ciento (Herrera Restrepo & Vélez, 2008). El agua, además de promover la hidrólisis de biodiesel resultante en ácidos grasos libres, también se asocia con la proliferación de microorganismos, la corrosión en los tanques de almacenamiento y con la deposición de sedimentos (Lôbo et al., 2009).

#### **2.2.4.4 Viscosidad cinemática**

La viscosidad cinemática es una medida de la fricción interna entre moléculas o de la resistencia a fluir de los líquidos, ésta aumenta con la longitud de la cadena de carbono y el grado de saturación, e influye en el proceso de quema en la cámara de combustión del motor. La alta viscosidad causa heterogeneidad en la combustión de biodiesel debido a la disminución de la eficiencia de atomización en la cámara de combustión, causando la deposición de residuos en las partes internas del motor. Los jabones residuales, los glicéridos sin reaccionar (mono, di-y triglicéridos) y productos de degradación oxidativa de biodiesel, aumentan la viscosidad. Por tanto, estos contaminantes pueden ser controlados indirectamente mediante la determinación de este parámetro (Lôbo *et al.*, 2009).

#### **2.2.4.5 Contenido de azufre**

Este parámetro se determina mediante la espectrometría por fluorescencia de rayos X de longitud de onda dispersa. El contenido de S se determina mediante una curva de calibración a partir de patrones de calibración de

azufre. El biodiesel que se obtiene a partir de aceites frescos generalmente presenta bajos contenidos de azufre, sin embargo el biodiesel preparado a partir de aceites usados o mediante catálisis ácida puede presentar cantidades considerables de azufre (Avellaneda, 2010).

El azufre es un veneno de catalizador típico y por lo tanto afecta a los convertidores catalíticos. La presencia de azufre en el diesel también está asociada con la emisión de material particulado, daños a la salud y la corrosión de las piezas del motor, que se atribuye a los ácidos sulfúricos y sulfónicos formados durante la oxidación del combustible. El diesel con bajo contenido de azufre presenta pérdida de lubricidad debido a la eliminación de compuestos de nitrógeno y oxígeno durante el proceso de desulfuración. Sin embargo, el biodiesel, tiene muy bajas cantidades de azufre y excelente lubricidad, así puede actuar como un aditivo para la corrección de la lubricidad del diesel de petróleo(Lôbo et al., 2009).

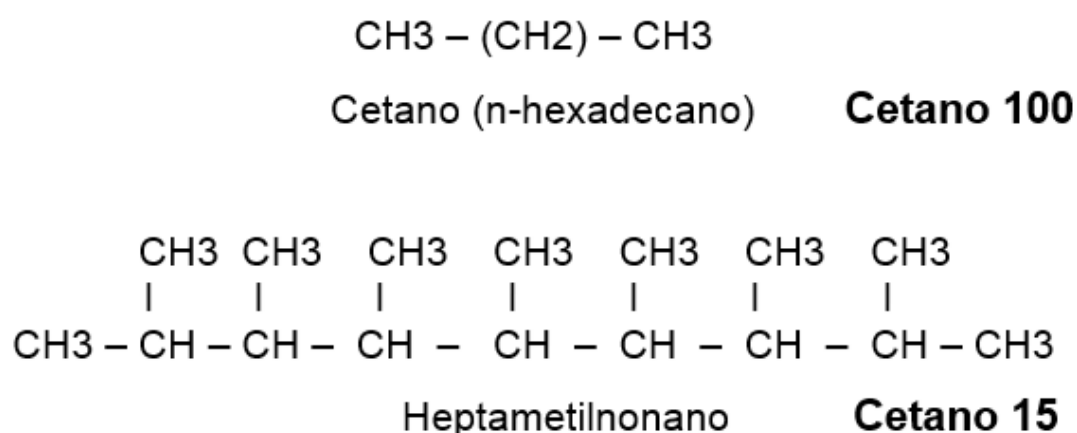
#### **2.2.4.6 Corrosión lámina de cobre**

Es un parámetro establecido para determinar la capacidad potencial de que un combustible pueda causar corrosión en las partes metálicas, que pueden ser de un motor o de un tanque de almacenamiento (Lôbo et al., 2009). Para medir éste parámetro se debe sumergir durante 3 horas una lámina de cobre pulida en la muestra, previamente calentada a 50°C. La lámina de cobre se retira y se compara su color con un patrón que posee diferentes niveles de corrosión. La corrosión causada por el biodiesel es principalmente por componentes sulfurosos y ácidos grasos libres (AGL) (Avellaneda, 2010).

#### 2.2.4.7 Índice de cetano

Es un parámetro adimensional, sirve como medida de la calidad de la ignición de un combustible para un motor Diesel. Un mayor índice de cetano indica menor demora entre la inyección y la ignición del combustible. Asegurándose así, un buen encendido en frío, una arrancada suave y un funcionamiento más silencioso del motor. Un índice de cetano bajo indica una combustión incompleta, lo que genera mayores emisiones de gases y partículas, además aumenta los depósitos en el motor. Algunos aditivos como los peróxidos pueden ser utilizados para aumentar el índice de cetano del combustible (Avellaneda, 2010).

La escala se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos, el n-hexadecano y el heptametilnonano. El primero tiene un periodo corto de retardo durante la ignición y se le asigna un cetano de 100; mientras que el segundo tiene un periodo largo de retardo y se le ha asignado un cetano de 15. El índice de cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición del diesel y es equivalente al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calidad de ignición del combustible prueba (ASTM D-613) (Cordero, 2003).



**Figura 3.** Compuestos determinantes de las características de ignición de un combustible

(Cordero, 2003)

#### **2.2.4.8 Contenido de metilésteres**

El contenido de metilésteres (% FAME) se mide usando cromatografía gaseosa, los metilésteres son separados de acuerdo a la longitud de sus cadenas (cantidad de C) y el número de dobles enlaces.

Este parámetro indica la pureza que tiene el biodiesel, como mínimo un biodiesel de calidad debe tener un contenido de metilésteres del 96.5% p/p cuando es puro. Un bajo contenido de metilésteres indica unas condiciones de reacción no apropiadas, o la presencia de contaminantes como son alcohol residual, glicéridos, glicerol, metales o componentes menores como tocoferoles, fosfolípidos, esteril glucósidos (fitoesteroles), clorofilas, grasas solubles, vitaminas e hidrocarburos (alcanos, escualenos, carotenos e hidrocarburos policíclicos policarbonados) (Avellaneda, 2010).

#### **2.2.4.9 Índice de acidez**

El índice de acidez es la medida de la cantidad de KOH que se necesita para neutralizar los ácidos grasos libres (AGL) y los ácidos minerales presentes en un gramo de biodiesel, y es indicado como mg KOH/g muestra. El análisis de la acidez en el biodiesel es de gran importancia durante el almacenamiento, ya que el cambio de valores en este período puede significar la presencia de agua, además altos valores de acidez producen corrosión en diversas partes del motor y aumentan la velocidad de degradación del biodiesel (Leiva Bautista, 2011).

## **2.3 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL**

La producción de biodiesel en nuestro país es importante porque trae consigo beneficios ambientales, técnicos y sociales que se describen a continuación.

Entre las importancias de producción de biodiesel se puede citar las ambientales, ya que el empleo de biodiesel como combustible es una contribución menor al calentamiento global de la atmósfera, el dióxido de carbono de la combustión del éster no contribuye a aumentar la concentración del mismo en la atmósfera, ya que este CO<sub>2</sub> sería retirado en la fase de cultivos por el proceso de fotosíntesis. El biodiesel se encuentra libre de compuestos aromáticos y azufre, de esta forma reduce las emisiones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y también hace posible el uso de catalizadores oxidativos que eliminan el material particulado de los gases de combustión; esto mejora la salud de las personas, ya que los materiales particulados son aspirados al respirar, depositándose en los alvéolos pulmonares, favoreciendo el desarrollo de tumores (Soria, Arantzazú, & Calero, 2011). Las emisiones de monóxido de carbono (CO) durante la combustión del biodiesel son 50% inferiores comparadas a la combustión con diesel. En la Tabla 2, se puede observar la reducción de las emisiones de biodiesel puro y en una mezcla con diesel de petróleo (Cordero, 2003).



**Tabla 2.** Emisiones del biodiesel al 100% y una mezcla con diesel

<b>Tipo de emisión</b>	<b>Biodiesel (100 %)</b>	<b>Biodiesel (20%)</b>
Reguladas		
Hidrocarbonados (HC)	-93	-30
Monóxido de carbón (CO)	-50	-20
Material particulado (MP)	-30	-22
NOx	+13	+2
No reguladas		
Sulfatos	-100	-20
Hidroc. Arom. Policíclic. (HAP)	-80	-13
Potencial de ozono de HC especiados	-50	-10

(Avellaneda, 2010)

Es importante mencionar la biodegradabilidad del biodiesel, ya que en caso de derrames, éste desaparece en menos de 21 días, con una degradación 4 veces más rápida que con el diesel de petróleo (Soria *et al.*, 2011).

La disposición final de los aceites usados, es un importante problema que ha surgido en nuestro país, ya que al no tener una gestión de residuos para este desecho se depositan en lugares inadecuados generando contaminación de aguas y suelos. El aceite es más ligero que el agua y tiende a expandirse en grandes membranas finas que dificultan la oxigenación del agua. Es así que, un solo litro de aceite puede contaminar hasta un millón de litros de agua; además el aceite puede solidificarse en las tuberías provocando atascos. Por esta razón el empleo de aceites usados como materia prima para la producción de biodiesel, es una alternativa considerada como fuente renovable y amigable con el ambiente (Espinoza & Palma, 2010).

Técnicamente hablando, el biodiesel es un combustible oxigenado, tiene el 11% de oxígeno en peso, por esta razón tiene una combustión completa con

menor relación de aire/combustible en comparación al diesel de petróleo y produce menos gases contaminantes. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150° C) que hace que sea menos volátil que el diesel y es más seguro de transportar (Uribe Gómez, 2010).

Otra importancia es el beneficio social, debido a que el biodiesel se levanta como una opción agroindustrial, ya que estimula la producción agrícola, crea nuevas actividades industriales, genera puestos de trabajo e ingresos adicionales para el Estado, por esta razón la producción de biocombustibles genera nuevas oportunidades para diversificar la renta y el empleo en las zonas rurales o de bajos recursos (Avellaneda, 2010).

## **2.4 POSICIONES QUE AVALAN Y REPRUEBAN EL USO Y PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL**

En cuanto a la aprobación del uso y producción de biodiesel, existen sectores que afirman su uso, ya que tiene beneficios ambientales al ser proveniente de fuentes renovables, se puede decir que son inagotables; así mismo gracias a la buena combustión que realizan sus componentes, existe una reducción de la producción de gases de efecto invernadero que contaminan la atmósfera. Uno de sus beneficios más destacados es que permiten a las personas interesadas en la producción de biodiesel establecer alta competitividad en torno a las fuentes de combustible tradicionales (como el petróleo) (Pérez, 2010).

Mientras que en el rechazo del uso y producción de biodiesel, existen criterios negativos en cuanto a lo social y lo económico, ya que sustentan que habrá una demanda insaciable por combustibles alternativos. De este modo los países agrícolas se verán tentados a incrementar sus áreas de siembra, mayoritariamente para producir biocombustibles, en la medida de que el libre comercio internacional y la asignación competitiva de precios internacionales parece ser favorable. Si se da esta situación a mediano

plazo se presentará la competencia por las tierras para producir alimentos y/o biodiesel. Esto también afectará a los sectores más pobres, ya que sus principales fuentes de alimento subirán de precio por disminución de su disponibilidad y porque los precios serán fijados por el mercado de combustibles y ya no el alimenticio (Chumacero, 2007).

Investigaciones y análisis realizados por ecologistas y científicos sociales sugieren que el boom de la industria de biocombustibles a gran escala será desastrosa para los agricultores, el medio ambiente, la preservación de la biodiversidad y para los consumidores, particularmente, los pobres. Autores como Altieri & Bravo (2007) sostienen que las afirmaciones sobre “combustibles verdes” son falsas, debido a que el cultivo masivo de maíz, caña de azúcar, soja, palma africana y otros cultivos impulsados por la industria agroenergética (la mayoría, genéticamente modificados) no reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero, pero si desplazarán a miles de agricultores, disminuirá la seguridad alimentaria de muchos países, y acelerarán la deforestación y la destrucción del medioambiente en América del Sur.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 MATERIA PRIMA**

Se utilizó aceite de marca DanolinFri 3317, usado en fritura al vacío, obtenido en la planta piloto de alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

##### **3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

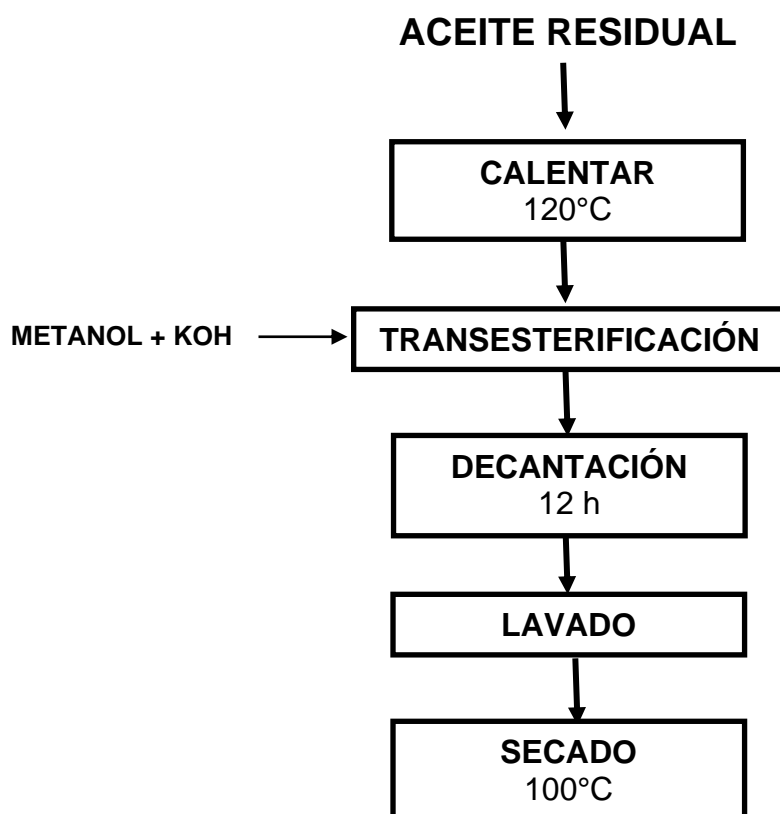
Se realizó la caracterización físico-química del aceite residual mediante los métodos detallados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Métodos de análisis para la caracterización físico-química del aceite de fritura al vacío

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Densidad	NTE INEN 35:1973
Índice de acidez	NTE INEN 38: 1973
Índice de saponificación	AOAC 920.160 (1920)
Índice de yodo	AOAC 920.159 (1920)
Índice de peróxido	Método LEA

#### **3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

Para la obtención de biodiesel se siguió el proceso indicado en la Figura 4, que se describe a continuación.



**Figura 4.** Diagrama de flujo de los procesos de obtención de biodiesel

El aceite residual se calentó a 120°C con agitación constante en una olla de aluminio por 10 minutos para eliminar el agua presente.

En la transesterificación, se usó un matraz de tres bocas de 1000 mL equipado con refrigerante a reflujo, termómetro de 200°C para controlar la temperatura y agitación magnética; se colocó 400 g del aceite previamente acondicionado, se calentó con baño María a 60 °C, posteriormente se conectó el refrigerante de reflujo, se inició la agitación y se introdujo rápidamente una mezcla previamente preparada de metóxido de potasio, de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental, hasta cumplir 1 hora de reacción. La mezcla se transfirió a un embudo de separación y se dejó reposar 24 horas para que se produzca la separación del biodiesel y la glicerina (Torossi, 2006).

Una vez que se retiró la glicerina, se realizó los procesos de lavados del biodiesel con agua destilada, se hizo lavados con agua fría y lavados con agua caliente.

En el proceso de lavado con agua fría, se adicionó 20% p/v de agua destilada en función del aceite, se aplicó una agitación constante por 30 segundos y se dejó reposar hasta que se separe en fases (biodiesel/agua), posteriormente se eliminó el líquido blanquecino, con la ayuda de la llave paso, se repitió el proceso hasta alcanzar el tono más claro posible en el agua (tres lavados), se midió el pH del agua de lavado.

Para el lavado de agua caliente, se adiciono 20% p/v de agua destilada previamente calentada a 80 °C, se agitó vigorosamente y con ayuda de la llave paso se expulsaron los gases formados (se repitió el proceso tres veces), se dejó reposar hasta que se separe en fases (biodiesel/agua), posteriormente se eliminó el líquido por medio de la llave paso, se repitió el proceso hasta alcanzar el tono más claro posible (tres lavados), se dejó enfriar el agua de lavado a temperatura ambiente y posteriormente se midió el pH (Césare *et al.*, 2010).

En el secado, se colocó el biodiesel lavado en un vaso de precipitación de 1000 ml, se calentó en una plancha eléctrica a 100°C con agitación suave hasta que el biodiesel tome de un color brillante traslúcido (Césare *et al.*, 2010).

### **3.2.1 RENDIMIENTO**

Para obtener el rendimiento químico del biodiesel se identificó el reactivo limitante y el reactivo en exceso de la reacción, posteriormente se aplicó la Ecuación 3.2.1 que se muestra a continuación.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{mR \text{ del Biodiesel}}{mT \text{ del Biodiesel}} \times 100$$

Donde:

**mR del Biodiesel:** es la masa real obtenida en la práctica

**mT del Biodiesel:** es la masa teórica obtenida mediante el cálculo con el reactivo limitante

### 3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para la transesterificación se utilizó una solución de metóxido de potasio preparado en un Erlenmeyer de 250 ml, las concentraciones se establecieron aplicando un diseño factorial AXB, siendo los factores el porcentaje de KOH (%) y el volumen de metanol (ml), para medir el efecto sobre el Índice de Cetano. En la Tabla 4 se detallan los niveles máximos y mínimos del diseño experimental.

**Tabla 4.** Niveles del diseño experimental

Factores	Niveles	
	Mínimo	Máximo
KOH (%)	0.5	1.5
Metanol (mL)	73	146

En la Tabla 5 se presentan las combinaciones de los tratamientos del diseño experimental, cada uno con tres niveles.

**Tabla 5.** Tratamientos para los ensayos del diseño experimental

Variaciones		Metanol (ml)		
		73	110	146
KOH (%)	0.5	0.5 – 73	0.5 – 110	0.5 – 146
	1	1 – 73	1 – 110	1 – 146
	1.5	1.5 – 73	1.5 – 110	1.5 – 146

### 3.4 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL

#### 3.4.1 INDICE DE CETANO CALCULADO (CCI)

Se determinó previamente la densidad API por medio de la norma ASTM D-287, posteriormente se calculó el índice de cetano mediante la norma ASTM D-967. “Métodos de prueba estándar para calcular índice de cetano de combustibles destilados”. El análisis se realizó en el laboratorio de Petróleos de la UTE, se utilizó el equipo Koehler modelo K45300, un balón de destilación de 1000 ml y un termómetro de 10° a 360°C.

Para calcular el índice de cetano (CCI) se tomó en cuenta la ecuación 3.4.1 presente en la norma ASTM D-967, la cual se detalla a continuación.

[3.4.1]

$$CCI = -420.34 + 0.016 G^2 + 0.192G \log M + 65.01 (\log M)^2 - 0.0001809 M^2$$

Dónde:

**G:** gravedad API

**M:** temperatura media de ebullición, °F, corregida a la presión barométrica estándar.



### 3.4.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

En función del valor óptimo del Índice de Cetano, se realizó la caracterización físico-química del biodiesel obtenido, mediante los métodos detallados en la Tabla 6. Los análisis fueron realizados en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central, en el Departamento de petróleos, energía y contaminación.

**Tabla 6.** Métodos de análisis para la caracterización físico-química del producto final

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Porcentaje de metilésteres	CHEM32\1\METHODS\FAMES.M
Punto de Inflamación	ASTM D-93
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D-445
Azufre	ASTM D-4294
Corrosión lámina de cobre	ASTM D-130
Agua por destilación	ASTM D-4006

Los resultados de los análisis se evaluaron con los requisitos de la norma INEN 2482 BODIESEL. REQUISITOS.

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluó el efecto de las variables independientes sobre la calidad del producto final, se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVII, mediante un análisis de varianza ANOVA para identificar las diferencias estadísticamente significativas en el proceso, con un nivel de significancia del 95%.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la caracterización química de la materia prima.

**Tabla 7.** Resultados de la caracterización de la materia prima

Análisis	Aceite de fritura al vacío	Resumen de Bibliografía
Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	0.9102	0.9156
Índice de acidez (mg KOH/ g aceite)	0.33	2.47 ** 1.2***
Índice de saponificación (mg KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa)	164	199.7
Índice de yodo (cgl/ g)	68	110,06** 219*
Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> / Kg aceite)	20	10.4** 18*** 13.02*

(Al-Hamamre & Yamin, 2014)\* (Herrera Restrepo & Vélez, 2008)\*\* (Ruiz, Liotta, Marmesat, & Dobarganes, 2008)\*\*\*

Se observa que los valores obtenidos en el análisis no son similares a los reportados en otros estudios realizados en aceites residuales de fritura convencional, excepto el análisis de densidad no varía.

Se obtuvo una densidad de 0.9102g/cm<sup>3</sup>, valor similar al reportado por Herrera Restrepo & Vélez (2008), el cual se puede observar en la Tabla 7. Según Soria *et al.*, (2011) la densidad de los aceites es afectado por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial a los que sean sometidos; por tal

razón no existe variación entre los valores de densidad en los aceites de fritura convencional y fritura al vacío, ya que los dos son sometidos a tratamientos y no afecta de manera diferente las variaciones que tiene cada uno de los procesos de fritura.

En el índice de acidez se obtuvo 0.33mg KOH/g aceite, que expresado en porcentaje de ácido oleico es 0.2%, valores inferiores a 2.47% y 1.2% de fritura atmosférica, reportados Herrera Restrepo & Vélez (2008) y Ruiz *et al.*,(2008) respectivamente. El índice de acidez es más alto en aceite de fritura convencional debido a la reacción de hidrólisis del aceite, causada por el agua presente en el alimento al momento de la fritura, ya que el agua se va liberando del alimento, produciendo un burbujeo en el aceite, lo que acelera el proceso de hidrólisis, esto contribuye al incremento de los ácidos grasos libres (Andrés Bello, 2012; Quintana, 2014).

El valor obtenido en el índice de saponificación fue 164 mg KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa, valor inferior a 199.7 mg KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa, reportado por Herrera Restrepo & Vélez (2008) estudio realizado en aceite de fritura convencional. Según Leiva Baustista (2011) y Soria *et al.*, (2011), la baja cantidad de ácidos grasos libres en aceites de fritura al vacío, inhibe la formación rápida de jabones, cuando están en presencia de un medio alcalino.

En el índice de yodo se obtuvo 68 cgl/g, el cual fue menor a los reportados por Herrera Restrepo & Vélez (2008) y Al-Hamamre & Yamin (2014), como se puede ver en la Tabla 7. En la determinación de éste análisis el yodo se adiciona a los enlaces dobles de ácidos insaturados, en base a esto se puede decir que el aceite de fritura al vacío presenta menos enlaces dobles por lo que existe menor oxidación en el aceite (Herrera Restrepo & Vélez, 2008).

Mientras que en el índice de peróxido se obtuvo un valor de 20 meq O<sub>2</sub> / Kg aceite, el cual es superior a 10.4 – 18 y 13.015 realizados en estudios con aceites fritura atmosférica por Herrera Restrepo & Vélez (2008), Ruiz *et al.*,

(2008) y Al-Hamamre & Yamin (2014) respectivamente. Se puede decir que en este caso el aceite de fritura al vacío presenta mayor deterioro, debido a que fue usado para varias frituras. Además, según Yagüe (2003) los aceites de fritura usados presentan residuos, que potencian las reacciones de alteración, ya que actúan como catalizadores. El aceite se utilizó en fritura de cebolla, la misma que tiene fluidos celulares cargados de sustancias químicas llamados factor lacrimal sintetiza, esta enzima desencadena una serie de reacciones que transforman aminoácidos celulares en otros productos, generando sustancias volátiles ricas en azufre y causa su deterioro (Quintana, 2014).

## **4.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

Las observaciones más importantes de cada etapa del proceso se describen a continuación:

### **4.2.1 TRANSESTERIFICACIÓN**

El proceso de transesterificación se realizó con 400 g de aceite de fritura al vacío, durante una hora y agitación constante. Al agregar el metóxido de potasio, comenzó la reacción tornándose de color amarillo oscuro y después, debido a la conversión de los triglicéridos en glicerol y metilésteres, se tornó de color café oscuro (Torossi, 2006).

Se pudo observar que cuando las reacciones tenían el máximo volumen de metanol, se producía un burbujeo, debido a la evaporación del metanol que al trabajar con un refrigerante a reflujo no se permitió la eliminación del vapor.

#### 4.2.1.1 Rendimiento

El rendimiento promedio de biodiesel fue de 89.2 %, valor inferior al reportado por Leiva Bautista (2011) que fue de 93.06 %, en su estudio de producción de biodiesel a partir de aceite de tempate.

En la Tabla 8 se presentan los resultados del rendimiento químico obtenido en el biodiesel.

**Tabla 8.** Rendimiento químico del biodiesel

Muestra	A: KOH (%)	B: Metanol (mL)	Rendimiento Químico (%)
A1B1	0.5	73	89.5
A1B2	0.5	110	91.3
A1B3	0.5	146	89.6
A2B1	1	73	91.5
A2B2	1	110	88.4
A2B3	1	146	88.9
A3B1	1.5	73	87.2
A3B2	1.5	110	87.9
A3B3	1.5	146	88.2
<b>Promedio</b>			<b>89.2</b>

Con esto se puede comprobar lo expuesto por Avellaneda (2010) en su estudio de producción y caracterización de aceite de palma y aceite reciclado, establece que la producción y la pureza del biodiesel con una concentración menor de catalizador presentan un incremento en el rendimiento de la transesterificación. En este caso se obtuvo mayor rendimiento con el menor porcentaje de KOH (0.5 %) y con el menor volumen de metanol (73 ml).

#### 4.2.2 DECANTACIÓN

Para la separación de las fases se dejó en reposo 24 horas, tiempo suficiente para que se diferencien las 2 capas bien definidas. En la parte superior permanecieron los metilésteres de color amarillo, mientras que en la parte inferior la glicerina de color café, como se observa en la Figura 5.



**Figura 5.** Separación del biodiesel y la glicerina

Al momento de la separación se pudo comprobar lo expuesto por Herrera Restrepo & Vélez (2011) quienes señalan que un valor alto de relación molar de alcohol afecta la separación de glicerina debido al incremento de la solubilidad, corroborando lo mencionado por Ruiz *et al.*, (2008).

En las muestras que tuvieron menor cantidad de metanol se obtuvo menor cantidad de glicerina, la separación fue más fácil debido a que la glicerina

estaba espesa y se diferenciaba completamente del biodiesel; mientras que las muestras con mayor cantidad de metanol se obtuvo mayor cantidad de glicerina, pero fue difícil la separación, ya que incrementó la solubilidad de la misma y no se diferenciaba por completo con el biodiesel, por lo que se dejó 10 minutos en reposo para que se separe la cantidad de glicerina restante.

### 4.2.3 LAVADOS

En la Tabla 9 se presentan los resultados de medición de pH en los lavados del biodiesel.

**Tabla 9.** Medición de pH en el proceso de lavado

Muestra	KOH (%)	Metanol (mL)	Lavados con	Lavados con
			agua fría	agua caliente
			pH	pH
A1B1	0.5	73	9.9±1	9.3±0.5
A1B2	0.5	110	10.3±0.5	8.9±1
A1B3	0.5	146	10.3±0.5	9.3±0.5
A2B1	1	73	9.3±0.5	8.5±1.1
A2B2	1	110	9.3±0.5	8±0.0
A2B3	1	146	10.3±0.5	9±0.0
A3B1	1.5	73	10.3±0.5	9.6±0.5
A3B2	1.5	110	11.6±0.5	8.5±1.1
A3B3	1.5	146	10.3±0.5	9.3±0.5

Media± desviación estándar (n=3)

Según la medición de pH al agua de lavado, se observa que en los lavados con agua fría (tres lavados) el valor de pH es alto, la primera medición se registró con pH 12 y al tercer lavado disminuyó a 10, esto se debe a los

restos de catalizador se encontraban en el biodiesel; mientras que en los lavados con agua caliente a 80 °C (tres lavados) el pH disminuyó, en la primera medición se obtuvo un pH de 10 y en la tercera medición el pH disminuyó a 8.

Con esto se puede demostrar que el efecto del lavado con agua caliente es mayor, debido a que remueve en mayor cantidad los restos de catalizador y residuos que se encontraban en el biodiesel, de esta forma se disminuye los valores de pH (Barriga Moreno, 2011; Césare et al., 2010).

#### **4.2.4 SECADO**

El proceso de secado se hizo a 100 °C con agitación constante, hasta que el biodiesel se tornó de un color amarillo brillante en aproximadamente 20 minutos. Se pudo observar que las muestras con mayor cantidad de catalizador, 1.5 %, presentaron residuos de saponificación, por tal razón las impurezas se filtraron.

### **4.3 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL**

#### **4.3.1 ÍNDICE DE CETANO**

En la Tabla 10, se presentan los resultados obtenidos de la determinación del Índice de Cetano Calculado (CCI)



**Tabla 10.** Resultados del Índice de Cetano Calculado (CCI)

Muestra	KOH %	Metanol mL	CCI
A1B1	0.5	73	<b>46.1±0.08</b>
A1B2	0.5	110	<b>46.2±0.04</b>
A1B3	0.5	146	<b>46.4±0.04</b>
A2B1	1	73	<b>45.7±0.09</b>
A2B2	1	110	<b>46.05±0.03</b>
A2B3	1	146	<b>46.3±0.05</b>
A3B1	1.5	73	<b>45.4±0.08</b>
A3B2	1.5	110	<b>45.8±0.02</b>
A3B3	1.5	146	<b>45.9±0.05</b>

Media± desviación estándar (n=3)

Se puede observar que el mejor tratamiento para la producción de biodiesel se obtuvo con 0.5 % de KOH y 146 ml de metanol, dando el mayor valor de índice de cetano 46.4

En la Tabla 11 se muestra el análisis de varianza, donde se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa entre las variables independientes (porcentaje de KOH, volumen de metanol), porque existen valores de p menores a 0.05.

**Tabla 11.** Tabla ANOVA para el Índice de Cetano Calculado

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:KOH	0.753341	2	0.37667	83.64	<b>0.0000</b>
B:Metanol	1.41716	2	0.708581	157.33	<b>0.0000</b>
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.0533259	4	0.0133315	2.96	<b>0.0483</b>
RESIDUOS	0.0810667	18	0.0045037		
TOTAL (CORREGIDO)	2.3049	26			

A continuación se realiza una comparación entre los porcentajes de catalizador KOH, para determinar si existe diferencia significativa entre las medias. En la Tabla 12 se observa una prueba de múltiples rangos, la cual presenta grupos homogéneos desalineados, indicando que las medias muestrales son significativamente diferentes.

**Tabla 12.** Pruebas de múltiples rangos del KOH

KOH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1.5	9	45.7167	0.0223699	X
1	9	46.0322	0.0223699	X
0.5	9	46.1	0.0223699	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

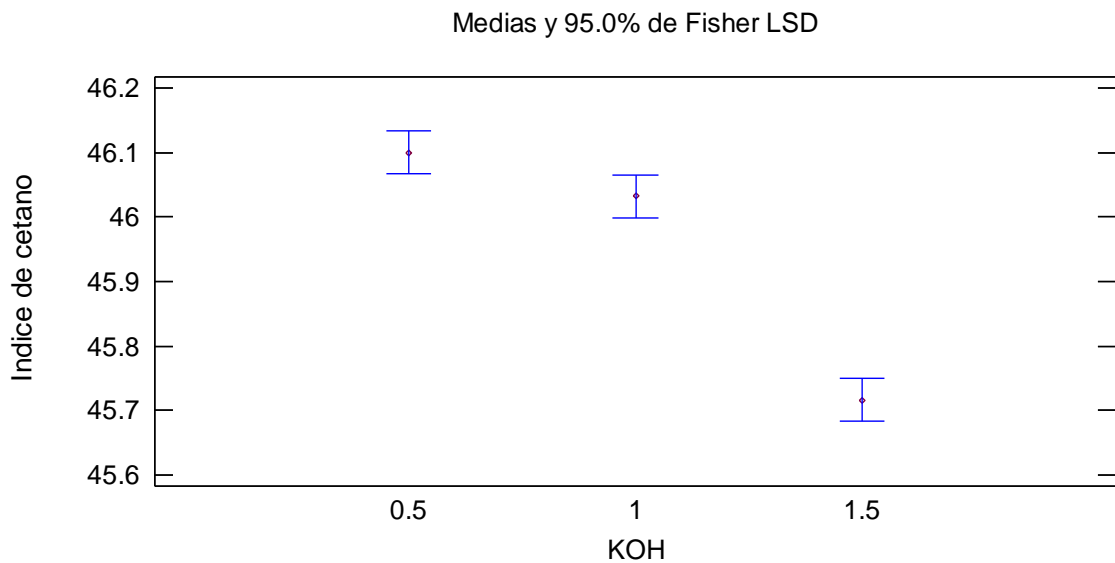
La Tabla 13 presenta los valores que difieren significativamente entre las medias muestrales, siendo 0.38 la diferencia más grande entre el menor porcentaje de catalizador 0.5 y el mayor porcentaje 1.5.

**Tabla 13.** Diferencias entre las medias muestrales

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0.5 - 1	*	0.0677778	0.0664645
0.5 - 1.5	*	0.383333	0.0664645
1 - 1.5	*	0.315556	0.0664645

\* indica una diferencia significativa.

Para complementar el análisis se presenta la Figura 6, que detalla la disposición de las medias en función del catalizador en un gráfico de Fisher.



**Figura 6.** Medias del porcentaje de KOH

Se observa que la mayor concentración de índice de cetano se da cuando se aplica la menor cantidad de KOH, mientras que con la mayor cantidad de KOH el índice de cetano disminuye.

En la Tabla 14 se realiza una comparación entre los volúmenes de metanol que se aplicó, para determinar si existe diferencia significativa entre las medias, en la tabla se observa una prueba de múltiples rangos, la cual presenta grupos homogéneos desalineados, indicando que las medias muestrales son significativamente diferentes.

**Tabla 14.** Pruebas de múltiples rangos del metanol

Metanol	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
73	9	45.6556	0.0223699	X
110	9	45.9789	0.0223699	X
146	9	46.2144	0.0223699	X

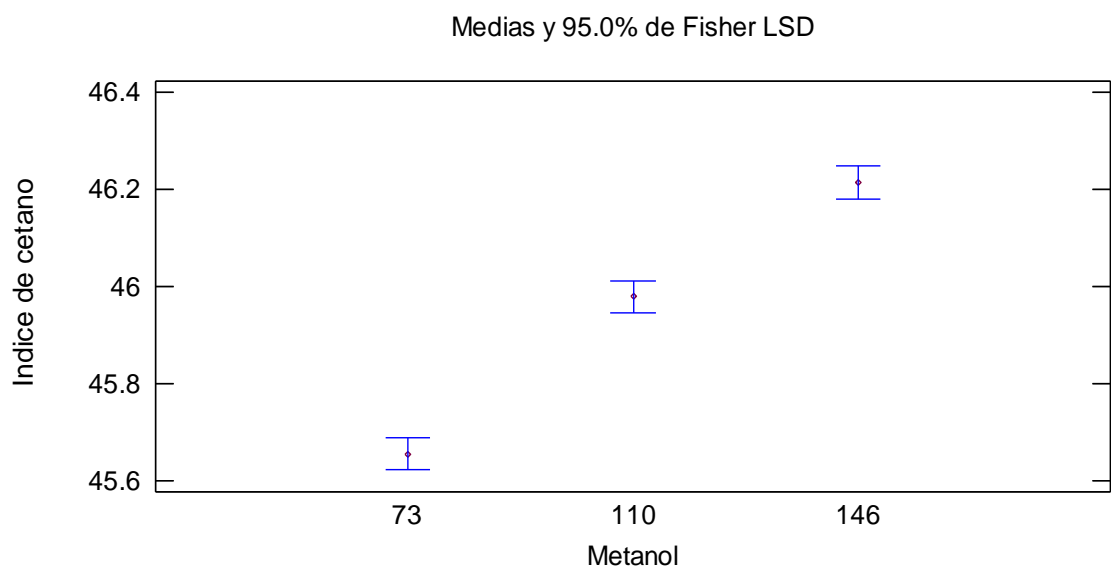
La Tabla 15 presenta los valores que difieren significativamente entre las medias muestrales, siendo 0.55 la diferencia más grande entre el menor volumen de metanol 73 ml y el mayor volumen de metanol 146 ml.

**Tabla 15.** Diferencias entre las medias muestrales

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
73 - 110	*	-0.323333	0.0664645
73 - 146	*	-0.558889	0.0664645
110 - 146	*	-0.235556	0.0664645

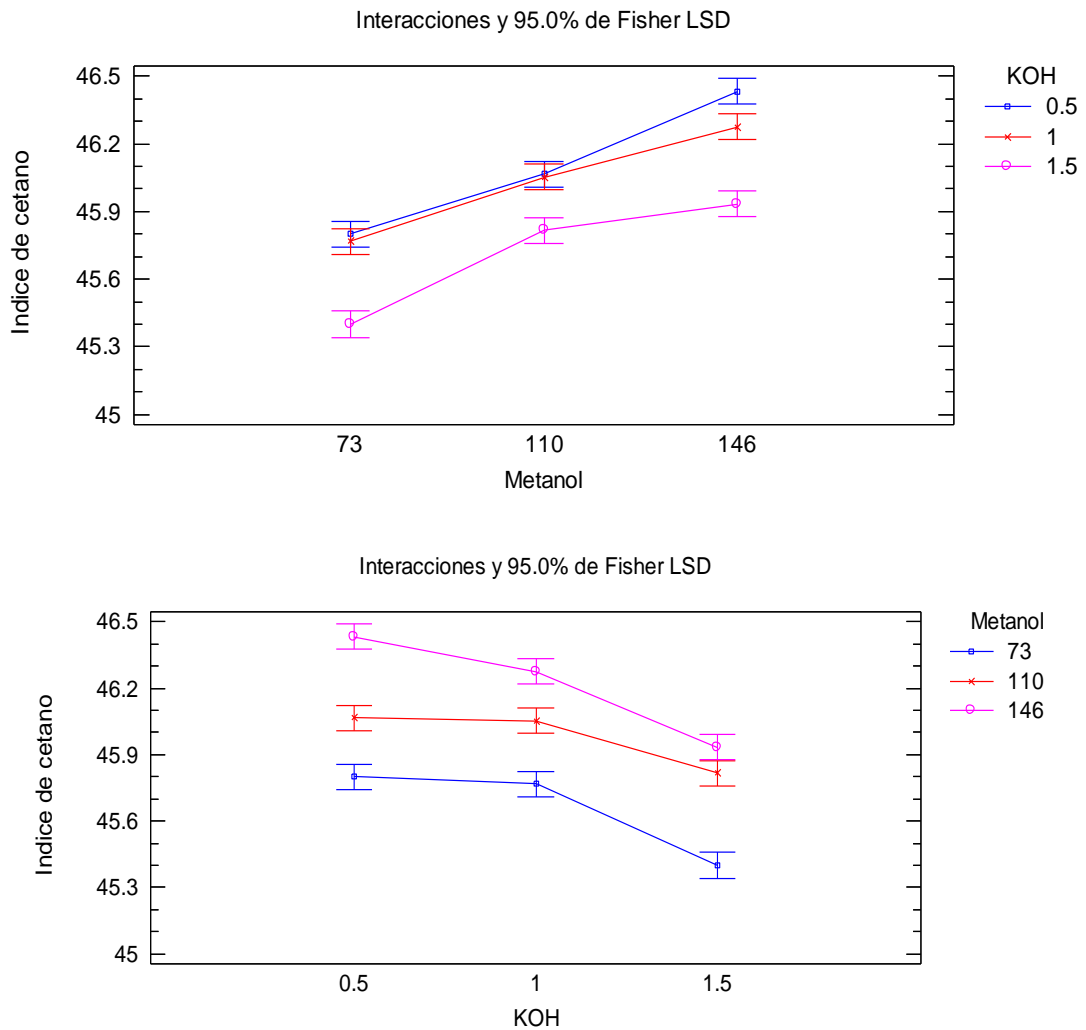
\* indica una diferencia significativa.

La Figura 7, muestra que la mayor concentración de índice cetano se da al aplicar mayor volumen de metanol, mientras que va disminuyendo el índice de cetano al reducir el volumen de metanol.



**Figura 7.** Medias del volumen de metanol

El comportamiento del índice de cetano aumenta al aumentar el volumen de metanol y disminuir el porcentaje de KOH, como se muestra en la Figura 8.



**Figura 8.** Interacción del metanol con KOH

El mejor valor de índice de cetano que se obtuvo es de 46.4, el cual no está dentro de lo estipulado por la norma ecuatoriana y europea, ya que el valor mínimo es 49; sin embargo el valor alcanzado es favorable y se acerca a lo estipulado por la norma americana ASTM D 6751-02 que establece un mínimo de 47. Si se requiere aumentar el índice de cetano se debe realizar una mezcla con nitrato de etilo, como el producto DB 36, que permite mejorar ligeramente el número de cetano, ya que éste posee 51 (Wuithier, 1971).

El índice de cetano es una medida de la calidad de la ignición de un combustible para un motor diesel. Un mayor índice de cetano indica menor

demora entre la inyección y la ignición del combustible, de tal forma que se puede obtener un buen encendido en frío, una arrancada suave y un funcionamiento más silencioso del motor. Un índice de cetano bajo indica una combustión incompleta, lo que genera mayores emisiones de gases y partículas, además aumenta los depósitos en el motor (Avellaneda, 2010).

Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante, esto se consigue con un índice de cetano alto, es de ésta manera que cuando existe eficiencia en la combustión se reducen las emisiones de gases contaminantes y partículas a la atmósfera (Sánchez, Piloto, Goyos, & Ferrer, 2012). Según Cordero (2003) las emisiones de monóxido de carbono (CO) durante la combustión del biodiesel son 50 % inferiores, comparadas a la combustión del diesel; además las emisiones de CO<sub>2</sub> que son liberadas por el uso del biodiesel, son fijadas nuevamente por los organismos vegetales en su proceso de fotosíntesis.

#### **4.3.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS DEL PRODUCTO FINAL**

En la Tabla 14 se presentan los resultados de la caracterización físico-química del biodiesel obtenido, y se compara con la norma INEN 2482, la norma europea EN 14214 y la norma vigente en Estados Unidos ASTM 6751-02.

**Tabla 16.** Resultados de la caracterización físico-química del producto final

<b>Análisis</b>	<b>Resultados</b>	<b>Norma INEN 2482</b>	<b>EN 14214- 03</b>	<b>ASTM D 6751-02</b>
Porcentaje de metilésteres (%)	92.7	Min. 96.5	Mín. 96.5	---
Punto de Inflamación (°C)	177.2	Min. 120	Mín. 120	Mín. 130
Viscosidad cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	4.43	3.50 - 5.00	3.50 - 5.00	1.90 - 6.00
Azufre (%)	<0.005	Máx. 10 mg/kg	Máx. 0.001	Máx. 0.05
Corrosión lámina de cobre (clasificación)	I a	Máx. 3	Máx. 1	Máx. 3
Agua por destilación (%)	<0.025	Máx. 0.05	Máx. 0.05	---

Se observa que los valores obtenidos en los análisis, cumplen con las especificaciones de las normas antes mencionadas, sin embargo el porcentaje de metilésteres se encuentran ligeramente bajo a lo establecido en las normas.

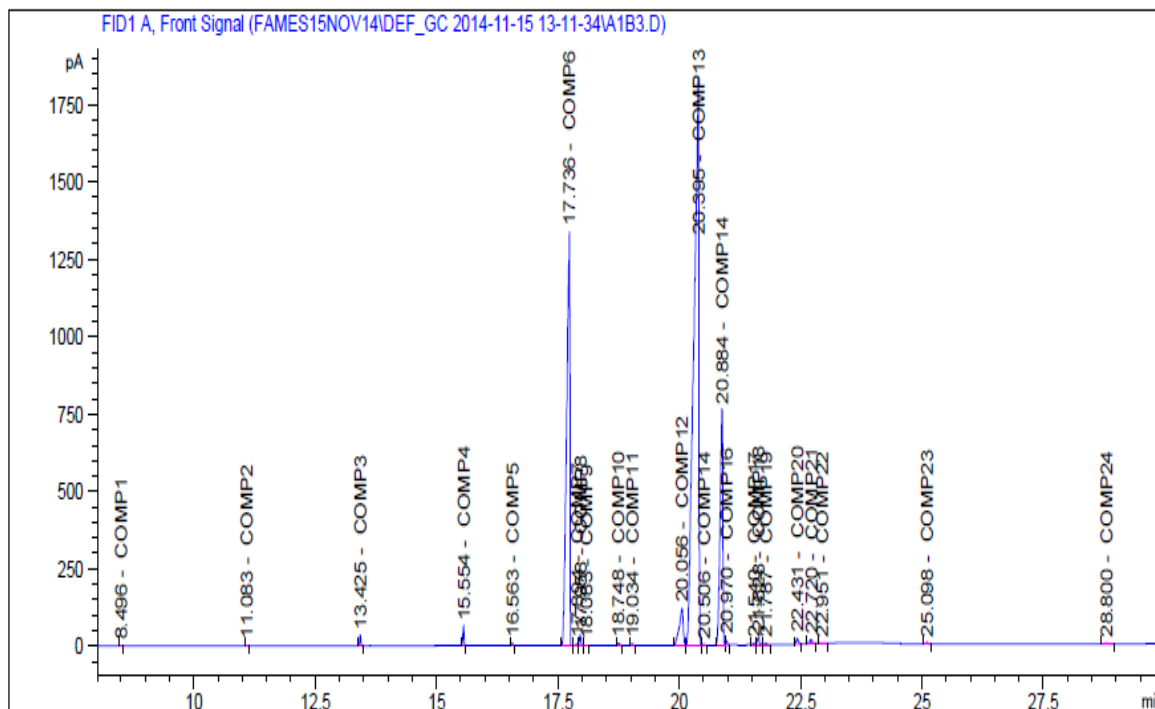
Mediante el análisis de cromatografía de gases se determinó el porcentaje de metil ésteres, en el que se pudo identificar 24 compuestos, como muestra la Figura 9, de los cuales 10 fueron metilésteres según la comparación con el espectroestándar, que es una mezcla de metilésteres de ácidos grasos (López, 2008). En la Tabla 17 se presentan los metilésteres identificados y el porcentaje de cada uno.

**Tabla 17.** Metilésteres identificados y porcentajes

<b>Metiléstres</b>	<b>Tiempo de retención (min)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Metil tridecanoato	15.554	0.47
Metil miristoleato	17.736	26.09
Metil miristato	17.894	0.05
Metil pentadecanoato	19.034	0.06
Metil palmitoleato	20.056	2.88
Metil palmitato	20.395	55.81
Metil heptadecanoato	20.884	6.98
Metil oleato	22.720	0.21
Metil estearato	22.951	0.02
Metil eicosanoato	25.098	0.06
<b>TOTAL</b>		<b>92.6</b>

Se observa que el mayor porcentaje de metil ésteres es de metil palmitato seguido por metil miristoleato, debido a la materia prima del que provienen es aceite de palma. En la Figura 9 se observa la cromatografía de gases que se realizó, y se muestra todos los compuestos presentes en el biodiesel.





**Figura 9.** Cromatografía del biodiesel de aceite de fritura al vacío con todos los compuestos identificados

Se obtuvo un porcentaje total de metilésteres de 92.6 %. Este valor no cumple con lo estipulado por la norma ecuatoriana y la norma europea que presentan un valor mínimo de 96.5 %, sin embargo el porcentaje alcanzado es favorable, ya que es un valor alto de conversión, y concuerda con los valores presentados por Vicente (2012) en su estudio de obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales, en el que a diferentes condiciones de reacción presenta valores entre 87 y 97 % de conversión de metilésteres. Además al no especificar un límite a los valores de la norma americana, el porcentaje de metilésteres obtenido del biodiesel a partir de fritura al vacío puede estar dentro de los parámetros de la misma.

El contenido de metilésteres determina la pureza que tiene el biodiesel. Un valor bajo en este parámetro indica unas condiciones de reacción no apropiadas, o la presencia de contaminantes como: alcohol residual, glicéridos, glicerol, metales o componentes menores como tocoferoles,

fosfolípidos, esteril glucósidos (fitoesteroles), clorofilas, grasas solubles, vitaminas e hidrocarburos (alcanos, escualenos, carotenos e hidrocarburos policíclicos policarbonados) (Avellaneda, 2010).

Se obtuvo un punto de inflamación de 177.2 °C, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos en las normas de referencia, como se presenta en la Tabla 16. Este parámetro es importante, ya que indica los peligros de fuego y explosión al momento de usar el biocombustible, por tal razón el obtener un alto valor es una ventaja, porque la temperatura determinada es superior a la temperatura ambiente y existe menos riesgo de explosión, por lo tanto se necesitarían menos medidas de seguridad al momento de transportar o almacenar el biocombustible. Además, un bajo punto de inflamación indica la presencia de alcohol residual en el biodiesel (Avellaneda, 2010; Cordero, 2003; Vicente, 2012).

Para la viscosidad cinemática a 40 °C se obtuvo 4.43 cSt. Este valor se encuentra dentro de los límites establecidos en las tres normas (los límites mínimos establecidos se puede observar en la Tabla 16). Se puede decir que la viscosidad es una propiedad que aumenta con la longitud de la cadena (número de átomos de carbono) y con el grado de saturación (dobles enlaces), por tal razón los ésteres etílicos presentan una viscosidad ligeramente superior a la de los ésteres metílicos (Vicente, 2012). Avellaneda (2010) y Herrera Restrepo & Vélez (2008) afirman que el combustible puro o mezclas con biodiesel deben tener una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia ocasionadas por las fugas en la bomba de inyección y en el inyector; además éste parámetro proporciona buena lubricidad al sistema de combustible.

En el análisis de contenido de azufre se obtuvo <0.005 % en peso, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas de referencia, como se muestra en la Tabla 16. Según Avellaneda (2010) el biodiesel obtenido a partir de aceites frescos presenta valores de azufre próximos a cero, sin embargo el biodiesel preparado a partir de aceites usados o mediante catálisis ácida puede presentar cantidades considerables de

azufre. En este caso el aceite fue usado para fritura al vacío de cebolla, esta hortaliza se caracteriza por tener fluidos celulares cargados de sustancias químicas denominado factor lacrimal sintetiza, que es una enzima que desencadena en una serie de reacciones químicas que transforman los aminoácidos celulares en otros productos, generando así sustancias volátiles denominadas Sin Propatian-S- óxido que es rica en azufre, por tal razón el biodiesel presenta dicha cantidad de azufre (Quintana, 2014).

La presencia de azufre en el diesel también está asociada con la emisión de material particulado, daños a la salud y la corrosión de las piezas del motor, debido a los ácidos sulfúricos y sulfónicos formados durante la oxidación del combustible. El diesel con bajo contenido de azufre presenta pérdida de lubricidad debido a la eliminación de compuestos de nitrógeno y oxígeno durante el proceso de desulfuración. Sin embargo, el biodiesel tiene muy bajas cantidades de azufre y excelente lubricidad, así puede actuar como un aditivo para la corrección de la lubricidad del diesel de petróleo (Lôbo et al., 2009).

El biodiesel producido contiene valores muy bajos de azufre, esto se considera como una ventaja porque reduce las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y material particulado de los gases de combustión mejorando la salud de las personas, ya que los materiales particulados son aspirados al respirar, depositándose en los alvéolos pulmonares, favoreciendo el desarrollo de tumores (Soria et al., 2011).

El valor obtenido en el análisis de Corrosión a la Lámina de cobre fue I a, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos en las normas de referencia, como se muestra en la Tabla 16. Este parámetro es importante porque se considera una medida de la tendencia del combustible a corroer las partes del motor o los tanques de almacenamiento que están hechos de material de cobre, o aleaciones de cobre como el bronce, por tal razón una clasificación baja es favorable e indica buena calidad del biodiesel (Avellaneda, 2010).

En el análisis de Agua por destilación o contenido de agua el valor obtenido fue  $<0.025$  % en volumen, valor que está dentro de los límites exigidos por las normas, descritas en la Tabla 16. El biodiesel puede contener pequeñas cantidades de agua disueltas o como gotas suspendidas, lo cual puede provocar dos problemas en el motor, que son: corrosión en los componentes del motor, debido a que el agua se acidifica y ataca a los tanques de almacenamiento; y el otro problema es que el agua contribuye al crecimiento de microorganismos, formando lodos y limos que pueden obstruir los filtros; y además algunos microorganismos pueden convertir el azufre en ácido sulfúrico que corroe la superficie metálica del tanque, por tal razón se debe realizar un buen proceso de secado para eliminar todo residuo de agua que se encuentre en el biodiesel (Avellaneda, 2010).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El empleo de aceite residual de fritura al vacío como materia prima, es una alternativa favorable para la producción de biodiesel. No requiere de tratamientos previos porque presenta bajo contenido de impurezas y menor deterioro que el aceite residual de fritura convencional, esto gracias a que el proceso se realiza a presión subatmosférica y temperaturas bajas lo cual prolonga la vida útil del aceite.
- La separación de la mezcla de biodiesel y glicerina, obtenida después de la transesterificación, se ve influenciada directamente por la cantidad de metanol, si ésta es mayor, existe alta estabilidad en la mezcla, debido a la solubilidad de la glicerina en el alcohol, prolongando así el tiempo de separación de las fases; por el contrario, con menor cantidad de metanol se diferencian claramente las fases y se reduce el tiempo de separación de la glicerina.
- En el proceso de lavado, se demostró que el agua caliente a 80 °C tiene mayor efecto que el agua fría, ya que el calor aumenta la solubilidad del KOH en el agua, consiguiéndose extraer un mayor porcentaje de residuos presentes en el biodiesel; de esta manera el tratamiento con agua fría redujo el pH de 12 a 10, mientras que el realizado con agua caliente redujo el pH de 10 a 8.
- Se determinó que el mejor tratamiento para producir biodiesel en función del valor óptimo de Índice de Cetano, fue: utilizar 0.5 % de KOH y 146 ml de metanol para la preparación de metóxido de potasio, tiempo para la reacción de transesterificación 1 hora y agitación constante a 60 °C. En estas condiciones se alcanzó el

valor más alto de índice de Cetano que fue de 46.4 y un contenido de metilésteres de 92,7%.

- El biodiesel obtenido se considera de buena calidad, los valores de índice de cetano y contenido de metilésteres, 46.4 y 92.7 % respectivamente, son ligeramente inferiores a lo estipulado por la norma ecuatoriana y la norma europea que exigen un mínimo de índice de cetano de 49 y porcentaje de ésteres de 96.5 %; pero se acercan a los valores establecidos por la norma americana que exige un valor de cetano de 47, mientras que el porcentaje de ésteres no está establecido.
- La cantidad de KOH y metanol tienen influencia significativa en el comportamiento del índice de cetano. Se evidenció una relación directamente proporcional entre índice de cetano y el volumen de metanol utilizado, esto es, a mayor volumen de metanol mayor índice de cetano; mientras que la relación con el catalizador (KOH) fue inversamente proporcional, a menor cantidad de KOH mayor índice de cetano. Los comportamientos descritos se explican porque el uso de exceso de metanol modifica el equilibrio de la reacción desplazándolo hacia la derecha aumentando el rendimiento de la misma; y el uso de una cantidad baja de KOH impide que se produzca la reacción de saponificación que en este caso es indeseable ya que disminuiría el rendimiento de la reacción de transesterificación.
- Un valor alto de índice de cetano indica que la combustión del biodiesel es óptima, haciendo que se reduzcan las emisiones de monóxido de carbono (CO), generándose un impacto positivo al medio ambiente porque reduce la contaminación y el calentamiento global causado por los gases de efecto invernadero.
- Para la caracterización del producto final se analizaron parámetros como: punto de inflamación, azufre, corrosión a la lámina de cobre,

contenido de agua y viscosidad cinemática a 40°C, presentaron valores de 177.2 °C, <0.005 %, I a de clasificación, <0.025 % y 4.43 sCt respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de los límites permisibles de las normas de referencia, por lo tanto se considera que el biodiesel producido es de buena calidad y puede ser usado en motores de combustión interna.

- Los valores obtenidos de azufre en el biodiesel son muy bajos comparados con el diesel de petróleo, esto favorece la reducción de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado de los gases de combustión, beneficiando no solo al medio ambiente sino a la salud de las personas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio económico del proceso de producción de biodiesel a partir de aceite residual de fritura al vacío, con el objetivo de conocer los costos de producción del mismo y determinar la viabilidad para su comercialización.
- Analizar los parámetros de las normas de referencia, que no fueron realizados en esta tesis, debido a la falta de presupuesto, para tener un estudio más completo de la producción de biodiesel a partir de aceite residual de fritura al vacío y determinar la calidad del mismo.
- Realizar pruebas mezclado el biodiesel producido con nitrato de etilo, que es un aditivo que sirve para aumentar el índice de cetano y determinar la proporción adecuada que permitiría cumplir con los rangos establecidos por las normas de referencia.
- Realizar pruebas, por parte de los estudiantes de ingeniería automotriz, para conocer el funcionamiento del biodiesel producido en motores de combustión interna a diesel.

## BIBLIOGRAFIA

- Al-Hamamre, Z., & Yamin, J. (2014). Parametric study of the alkali catalyzed transesterification of waste frying oil for Biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 79, 246-254.
- Altieri, M., & Bravo, E. (2007). La tragedia social y ecológica de la producción de agrocombustibles en el continente Americano. Consultado: [www.foodfirst.org/files/altieri-Bravo\\_biocombustibles-ES.doc](http://www.foodfirst.org/files/altieri-Bravo_biocombustibles-ES.doc). (8 de junio, 2007).
- Andrés Bello, M. D. (2012). *Aplicación de nuevas tecnologías para el diseño y desarrollo de productos de dorada (Sparus aurata) procedente de acuicultura*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Apro, N. (2008). ¿Qué hacer con los aceites vegetales post-fritura? Retrieved 11 2014, from <http://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc68/inti3.php>
- Avellaneda, F. (2010). *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Tesis Doctoral, Universitat de Rovira I Virgili, Terragona.
- Barriga Moreno, E. A. (2011). *Diseño de módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina*. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Burín, M. (2009). Utilización de aceite de fritura usado para fabricación de biodiesel en plantas medianas para autoconsumo. Retrieved from INTI website: [https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Aceite\\_fabricacion\\_biodiesel.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Aceite_fabricacion_biodiesel.pdf)



- Castellanos, F. J., Pinedo, C. R., & Hernández, O. D. (2012). Comparación entre fritura atmosférica y al vacío en chips de plátano *Vitae*, 19(1), S198-S200.
- Césare, C., Flor, M., Castillo, L., Beteta, A., Calle, M., Luis, J., . . . José, J. (2010). Evaluación de la purificación de biodiésel en la etapa final de producción. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(1), 25-33.
- Cordero, J. (2003). *Evaluación de las propiedades físico-químicas del biodiesel obtenido a partir de aceite de palma y etanol, como combustible alternativo del diesel 2D* Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Chumacero, J. P. (2007). Crisis energética mundial y biocombustibles. Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Espinoza, A. J., & Palma, P. G. (2010). *Diseño y Construcción de un Reactor Batch para la Obtención por Transesterificación de Biodiesel a Partir de Aceite de Cocina Reciclado*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Fernández, J. M. (2009). Tecnología de las energías renovables. *España, AMV/Mundi-Prensa*.
- Garcés, V. G. (2013). *Obtención de Chips de cebollaperla (Allium cepa L.) aplicando fritura al vacío*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Herrera Restrepo, J. A., & Vélez, J. A. (2008). *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combústible (Biodiesel)*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Lede, S. (2007). Los Biocombustibles. Retrieved from ArgenBio website: <http://www.argenbio.org/index.php?action=biotecnologia&opt=4>

- Leiva Bautista, C. (2011). *Subproductos generados en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de tempate* (1ª ed.). San Salvador: UFG Editores.
- Lôbo, I. P., Ferreira, S. L. C., & CRUZ, R. S. (2009). Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, 32(6), 1596-1608.
- López, J. P. (2008). *Estandarización de la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas para la identificación y cuantificación de metilésteres de ácidos*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Lozada, P. (2008). Biocombustibles Procesamiento y uso. *CIITTOL- Cultivos Energéticos*, 4-22.
- Parra, A. N. (2014). *Estudio de la deshidratación de rodajas de durazno (Prunus pérsica L. Sieb y Zucc) por fritura al vacío*. Tesis de Grado Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Pérez, A. (2010). Biocombustibles en Suramérica: Referentes normativos y legislación actual. *Prolegómenos. Derechos y Valores*, 13(26), 215-232.
- Pérez, P., Gusberti, P., & Gallardo, A. (2009). Producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina a escala piloto en la provincia de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13(6), 125-129.
- Quintana, N. P. (2014). *Recuperación de aceite de fritura al vacío mediante la aplicación de tierra filtrante trysil*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Ruiz, M., Liotta, A., Marmesat, S., & Dobarganes, M. (2008). Detection of the presence of used frying oil as raw material in biodiesel production. *Grasas y Aceites*, 59(4), 383-388.

- Saguay, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of food engineering*, 56(2), 143-152.
- Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 157(157), 75-82.
- Sánchez, Y., Piloto, R., Goyos, L., & Ferrer, N. (2012). Predicción del número de cetano de biocombustibles a partir de su composición de ácidos grasos. *Ingeniería Mecánica*, 15(2), 147-157.
- Serrano, V. (2013). *Obtención de productos tipo aperitivo (snack) de mashua (Tropaeolum tuberosum) mediante la aplicación de fritura al vacío*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Shyu, S.-L., Hau, L.-B., & Hwang, L. S. (2005). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(11), 1903-1908.
- Soria, A., Arantzazú, Y., & Calero, T. A. (2011). *Obtención de Biodiesel a Partir del Aceite de Semillas Oleaginosas de la Provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Retrieved from Bolsa de Comercio de Rosario website: [http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/investigaciones/biocombustibles\\_stratta.pdf](http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/investigaciones/biocombustibles_stratta.pdf)
- Torossi, F. D. (2006). Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceite de fritura usado. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 43-49.
- Uribe Gómez, M. (2010). *Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la esiqie*.

Vicente, A. C. D. (2012). *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis*. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz.

Wuithier, P. (1971). *El Petroleo refinado y tratamiento químico*. Madrid: CEPESA.

Yagüe, M. (2003). Estudio de la Utilización de Aceites para Fritura en Establecimientos Alimentarios de Comidas Preparadas. *Observatorio de la Seguridad Alimentaria*., Septiembre.

# ANEXO 1

## ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Dra. Irma Paredes. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [irma.paredes@epn.edu.ec](mailto:irma.paredes@epn.edu.ec)  
 Tlga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2507 144 ext. 2272 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OT0193-2013

#### IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

No. muestra	ID Muestra	Muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
1	DC-MU2249	ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS AL VACÍO	Indice de yodo (WIJS)	Bromatología
1	DC-MU2249	ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS AL VACÍO	Indice de saponificación	Bromatología
1	DC-MU2249	ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS AL VACÍO	Indice de peróxido	Bromatología
1	DC-MU2249	ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS AL VACÍO	Acidez	Bromatología

#### RESULTADOS

Muestra-ID Muestra	Servicio/Analito	Resultado	Unidades	Método
ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS AL VACÍO DE OCA/DC-MU2249	Indice de yodo (WIJS)	68	cgl /g	AOAC 920.159
	Indice de saponificación	164	mg KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa	AOAC 920.160
	Indice de acidez	0.33	(mg KOH /g aceite)	INEN # 38
	Indice de peróxido	20	(meq O2/Kg aceite)	Método de LEA

#### COMENTARIOS:

1.- Se reporta la media de dos determinaciones de cada analito.

PROFESIONAL RESPONSABLE DEL ANÁLISIS

Dra. Susana Fuertes

AUTORIDAD AUTENTICADORA (JEFE DECAB)

Ing. Elman López




**INFORME DE RESULTADOS**

Orden de trabajo N° 143241  
Hoja 1 de 1

**NOMBRE DEL CLIENTE:** Mireya Torres  
**DIRECCIÓN:** Solca  
**FECHA DE RECEPCION:** 21 de agosto del 2014  
**MUESTRA:** Aceite de frituras al vacío  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** Líquido color amarillo  
**ENVASE:** Botella PET  
**CONTENIDO DECLARADO:** 400ml  
**FECHA ELABORACION:** -----  
**FECHA VENCIMIENTO:** -----  
**LOTE:** -----  
**FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO:** 21 - 28 de agosto del 2014  
**REFERENCIA:** 143241  
**MUESTREADO:** Por cliente  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** 24°C 31% HR

**ANÁLISIS QUÍMICO:**

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Picnómetro	0.9102

  
 Dr. Oscar Luzuriaga  
 PRESIDENTE

**LABOLAB**

El presente informe solo es válido para la muestra analizada.  
 Este informe no debe reproducirse más que en su totalidad previa autorización escrita de LABOLAB ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES



**INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL PARA REGISTRO SANITARIO**

Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, balanceados, cosméticos, pesticidas, suelos, metales pesados y otros  
 Av. Pérez Guerrero Oe 21-11 y Versalles - Of. 12 B - 2do. Piso - Telefax.: 2563-225 / 2235-404 / 3214-333 / 3214-353 Cel.: 0999590-412

[www.labolab.com.ec](http://www.labolab.com.ec)

e-mails: [secretaria@labolab.com.ec](mailto:secretaria@labolab.com.ec) / [servicioalcliente@labolab.com.ec](mailto:servicioalcliente@labolab.com.ec) / [olg@ecnet.ec](mailto:olg@ecnet.ec)  
 Quito - Ecuador

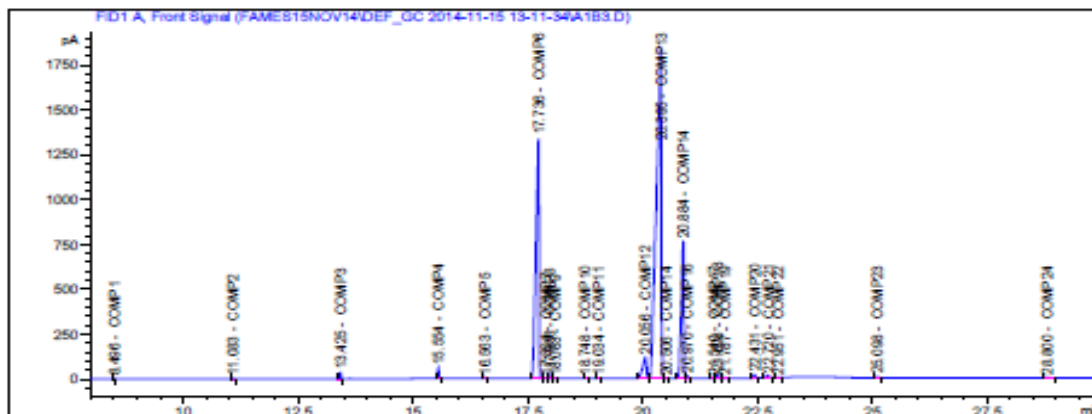
## ANEXO 2

# ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES PRODUCTO FINAL

MTA File C:\CHEM32\1\DATA\FAMES15NOV14\DEF\_GC 2014-11-15 13-11-34\A1B3.D  
Sample Name: A1B3

```

=====
Acq. Operator   : PO/FEQM                               Seq. Line :    1
Acq. Instrument : GC 7890A                             Location  : Vial 102
Injection Date  : 11/15/2014 1:13:08 PM                Inj       :    1
                                                    Inj Volume: 1.1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\FAMES15NOV14\DEF_GC 2014-11-15 13-11-34\FAMES.M
Last changed   : 11/15/2014 1:11:30 PM by PO/FEQM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMES.M
Last changed   : 11/15/2014 3:19:16 PM by PO/FEQM
                (modified after loading)
=====
    
```



### Area Percent Report

```

=====
Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified :      Saturday, November 15, 2014 3:09:32 PM
Multiplier:    :      1.0000
Dilution:      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %	Name
1	8.496	BB	0.0266	4.87597	0.02067	COMP1
2	11.083	BB	0.0270	4.88123	0.02070	COMP2
3	13.425	BB	0.0289	63.32928	0.26951	COMP3
4	15.554	BB	0.0299	111.45297	0.47255	COMP4
5	16.563	BB	0.0306	12.61494	0.05349	COMP5
6	17.736	EV	0.0585	6153.41895	26.09015	COMP6
7	17.894	VV	0.0325	12.31905	0.05223	COMP7
8	17.958	VB	0.0343	72.96408	0.30936	COMP8
9	18.083	BB	0.0341	2.30341	0.00977	COMP9
10	18.748	BB	0.0400	18.09173	0.07671	COMP10

GC 7890A 11/15/2014 3:19:21 PM PO/FEQM

Page 1 of 2

Data File C:\CHEM32\1\DATA\FAMES15NOV14\DEF\_GC 2014-11-15 13-11-34\A1B3.D  
Sample Name: A1B3

=====

Acq. Operator	: PO/FEQM	Seq. Line	: 1
Acq. Instrument	: GC 7890A	Location	: Vial 102
Injection Date	: 11/15/2014 1:13:08 PM	Inj	: 1
		Inj Volume	: 1.1 µl
Acq. Method	: C:\CHEM32\1\DATA\FAMES15NOV14\DEF_GC 2014-11-15 13-11-34\FAMES.M		
Last changed	: 11/15/2014 1:11:30 PM by PO/FEQM		
Analysis Method	: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMES.M		
Last changed	: 11/15/2014 3:19:16 PM by PO/FEQM		
	(modified after loading)		

=====

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %	Name
11	19.034	BB	0.0407	13.01286	0.05517	COMP11
12	20.056	BV	0.0861	678.56616	2.87708	COMP12
13	20.395	VV	0.0893	1.31635e4	55.81266	COMP13
14	20.506	VB	0.0373	3.00353	0.01273	COMP14
15	20.884	BV	0.0569	2996.45972	12.70482	COMP14
16	20.970	VB	0.0370	37.29083	0.15811	COMP16
17	21.540	BV	0.0435	12.87918	0.05461	COMP17
18	21.628	VB	0.0461	68.22802	0.28928	COMP18
19	21.787	BB	0.0467	12.05327	0.05111	COMP19
20	22.431	BB	0.0479	59.65076	0.25292	COMP20
21	22.720	BB	0.0584	50.31511	0.21333	COMP21
22	22.951	BB	0.0591	4.71241	0.01998	COMP22
23	25.098	BB	0.0612	13.01416	0.05518	COMP23
24	28.800	BB	0.0915	16.24413	0.06887	COMP24

Totals : 2.35852e4 100.0000

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*



## ANEXO 3

# ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL



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



### INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 14-12-10-P-1  
Fecha 2015-01-07

**Referencia:** OT: 14-12-10-P  
**Atención:** Srta. Mireya Torres  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Dirección:** Solca  
**Tipo de ensayos:** Análisis Físicoquímicos  
**Tipo de muestra:** BIODIESEL  
**Identificación de la muestra:** BIODIESEL  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de la muestra:** 2014-12-17  
**Código de muestra:** OE-14-12-10-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 2014-12-18/19

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	177,2
Viscosidad Cinemática 40 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,43
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	<0,005
Corrosión a la Lámina de Cu*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	I a
Agua por Destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	<0,025

**Nota.-** Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010  
**Nota.-** Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

**Condiciones Ambientales.-** Presión 544,1 mmHg; Temperatura: 20,2 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Ing. Washington Ruiz L. MSc.  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

x Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676  
QUITO - ECUADOR

E-mail: dpec@fing.uce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 1 de 1

## ANEXO 4

### FIGURAS

#### PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL



Calentamiento del aceite 100 °C



Hidróxido de potasio en escamas



Equipo armado para la  
trasterificación



Baño María



Inicio de la reacción de transesterificación



Fin de la reacción de transesterificación



Separación del biodiesel y la glicerina

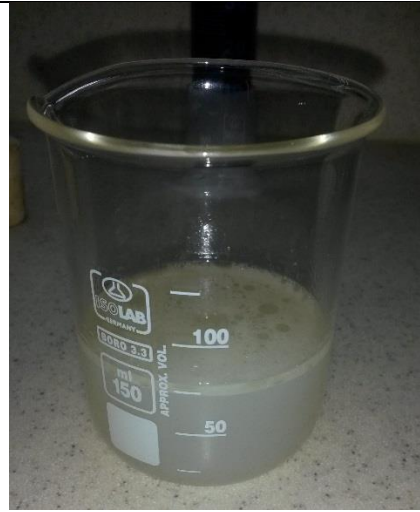


Recolección de la glicerina





Lavado del biodiesel



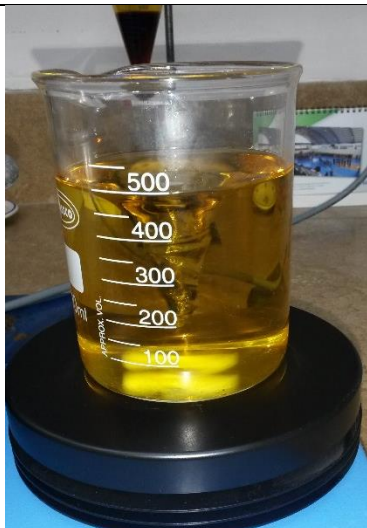
Agua de lavado



Medición de pH del agua de lavado



Secado del Biodiesel



Secado del Biodiesel



Biodiesel

## INDICE DE CETANO CALCULADO



Equipo Koheler para determinar CCI



Medición de la muestra



Inicio de la destilación



Destilación del biodiesel



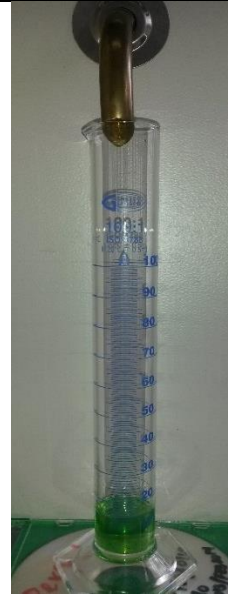
Inicio del craqueo



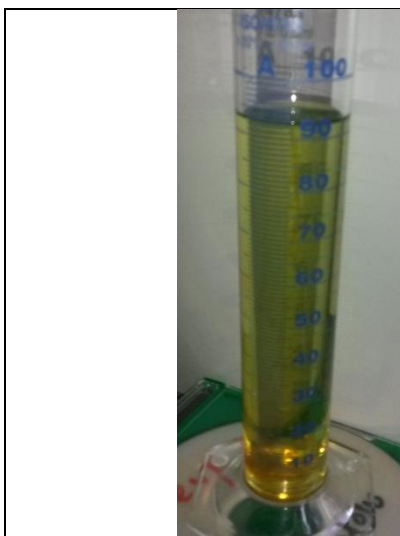
Fin de la destilación



Residuo de la destilación



Inicio de la recuperación del  
biodiesel destilado



Volumen recuperado de biodiesel

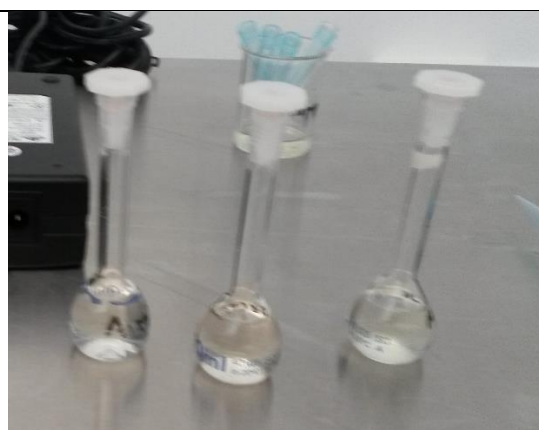


Volumen recuperado de biodiesel

## CROMATOGRAFIA DE GASES



Preparación de las muestras



Dilución de la muestra en metanol



Muestras codificadas



Cromatógrafo de gases





Equipo



Equipo y muestras