



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE  
BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS  
RESIDUOS GENERADOS EN SU PROCESO DE COCCIÓN**

Realizado por:  
**ANDRES FELIPE GUAYARA PINZÓN**

Directora del proyecto:  
**ING. ANA RODRIGUEZ**

Como requisito para la obtención del título de:  
**INGENIERO QUÍMICO**

Quito, 8 de agosto de 2016



## **DECLARATORIA JURAMENTADA**

Yo, Andrés Felipe Guayara Pinzón, con cedula de identidad 1715559330, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional, y que ha consultado referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Andrés Felipe Guayara Pinzón

CI: 1715559330

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE  
BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS  
RESIDUOS GENERADOS EN SU PROCESO DE COCCIÓN**

Realizado por:

**ANDRES FELIPE GUAYARA PINZÓN**

Como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERA QUÍMICA INDUSTRIAL**

Ha sido dirigido por la Profesora

**ING. ANA RODRÍGUEZ**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



**ING. ANA RODRÍGUEZ  
DIRECTORA**

**DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES  
LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**ING. WALBERTO GALLEGOS**

**ING. JEFFERSON RUBIO**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apta para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



Ing. Walberto Gallegos



Ing. Jefferson Rubio

Quito, 27 de Julio de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por acompañarme a lo largo de mi formación profesional colocando invaluable personas en mi camino.

A mi familia por su apoyo en los buenos y malos momentos. No me alcanzan las palabras para expresar el profundo amor y gratitud hacia mis padres y mi hermano; quienes estuvieron alentándome en cada una de las metas que me fui trazando a lo largo de mi carrera.

A Gabriela Fuentes por estar a mi lado de manera incondicional; gracias por creer en mí y por aconsejarme a lo largo de todo este proceso.

A la Ing. Ana Rodríguez, quien a través de su experiencia y conocimientos contribuyó al desarrollo de la presente investigación. Son incontables todas las experiencias académicas compartidas, las cuales han dejado una huella en mí y serán una base importante para proyectarme profesionalmente.

A mis tribunales, Ing. Walberto Gallegos e Ing. Jefferson Rubio, quienes agradezco por sus enseñanzas y apoyo.

A la Corporación la Favorita quienes no tuvieron problema en abrirme sus puertas y siempre estuvieron dispuestos ayudarme. Un agradecimiento especial al señor Fernando Jarrín por constante colaboración y buena predisposición durante cada uno de los muestreos realizados.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	12
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1. Descripción del tema a desarrollar.....	14
1.2. Antecedentes.....	16
1.3. Importancia del tema.....	16
1.4. Objetivo general y específicos.....	18
1.5. Características del sitio del proyecto.....	18
CAPITULO II: Marco Teórico	
2.1. El biodiesel, una alternativa a los problemas asociados a los combustibles fósiles.....	19
2.2. Contextualización de la producción de biodiesel.....	20
2.2.1. Antecedentes históricos.....	20
2.2.2. Generalidades y principales materias primas.....	20
2.2.3. Ventajas y desventajas del biodiesel.....	23
2.3. La grasa de pollo como materia prima.....	25
2.4. Fundamentos de la transesterificación.....	28
2.4.1. Variables asociadas al proceso.....	28
2.4.2. Comparación de los tipos de transesterificación.....	31
2.5. Catálisis heterogénea y sus fortalezas.....	32
2.5.1. Oxido de Calcio.....	33
2.5.2. Oxido de Magnesio.....	35
2.5.3. Etapas del proceso con catálisis heterogénea.....	37
2.6. Marco Legal.....	39
2.6.1. Constitución de la república del Ecuador.....	39
2.6.2. Acuerdo 171.....	40
2.6.3. Acuerdo No.061.....	41
2.6.4. Especificaciones técnicas del biodiesel.....	43

CAPITULO III: METODOLOGÍA	
Área de estudio.....	44
3.2. Diseño Experimental.....	44
3.2.1. Elección de variables de estudio y sus niveles .....	44
3.2.2. Diseño factorial.....	45
3.3. Materiales y Equipos.....	48
3.4. Etapa de muestreo.....	49
3.5. Caracterización de la materia prima.....	50
3.6. Pretratamiento de los reactivos.....	52
3.7. Producción de biodiesel a escala de laboratorio.....	52
3.8. Purificación de los productos.....	54
3.9. Ensayos de caracterización del biodiesel.....	54
CAPITULO IV: RESULTADO	
4.1. Caracterización de la grasa de pollo residual.....	57
4.2. Efectividad de los tratamientos.....	60
4.2.1. Transesterificación con óxido de calcio.....	60
4.2.2. Transesterificación con óxido de magnesio.....	63
4.3. Caracterización del biodiesel obtenido.....	66
4.4. Tratamiento estadístico de los datos.....	68
4.5. Aplicación Práctica.....	72
4.5.1. Capacidad productiva de los supermercados.....	72
4.5.2. Descripción de la planta.....	75
4.5.3. Manejo de la planta y su estructura de costos.....	76
4.5.4. Análisis económico preliminar.....	81
4.5.4.1. Calculo del VAN.....	84
4.5.4.2. Costos económicos actuales por el tratamiento de la grasa.....	85
CAPITULO V: DISCUSIÓN	
5.1. Conclusiones.....	86
5.2. Recomendaciones.....	89
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA.....	
ANEXOS.....	96

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo de transesterificación.....	28
Figura 2: Deterioro catalítico por exposición ambiental.....	34
Figura 3: Rendimiento del óxido de magnesio con diferentes pretratamientos.....	36
Figura 4: Diseño factorial.....	46
Figura 5: Diagrama de bloques del índice de saponificación.....	50
Figura 6: Diagrama de bloques del índice de peróxidos.....	51
Figura 7: Reactor discontinuo para la transesterificación.....	53
Figura 8: Fases formadas tras la transesterificación.....	54
Figura 9: Diagrama de bloques sobre el uso del viscosímetro.....	55
Figura 10: Diagrama de barras de la composición porcentual de la grasa de pollo residual.....	59
Figura 11: Rendimiento de los procesos con CaO.....	61
Figura 12: Producción de jabón empleando CaO como catalizador.....	62
Figura 13: Rendimiento de los procesos con MgO.....	63
Figura 14: Producción de grasa sin reaccionar empleando MgO como catalizador.....	65
Figura 15: Intervalos de confianza del rendimiento respecto al porcentaje de CaO.....	69
Figura 16: Intervalos de confianza del rendimiento respecto RMAC (CaO).....	70
Figura 17: Intervalos de confianza del rendimiento respecto al porcentaje de MgO.....	71
Figura 18: Intervalos de confianza del rendimiento respecto RMAC (MgO).....	72
Figura 19: Equipo de conversión a biodiesel marca Efuels, serie ECO.....	103
Figuras 20-21: Determinación de los índices de saponificación y de peróxidos.....	114
Figuras 22-23: Proceso de transesterificación a escala de laboratorio.....	114
Figura 24: Grasa de pollo residual previo a la filtración.....	115
Figura 25: Almacenamiento del óxido de calcio en el desecador tras su calcinación.....	115
Figura 26: Fases generadas durante la reacción.....	115
Figura 27: Periodo de decantación de 24 horas.....	115
Figura 28: Recuperación del metanol por destilación.....	116
Figura 29: Proceso de filtración al vacío.....	116
Figuras 30-31: Separación y medición del biodiesel, glicerina y jabón por tratamiento.....	117

## INDICE DE TABLAS

Tabla I: Materias primas para la producción de biodiesel.....	21
Tabla II: Producción de aceites vegetales en Latinoamérica en 2007.....	22
Tabla III: Tabla comparativa de la catálisis homogénea y heterogéneo.....	31
Tabla IV: Ensayos de caracterización de sustancias grasas.....	37
Tabla V: Requisitos del biodiesel según la norma INEN 2482.....	43
Tabla VI: Descripción de variables y sus niveles.....	45
Tablas VII: Variables y niveles por tratamiento .....	47
Tabla VIII: Requerimientos para las pruebas de caracterización de la materia prima.....	48
Tabla IX: Requerimientos para la elaboración de biodiesel y su caracterización.....	49
Tabla X: Ensayos de caracterización contratados.....	56
Tabla XI: Índice de saponificación de la grasa de pollo residual.....	57
Tabla XII: Índice de peróxidos de la grasa de pollo residual.....	58
Tabla XIII: Perfil lipídico de la grasa de pollo residual.....	58
Tabla XIV: Resultados del proceso empleando óxido de calcio como catalizador.....	60
Tabla XV: Cuantificación de subproductos generados en la reacción con CaO.....	62
Tabla XVI: Resultado del proceso empleado de magnesio como catalizador.....	63
Tabla XVII: Cuantificación de subproductos generados de la reacción con MgO.....	65
Tabla XVIII: Caracterización del biodiesel obtenido a las mejores condiciones.....	66
Tabla XIX: Límites de confianza y análisis ANOVA de los tratamientos con CaO.....	68
Tabla XX: Límites de confianza y análisis ANOVA de los tratamientos con MgO.....	70
Tabla XXI: Datos referenciales para determinar la capacidad productiva .....	73
Tabla XXII: Producción semanal de grasa de la cadena de supermercados en Quito.....	74
Tabla XXIII: Producción de biodiesel y glicerina unificada.....	75
Tabla XXIV: Características del convertidor de gama media eco125.....	76
Tabla XXV: requerimientos de reactivos del sistema productivo.....	77
Tabla XXVI: Costos de materias primas.....	77
Tabla XXVII: Valores referenciales para el costo de los insumos.....	78
Tabla XXVIII: Costos de insumos.....	78
Tabla XXIX: Costos anuales de la fuerza de trabajo.....	79
Tabla XXX: Costos de equipos para la implementación del sistema productivo.....	80
Tabla XXXI: Costos por arriendo de las instalaciones.....	80
Tabla XXXII: Costos de muebles y accesorios de oficina.....	81
Tabla XXXIII: Inversión total para la ejecución del proyecto.....	81
Tabla XXXIV: Desglose de los costos anuales de producción.....	82

Tabla XXXV: Ingresos proyectados durante los primeros cinco años.....	83
Tabla XXXVI: Egresos proyectados durante los primeros cinco años.....	84
Tabla XXXVII: Valor actual neto del proyecto.....	84
Tabla XXXVIII: Costos asociados al tratamiento de los residuos grasos totales del Megamaxi El-Condado.....	85
Tabla XXXIX: Proyección de gastos por el tratamiento de los residuos grasos totales en Quito.....	85

## RESUMEN

La presente investigación se propuso determinar las mejores condiciones experimentales para la obtención de biodiesel a partir de la grasa de pollo recuperada del proceso de cocción de los pollos horneados que se comercializan en el Megamaxi-El Condado. La transesterificación se realizó por catálisis heterogénea comparando la efectividad del óxido de calcio y de magnesio como catalizadores. En base al procedimiento de mayor conversión, se efectuó un análisis económico para evaluar la viabilidad de implementar este sistema en la cadena de supermercados en Quito.

La fase experimental se desarrolló con un diseño factorial  $2^3$ , las variables de estudio fueron: la relación molar alcohol-aceite, el tipo de catalizador y su porcentaje en peso. La eficiencia del proceso se determinó cuantificando la conversión a partir del volumen de biodiesel obtenido. La calidad del biocombustible se evaluó de acuerdo a los requerimientos establecidos en la norma INEN2482.

Las mejores condiciones de transesterificación para ambos catalizadores fueron una relación molar alcohol-aceite 12:1 y un 1% de catalizador referido a la masa de grasa. Los intervalos para el rendimiento de la reacción con un nivel de confianza del 95% fueron superiores para los tratamientos con óxido de calcio en todos los niveles estudiados. Las conversiones máximas registradas con el óxido de magnesio y de calcio fueron respectivamente del 22,17% y del 90,2%.

Los resultados de la caracterización indicaron que el mismo cumple con los requerimientos establecidos para Diesel No.2 por lo que puede ser utilizado en automotores diesel o equipos industriales que funcionen con este combustible.

El valor actual neto determinado fue -174447,49 USD, por lo cual el proyecto en términos económicos se considera inviable esto se debe principalmente a que el volumen de grasa disponible como materia prima es bajo lo cual resulta en un costo unitario poco competitivo en relación al precio del biodiesel.

### **Palabras clave:**

Ácidos grasos libres/ Catálisis Heterogénea/ Transesterificación/ Saponificación/ Triglicéridos

## ABSTRACT

The investigation was oriented to determine the best experimental conditions to produce biodiesel using as raw material chicken grease that was recuperated from the baking process used at Megamaxi-El Condado. The transesterification reaction compared the effectiveness of calcium and magnesium oxide as catalysts. The treatment with the higher reaction yield was used to make a prefeasibility study to determine if it is profitable to implement this system in the whole supermarket chain.

A factorial design  $2^3$  was defined for the experimental face. The factors investigated were: molar proportion between methanol and oil, type of catalyst and its weight percentage. The reaction yield was determined from the volume of biodiesel obtained in each treatment. Regarding biofuel quality, it was evaluated according to the requirements specify in the standard INEN2482.

The best experimental conditions for both catalysts were a molar proportion methanol-oil 12:1 and 1% of catalyst referred to oil's mass. The reaction yield intervals with a 95% of confidence level were superior for all the treatments conducted with calcium oxide. The maximum yields obtained for the treatments with magnesium and calcium oxide were 22, 17% and 90,20% respectively.

Biodiesel fulfilled all the requirements establish for Diesel No.2 according to the analysis performed. For this reason it could be used in diesel engines or other industrial equipments that work with this type of gasoline.

The net present value for the project was -174447,49 USD. Based in this financial indicator, implementing the system in the supermarket chain won't be profitable mainly because the grease volume available as raw material for the process is low generating a noncompetitive unit cost.

### **Key words:**

Transesterification/ Heterogeneous Catalysis/ Saponification/ Triglycerides

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del tema a desarrollar:

Los combustibles fósiles han jugado un papel fundamental a lo largo de la historia supliendo las necesidades energéticas básicas del hombre. La demanda mundial de estos recursos no renovables se ha incrementado significativamente generando una fuerte dependencia y excesivo consumo de los mismos (Dinis, 2012).

Se suma a esta realidad una mayor conciencia pública sobre los impactos ambientales y los potenciales peligros a la salud producto de las emisiones generadas por la quema de estos combustibles. Los gobiernos a nivel mundial están respondiendo a estas preocupaciones sociales implementando restricciones a las emisiones e impulsando diversos proyectos que fomenten la investigación con miras al desarrollo de fuentes energéticas alternativas (Dinis, 2012).

Una de las soluciones más atractivas por años ha sido el biodiésel por su sencilla elaboración y los muy buenos resultados en su utilización en motores diesel. El proceso de síntesis más empleado para su elaboración es la transesterificación; reacción en la cual los triglicéridos de un aceite vegetal o una grasa animal reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador para dar lugar a la formación de esteres alquílicos (biodiesel) y glicerina como subproducto (Alba, 2011).

Desde el punto de vista cinético los catalizadores son necesarios para el proceso de transesterificación puesto que permiten reducir significativamente el tiempo requerido para su realización. Estos compuestos aceleran la reacción química al reducir la energía de activación necesaria para la misma. Se los puede clasificar en función del número de fases que formen con los reactantes; si se forma una sola fase se clasifican como homogéneos caso contrario se catalogan como heterogéneos.

Convencionalmente se acelera la reacción de transesterificación empleando catalizadores homogéneos básicos como son el hidróxido de potasio o de sodio. A nivel industrial el uso de estos sistemas catalíticos resulta poco competitivo al presentar diferentes inconvenientes como son la producción de aguas residuales, reacciones secundarias indeseadas, etapas adicionales de purificación y pre tratamiento debido a la sensibilidad de los catalizadores, así como limitaciones en cuanto a las características de la materia grasa de partida (Becera *et al*,2008).

La transesterificación con catalizadores heterogéneos tanto ácidos como básicos se ha venido estudiando en los últimos años como una alternativa prometedora. La implementación de estos sistemas catalíticos permite simplificar los procesos de purificación, minimizar los efluentes contaminantes, reutilizar los catalizadores y por tanto minimizar los costos de operación. Adicionalmente es posible la conversión de una mayor gama de sustancias grasas incluyendo aquellas que muestren una mayor degradación como es el caso del aceite de frituras o grasa animal residual (Vásquez, 2015).

La presente investigación se planteó la obtención de este biocombustible empleando transesterificación por catálisis heterogénea a partir de grasa animal. Se propuso determinar las condiciones óptimas de reacción que permitan alcanzar altos rendimientos en base a catalizadores accesibles y de bajo costo como son el óxido de calcio y de magnesio. Las variables de estudio fueron el tipo de catalizador, su porcentaje en peso y la relación molar alcohol-aceite. En relación a la materia prima, se optó por el aprovechamiento de un residuo como es la grasa proveniente del proceso de cocción de los pollos horneados comercializados en el Megamaxi del Condado, sucursal de la Corporación la Favorita ubicada en la ciudad de Quito.

## 1.2 Antecedentes:

Las investigaciones en torno a estos catalizadores han ganado importancia en los últimos años. A nivel internacional se encuentra el trabajo Patil y Deng (2009), quienes estudiaron el funcionamiento de los óxidos de metales alcalinotérreos en las reacciones de transesterificación de aceite de *Camelina sativa*, *jatropha* y aceite de cocina usado. Claire S. MacLeod *et al* (2008) prepararon una serie de catalizadores de óxido metálico y estudiaron la reacción en base al aceite de colza obteniendo conversiones mayores al noventa por ciento en pruebas estándar de tres horas.

Centrándose en el óxido de calcio, Liu *et al* (2008) y Ayato Kawashima *et al* (2009) estudiaron su eficiencia con aceite de soja y colza respectivamente. Se ha evaluado los rendimientos del catalizador variando su precursor y algunos parámetros que influyen en su deterioro como se presenta respectivamente en las investigaciones de Cho *et al* (2009) y López *et al* (2007).

En cuanto al óxido de magnesio, Di Serio *et al* (2006), estudiaron su actividad en la transesterificación de aceite de soya con metanol partiendo de diferentes precursores. En 2008, los mismos autores evaluaron las condiciones óptimas de reacción en términos de relación molar alcohol aceite y el peso del catalizador.

En el ámbito nacional la Universidad Central del Ecuador ha profundizado en esta temática, desatancándose los trabajos de investigación de Cardenas (2014) y Salazar (2014) que utilizaron como materia prima aceite de fritura estudiando las mejores condiciones de reacción a escala laboratorio empleando catalizadores como es fosfato de vanadilo y el óxido de calcio respectivamente.

## 1.3 Importancia del Tema:

En orden de comprender la relevancia del proceso propuesto se debe entender las ventajas del mismo considerando la materia prima que se seleccionó, las oportunidades en el campo de los biocombustibles en el Ecuador, así como el de potenciales beneficios del producto en cuestión.

La materia prima más común para la producción de biodiesel es el aceite vegetal refinado como el aceite de palma, soya, colza, canola, girasol, etc. Sin embargo, estas fuentes tienen un costo relativamente alto, el cual representa del 70-85% del presupuesto total de la producción, lo que reduce la competitividad económica del producto frente al petrodiesel. El principal problema que frecuentemente enfrenta esta industria es la disponibilidad de materias primas de alta calidad, abundantes y baratas (Galeano y Guapacha, 2011).

La producción del biocombustible empleando grasa de pollo residual se alinea a los principios de la producción más limpia al aprovechar un subproducto útil, lo cual conlleva a múltiples ventajas tales como: la mitigación de impactos ambientales, generación de bienestar social al contar con un ambiente más sano, incremento de la competitividad por los bajos costos de la materia prima y por tanto importantes oportunidades de emprendimiento en un área de constante crecimiento tanto a nivel nacional como internacional (Galeano y Guapacha, 2011).

En relación a la utilización de catalizadores sólidos como el óxido de calcio y de magnesio, se debe puntualizar que estos compuestos son accesibles, económicos y eficientes posibilitando el desarrollo de procesos a nivel artesanal o industrial.

Según Ramírez *et al*(2012), existen reportes que remarcan la eficiencia de la catálisis heterogénea en comparación con la homogénea, ya que se observó que para la producción de 8000 toneladas de biodiesel fue necesario emplear 88 toneladas de hidróxido de sodio, mientras que solo se requirieron 5.7 toneladas de óxido de magnesio soportado para esta producción.

El biodiesel en sí mismo posee importantes ventajas en términos ambientales y sociales. Es un producto biodegradable, que reduce en más de un cincuenta por ciento las partículas (smoke) y emisiones de dióxido de carbono generadas durante la combustión. A su vez está libre de sulfuro, benceno y aromatizantes potencialmente cancerígenos por tanto su uso contribuye a minimizar los efectos del calentamiento global y a precautelar la salud (Martinez *et al*, 2007).

La incorporación de un estudio de prefactibilidad en la investigación constituyó un pilar fundamental no sólo para determinar la viabilidad del proyecto sino como referencia para futuros emprendimientos al detallar la estructura de costos asociados a la implementación de este sistema productivo y los principales indicadores económicos que deben ser utilizados para su evaluación.

## 1.4 Objetivos general y específico:

### 1.4.1 Objetivo General:

Estudiar la pre-factibilidad del proceso de obtención biodiesel a partir de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en su proceso de cocción.

### 1.4.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar la calidad de la materia prima mediante la determinación de los índices de acidez, saponificación, peróxidos y el perfil lipídico para establecer los pre-tratamientos necesarios en el proceso.
- Determinar la efectividad del óxido de calcio y de magnesio como catalizadores en la transesterificación de la grasa de pollo residual en base al rendimiento del proceso y las condiciones óptimas de reacción.
- Evaluar el biodiesel resultante mediante los parámetros establecidos en la norma INEN 2482 para establecer la calidad del mismo.
- Realizar un estudio económico preliminar del proceso para conocer su potencial como emprendimiento.

## 1.5 Características del sitio del proyecto:

La Corporación la Favorita es una empresa con una trayectoria de más de sesenta años en el país cuya fundación se remonta al año de 1949. En relación a su cadena Megamaxi, a nivel nacional existen un total de doce locales. El producto de interés comercializado por estas sucursales es su gama pollos horneados, la cual genera significativas cantidades de grasa residual (Corporación Favorita, 2012).

El proceso de transesterificación en base a este residuo graso se realizó en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad SEK, el cual cuenta con el equipamiento necesario para el desarrollo de la fase experimental.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 El biodiesel, una alternativa a los problemas asociados a los combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles han permitido el desarrollo de importantes sectores como el industrial, de transporte y agrícola. La demanda energética mundial de estos recursos ha incrementado al punto que cada año se utiliza una cantidad de petróleo cuatro veces superior a la que se descubre (Dinis, 2012).

A pesar de lo indispensable que resulta esta fuente de energía, su uso extensivo está seriamente cuestionado. Uno de los problemas de contaminación ambiental que se le atribuye es el calentamiento global; producto de las emisiones de gases de efecto invernadero como el óxido de carbono o de nitrógeno generados durante su combustión. Adicionalmente se liberan otros contaminantes como el óxido de azufre, hidrocarburos no quemados y cenizas finas, los cuales repercuten en la calidad del aire (Castellar *et al* 2014).

Por otro lado, estudios cuidadosos de la producción de petróleo y gas natural en las diferentes regiones del mundo así como de los nuevos hallazgos de reservas indican que dentro de pocos años la producción de estos combustibles pasará pronto por su máximo punto de producción. Según Ramírez *et al* (2012) las reservas mundiales de combustibles fósiles tarde o temprano se agotarán. Se estima que el petróleo se acabará en 41 años, el gas natural en 63 años y el carbón en 218 años.

Ante el panorama expuesto anteriormente es evidente la necesidad de buscar y desarrollar nuevas alternativas energéticas bajo dos criterios fundamentales como son la minimización de impactos ambientales y la renovabilidad. Según Ramírez *et al* (2012), estudios recientes indican que existen otras fuentes energéticas, las cuales tienen emisiones extremadamente bajas y que parecen tener el potencial para convertirse en fuentes de sustitución de energía para la propulsión de automóviles entre ellas destacan: alcoholes, hidrógeno y biodiesel.

## 2.2 Contextualización de la Producción de Biodiesel:

### 2.2.1 Antecedentes históricos:

La idea de utilizar aceite vegetal como combustible no es nueva, sus orígenes se remontan a 1909, fecha en la cual Rudolf Diesel fabricó el primer motor tipo diesel que funcionaba con aceite de maní. El consideraba que estos motores operarían a base de una serie de aceites vegetales. Las nociones sobre el uso de estas fuentes renovables se fueron desvaneciendo tras la muerte de su creador, cuando la industria petrolífera se adueñó del invento dando el nombre de combustible diesel a uno de los subproductos del proceso de destilación del petróleo (Zelaya, 2007).

A mediados de la década de 1970, a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo se retomó el interés por el biodiesel principalmente en Europa. En 1982, se llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas en Austria y Alemania, pero no fue sino hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria) donde se construyó la primera planta piloto del biocombustible empleando semillas de colza como materia prima (Martinez *et al*, 2007).

El continente americano inició sus investigaciones basados en las experimentaciones y resultados obtenidos por los europeos. Los primeros en aventurarse fueron Estados Unidos y algunos países de América del Sur, entre ellos la República Argentina, Uruguay, Ecuador y Brasil obteniendo resultados favorables con diversos aceites. Durante el período 2000 -2003, Estados Unidos y Argentina, tenían ya normalizada la producción y caracterización del biodiesel. En otros países de Sudamérica aún están en etapa de investigación y desarrollo, y otros como Uruguay ya tienen en funcionamiento una planta piloto de producción de biodiesel (Zelaya, 2007).

### 2.2. 2 Generalidades y principales materias primas:

En orden de comprender la importancia de este biocombustible como fuente de energía es pertinente profundizar en sus potenciales ventajas y desventajas, sus antecedentes históricos

junto a los impactos que ha generado en el mercado energético mundial y específicamente en el Ecuador.

La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) define al biodiesel o FAME (Fatty Acidmethyl Ester) como un combustible para motores diesel compuesto por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos. El proceso de síntesis más empleado para su elaboración es la transesterificación; reacción en la cual los triglicéridos de un aceite vegetal o una grasa animal reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador para dar lugar a la formación de esteres alquílicos (biodiesel) y glicerina como subproducto (Alba, 2011).

Se puede catalogar como materia prima del proceso toda sustancia que presente triglicéridos en su estructura (Tabla I); en términos químicos estos compuestos base son ésteres de tres ácidos grasos y glicerol. Generalmente pueden contener entre doce a diez y ocho carbonos, los cuales pueden presentar dobles y triples enlaces a lo largo de su cadena (Ganduglia *et al*, 2009).

Tabla I: Materias Primas para la Producción de Biodiesel

Categoría	Aceites y Grasas Animales	Aceites Vegetales	Aceites residuales de Frituras	Materias Grasas de desagües
Orígenes	Mataderos Frigoríficos Curtiembre	Agricultura Temporaria y Permanente	Cocciones Comerciales e Industriales	Aguas Residuales de las Ciudades y de Ciertas Empresas
Obtención	Extracción con vapor y agua	Extracción Mecánica Extracción con solventes Extracción Mixta	Acumulación y Recolección	Procesos en fase de investigación y desarrollo

Elaborado por: Guayara, 2016. Fuente (Ganduglia *et al* 2009)

Las materias primas más utilizadas son los aceites vegetales provenientes de la colza, palma, soya, girasol, jatropha, semillas de algodón y canola. De acuerdo al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), los aceites de mayor disponibilidad inmediata para la producción de biodiesel en Sudamérica son el de soja, principalmente, con

Brasil y Argentina como principales productores y exportadores, y de palma, en donde se destacan Colombia y Ecuador (Ganduglia *et al* 2009).

Cuantificando el potencial de estas materias primas, en el año 2007 se produjo en Latinoamérica alrededor de 17,3 millones de toneladas de aceites vegetales. El aceite de soja con 13.589.896 toneladas alcanzó el 78,6% de la producción, seguido en orden de importancia por el aceite de palma (8.3%), el de girasol (7.8%), y el de algodón (2,6%.) como se detalla en la tabla II (Ganduglia *et al* 2009).

Tabla II: Producción de Aceites Vegetales de Latinoamérica en 2007

Aceites	Producción Total (Toneladas)	Contribución Porcentual (%)
Soja	13.589.896	78.61
Palma	1.442.631	8.34
Girasol	1.342.023	7,76
Algodón	446.041	2,58
Almendra de palma	288.428	1,67
Maní	74.867	0,43
Colza/Canola	64.091	0,37
Coco	15.220	0,09
Cártamo	14.820	0,09
Lino	8.980	0,05
Sésamo	1.600	0,01
Total	17.288.597	<b>100,00</b>

Elaborado por: Autor (Ganduglia *et al* 2009)

La mayoría de estudios y sistemas productivos se centran en el aprovechamiento de este tipo de sustancias grasas, razón por la cual el presente estudio que parte de la grasa de pollo residual supone una oportunidad para profundizar y optimizar procesos en torno a otras fuentes de producción.

Centrándose en la realidad ecuatoriana se utiliza principalmente el aceite de palma debido a su gran producción nacional. Según la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional (Fedepal), en el 2012 se produjeron 480 000 toneladas métricas, con un excedente de 270 000 toneladas. La empresa la Fabril lidera la producción de biodiesel contando con dos plantas ubicadas en Guayaquil y Montecristi; registrando exportaciones totales por 16,6 millones de galones destinados a Estados Unidos, Alemania y Perú desde el año 2005 (Castellanos, 2015).

La demanda de biodiesel en el Ecuador tiende al alza, razón por la cual perfeccionar métodos para el aprovechamiento de sustancias grasas tradicionales como aquellas poco estudiadas es de vital importancia. De acuerdo al Decreto Oficial número 1303 firmado el 17 de septiembre de 2012 se estableció que a partir de esa fecha el diesel comercializado en el país deberá contener un 5% de biodiesel y esta mezcla aumentará en porcentaje hasta llegar al 10% en función de la oferta nacional (Castellanos, 2015).

### **2.2.3 Ventajas y Desventajas del biodiesel:**

- **Ambientales:**

- a) Proviene de fuentes renovables generando un producto no tóxico, biodegradable y no inflamable (Salazar, 2014).
- b) Reducción significativa de emisiones contaminantes. De acuerdo a estudios del National Biodiesel Board, asociación que representa la industria de biodiesel en EE. UU., se determinó que su combustión emite en promedio 48% menos de monóxido de carbono, 47% menos material particulado y 67% menos hidrocarburo al ambiente que el petrodiesel. Adicionalmente presenta una cantidad casi nula de azufre y aromáticos (Medina *et al* 2013).

c) Como aspecto negativo se debe considerar que se necesitan grandes espacios de cultivo para la obtención de materias primas de origen vegetal. Por tanto los productores pueden recurrir a la deforestación para obtener tierras cultivables. Adicionalmente, la potenciación de monocultivos intensivos agudiza los efectos negativos por el uso de pesticidas y herbicidas (Martinez *et al*, 2007).

- **Económicas:**

a) Las oportunidades de nuevos negocios en torno a la industria del biodiesel son variadas. Algunos de los emprendimientos pueden estar orientados a la construcción de nuevas plantas extractoras de aceite, desarrollo de los mercados de semillas oleaginosas, optimización del proceso de transesterificación o aprovechamiento de sus subproductos (Sanchez, 2007).

b) Se mejora el uso de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales mejorando así la economía rural (Martinez *et al*, 2007).

c) Una de las limitaciones es el precio, el cual resulta poco competitivo frente a los derivados fósiles; los costos asociados a la producción pueden ser más elevados que los del combustible diesel de acuerdo con la fuente de aceite utilizado como base (Salazar, 2014).

- **Técnicas (Medina *et al* 2013):**

a) Desde el punto de vista técnico, se debe destacar que el uso de este biocombustible presenta mínimas diferencias respecto al diesel en cuanto a la potencia del motor y su consumo.

b) La sustitución del diesel convencional en motores, quemadores y turbinas; así como en autobuses, taxis y maquinaria agrícola no requiere de reconversión mecánica. Las

modificaciones menores que deben realizarse son básicamente por la incompatibilidad del compuesto con una serie de plásticos y derivados del caucho natural, lo cual implica la eventual sustitución de componentes como: mangueras, sellos, juntas, diafragmas, filtros y similares.

- c) No se demanda modificaciones en la infraestructura de distribución y venta de combustibles líquidos ya instalada.
- d) En cuanto a las desventajas, el compuesto presenta una mayor viscosidad con respecto al diesel por lo que pueden existir problemas de pérdidas de fluido a través de filtros e inyectores. Otra dificultad es la incompatibilidad a bajas temperaturas con el petrodiesel, aspecto que limita la posibilidad de mezcla.

### **2.3 La Grasa de Pollo residual como materia prima:**

La presente investigación supone una oportunidad para profundizar y optimizar la producción de este biocombustible partiendo de una fuente poco estudiada. El uso de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en el proceso de cocción presenta importantes ventajas como materia prima con respecto a los aceites vegetales tradicionales en términos económicos, sociales, ambientales y técnicos.

Uno de los inconvenientes de utilizar fuentes de origen vegetal es su limitada competitividad frente al petrodiesel. El gran reto económico para la comercialización de biodiesel es el alto costo de los aceites vegetales puros, representando alrededor del 70-85% del costo total de producción. En la misma línea se debe tomar en cuenta que la disponibilidad de estos aceites es limitada debido a la competencia existente con el mercado de aceite comestible. Estos problemas se resuelven con su elaboración a partir de aceites y grasas usadas que se generan como residuos en la industria alimenticia. Se estima que su uso reduce el costo directo de producción hasta en un 45%, aun cuando se consideran los costos extras por pretratamiento (Medina *et al*, 2012).

En relación a las ventajas sociales cabe enfatizar que la grasa de pollo residual es una solución frente a la creciente preocupación social sobre cómo el desarrollo de los biocombustibles atenta contra la soberanía alimentaria. Se argumenta que su mayor demanda hará que la tierra agrícola que se destinaba al cultivo de otros productos incluyendo alimentos se dedique a la producción de cultivos energéticos. Esto podría llevar a la escasez de ciertos alimentos incrementando sus precios y por tanto desembocar en una pérdida del poder adquisitivo de los consumidores. La problemática mencionada anteriormente ya es una realidad que tienen que manejar los gobiernos (Dufey, 2006).

En Malasia, la demanda por biodiesel en base a aceite de palma crece tan rápidamente, que el gobierno decidió detener las licencias a los nuevos productores mientras el país decide cómo dividir la materia prima entre los sectores de alimentos y energía. Otro ejemplo de cómo la industria de los biocombustibles ejerce una gran fuerza sobre el mercado de commodities y el uso de las tierras se aprecia en el acuerdo entre Indonesia y Malasia, países que concentran cerca del 90% de la producción global de aceite de palma, quienes acordaron reservar cerca del 40% del producto de aceite crudo para la producción de biodiesel. En este contexto, considerar el uso de un residuo resulta favorable al minimizarlos posibles costos sociales (Dufey, 2006).

El proceso planteado presenta también múltiples ventajas en términos medioambientales considerando tanto aquellas derivadas propiamente de aprovechar el residuo graso como las resultantes de cambiar los métodos tradicionales de producción a partir de plantas aceiteras.

El aprovechamiento de los residuos grasos del pollo se alinea con los principios de la producción más limpia generando no sólo una oportunidad económica para las empresas sino eliminando la contaminación generada al verter los mismos en alcantarillas o desagües pluviales. Igualmente se genera un ahorro en los costos asociados a la contratación de gestores ambientales quienes se encargan de dar una adecuada disposición final de estos desechos (Medina *et al*, 2012).

En orden de comprender los beneficios de utilizar esta materia prima con respecto a los aceites vegetales es importante entender los impactos de los cultivos energéticos. Los

monocultivos a gran escala conllevan la deforestación de extensas zonas generando una significativa pérdida de la biodiversidad. A lo largo del desarrollo de estas plantaciones igualmente se provocan otros efectos adversos como la degradación del suelo y problemas en la calidad del agua por el uso de agroquímicos; contaminación que en algunos casos puede repercutir en ecosistemas aledaños. En su conjunto esta actividad puede traer consecuencias más devastadoras que los propios combustibles fósiles, razón por la cual el uso de residuos es una alternativa que garantiza de manera integral la preservación del medio ambiente (Dufey, 2006).

En relación a la idoneidad y su calidad para la transesterificación, Galeano y Guapacha (2011) indican que estudios previos han demostrado que la grasa de pollo es una materia prima favorable para la producción de biodiesel debido a su bajo costo y alto rendimiento. De igual forma Martínez *et al* (2007) establecen que por cada kilogramo de pollo se produce un litro de biocombustible; en un frigorífico pequeño, de 1000 aves diarias, se puede lograr 4.3 toneladas de grasa de las cuales al final se obtienen alrededor de 4300 litros de biodiesel. Por cada pollo se producen en promedio 90 gramos de grasa.

Un aspecto a considerar son los cambios físicos y químicos que sufren las grasas durante su cocción, aspecto que se evaluó durante su caracterización y el cual jugó un papel fundamental en el diseño del proceso. De manera general las principales reacciones que toman lugar son las oxidativas e hidrolíticas. La primera se refiere a la reacción entre los ácidos grasos insaturados y el oxígeno por un mecanismo de radicales libres. A partir de la misma se forman diferentes sustancias químicas como aldehídos e hidroperóxidos. Por otra parte en la reacción de hidrólisis se forman ácidos grasos libres, glicerol y diglicerol. En su conjunto estos compuestos pueden interferir en la síntesis del biocompuesto, razón por la cual deben ser considerados para establecer el pre-tratamiento más idóneo que no interfiera con los rendimientos mencionados (Cifuentes, 2010).

## 2.4 Fundamentos de la Transesterificación:

Según Montenegro et al (2012), la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales, consiste en reemplazar el glicerol de los triglicéridos por alcoholes simples para obtener moléculas de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas de los hidrocarburos. En este proceso reaccionan las moléculas de triglicéridos con alcoholes de bajo peso molecular en presencia de un catalizador, normalmente sosa o potasa, a una temperatura aproximada de 60°C y se producen nuevos ésteres con los ácidos grasos liberados en la reacción y glicerina.

La reacción de transesterificación también conocida como alcoholísis está compuesta por una secuencia de tres reacciones reversibles y consecutivas. Dentro del proceso global los triglicéridos son convertidos en diglicéridos, los cuales posteriormente se transforman en monoglicéridos y finalmente en glicerol como se indica en la figura 1. Durante el proceso se liberan tres moléculas de ésteres metílicos, es decir, tres moléculas de biodiesel. (Lizana, 2008).

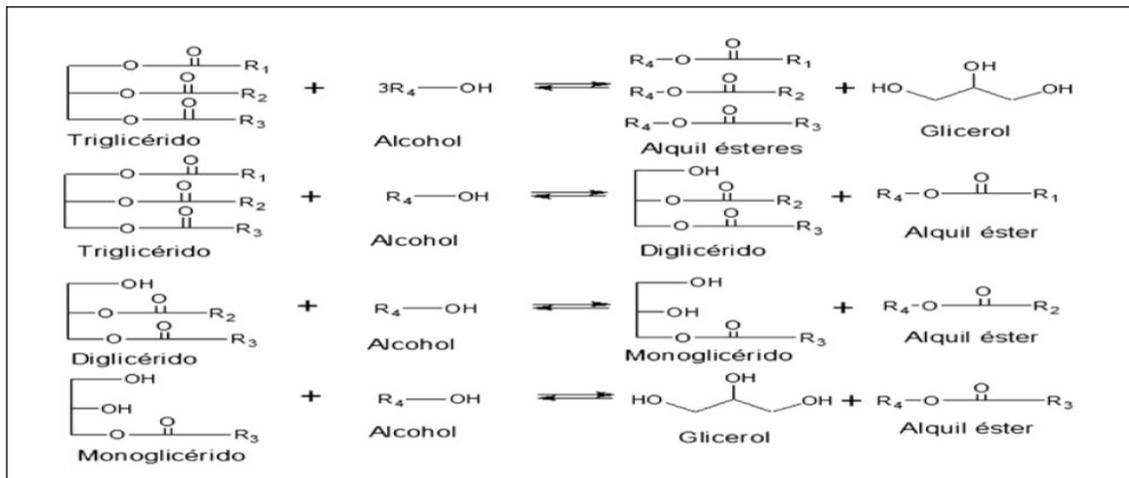


Figura1: Mecanismo de la Transesterificación (Montenegro *et al* 2012)

### 2.4.1 Variables asociadas al proceso (Dinis, 2012):

Las variables más importantes en este tipo de operación son: la relación molar alcohol-aceite, temperatura, tipo de catalizador, velocidad de agitación y tiempo de reacción. A continuación se detalla cada una de ellas presentando consideraciones importantes para la implementación del proceso a escala de laboratorio.

- **Relación molar alcohol: aceite:**

Los alcoholes más utilizados son el metanol y etanol, aunque se pueden emplear otros como el propanol y butanol con sus respectivos isómeros. Generalmente si el aceite o grasa de partida es usado se recomienda metanol. El mismo tiene un bajo costo y presenta ventajas físico-químicas que permiten: una fácil disolución de los catalizadores básicos, rápida reacción con los triglicéridos y la posibilidad de realizar el proceso a temperaturas bajas.

La relación molar alcohol-aceite es una variable fundamental que incide directamente en el rendimiento. La relación estequiométrica entre el alcohol y el aceite es 3:1. Sin embargo, dado el carácter reversible de las reacciones, un exceso del alcohol es apropiado para desplazar la reacción hacia la derecha, propiciando así la formación de los productos. Se recomienda como relación en catálisis básica 6:1.

- **Temperatura de la reacción:**

El proceso debe llevarse a cabo en torno al punto de ebullición del alcohol; emplear temperaturas superiores a la ambiental aumenta la solubilidad del alcohol en el aceite originando una mayor velocidad de reacción. Se debe enfatizar que trabajar a altas temperaturas puede ocasionar inconvenientes al favorecer reacciones indeseadas como la formación de jabones por saponificación.

- **Tipo de catalizador:**

Desde el punto de vista cinético es necesaria la presencia de catalizadores para que ocurra la síntesis de biodiesel. Los catalizadores pueden ser ácidos, básicos y enzimáticos; dependiendo de si forman una sola fase con los reactivos se los clasifica como homogéneos, caso contrario reciben el nombre de heterogéneos.

Los catalizadores homogéneos básicos son los más empleados debido a que permiten la realización del proceso de una manera rápida, a condiciones de operación moderadas y con altos

porcentajes de conversión. Los más comunes son el hidróxido de potasio y de sodio. Pese a su efectividad, es importante aclarar que presentan algunos inconvenientes como su inactivación ante la presencia de ácidos grasos libres (AGL). Por otra parte, los homogéneos ácidos como el ácido sulfúrico o sulfónico generan altos rendimientos con aceites que presenten una alta concentración de ácidos grasos libres, sin embargo, demandan de mayores tiempos de reacción y temperaturas superiores.

En relación a la catálisis enzimática, los estudios preliminares sobre los biocatalizadores han demostrado ventajas significativas siendo altamente selectivos y mostrando poca sensibilidad a la presencia de agua y AGL lo que permite el trabajo con materias primas de menor calidad. Dentro de sus desventajas se encuentran problemas asociados a su separación y reutilización así como sus elevados costos (Ramírez *et al* 2012).

Centrándose en los catalizadores heterogéneos, al igual que en los homogéneos pueden tener un carácter básico o ácido, su diferencia radica en que son sólidos por tanto se pueden evidenciar fases al mezclarlos con los reactivos. Los principales compuestos estudiados han sido óxidos, zeolitas y fosfatos. Las características de estos catalizadores tales como: la insolubilidad en el medio de reacción, larga vida de duración, resistencia a altas temperaturas, gran área superficial y mayor facilidad en las etapas de separación y purificación favorecen la obtención de altos rendimientos (Galeano y Guapacha, 2011). En las secciones subsiguientes se profundizará específicamente en este tipo de catálisis, el cual supone la base del proceso de investigación.

- **Grado de agitación:**

No existe hasta el momento parámetros definidos para la velocidad óptima de agitación y los autores difieren sobre las revoluciones por minuto (rpm) necesarias para alcanzar los mejores rendimientos. No obstante se debe resaltar que esta variable generalmente se ajusta en base a las condiciones de reacción de tal manera que se asegure un mezclado uniforme de los componentes. A nivel de laboratorio la agitación magnética es más usada, mientras a escala piloto la agitación mecánica es la más frecuente (Ramírez *et al* 2012).

- **Tiempo de Reacción:**

El rendimiento de la transesterificación depende del equilibrio final alcanzado bajo ciertas condiciones de operación. En caso de que el tiempo de residencia sea demasiado corto posiblemente no se llegue al equilibrio final, en este caso la reacción se mantiene incompleta o en un nuevo equilibrio para las condiciones nuevas que adquiera al detenerse el reactor discontinuo; las cuales pueden generar un volumen de biocombustible menor a los objetivos planteados en diseño (Salazar, 2014).

### 2.4.2 Comparación de los tipos de Transesterificación:

En orden de comprender las características de la catálisis homogénea y heterogénea en la producción de biodiesel se elaboró una tabla de resumen (Tabla III), la cual aborda las principales variables del proceso y parámetros asociados a su efectividad.

Tabla III: Tabla Comparativa Catálisis Homogénea y Heterogénea

Parámetros a evaluar	Catálisis Homogénea		Catálisis Heterogénea	
	Básica	Ácida	Básica	Ácida
Temperatura (°C)	60-70	55-80	60-70	150-200
Relación metanol-aceite	4:1 - 8:1	6:1 -10:1	>1:6	-
Ácidos grasos libres	Producción de jabones	Producción de ésteres	*	Producción de ésteres
Agua	Interfiere en la reacción	Interfiere en la reacción	*	Interfiere en la reacción
Rendimiento	Bueno	Bueno	Bueno	-
Proceso de Purificación	Tediosa	Tediosa	Simple	Simple
Costos	Barato	Barato	Barato	Barato
Recuperación de Catalizador	Ninguna	Baja	Alta	Alta
Tiempo de reacción (h)	1-3	2-8	>3	>3

\* Algunos autores reportan inhibición de sitios activos por adsorción de agua y/o ácidos grasos libres

Elaborado por: Guayara, 2016. Fuente: Ramírez *et al* (2012) y Cardenas (2014)

## 2.5 Catálisis Heterogénea y sus fortalezas:

La presente investigación busca establecer las condiciones óptimas de reacción para la producción de biodiesel empleado como catalizadores óxido de calcio y de magnesio. En orden de entender la contribución que supone profundizar y optimizar métodos de catálisis heterogénea se debe conocer los problemas asociados a la catálisis homogénea básica.

Los catalizadores básicos como el óxido de potasio y de sodio son los más utilizados a nivel industrial, sin embargo, su uso resta competitividad. Uno de los principales inconvenientes que presentan es su dificultad para recuperarlos tras la reacción lo cual implica pasos adicionales para su neutralización; estas etapas de purificación demandan cantidades significativas de agua en un orden de 20 litros cada 100 litros de aceite tratado. La reducción de la contaminación ambiental aumenta los costos por concepto de tratamiento de efluentes encareciendo así el proceso (Becera *et al*, 2008).

Otro de las desventajas es la sensibilidad a la presencia de agua y ácidos grasos libres, aspecto que restringe el proceso a materias primas de alta calidad para evitar reacciones secundarias indeseables como la hidrólisis o saponificación; las cuales consumen el catalizador incrementando los costos por reposición del mismo. Igualmente en caso de querer alcanzar altos rendimientos se deberá implementar etapas adicionales para convertir o eliminar primero los AGL previo a la transesterificación (Becera *et al*, 2008).

De acuerdo a la doctora Carolina Alba (2012), existen múltiples ventajas al utilizar catalizadores sólidos. Se pueden separar fácilmente de los productos de reacción; esto supone un importante ahorro porque permite la recuperación del catalizador para que pueda ser reutilizado. Al separar el catalizador del medio de reacción, se reducen y simplifican las etapas de lavado; de la misma forma se reduce el volumen de agua que se necesita para lavar cada una de estas fases, lo cual es una ventaja muy importante desde un punto de vista medioambiental. Además los catalizadores heterogéneos se pueden y se deben modular con el objetivo de hacerlos resistentes a las impurezas presentes en los aceites de baja calidad.

La amplia gama de catalizadores de este tipo y sus ventajas, ha motivado la investigación de diferentes autores enfocándose en la transesterificación de aceites vegetales. Principalmente se han probado óxidos, carbonatos, hidróxidos y fosfatos de metales como potasio, calcio, bario y magnesio. Otros trabajos abordaron el uso de sólidos bimetálicos, resinas de intercambio y zeolitas (Albis *et al* 2005)

El estudio propuesto profundizó en el uso de óxidos de metales alcalinotérreos. En torno a estos compuestos igualmente se encuentran importantes investigaciones como las de Patil y Deng(2009), quienes estudiaron su funcionamiento en las reacciones de transesterificación de aceite de *Camelina sativa*, *jatropha* y aceite de cocina usado. Esta investigación determinó que el rendimiento disminuía en el orden BaO>SrO>CaO>MgO. Claire S. MacLeod *et al*(2008) igualmente evidenciaron su efectividad cuando prepararon una serie de catalizadores de óxido metálico y estudiaron la reacción en base al aceite de colza obteniendo conversiones mayores al noventa por ciento en pruebas estándar de tres horas.

### **2.5.1 Oxido de Calcio:**

Los óxidos se definen como la combinación de un elemento metálico o no metálico con oxígeno formando compuestos iónicos o covalentes respectivamente. El óxido de calcio (CaO), conocido también como cal viva, es producto de la calcinación de rocas calizas o dolomías. Su obtención se basa en la descomposición térmica de los minerales de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). El proceso toma lugar cuando los minerales, tras su adecuación mediante el granulado y tamizado de las partículas, pasan a una etapa de calentamiento en hornos rotatorios o verticales a temperaturas superiores a 900°C para expulsar el dióxido de carbono de la caliza y producir óxido de calcio ( Coloma,2008).

Varios autores han investigado este compuesto estableciendo condiciones de operaciones óptimas para diferentes tipos de aceites; corroborando en cada uno de los casos los altos rendimientos que se pueden alcanzar con su uso. Paralelamente se han abordado factores que reducen su actividad catalítica o inactivan el mismo, así como diferentes tratamientos para

mitigar esos efectos; mismos que fueron contemplados en la elaboración del proceso experimental de esta investigación.

Liu *et al* (2008), estudiaron la transesterificación del aceite de soja utilizando óxido de calcio alcanzando un rendimiento del 95% después de 3 horas. Las condiciones de operación fueron una relación molar metanol-aceite de 12, una temperatura de reacción de 65°C y 8% en peso de catalizador referido al aceite. Se debe enfatizar que esta investigación también demostró que la vida útil del compuesto es mayor en comparación con otros catalizadores como  $K_2CO_3/\gamma-Al_2O_3$  y  $KF/\gamma-Al_2O_3$ . De acuerdo a sus resultados el CaO mantenía su actividad incluso después de su reutilización durante 20 ciclos.

López *et al*(2007) lo estudiaron en la metanólisis del aceite de girasol obteniendo conversiones del 94% a los 90 minutos empleando una relación molar metanol-aceite de 13, una temperatura de 333K y utilizando 1% en peso de catalizador. Este estudio igualmente deja de manifiesto que tanto el agua como el dióxido de carbono deterioran la actividad catalítica promoviendo la hidratación y carbonatación de los centros activos (Figura 2). Por esta razón se sugiera la incorporación de pre tratamientos bien sean estos térmicos o de recubrimiento.

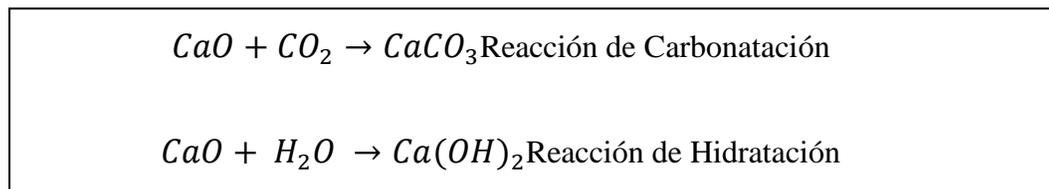


Figura 2: Deterioro Catalítico por exposición ambiental (Guayara,2016)

Alba (2011), concuerda con que la exposición del óxido al ambiente puede producir una severa desactivación del catalizador debido al envenenamiento de los centros activos. Una de las propuestas para solucionar este problema consiste en empapar el compuesto con una pequeña cantidad de aceite vegetal o biodiesel debido al carácter hidrofóbico de estas sustancias y al hecho de que llenar los poros del catalizador con estos líquidos previene la rápida difusión del  $CO_2$  y del  $H_2O$ . Su investigación determinó que el rendimiento de FAME aumenta a medida que lo hace el biodiesel añadido al CaO como pretratamiento dentro de un rango 0-3% en peso con respecto a la masa de aceite.

En la misma línea de esta catálisis heterogénea, es importante mencionar que de igual manera se está estudiando el uso de este óxido en sustancias grasas residuales, las cuales se ajustan más a las propiedades físico-químicas de materia prima de estudio. Salazar (2014), determinó que las condiciones óptimas para la producción artesanal de biodiesel en un reactor agitado a partir de aceite de fritura usado son: una relación molar metanol-aceite de 12:1, 2% en masa de CaO y 180 minutos de reacción a una temperatura de 55°C. La conversión de FAME alcanzada es del 92% lo cual cumple con los parámetros de la norma ecuatoriana INEN 2482.

En cuanto a su disponibilidad y accesibilidad, es importante mencionar que en Ecuador este óxido es ampliamente utilizado como material de construcción, razón por la cual su adquisición es bastante sencilla. En caso de requerirse una mayor pureza del catalizador en la reacción de transesterificación, se puede adquirir el mismo en grado técnico en cualquier empresa distribuidora de productos químicos sin ningún tipo de restricción (Salazar, 2014).

### **2.5.2 Óxido de Magnesio:**

El óxido de magnesio (MgO) es uno de los refractarios básicos más importantes, razón por la cual a nivel industrial es ampliamente utilizado en la fabricación de ladrillos y como recubrimiento de los altos hornos. Las principales fuentes minerales de magnesio son la breunerita, dolomita y brucita. Su obtención a partir de dolomita consiste en la calcinación directa del mineral para obtener dolima (óxido doble de magnesio y calcio), la cual tras ser hidratada da origen a los hidróxidos de magnesio y calcio. La separación de estos productos se da al combinarlos con cloruro magnesio (MgCl<sub>2</sub>) produciendo cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), sal insoluble en el hidróxido. Finalmente, se calcina el hidróxido de magnesio para producir el óxido de interés (Alvarado, 1998).

Existen múltiples estudios sobre su uso como catalizador en la transesterificación. A través de los mismos se pudo conocer las condiciones de operaciones óptimas, los pre-tratamientos empleados y las posibles limitaciones del proceso; los cuales en su conjunto constituyeron un marco referencial importante para el diseño propuesto en esta investigación.

Di Serio *et al* (2006) estudiaron el uso del MgO en la transesterificación del aceite de soya. El rendimiento de FAME obtenido fue del 98% a una temperatura de 200°C, 5% en peso de catalizador y 60 minutos de reacción.

Becera *et al* (2008), evaluaron la efectividad de una serie de catalizadores a base de MgO. La molécula modelo para la transesterificación fue la triacetina. Se utilizó como precursores el hidróxido y oxalato de este metal para comparar sus productos con el óxido de magnesio comercial. Referidos a sus precursores, se estableció como nomenclatura para identificar los óxidos: MgO-P, MgO-N y MgO-Cial respectivamente. Los resultados evidenciaron que el rendimiento del óxido el comercial oscila entre 40-75% (figura 3) dependiendo del pretratamiento. Las condiciones de reacción fueron una temperatura de 60°C, una relación molar alcohol- aceite 10:1, 3% peso de catalizador y un tiempo de reacción de 175 minutos.

Se debe enfatizar que uno de los aportes más importante de Becera *et al* (2008), fue presentar alternativas de pre-tratamiento para incrementar los rendimientos. Se llevaron a cabo procesos hidrotérmicos en todos los casos, los cuales consisten en rehidratar el óxido y evaporar el exceso de agua por roto evaporación a una temperatura de 80 °C durante 6 horas. Posteriormente se sometió al compuesto a un nuevo proceso de calcinación. Otro tratamiento fue someterlos a un de calentamiento a 700°C en un reactor de cuarzo con un flujo constante de nitrógeno durante doce horas; los óxidos sometidos a esta fase se identificaron con la letra A al final de sus siglas.

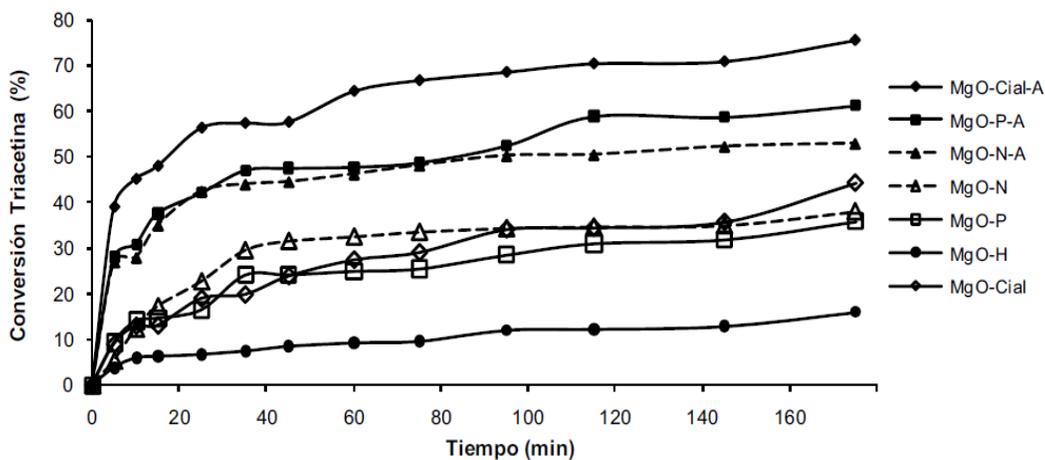


Figura 3: Rendimiento del MgO con diferentes pre-tratamientos

Fuente: Becera *et al* (2008)

Albis *et al* (2005) igualmente enfatizaron la necesidad de una adecuada preparación del catalizador previo a la reacción. Su investigación en la transesterificación del aceite de palma recomienda un período de calcinación de cuatro horas seguido de un reflujo con metanol por treinta minutos para proteger los sitios activos del catalizador ante su posible inactivación por la exposición al ambiente. Estas técnicas de protección son vitales, razón por las cuales fueron evaluadas para su implementación en el proceso heterogéneo propuesto.

### 2.5.3 Etapas del Proceso con Catálisis Heterogénea:

La producción de biodiesel abarca una serie de procesos, los cuales incidirán directamente tanto en el rendimiento como en calidad del producto obtenido. A continuación se presenta una breve y general descripción de sus etapas, las cuales se detallarán a profundidad en la metodología.

#### a) Caracterización de Sustancias Grasas y sus pretratamientos:

Las grasas a emplearse como materia prima pueden presentar impurezas que interfirieren en su transesterificación. Sus propiedades dependerán en gran medida de su composición, el proceso de fabricación y las condiciones a las que fueron sometidas. El análisis de parámetros como los índices de: acidez, saponificación, peróxidos y su perfil lipídico permiten establecer su idoneidad para el proceso, así como los posibles pretratamientos que se requieran previos a su conversión a biodiesel. La tabla IV especifica cada uno de estos ensayos junto con valores referenciales claves para el diseño del proceso.

Tabla IV: Ensayos de caracterización de sustancias grasas

Ensayos	Método	Definición	Referencia
Índice de Peróxido	NTE277	Es el número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra. Permite conocer el grado de oxidación que presenta una determinada grasa.	INEN (1978)
Índice de saponificación	NTE40	Es el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar 1 gramo de grasa o aceite.	INEN (1973)
Perfil lipídico	AOAC	A partir de cromatografía de gases se establece la composición porcentual de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y	Lasa (2016)

	996.06	polinsaturados que componen una determinada muestra.	
Índice de Acidez	INEN 38	Es el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de grasa. La transesterificación no se producirá o presentará bajos rendimientos si el contenido de los mismos es del 3% en masa o superior.	Galeano y Guapacha (2011)

Elaborado por: Guayara, 2016

b) Acondicionamiento del Catalizador:

En las secciones anteriores se especificó tratamientos para la protección de los catalizadores sólidos. Puntualizando el procedimiento, se debe mencionar que es necesario el contacto entre el agente protector y el sólido en condiciones de reflujo por 15-20 para garantizar la quimisorción sobre los sitios activos evitando así su posible contaminación (Toinga, 2016).

c) Transesterificación:

El procedimiento convencional más simple para la producción de biodiesel es mediante un método por lotes. La reacción se lleva a cabo en un contenedor resistente a la presión y temperatura, herméticamente sellado para evitar pérdidas, con un sistema que permita condensar el alcohol que se vaporice dentro del reactor. De igual manera se debe contar con controles de la velocidad de agitación y temperatura que permitan monitorear y ajustar estas variables (Salazar, 2014).

d) Separación y Purificación de los productos:

La separación de los productos se da por decantación o centrifugación. Una vez suspendida la agitación del reactor y al trasvasar su contenido a un embudo de decantación se forman de manera casi inmediata dos fases inmiscibles; una pesada (glicerina) y una ligera (metil-ésteres). Una vez separadas, se procede a recuperar el catalizador sólido al filtrar cada una de las fases utilizando un papel filtro o una membrana (Salazar, 2014).

La purificación del biodiesel consiste en la eliminación de impurezas remanentes como alcohol, glicerina y trazas de catalizador. Primero se genera un lavado con agua caliente agitando vigorosamente hasta que la mezcla resulte homogénea y se espera a que se decante el agua. El proceso puede repetirse varias veces hasta que el agua asentada presente un color totalmente transparente. Posteriormente se procede al secado, etapa en la cual se calienta el biodiesel para eliminar trazas de metanol y otros compuestos que pudieran causar turbidez por encontrarse emulsionados en el combustible. El calentamiento se mantiene hasta observar un color cristalino de la muestra a tratar (Salazar, 2014).

## 2.6 Marco Legal:

El desarrollo de los biocombustibles responde a una necesidad social orientada a la búsqueda de energías renovables que permitan minimizar los impactos ambientales, y por tanto garanticen el derecho de la ciudadanía a convivir en un medio ambiente sano. El gobierno ecuatoriano fomenta el desarrollo de nuevas tecnologías enmarcadas dentro de los principios de la producción más limpia y de las buenas prácticas ambientales. Se presenta a continuación un breve recuento de los principales cuerpos legales vinculados a esta temática.

### 2.6.1 Constitución de la República del Ecuador:

La Constitución promueve las energías alternativas como una base fundamental para el crecimiento sostenible. De igual manera, las cataloga como un sector estratégico debido a su importancia económica, social y ambiental, tal y como lo disponen los siguientes artículos:

Art.14- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumakkawsay*".

Art. 15-El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria ni afectará el derecho al agua.

Art. 313-El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Se consideran sectores estratégicos, la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley”.

Art. 414-El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

### **2.6.2 Acuerdo 171:**

El presente cuerpo legal transfiere las competencias sobre el sector de biocombustibles al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. La producción de biodiesel se encuentra alineada al cambio de la matriz energética, el cual es un pilar para este organismo. A través de sus estatutos se indica claramente los objetivos y lineamientos de esta entidad, los cuales son fundamentales para el desarrollo de este sector:

Art. 2- Visión. Ministerio rector del sector eléctrico, que garantice la cobertura plena de un servicio de electricidad y el desarrollo de energías renovables de calidad, a través del cumplimiento de la política nacional, los planes y metas de expansión fijados; reconocido por la eficiencia, innovación y calidad en su gestión, procurando la soberanía energética, con responsabilidad social y ambiental y, el desarrollo de las competencias de su talento humano comprometido con el progreso del país.

Art. 16- Del portafolio de procesos agregadores de valor institucional, la sección del desarrollo de energía renovable y de la eficiencia energética las establece las siguientes acciones:

1. Gestionar el control y aprobación de la prefactibilidad, factibilidad y viabilidad de proyectos de energía renovable y eficiencia energética en las fases de: Estudios, diseños, desarrollo y/o construcción.
2. Gestionar el desarrollo de proyectos de energía renovable y eficiencia energética
3. Gestionar el financiamiento y contratación de proyectos de energía renovable y eficiencia energética.

### **2.5.3 Acuerdo No. 061:**

El proceso propuesto en la investigación se fundamenta en la producción más limpia (PML), puntualmente en la técnica del aprovechamiento de subproductos útiles. Los principios de PML junto con las políticas de consumo y producción sustentable se han vuelto parte de agenda gubernamental en los últimos años. El presente acuerdo manifiesta su importancia a la vez que exhorta su implementación tanto al sector privado como público. Ante lo expuesto, este tipo de iniciativas se volverán cada vez más necesarias como lo estipulan los siguientes artículos de este cuerpo legal:

Art. 233- Producción limpia, significa la aplicación continua de estrategias y prácticas ambientales preventivas, reparadoras e integradas en los procesos, productos y servicios, con el fin de reducir los riesgos para las personas, precautelar los derechos de la naturaleza y el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Art. 234- Buenas Prácticas Ambientales, es un compendio de actividades, acciones y procesos que facilitan, complementan, o mejoran las condiciones bajo las cuales se desarrolla cualquier obra, actividad o proyecto, reducen la probabilidad de contaminación, y aportan en el manejo, mitigación, reducción o prevención de los impactos ambientales negativos.

**Art.238** Obligaciones generales para la producción más limpia.-Todas las instituciones del Estado y las personas naturales, jurídicas, comunidades, pueblos y nacionalidades se obligan, según corresponda a:

- a) Incorporar en sus estructuras administrativas, técnicas y de gestión programas, proyectos y actividades; basándose en la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidos en este Libro y demás normativa aplicable; y enmarcados en el respeto de los derechos de la naturaleza y los derechos ambientales de las personas;
- b) Propender a la optimización y eficiencia energética;
- c) Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes, considerando el ciclo de vida del producto;
- d) Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones y descargas; y,
- e) Minimizar y aprovechar los desechos, considerando el principio de la cuna a la cuna, que implica que el residuo de un producto, proceso o servicio es materia prima de otros productos, procesos o servicios

**Art. 241** De la obligatoriedad.-Todas las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, con actividades en el territorio nacional, están obligados a aplicar un modelo de la gestión integral de producción y consumo sustentable, el que deberá incluir al menos los siguientes componentes:

- a) Fomento de procesos limpios;
- b) Fomento de productos y servicios limpios;
- c) Estructuración de ciclo de vida cerrado del producto; y,
- d) Fomento en la conformación de una sociedad comprometida con la protección del entorno natural.

Todas las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas deberán realizar una evaluación de su grado de responsabilidad directa o indirecta, frente a la generación de costos ambientales, sociales y económicos, derivados de las formas de consumo y

producción, generadas a partir de sus procesos, políticas, atribuciones, actividades, productos o servicios.

#### 2.6.4 Especificaciones técnicas del Biodiesel:

A nivel internacional existen diferentes normativas de calidad que debe cumplir el biodiesel siendo las más empleadas la normativa americana y europea ASTM D6751 y EN14214 respectivamente, mismas que se encuentran en los anexos A y B de este trabajo investigativo.

En Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha establecido la norma técnica NTE INEN 2482, la cual recopila los requisitos que deben cumplir los esteres metílicos o etílicos de ácidos grasos que van a ser empleados como combustibles para motores de ciclo diesel. A continuación se detalla cada uno:

Tabla V: Requisitos del Biodiesel según la Norma INEN 2482

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

<sup>1</sup> El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diesel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla

<sup>2</sup> Debe ser determinado en el 100% de la muestra

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2009).

## CAPITULO III: Metodología

### 3.1 Área de Estudio:

La grasa de pollo residual se obtuvo de la sucursal Megamaxi- El Condando ubicada en la avenida La Prensa y Jhon F. Kennedy. La misma se genera en la preparación de una variedad de pollos horneados comercializados en el supermercado. El proceso de producción se realiza por lotes en un horno marca *Rational* con una capacidad de 34 pollos. La grasa se recupera en bandejas dispuestas horizontalmente en su interior, y posteriormente se almacena en bidones para su entrega a gestores certificados. Mensualmente se producen alrededor de 80-110 litros de grasa.

### 3.2 Diseño Experimental:

La presente sección aborda la categorización, evaluación y selección de factores de diseño, los cuales permitieron establecer el modelo factorial más idóneo para determinar la efectividad de los catalizadores sólidos en la transesterificación.

#### **3.2.1 Elección de variables de diseño y sus niveles:**

Las variables de estudio seleccionadas fueron: la relación molar metanol-aceite, tipo de catalizador y su porcentaje en peso referido a la masa de grasa. Se eligieron dos niveles de prueba para cada variable, por lo que dentro de los tratamientos se evaluó tanto un valor inferior como superior, los cuales se detallan en la tabla VI.

La selección de los niveles consideró los estudios previos y la dinámica de la reacción. El rango para el porcentaje en peso del catalizador se ajusta a estudios que mostraron altos rendimientos, además favorece su reutilización al evitar pérdidas por lixiviación (Alba, 2011). En relación a la proporción molar metanol-aceite se consideró el valor inferior de 6:1 para garantizar un exceso mínimo que desplace el equilibrio de la reacción hacia los productos. El valor superior fue de 12:1, el cual demostró altos rendimientos en materias primas similares (Salazar, 2015); cabe resaltar que emplear proporciones superiores no sólo encarecería el proceso sino que dificultaría la recuperación del alcohol.

Tabla VI: Descripción de Variables y sus Niveles

<b>Variables de Estudio</b>	<b>Notación</b>	<b>Niveles</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>
Relación molar Alcohol: Aceite	RMAC	2	6::1	12::1
Porcentaje en peso del Catalizador	PPC	2	1	2
Tipo de Catalizador	TC	2	MgO	CaO

Elaborado por: Guayara, 2016

Las variables de operación o controladas fueron una temperatura de 60°C±2°C, un tiempo de reacción de 180 minutos y una agitación de 1200 RPM. El criterio para su asignación contempló valores referenciales que generaron tasas de conversión mayores al noventa por ciento empleando catálisis heterogénea (López *et al* 2007; Liu *et al* 2008; Salazar, 2014).

Se eligió como variable de respuesta o aquella que mide la efectividad de los tratamientos al rendimiento de la reacción. Una vez realizada la purificación del biodiesel para eliminar excedentes de metanol, trazas de catalizador y otras impurezas se realizó su cálculo en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 1: } n = \frac{V_{\text{biodiesel}} * \rho_{\text{biodiesel}}}{M_{\text{grasa inicial}}} X 100$$

n= rendimiento porcentual de biodiesel

V<sub>biodiesel</sub> =volumen de biodiesel obtenido, en mL.

p: densidad promedio de biodiesel calculada, g/mL

M grasa inicial: masa de grasa utilizada por tratamiento, en g.

### 3.2.2 Diseño Factorial:

El modelo que mejor se ajustó para establecer el diseño fue uno factorial (Figura 4). El mismo permitió estudiar conjuntamente la incidencia de varios factores o variables con respecto al rendimiento de biodiesel a la vez que permitió evaluar si existía algún tipo de interacción entre los mismos. Este arreglo de igual manera fue de utilidad para determinar las mejores

condiciones de reacción en términos de la combinación de los niveles que maximizaron la variable de respuesta.

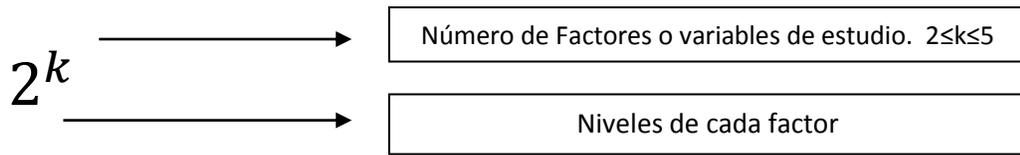


Figura 4: diseño factorial (Guayara, 2016)

Considerando que se contaba con tres variables de estudio entre cuantitativas y cualitativas, el modelo quedó definido como  $2^3$  por tanto se necesitó realizar ocho tratamientos combinando aleatoriamente los niveles de cada factor. Se realizó una repetición para distinguir mejor que parte de la variabilidad total se debió a los tratamientos generando así un total de 16 corridas.

Las cantidades a dosificar de catalizador y de alcohol se determinaron de acuerdo a los niveles indicados anteriormente y tomando como base de cálculo 160g de grasa por tratamiento. Considerando que existían ligeras variaciones en la densidad de la grasa entre muestreos, el uso de una base másica resultó funcional para estandarizar la cantidad de materia prima. El valor seleccionado contempló que al emplear las cantidades máximas establecidas para los reactivos no se sobrepase la capacidad del reactor.

A continuación se presentan las ecuaciones empleadas para calcular los requerimientos por tratamiento:

a) Fórmulas para determinar el volumen de metanol:

$$\text{Ecuación 2:} \quad \mathbf{M}_{\text{metanol}} = \frac{R.E.S.}{I.S.}$$

$$\text{Ecuación 3:} \quad \mathbf{m}_{\text{metanol}} = m_{\text{grasa}} \times MR \times \frac{M_{\text{metanol}}}{M_{\text{grasa}}}$$

$$\text{Ecuación 4:} \quad \mathbf{V}_{\text{metanol}} = \frac{m_{\text{metanol}}}{\rho_{\text{metanol}}}$$

MR = relación molar expresada como número de moles de metanol por mol de grasa

$M_{\text{metanol}}$  = peso molecular del metanol (g/mol)

$M_{grasa}$  = peso molecular de la grasa (g/mL)

$V_{metanol}$  = volumen del metanol (mL)

$p_{metanol}$  = densidad del metanol (g/mL)

R.E.S = relación estequiométrica de la saponificación

I.S = índice de Saponificación

$m_{metanol}$  = masa de metanol (g)

$m_{grasa}$  = masa de la grasa de pollo (g)

b) Fórmula para determinar la cantidad de catalizador:

$$\text{Ecuación 5: } m_{\text{óxido}} = m_{\text{grasa}} \times \frac{\% \text{ óxido}}{100 \text{ g grasa}}$$

$m_{\text{óxido}}$  = masa del catalizador sólido utilizada por tratamiento (g)

% óxido = porcentaje en peso de catalizador referido a la masa de grasa

En la tabla VII se presenta la matriz experimental que detalla los experimentos realizados.

Tabla VII: Variables y Niveles por Tratamiento

Tratamiento	PPC	TC	RMAC	Cantidad de Catalizador (g)	Volumen de Metanol (mL)
T1	2	CaO	6	3,20	71,62
T2	1	MgO	12	1,60	143,24
T3	2	MgO	6	3,20	71,62
T4	1	MgO	6	1,60	71,62
T5	1	CaO	12	1,60	143,24
T6	2	MgO	12	3,20	143,24
T7	1	CaO	6	1,60	71,62
T8	2	CaO	12	3,20	143,24
T9	2	CaO	6	3,20	71,62
T10	1	MgO	12	1,60	143,24
T11	2	MgO	6	3,20	71,62
T12	1	MgO	6	1,60	71,60
T13	1	CaO	12	1,60	143,24
T14	2	MgO	12	3,20	143,24
T15	1	CaO	6	1,60	71,62
T16	2	CaO	12	3,20	143,24

Elaborado por: Guayara, 2016

### 3.3 Materiales y Equipos:

El proceso experimental constó de cuatro fases: muestreo, caracterización de la materia prima, pre-tratamiento de reactivos y la elaboración de biodiesel con su respectiva caracterización. Los materiales, equipos y reactivos que fueron requeridos para el desarrollo de este proyecto se detallan en las tablas VIII, IX. Se debe aclarar que todas las sustancias químicas empleadas en cada una de las fases fueron de grado reactivo.

Tabla VIII: Requerimientos para el Muestreo y Pruebas de Caracterización de la Materia Prima

Sustancias	Formula	Materiales	Capacidad (mL)
Yoduro de Potasio	KI	Pipetas	10-25
Acido Acético Glacial	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Matraz Erlenmeyer	300
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	Balones Aforados	250
Tiosulfato de sodio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Papel filtro	-
Solución indicadora de almidón	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	Vasos de precipitado	500
Solución de ácido clorhídrico 0,5 N	HCl	Condensador de Reflujo	-
Alcohol etílico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Bureta	25
Hidróxido de potasio 0,5 N	KOH	Embalse Plástico	3000
Granallas de Zinc	Zn	Embudo Plástico	-
Fenolftaleína	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	Soporte Universal	-
Sulfato de Sodio Anhidro	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pinzas	-
Equipo	Marca		
Mufla Digital	WiseVen		
Balanza Analítica	Ohaus		
Plancha de Calentamiento con regulador	Cole-Parmer		

Elaborado por: Guayara, 2016

Tabla IX: Requerimientos para la elaboración de Biodiesel y su Caracterización:

Sustancias	Formula	Materiales
Grasa de Pollo residual	-	Balón de tres bocas (500mL)
		Agitador Magnético
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	Condensador de reflujo -mangueras
		Pinzas y nueces
Óxido de Calcio	CaO	Embudo Büchner
		Kitasato
Óxido de Magnesio	MgO	Mangueras
		Papel Filtro
		Probetas (100mL)
Equipo		Marca
Balanza Analítica		Ohaus
Plancha de Calentamiento con agitación		Cole-Parmer
Bomba de Vacío		TST
Termómetro digital		Parr
Viscosímetro		Cole-Parmer

Elaborado por: Guayara, 2016

### 3.4 Etapa de Muestreo:

El proceso de muestreo se realizó de manera mensual durante el período de marzo a mayo. Se acordó con el administrador del supermercado su realización el fin de semana al ser los días con mayor demanda, por tanto se garantizaba la generación de cantidades suficientes de grasa de pollo residual para satisfacer los requerimientos de la fase experimental.

En promedio se recolectó cuatro litros por muestra, mismos que eran tomados directamente de las bandejas internas del horno al culminar un lote de producción; garantizando así su frescura y pureza. El contenido era vertido en un recipiente plástico mediante el uso de un embudo y posteriormente era transportado al Laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK para ensayos ulteriores.

### 3.5 Caracterización de la materia prima:

#### a) Índice de Saponificación:

El proceso consistió en saponificar la muestra con una solución etanólica de hidróxido de potasio (KOH), y titular el exceso con una solución de ácido clorhídrico 0,5 N (HCl). El método se realizó de acuerdo a la norma INEN 040. A continuación se detalla el ensayo (Figura 5):

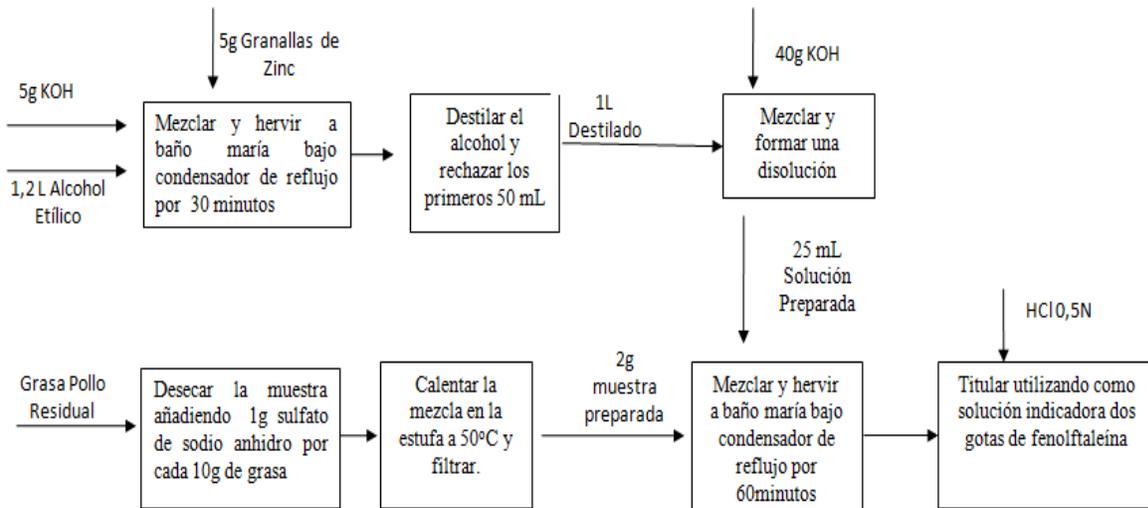


Figura 5: Diagrama de bloques del Índice de Saponificación. Elaborado por: Guayara, 2016

El cálculo del índice se realiza de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 6: } i = \frac{56,1 (V_1 - V_2) N}{m}$$

$i$  = índice de saponificación del producto (mg/g).

$V_1$  = volumen de la solución de HCl empleada en la titulación del blanco (mL).

$V_2$  = volumen de solución de HCl empleado en la titulación de la muestra (mL).

$N$  = Normalidad de la solución de HCl.

$m$  = Masa de la grasa de estudio (g).

## b) Índice de Peróxido:

El proceso consistió en valorar con tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) el yodo liberado por una determinada cantidad de grasa de pollo. A través del mismo se determinó su grado de oxidación en términos de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra. El método se realizó de acuerdo a la norma INEN 277, como se especifica en el diagrama (Figura 6) presentado a continuación:

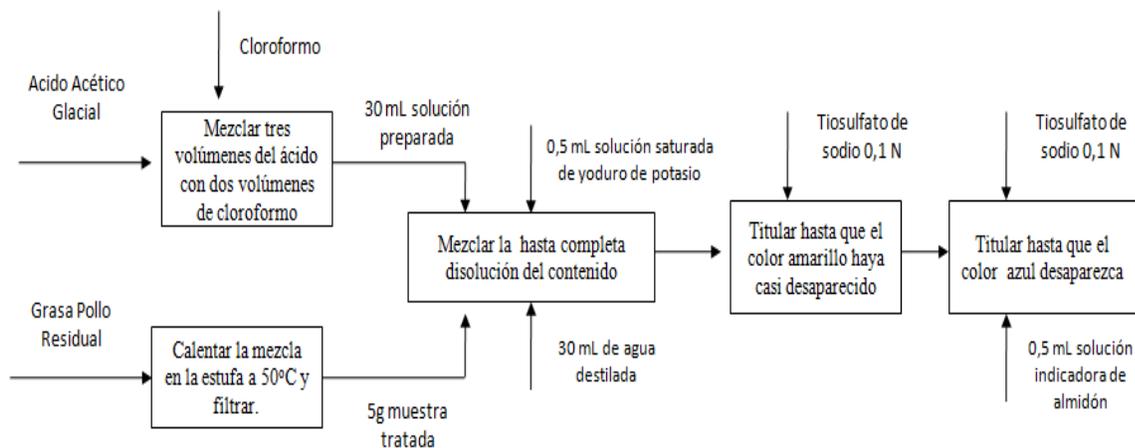


Figura 6: Diagrama de bloques del Índice de Peróxidos.  
Elaborado por: Guayara, 2016

El cálculo del índice se realiza de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 7: } I = \frac{vN}{m} \times 1000$$

I = Índice de peróxido en miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa.

v = Volumen de la solución de tiosulfato de sodio empleada en la titulación (mL).

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

m = Masa de grasa analizada (g).

## c) Ensayos adicionales de caracterización:

La caracterización se completó con la determinación del índice de acidez y del perfil lipídico. Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis de Alimentos y Productos Procesados-LASA; el cual cuenta con certificación del Servicio de Acreditación Ecuatoriana

(SAE). El perfil lipídico se realizó bajo la normativa AOAC 996.06 y AOAC 963.22 de la Asociación Oficial de Químicos Analistas (AOAC Internacional). En cuanto al índice de acidez, el mismo se efectuó bajo la metodología descrita en la norma INEN 38.

### 3.6 Pretratamientos de los reactivos:

#### a) Pretratamiento de la grasa de pollo:

El contenido de ácidos grasos libres fue el criterio para la selección del pretratamiento. A valores iguales o mayores al 3% en masa se debe realizar la esterificación de la muestra con metanol y en presencia de ácido sulfúrico para disminuir su concentración. Considerando que el índice de acidez obtenido fue inferior (anexo III), no fue necesaria la implementación de este tratamiento. El acondicionamiento de la materia prima se limitó sólo a su filtración al vacío para eliminar sólidos suspendidos e impurezas.

#### b) Activación del Catalizador:

Se realizó la calcinación de los óxidos en una mufla a 550°C durante cuatro horas para incrementar su pureza (Albis *et al* 2005). En orden de evitar la inactivación de los centros activos se procedió a su protección mediante su mezcla a 1200RPM con metanol a 50°C en condiciones de reflujo por 30 minutos de acuerdo a las proporciones estequiométricas establecidas en cada tratamiento.

### 3.7 Producción de biodiesel a escala de laboratorio:

La instalación experimental para el proceso constó de las siguientes partes: reactor agitado discontinuo, un sistema de calefacción y uno de condensación, tal como se muestra en la figura 7.

El reactor se armó utilizando como recipiente un balón de tres bocas de 500 mL. La boca central se conectó a un condensador para garantizar el reflujo de metanol. En una de las bocas laterales se acopló un termómetro digital con cronometro para monitorear tanto la temperatura como la duración de la reacción. La tercera boca sirvió para alimentar los reactivos al equipo y permaneció cerrada con un tapón por el resto de la operación.

En cuanto al sistema de calefacción, el mismo se conformó por una plancha de calentamiento con sistema de agitación magnético para fijar ambas variables de acuerdo a los rangos establecidos. Se dispuso un recipiente de vidrio sobre la plancha, en el cual reposó el reactor y cuya función fue garantizar el uniforme calentamiento del balón por medio de baño María.



Figura 7: Reactor discontinuo para transesterificación.  
Elaborado por: Guayara, 2016

El equipo fue utilizado tanto para la fase de protección del catalizador como para la realización de la transesterificación. En la primera etapa se adicionó al reactor metanol y el óxido de estudio. Posteriormente se ajustaron las condiciones de temperatura y agitación tal como se especificó en el pretratamiento. El monitoreo de estas variables se efectuó a lo largo de los 30 minutos que duró el proceso de acondicionamiento.

La reacción tomó lugar al añadir la grasa de pollo pre tratada al equipo por medio de un embudo. Una vez cerrado el reactor, se abrió el suministro de agua de refrigeración para el condensador y se fijó la temperatura a 60°C. Se controló la duración del proceso mediante un cronómetro. En caso de existir variaciones en la temperatura se vertía agua fría en el baño María para mantener el rango establecido. Una vez finalizada la operación se suspendía la agitación y se procedía con las operaciones con el acondicionamiento de los productos.

### 3.8 Purificación de los productos:

La purificación constó de tres etapas: destilación, decantación y filtración. A través de la destilación se recuperó el metanol en exceso. El contenido del balón luego se trasvasó a un embudo de decantación donde reposo por 24 horas. Luego de este período, se distinguió una fase pesada correspondiente a la glicerina, una intermedia en donde encontraba suspendido el catalizador y una ligera de biodiesel (figura 8). Las fases se filtraron al vacío para recuperar el catalizador gastado y cuantificar posibles impurezas por diferencia de peso. El volumen de cada una se midió con una probeta y se registró para cálculos ulteriores.



Figura 8: Fases formadas tras la transesterificación  
Fuente: Guayara, 2016

### 3.9 Ensayos de Caracterización del Biodiesel:

El rendimiento de la reacción fue el criterio para seleccionar el mejor tratamiento tanto de la serie que empleó óxido de calcio como aquella que utilizó óxido de magnesio como catalizador. A continuación se detallan los parámetros evaluados en el biocombustible, mismos que se compararon con requisitos la norma INEN2482 para establecer la calidad del producto obtenido.

a) Viscosidad:

Este parámetro se determinó utilizando un viscosímetro giratorio Cole Parmer, el cual cuenta con un rango de viscosidad de 20-2, 000,000 centipoises (cP). La medición se basó en el principio de rotación de un disco también conocido como husillo, el cual se sumerge en el fluido de estudio a una velocidad conocida lo que permite al equipo calcular su viscosidad a partir de la fuerza de torsión generada. A continuación se presenta un diagrama de bloque que detalla el procedimiento

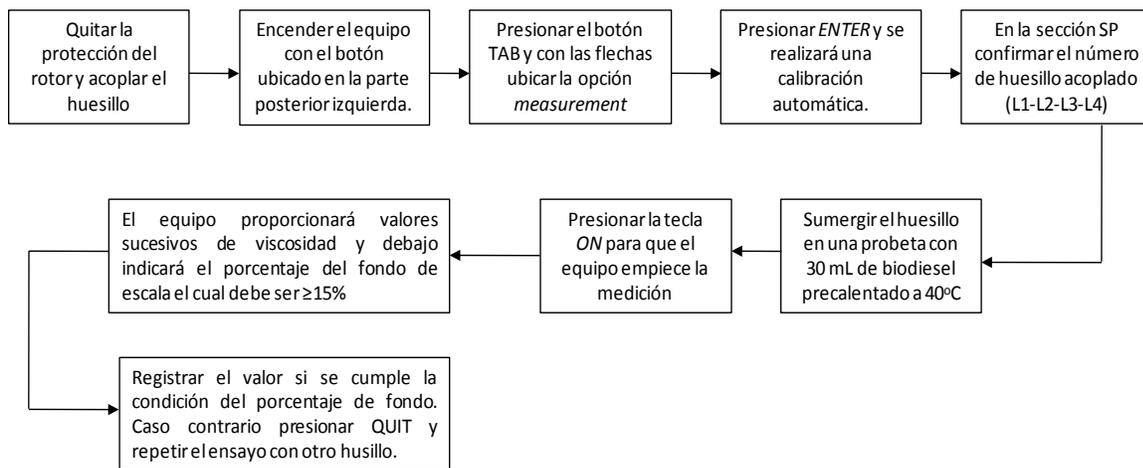


Figura 9: Diagrama de bloques sobre el uso del viscosímetro  
Elaborado por: Guayara, 2016

El resultado se reporta como viscosidad cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), por lo que se realizó la conversión de la viscosidad dinámica dada en el equipo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 8: } v = \left( \frac{\mu}{\rho} \right) * 100$$

$v$  = viscosidad cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

$\mu$  = viscosidad dinámica ( $\text{g}/\text{cm s}$ )

$\rho$  = densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

b) Densidad:

La densidad se calculó utilizando una probeta de 20mL. A través de la diferencia de pesos se estableció la masa de biodiesel contenida en dicho volumen, lo que permitió determinar la

densidad del compuesto. El valor normalizado se reportó a 15°C empleando la correlación descrita en el apéndice C de la norma EN14214 (Dinis, 2012). La expresión es aplicable sólo cuando la medición se realiza a temperaturas entre 20 a 40°C.

**Ecuación 9:**  $\rho_{15} = \rho_T + 0,723 * (T - 15)$

$\rho_{15}$  = densidad a 15°C (kg/ m<sup>3</sup>)

$\rho_T$  = densidad a una temperatura T (°C) (kg/m<sup>3</sup>)

c) Análisis especializados:

La tabla X resume los ensayos realizados en Laboratorio de Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional con sus respectivos métodos:

Tabla X: Ensayos de Caracterización contratados

<b>Ensayo</b>	<b>Unidades Parámetro</b>
Punto de Inflamación	°C
Sedimentos Básicos y Agua	% V
Azufre	%P
Corrosión a la Lámina de Cobre	Unidad de Corrosión
Índice de Cetano	-
Ensayo de destilación: temperatura al 90%	°C

Elaborado por: Guayara, 2016

El detalle completo de los ensayos con sus respectivas metodologías se encuentra en el anexo D referido a ensayos de caracterización del biocombustible.

## CAPITULO IV: Resultados

### 4.1 Caracterización de la grasa de pollo residual:

#### a) Índice de Saponificación:

Tabla XI: Índice de Saponificación de la Grasa de Pollo Residual

Muestras	Volumen gastado en la titulación (mL)	Índice de saponificación (mg KOH/g grasa de pollo)
M1	0,30	310,42
M2	0,40	309,49
M3	0,42	309,30
Blanco	33,5	-
Media		309,74
Varianza		0,36
Desviación Estándar		0,60
Coeficiente de Variación		0,19

Elaborado por: Guayara, 2016

El valor promedio para el índice fue de 309,74 mg KOH/g de grasa (Tabla XI). El coeficiente de variación de 0,19% y la desviación estándar de 0,60 mg KOH/g de grasa indican respectivamente una baja variabilidad y dispersión de los datos con respecto a la media. Este valor fue de utilidad en el diseño del proceso debido a que permitió calcular la masa molecular promedio de la grasa de pollo; la cual se empleó para determinar el volumen de metanol por tratamiento.

El índice de saponificación permite estimar de manera indirecta el contenido de triglicéridos de una muestra. El valor promedio obtenido es alto por lo cual la materia prima empleada es idónea para la realización del proceso. Se debe puntualizar que este valor también es un referente de la producción de jabón que pudiese generarse si las condiciones de reacción no fuesen adecuadas.

b) Índice de peróxido :

Tabla XII: Índice de Peróxido de la Grasa de Pollo Residual:

Muestras	Volumen gastado en la titulación (mL)	Índice de saponificación (miliequivalentes O <sub>2</sub> /Kg grasa)
M1	5,0	100
M2	5,0	100
M3	4,9	98
Blanco	0,1	2
Media		99,33
Varianza		1,33
Desviación Estándar		1,15
Coeficiente de Variación		1,16

Elaborado por: Guayara, 2016

Los ensayos determinaron que el índice de peróxido promedio fue de 99,33 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra (Tabla XII). El índice permitió determinar el grado de oxidación de la grasa, la cual era propensa a esta degradación al provenir de un proceso de cocción. El valor promedio obtenido se encuentra casi veinte veces por arriba del límite superior establecido para el rango de aceites y grasas vírgenes el cual va de 0-5 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra. En base al alto valor en este parámetro se puede esperar una pobre estabilidad oxidativa en el biodiesel resultante.

c) Perfil lipídico:

Tabla XIII: Perfil Lipídico de la Grasa de Pollo Residual

Screening General de Ácidos Grasos		
Parámetros	Resultados (%)	Métodos
Ácido Grasos Saturados	31,94	AOAC 996.06 AOAC 963.22
Ácidos grasos mono insaturadas	5,20	
Ácidos Grasos poli insaturados	13,68	
Ácidos Grasos Trans	0,17	NTE INEN 38
Índice de acidez	0,1	

Elaborado por: Guayara, 2016

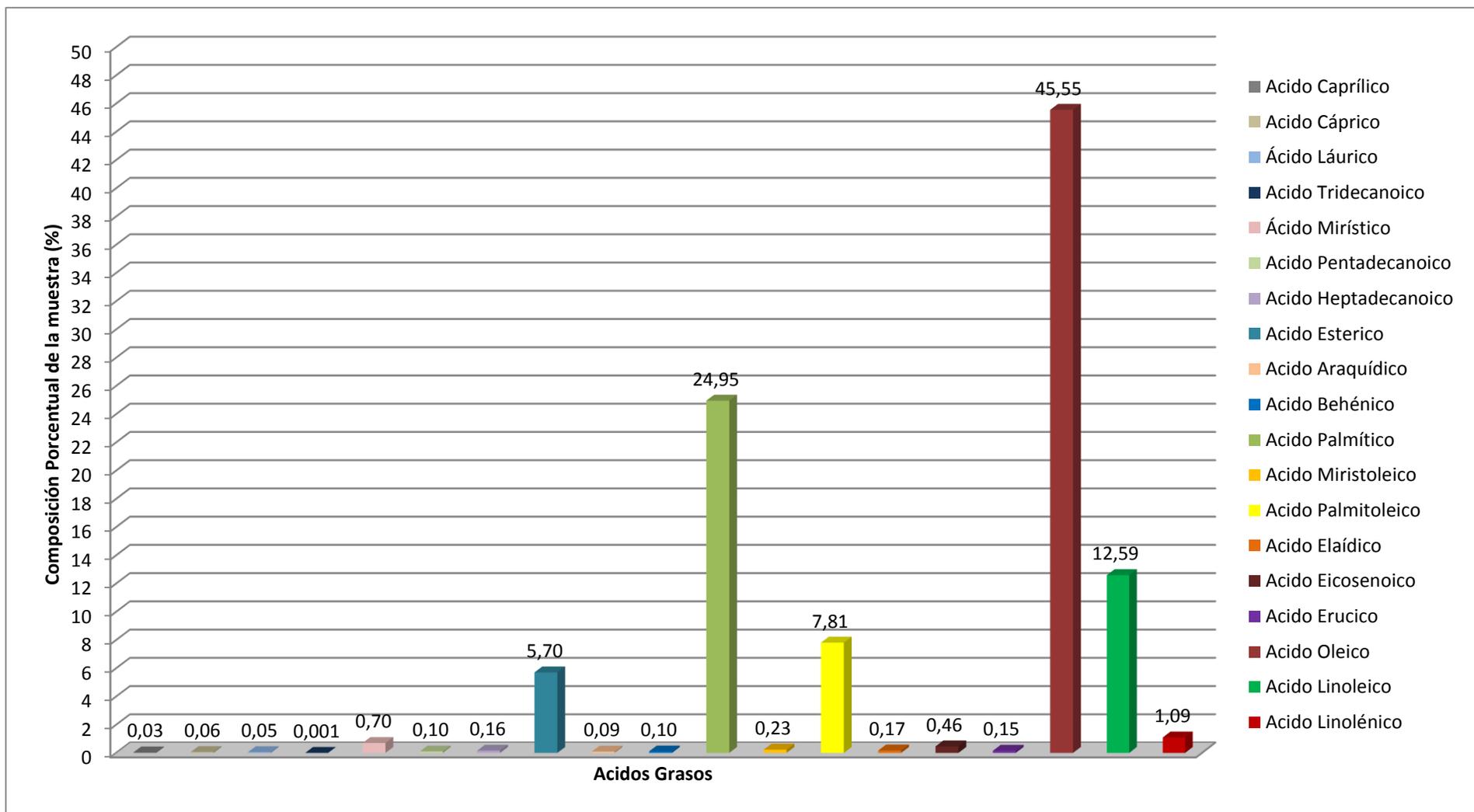


Figura 10: Diagrama de barras de la composición porcentual de la grasa pollo residual. Elaborado por: Guayara, 2016

El perfil lipídico de la grasa de estudio reveló que priman en un 54,20% los ácidos grasos mono insaturados, principalmente el ácido oléico con una concentración del 45,55% ( Figura 10). Los ácidos grasos saturados constituyen el 31,94% de la muestra, siendo el ácido palmítico el preponderante de esta clasificación con un 24,95%. En menor proporción se encuentran los ácidos grasos poli insaturados con un 13,68% del cual el ácido linoleico abarca el 12,59%. Se debe destacar el bajo contenido de ácidos grasos trans y un índice de acidez de apenas el 0,1% lo que indica niveles mínimos de ácidos grasos libres. El detalle completo del perfil se encuentra en el Anexo C referido a ensayos de caracterización contratados.

#### 4.2 Efectividad de los tratamientos:

##### 4.2.1 Transesterificación con óxido de calcio:

Tabla XIV: Resultados del proceso empleando Oxido de Calcio como catalizador

Tratamiento	PPC	RMAC	Densidad grasa de pollo (g/mL)	Volumen de grasa (mL/tratamiento)	Volumen de biodiesel obtenido (mL)	Masa de biodiesel obtenida (g)	Rendimiento del proceso (%)
T1	2	6,00	0,86	186,30	29,00	23,93	14,95
T5	1	12,00	0,86	186,30	160,00	132,00	82,50
T7	1	6,00	0,82	196,07	129,00	106,43	66,52
T8	2	12,00	0,91	175,95	148,00	122,10	76,31
T9	2	6,00	0,83	193,49	26,00	21,45	13,41
T13	1	12,00	0,81	197,01	175,00	144,38	90,23
T15	1	6,00	0,76	209,56	127,00	104,78	65,48
T16	2	12,00	0,80	200,66	147,00	121,28	75,80

Elaborado por: Guayara, 2016

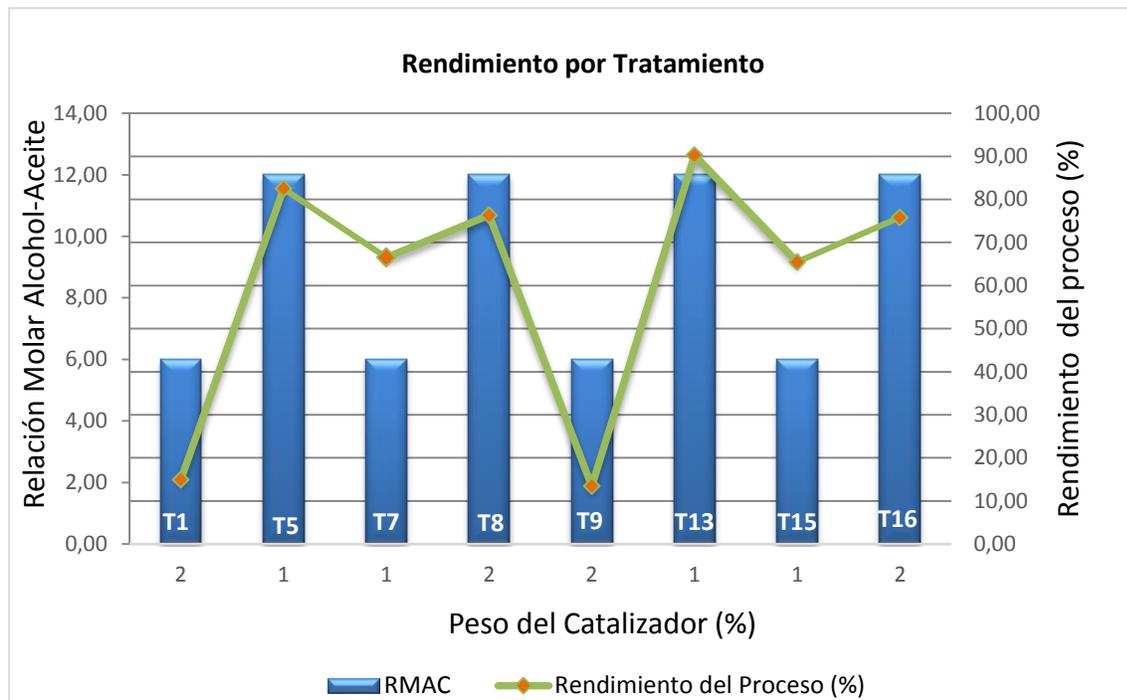


Figura 11: Rendimiento de los procesos con CaO. Elaborado por: Guayara, 2016

En la totalidad de experimentos planteados con este catalizador se generó la transesterificación. El rendimiento máximo obtenido fue de 90,23% y el mínimo de 13,41% correspondientes a los tratamientos T13 y T9 respectivamente (Tabla XIV).

La figura 11 evidencia claramente una mayor efectividad con una relación molar alcohol-aceite de 12:1; mostrando en todos los casos rendimientos sobre el 50%. El uso del 1% en peso de catalizador generó rendimientos mayores respecto al valor superior asignado a esta variable.

A lo largo de los ensayos se recuperaron y cuantificaron reactivos, catalizadores y subproductos, los cuales se detallan en la tabla XV. La determinación de la tasa de recuperación de metanol (TMR) se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 10: } TMR = \frac{MRD}{MDT} \times 100$$

MRD: Metanol recuperado de la destilación, en mL.

MDT: Metanol dosificado por tratamiento, en mL.

Tabla XV: Cuantificación de subproductos generados en la reacción con CaO

Tratamiento	Catalizador gastado en base húmeda (g)	Contenido jabón (g)	Glicerina recuperada (mL)	Metanol recuperado (mL)	Tasa de metanol recuperado (%)
T1	1,43	29,57	15,00	34,00	47,47
T5	0,80	4,84	28,00	80,00	55,85
T7	6,99	8,11	18,00	40,000	55,85
T8	2,66	12,81	21,00	90,00	62,83
T9	1,43	29,99	14,00	41,00	57,25
T13	0,80	4,69	38,00	85,00	59,34
T15	6,90	8,08	21,00	30,00	41,89
T16	3,60	13,12	28,40	87,00	60,74

Elaborado por: Guayara, 2016

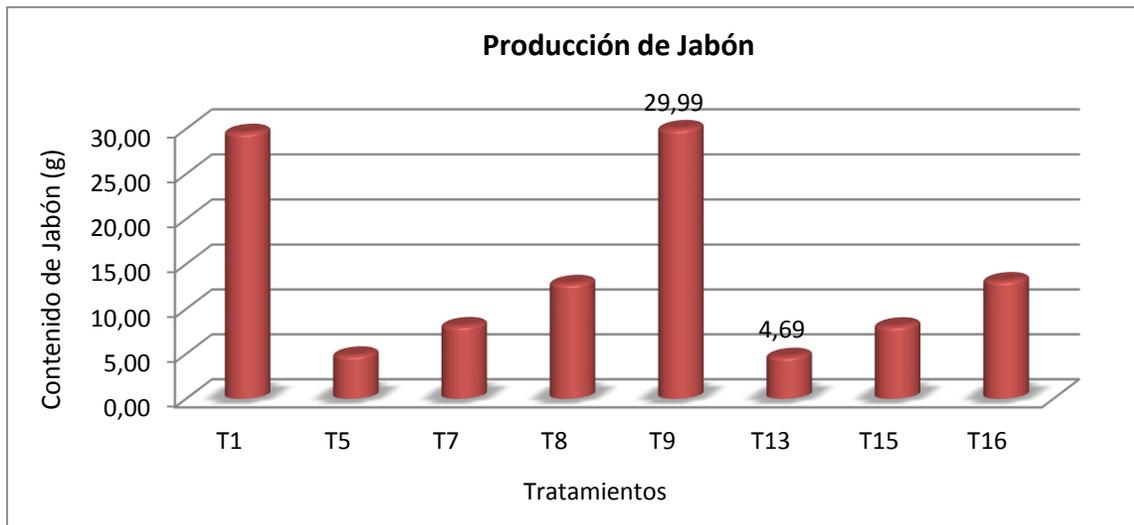


Figura 12: Producción de jabón empleando CaO como catalizador. Elaborado por: Guayara, 2016

El contenido de jabón fue un subproducto no deseado detectado en todos los ensayos. El valor máximo registrado fue de 29,99 g y el mínimo de 4,69 g correspondientes a los tratamientos T9 y T13 (Figura12). Se debe acotar que los experimentos descritos coinciden respectivamente con aquellos que presentaron el menor y mayor rendimiento de biodiesel lo cual es congruente puesto que lo que no se transesterifica tiende a saponificarse; a mayor producción de biodiesel menor generación de jabón y viceversa.

En relación a los otros subproductos, se obtuvo un máximo de glicerina de 38,0 mL y un mínimo de 14,00 mL. La tasa promedio de recuperación de metanol fue de 55,15% siendo la del tratamiento de mayor rendimiento de 59,34% (Tabla XV). La medición del catalizador gastado se realizó por diferencia de peso tras la filtración. Se obtuvo en el ensayo T13 un valor de 0,80g de catalizador en base húmeda representando el 50% de la cantidad dosificada en el proceso; lo cual ubicaría la recuperación en base seca en torno a este porcentaje.

#### 4.2.2 Transesterificación con oxido de magnesio:

Tabla XVI: Resultados del proceso empleando óxido de magnesio como catalizador

Tratamiento	PPC	RMAC	Densidad grasa de pollo (g/mL)	Volumen de grasa (mL/tratamiento)	Volumen de biodiesel obtenido (mL)	Masa de biodiesel obtenida (g)	Rendimiento del proceso (%)
T2	1	12	0,85	188,20	41,00	33,83	21,4
T3	2	6	0,87	183,71	4,60	3,80	2,37
T4	1	6	0,88	181,71	6,00	4,95	3,09
T6	2	12	0,87	182,87	20,00	16,50	10,31
T10	1	12	0,85	188,19	43,00	35,48	22,17
T11	2	6	0,85	188,10	5,20	4,29	2,68
T12	1	6	0,85	188,17	6,40	5,28	3,30
T14	2	12	0,85	188,00	22,00	18,15	11,34

Fuente: Guayara, 2016

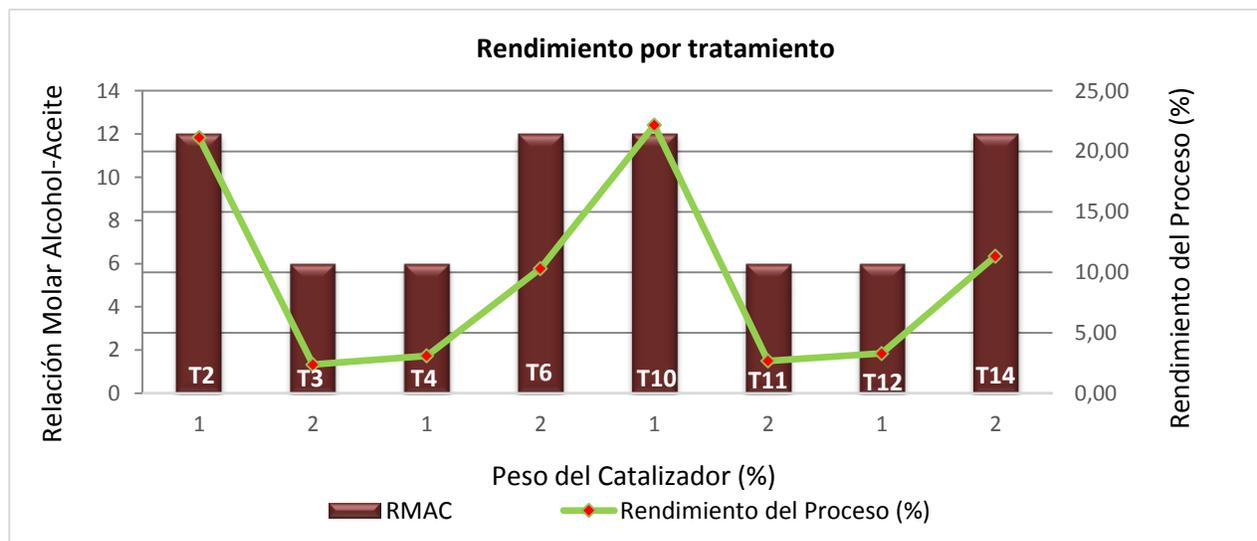


Figura 13: Rendimiento de los procesos con MgO. Elaborado por: Guayara, 2016

Los experimentos con óxido de magnesio demostraron que a pesar de producir biodiesel en todos los ensayos la efectividad del proceso tiende a ser baja. El mayor rendimiento registrado fue de 22,17% y el menor de 2,37% en los tratamientos T10 y T3 respectivamente (Tabla XVI).

La figura 13 indica que todos los procesos llevados a cabo con una relación molar alcohol-aceite 6:1 obtuvieron rendimientos menores al 5%. Igualmente se aprecia que los ensayos que emplearon un 1% en peso de catalizador indistintamente de la RMAC obtuvieron mejores resultados con relación aquellos realizados con un 2% cuyos rendimientos no sobrepasaron el 11,34%.

La grasa sin reaccionar causada por la baja conversión del proceso fue el principal subproducto no deseado. Su volumen máximo fue de 138 mL y el mínimo de 80 mL correspondientes a los tratamientos T4 y T14 respectivamente (Figura 14). La grasa mostraba un deterioro con un aspecto viscoso y coloración oscura posiblemente resultado de un proceso de oxidación térmica; lo cual dificultaría su reproceso al verse comprometidas sus propiedades como materia prima. El anexo 4 incluye evidencias fotográficas de la condición que presentaba esta sustancia grasa.

En cuanto a los otros subproductos, se registró una tasa de recuperación de metanol del 45,90%. La glicerina obtenida estaba dentro del rango de 1,20 a 17,00 mL (Tabla XVII). Los valores sobre el catalizador gastado en base húmeda presentaron un máximo de 21,66 g y un mínimo de 6,28g. Se debe mencionar que su separación presentó dificultades puesto que la división de fases no era definida y el mismo se encontraba formando una suspensión con metanol que no reaccionó (anexo K) cuya filtración no era tan efectiva.

Tabla XVII: Cuantificación de subproductos generados de la reacción con MgO

Tratamientos	Catalizador gastado base húmeda (g)	Grasa sin reaccionar (mL)	Glicerina Recuperada (mL)	Metanol Recuperado (mL)	Tasa de Metanol Recuperado (%)
T2	6,17	85,00	19,00	70,00	48,87
T3	21,66	108,00	3,20	32,00	44,68
T4	12,81	138,00	1,20	30,00	41,89
T6	13,31	82,00	4,60	71,00	49,57
T10	6,28	92,00	17,00	71,00	49,57
T11	19,86	106,00	3,32	33,00	46,08
T12	12,64	135,00	1,00	28,00	39,10
T14	13,45	80,00	5,00	68,00	47,47

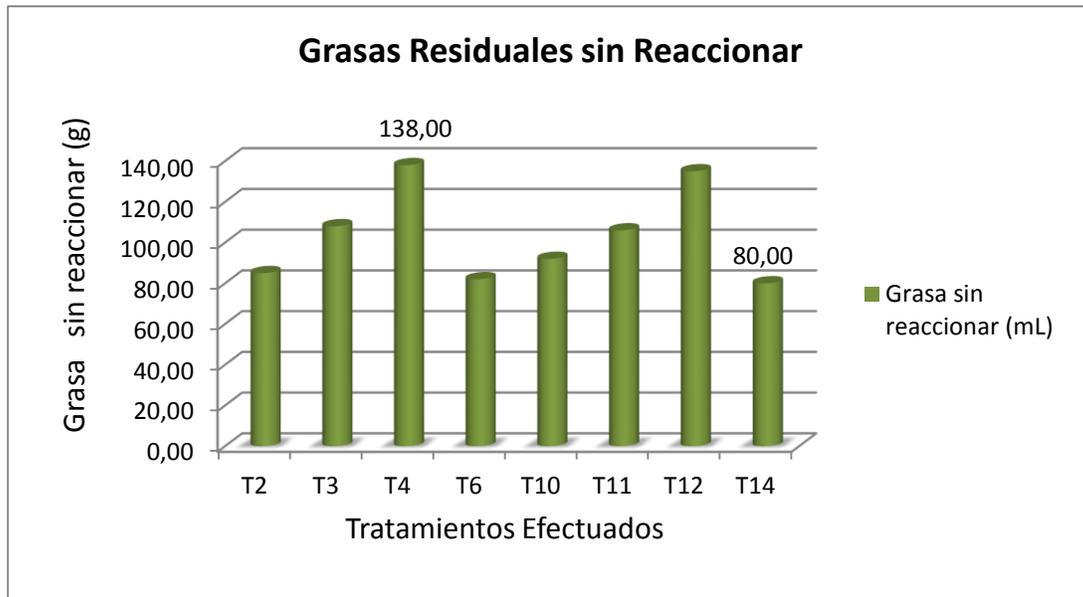


Figura 14: Producción de grasa sin reaccionar empleando MgO como catalizador.  
Elaborado por: Guayara, 2016

### 4.3 Caracterización del biodiesel obtenido:

Tabla XVIII: Caracterización del biodiesel obtenido a las mejores condiciones experimentales

Parámetros	Unidad	Valor Obtenido	Requisitos Biodiesel Norma INEN 2482		Requisitos Diesel No.2 Norma INEN 1489	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Densidad a 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	825	860	890	-	-
Punto de Inflamación	°C	63	120	-	51	-
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	1A	-	3	-	3
Temperatura de destilación al 90%recuperado	°C	337	-	360	-	360
Viscosidad Cinemática a40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,848	3,5	5	2,5	6,0
Índice de Cetano	-	48,3	49	-	45	-
Agua y sedimentos	%	<0,05	-	0,05	-	0,05
Contenido de azufre	%	0,023	-	-	-	0,7

Elaborado por: Guayara, 2016

El biodiesel evaluado se obtuvo realizando la transesterificación bajo las mejores condiciones experimentales las cuales fueron: una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de óxido de calcio como catalizador. La tabla XVIII indica los resultados de los parámetros de caracterización con los respectivos límites establecidos tanto para el biodiesel como para el diesel No.2, el cual es utilizado como combustible en automotores de diesel y en equipos industriales. Las propiedades y sus valores se especifican a continuación:

#### a) Corrosión a la lámina de cobre:

Este parámetro se analiza mediante una clasificación que indica gradualmente un aumento en el deterioro del material por este fenómeno. La escala normada va de 1 a 4 siendo el requisito máximo permitido para el biodiesel de 3. El valor obtenido (1A) corresponde a la clasificación más baja por lo que los efectos por corrosión en aleaciones metálicas serán mínimos.

b) Viscosidad cinemática:

El rango establecido para esta propiedad va de 3,5 a 5,0 mm<sup>2</sup>/s. El resultado obtenido (3,84 mm<sup>2</sup>/s) cumple con las especificaciones lo cual facilita el flujo del compuesto a través de sistemas de bombeo o de inyección.

c) Contenido de azufre:

El valor obtenido (0,023%) debe referirse a la norma INEN 1489 del diesel No. 2. El valor máximo permitido por la norma es de 0,7%, por lo cual el resultado no sólo cumple el requisito sino que es 30 veces menor su límite.

d) Temperatura de destilación al 90% recuperado:

El parámetro permite establecer si existe la presencia de compuestos pesados con altos puntos de ebullición en la muestra. La temperatura máxima permitida para el biodiesel es de 360°C por que el valor reportado (337°C) es satisfactorio, indicando que no existe la contaminación del biocombustible por este tipo de compuestos.

e) Agua y Sedimentos:

El contenido de agua y sedimentos reportado es menor al 0,05% razón por la cual se ajusta a los requerimientos establecidos. Los niveles bajos de los mismos evitarían respectivamente problemas asociados a la corrosión y al taponamiento de filtros o inyectores.

f) Punto de Inflamación:

El punto de inflamación obtenido (63°C) es casi la mitad de lo aceptado para el biodiesel (120°C). Esta diferencia se debió al metanol en exceso que todavía se encontraba disuelto en el biocombustible. Se debe puntualizar que de acuerdo a los requisitos del diesel No.2 este parámetro sí se encontraría bajo norma.

g) Índice de Cetano:

El biodiesel no cumplió con el rango permisible, sin embargo, la diferencia con el valor mínimo (49) es de apenas 0,70; respecto a lo especificado para el diesel No.2 se cumple con el requerimiento al sobrepasar el valor de 45.

h) Densidad:

La densidad promedio determinada para los tratamientos fue de 825 Kg/m<sup>3</sup>, el error respecto al límite inferior establecido por la norma fue de 4,06%. La diferencia puede deberse a la presencia de otros compuestos disueltos.

4.4 Tratamiento estadístico de los datos:

El análisis estadístico contempló la determinación de los intervalos de confianza para el rendimiento de la reacción respecto a cada variable de estudio, así como un análisis de la varianza (ANOVA). A partir de los mismos se evaluó la incidencia de cada factor, se contrastó la efectividad de los catalizadores y se determinó las condiciones óptimas de reacción. Los análisis fueron efectuados utilizando el programa estadístico *Statgraphics Centurion* presentando un nivel de confianza del 95,0%. Las Tablas XIX y XX detallan los resultados obtenidos.

Tabla XIX: Límites de Confianza y Análisis ANOVA de los tratamientos con CaO

Factor	Nivel	Rendimiento de la Reacción (%)		
		Media	Límite Inferior	Límite Superior
RMAC	6	40,09	22,91	57,27
	12	81,21	64,03	98,39
PPC	1	76,18	59,00	96,36
	2	45,12	27,94	62,3
Efectos Principales		Valor P		
RMAC		0,0074		
PPC		0,0218		

Elaborado por: Guayara, 2016

Los valores-P resultantes del ANOVA permitieron determinar si las diferencias en el rendimiento de la reacción causadas por cada factor fueron estadísticamente significativas tomando como criterio todos los valores menores a 0,05 (Statpoint, 2010). De acuerdo a la tabla XV tanto la relación molar alcohol-aceite (0,0074) como el porcentaje en peso del óxido de calcio (0,0218) fueron considerados variables significativas y por tanto inciden directamente en el rendimiento.

Las figuras 15 y 16 representan los límites de confianza para los niveles asignados a cada variable. A través de las mismas se evidencia claramente como mejores condiciones de reacción una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de catalizador. Los límites inferiores calculados para el rendimiento de la reacción en cada uno de los niveles óptimos sobrepasan el 58% y los superiores son mayores al 96%

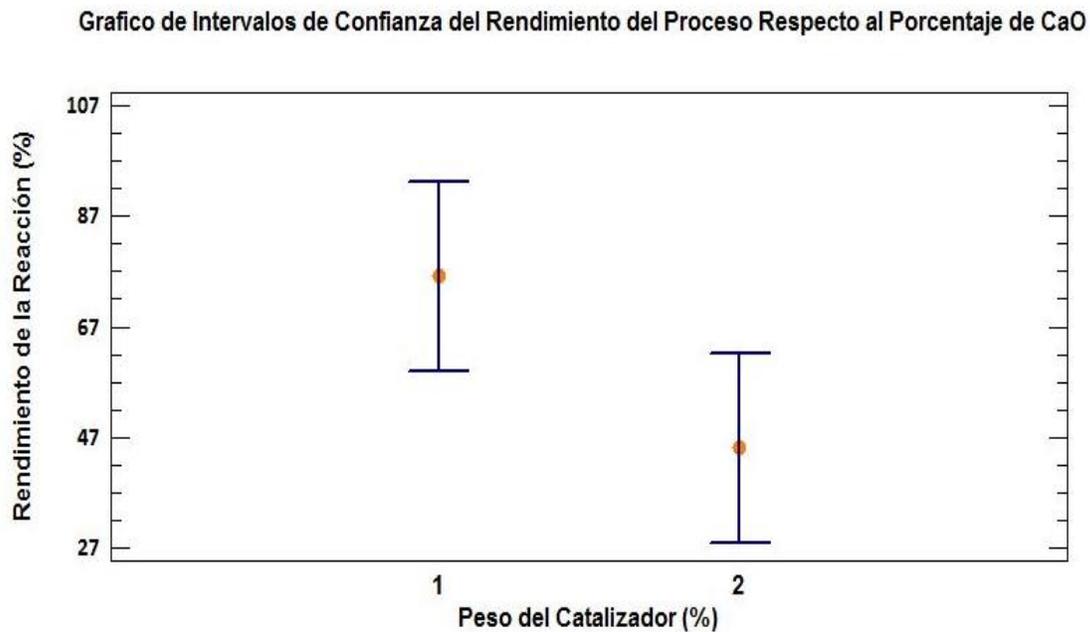


Figura 15: Intervalos de confianza del rendimiento respecto al porcentaje de CaO.

Elaborado por: Guayara, 2016

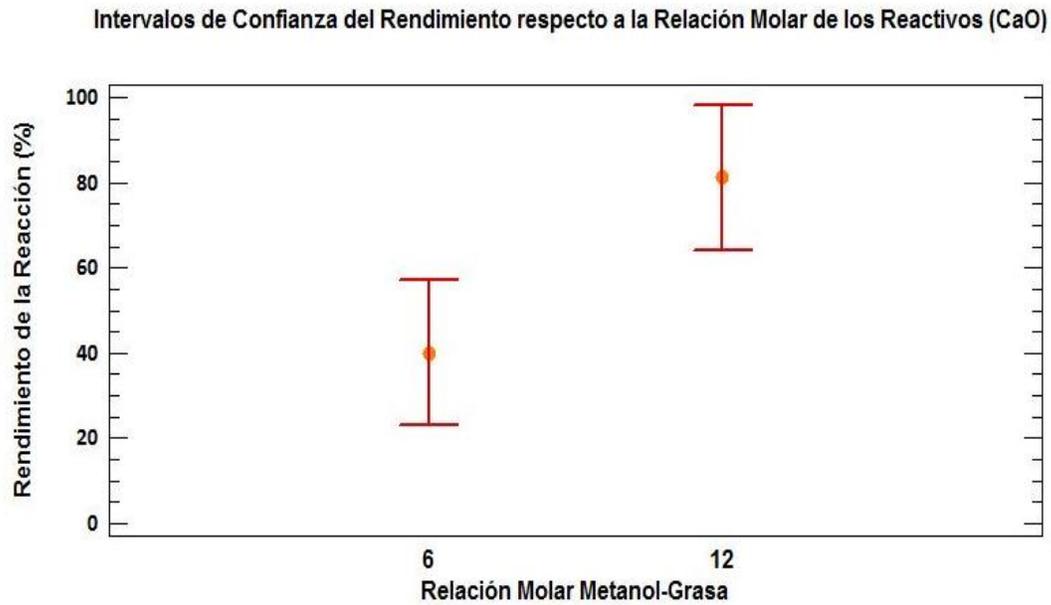


Figura 16: Intervalos de confianza del rendimiento respecto a la RMAC (CaO).

Elaborado por: Guayara, 2016

Tabla XX: Límites de Confianza y Análisis ANOVA de los tratamientos con MgO

Factor	Nivel	Rendimiento de la Reacción (%)		
		Media	Límite Inferior	Límite Superior
RMAC	6	2,86	0,00	7,03
	12	16,24	12,07	20,41
PPC	1	12,43	8,25	16,60
	2	6,68	2,50	10,85
Efectos Principales		Valor P		
RMAC		0,0021		
PPC		0,0542		

Elaborado por: Guayara, 2016

Centrándose en los tratamientos con óxido de magnesio y de acuerdo a los valores P presentados en la tabla XX se determinó que la relación molar alcohol-aceite es una variable significativa. En cuanto al porcentaje en peso del catalizador esta variable presentó un valor mayor a 0,05; lo cual indica que las diferencias estadísticas debido a sus distintos niveles no fueron significativas y por tanto el rendimiento no depende directamente de este factor.

Las mejores condiciones para la transesterificación fueron una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de catalizador tal como se evidencia en las figuras 17 y 18 que representan los intervalos de confianza del rendimiento respecto a cada variable. Los límites superiores en general reflejaron una baja efectividad del proceso puesto que ninguno sobrepasó el 20% de rendimiento.

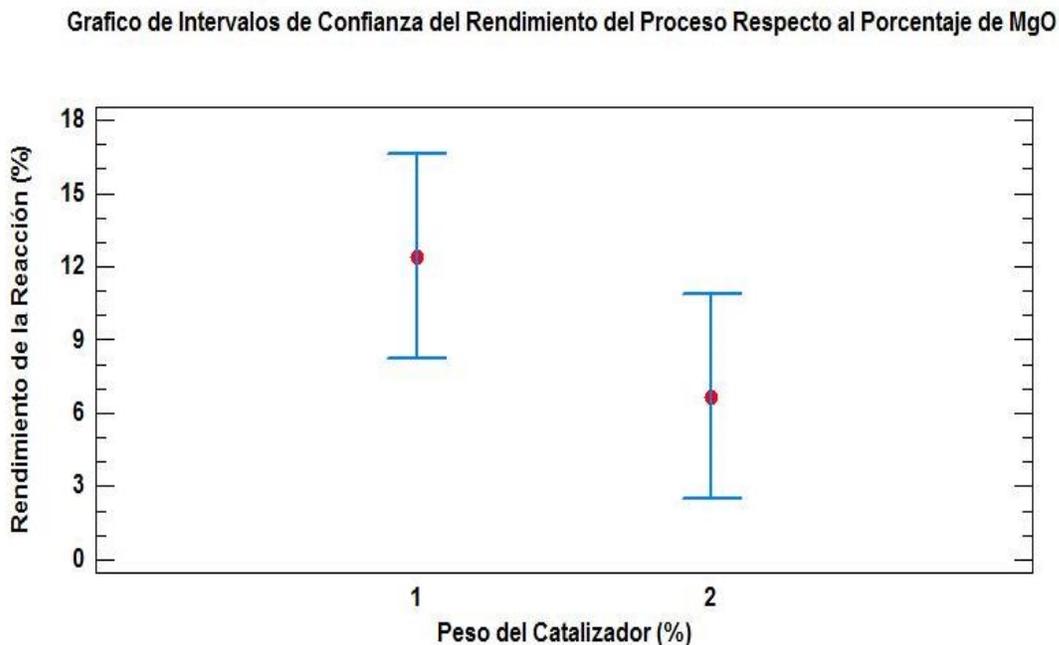


Figura 17: Intervalos de confianza respecto al porcentaje de MgO.

Elaborado por: Guayara, 2016.

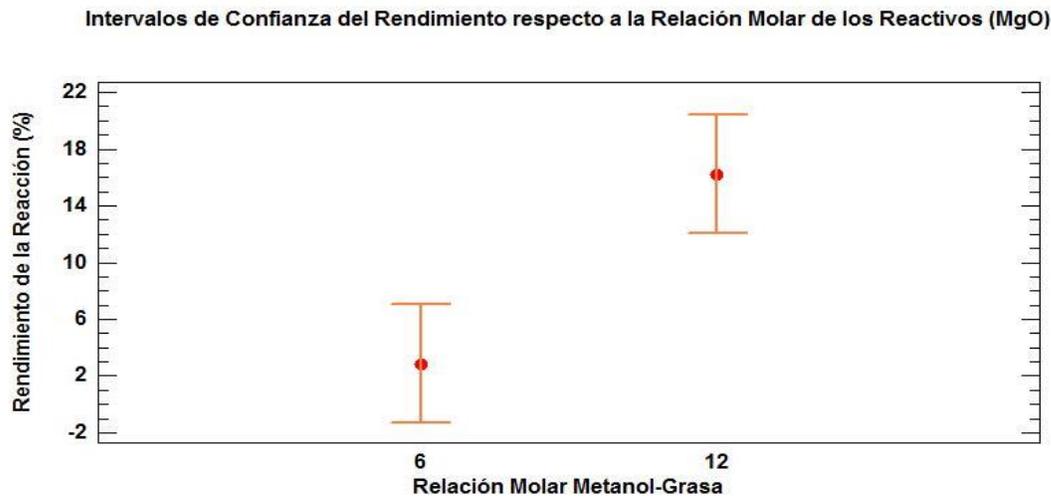


Figura 18: Intervalos de confianza del rendimiento respecto a la RMAC (MgO).

Elaborado por: Guayara, 2016.

#### 4.5 Aplicación Práctica:

Una vez determinadas las mejores condiciones de transesterificación se procedió a realizar un estudio económico preliminar; el cual sirvió para evaluar si era viable la implementación de este sistema productivo en la cadena de supermercados situados en Quito. El estudio contempló un análisis de la demanda del biocombustible, la determinación y costeo de los requerimientos de materias primas, insumos, fuerza de trabajo, equipos e instalaciones necesarios para la adecuación de una planta, así como el cálculo de indicadores económicos.

##### 4.5.1 Capacidad productiva de los Supermercados:

En orden de dar una aplicación con atractivo económico a esta investigación se evaluó la implementación de una planta de biodiesel a escala industrial en la ciudad de Quito. El material graso a emplear como materia prima sería la grasa de pollo residual generada en los 20 supermercados de la Corporación la Favorita ubicados en la capital. La capacidad productiva de los supermercados se calculó en base a los datos obtenidos en la fase experimental y a la producción estimada de grasa residual del Megamaxi-El Condado. La tabla XXI indica los valores referenciales empleados, se debe puntualizar que se estableció como rendimiento del

proceso un 82,50% correspondiente al obtenido bajo condiciones óptimas de reacción. Se asignó un porcentaje de material graso no aprovechable del 30%, considerando remantes sólidos del pollo.

Tabla XXI: Datos Referenciales para determinar la Capacidad Productiva

Establecimiento Base: Megamaxi-El Condado		
Producción Mensual de Grasa de Pollo Residual	90	L/mes
Material Graso no Aprovechable (30%)	27	L/mes
Grasa Aprovechable como Materia Prima	63	L/mes
Tasa de Conversión a Biodiesel	82,50	%
Tasa de Conversión a Glicerina	14,52	%
Tasa de Conversión a Jabón	2,98	%
Densidad Promedio Grasa de Pollo Residual	0,869	Kg/L
Densidad Promedio del Biodiesel	0,825	Kg/L
Densidad Glicerina	1,26	Kg/L

Elaborado por: Guayara, 2016

La tabla XXII resume la producción semanal por establecimiento. A continuación se ejemplifica como se efectuaron los cálculos:

Producción Semanal Grasa de Pollo Residual:

$$\frac{63 \text{ L grasa}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} \times \frac{0,869 \text{ Kg grasa}}{\text{L grasa}} = \frac{13,69 \text{ Kg Grasa}}{\text{semana}}$$

Producción de Biodiesel:

$$\frac{13,69 \text{ Kg grasa}}{\text{semana}} \times \frac{0,8250 \text{ Kg Biodiesel}}{\text{Kg grasa}} = \frac{11,29 \text{ Kg Biodiesel}}{\text{semana}} \times \frac{1 \text{ L biodiesel}}{0,825 \text{ Kg de biodiesel}} = \frac{13,69 \text{ L Biodiesel}}{\text{semana}}$$

Producción de Glicerina:

$$\frac{13,69 \text{ Kg grasa}}{\text{semana}} \times \frac{0,1452 \text{ Kg Glicerina}}{\text{Kg grasa}} = \frac{1,99 \text{ Kg Glicerina}}{\text{semana}} \times \frac{1 \text{ L Glicerina}}{1,26 \text{ Kg Glicerina}} = \frac{1,58 \text{ L Glicerina}}{\text{semana}}$$

Tabla XXII: Producción Semanal de Grasa de la Cadena de Supermercados en Quito

Locales	Producción de Grasa Residual (L/semana)	Producción de Grasa Residual (Kg/semana)	Producción de Biodiesel (Kg/semana)	Producción de Glicerina (kg/semana)	Producción de Biodiesel (L/semana)	Producción de Glicerina (L/semana)
Megamaxi El Condado	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Megamaxi El Recreo	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Megamaxi Quicentro Sur	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Megamaxi 6 de Diciembre	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Megamaxi San Luis	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Megamaxi Escala Shopping	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi América	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Carcelén	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi 12 de Octubre	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Cumbaya	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi El Bosque	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi El Jardín	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Eloy Alfaro	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Ñaquito	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Multicentro	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Plaza Aeropuerto	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Plaza Atahualpa	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Plaza del Norte	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Plaza del Valle	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
Supermaxi Tumbaco	15,75	13,69	11,29	1,99	13,69	1,58
<b>Total</b>	<b>315,0</b>	<b>273,74</b>	<b>225,83</b>	<b>39,75</b>	<b>273,74</b>	<b>31,54</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

A partir de la producción unificada de los establecimientos se efectuaron los cálculos mensuales y anuales (Tabla XXIII), los cuales sirvieron para determinar el volumen de biodiesel y glicerina que serían ofertados en el mercado.

Tabla XXIII: Producción de Biodiesel y Glicerina Unificada

Capacidad Productiva Cadena de Supermercados Supermaxi - Megamaxi en Quito		Unidades
Producción de Grasa de Pollo Residual	1260,00	L/mes
Producción de Grasa de Pollo Residual	1094,94	Kg/mes
Producción de Biodiesel	903,33	Kg/mes
Producción de Glicerina	158,99	Kg/mes
Producción de Biodiesel	1094,94	L/mes
Producción de Glicerina	126,18	L/mes
Producción Anual de Grasa de Pollo Residual	15120	L/año
Producción de Biodiesel	13139,28	L/año
Producción de Glicerina	1514,15	L/año

Elaborado por: Guayara, 2016

La demanda nacional del biocombustible se estimó de acuerdo a las disposiciones establecidas en el Decreto Ejecutivo 1303 (anexo I) en el cual se estipuló que el diesel comercializado en el país debe contener un 5% de biodiesel. De acuerdo al Banco Central del Ecuador, la demanda de derivados de petróleo fue de 92,8 millones de barriles en 2015. El diesel constituyó el 35,67% de la demanda, por tanto se consumió 33,1 millones de barriles. En base al criterio mencionado, se puede afirmar que la demanda del biocombustible para ese período fue de 1,66 millones de barriles.

En cuanto al panorama internacional, la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional- FEDAPAL, reportó exportaciones de biodiesel por 552 toneladas métrica en 2015. Ante lo expuesto anteriormente, se asume que la producción que generaría la cadena de supermercados (15120L/año) se comercializaría en su totalidad al representar una mínima parte de los requerimientos del mercado.

#### 4.5.2 Descripción de la Planta:

Se seleccionó como proveedor de equipos a la empresa Efuels, la cual cuenta con una planta compacta de gama media (ECO125) compuesta de: un reactor con capacidad de 125L,

sistema de calentamiento semiautomático, mezclador de metanol-catalizador integrado, bombas INOX, sistema de recuperación de metanol, deposito decantador externo y un sistema de lavado en seco de biodiesel. La tabla XXIV detalla las características del equipo. En el anexo E se presenta la cotización de la planta y una descripción ampliada de la misma.

Tabla XXIV: Características del Convertidor de Gama Media ECO125

Especificaciones		Unidades
Material de Construcción	Acero Inoxidable	-
Capacidad del Reactor	125	L
Lotes máximos	2	Lotes/día
Potencia Total	3,5	KW
Medidas	60*60 *140	cm
Peso	150	Kg
Tasa de Recuperación de Metanol	30	%
Acidez máxima de las grasa o aceites empleadas	7	-
Sistema de lavado en Seco de Biodiesel Integrado:		
Torre de purificación (rellena con minerales adsorbentes)	500x200	mm
Luz del Filtro semipermeable	3	µm

Elaborado por: Guayara, 2016

#### 4.5.3. Manejo de la planta y su estructura de costos:

- Materias Primas:

En base a la producción de grasa residual de los supermercados por semana (315L) se organizó su procesamiento en lotes diarios de 63 L (54,747Kg). La tabla XXV establece los requerimientos de reactivos por lote junto con su proyección mensual y anual. Las condiciones de reacción se ajustarán a las que demostraron el mejor rendimiento experimental. El cálculo del volumen de metanol y de la cantidad de catalizador se basó en las ecuaciones 4 y 5 presentadas en la metodología.

Calculo de Metanol por lote:

$$V_{\text{metanol}} = \left( 54747 \text{ g grasa} \times \frac{12 \text{ moles metanol}}{\text{mol grasa}} \times \frac{32,04 \text{ g metanol mol}^{-1}}{542,41 \text{ g grasa mol}^{-1}} \right) \times \frac{\text{L}}{790 \text{ g metanol}}$$

$$m_{\text{metanol}} = 49,01 \text{ L}$$

Calculo de Oxido de Calcio:

$$m_{CaO} = 54747 \text{ g grasa} \times \frac{0,01 \text{ g CaO}}{\text{g grasa}}$$

$$m_{CaO} = 547,47 \text{ g CaO}$$

Tabla XXV: Requerimiento de Reactivos del Sistema Productivo

Materia Prima	Requerimientos por Lote	Recuperación de Reactivos	Requerimientos Netos por Lote	Requerimientos Mensuales	Requerimiento Anual
Grasa de pollo residual (L)	63,00	0,00	63,00	1260,00	15120,00
Metanol (L)	49,01	14,70	34,31	686,15	8233,83
Oxido de Calcio (Kg)	0,55	0,00	0,55	10,95	131,393

Elaborado por: Guayara, 2016

Los costos anuales (Tabla XXVI) se calcularon en base a precios referenciales que se encuentran respaldados por las cotizaciones presentadas en los anexo F. Los precios tomados para el metanol y el óxido de calcio fueron de \$3,57/L y \$50/Kg respectivamente. En cuanto a la grasa de pollo se consideró un valor de \$0,00/L dado que constituye un residuo perteneciente a la empresa.

Tabla XXVI: Costos de Materias Primas

Materia Prima	Costo Materia Prima (\$/mes)	Costo Materia Prima Anual (\$/año)
Grasa de pollo residual	0,00	0,00
Metanol	2449,56	29394,77
Oxido de Calcio	547,47	6569,64
<b>TOTAL</b>	<b>2997,03</b>	<b>35964,41</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

- Insumos:

Los insumos considerados fueron la energía eléctrica del proceso de transesterificación como de las instalaciones en las que operaría la planta, así como el consumo de agua principalmente destinado a la limpieza de los equipos y tanques de almacenamiento.

La tabla XXVII indica los precios referenciales para estos rubros, los cuales se basaron en las planillas de luz y de agua adjuntas en el anexo G. Los requerimientos energéticos para la reacción se calcularon en base a la potencia del convertidor y al tiempo requerido por lote tal como se desarrolla a continuación:

Tabla XXVII: Valores Referenciales para el costo de los insumos

Datos Referenciales		
Potencia Equipo de Transesterificación	3,50	KW
Costo del Agua	0,72	\$/m <sup>3</sup>
Costo Electricidad	0,10	\$/KWh
Tiempo de duración del proceso	3,53	h

Elaborado por: Guayara, 2016

Calculo de la energía consumida por el convertidor:

$$3,50 \text{ KW} \times \frac{3,53 \text{ h}}{1 \text{ Lote}} \times \frac{20 \text{ Lotes}}{1 \text{ mes}} = \frac{247,10 \text{ KWh}}{\text{mes}}$$

Tabla XXVIII: Costos de Insumos

Insumos	Requerimientos Semanales	Requerimientos Mensuales	Costo Insumo Mensual (\$)	Costo de Insumo Anual (\$)
Energía Eléctrica Equipo Transesterificación (KWh)	61,78	247,10	24,32	291,81
Energía Eléctrica oficina (KWh)	75,00	300,00	29,52	354,28
Agua para Limpieza (m3)	0,32	1,296	0,93	11,20
<b>TOTAL</b>			<b>54,80</b>	<b>657,29</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

- Costos asociados al transporte de la grasa residual:

El estudio económico preliminar no abordó los costos inherentes a la logística necesaria para transportar la grasa residual de los distintos supermercados hacia la planta. Se asume que la Corporación la Favorita cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo esta gestión. Se puede acoplar esta actividad a su ruta de despachos, considerando que los trayectos no supondrán grandes distancias y mantendrán dentro de los límites de la ciudad.

• Fuerza de Trabajo:

Se estructuró la fuerza de trabajo considerando dos operarios y una secretaria. Todo el personal laboraría un turno de 8 horas diarias, sin turnos nocturnos ni horas extras. El costo anual de la fuerza de trabajo contempló los beneficios de ley como: décimo tercer sueldo, decimo cuarto sueldo, fondos de reserva, vacaciones y aporte patronal del 12,15% al IESS, tal como se indica en la tabla XXIX.

Tabla XXIX: Costos Anuales de la Fuerza de Trabajo

Fuerza Laboral	Salario Mensual (\$)	Salario Anual (\$)	Aporte Patronal Anual (\$)	Vacaciones (\$)	13 avo (\$)	14 avo (\$)	Fondos de Reserva (\$)	Total Anual (\$)
Secretaria	370,58	4446,96	540,31	185,29	415,61	366,00	415,61	6369,77
Operador 1	370,58	4446,96	540,31	185,29	415,61	366,00	415,61	6369,77
Operador 2	370,58	4446,96	540,31	185,29	415,61	366,00	415,61	6369,77
<b>TOTAL</b>	<b>1111,74</b>	<b>13340,88</b>	<b>1620,92</b>	<b>555,87</b>	<b>1246,82</b>	<b>1098,00</b>	<b>1246,82</b>	<b>19109,30</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

• Inversión en Equipos:

La tabla XXX detalla los equipos requeridos para la implementación del sistema. Se debe puntualizar que los precios de los tanques de almacenamiento en acero inoxidable se basaron en el trabajo desarrollado por Toinga, 2016. En cuanto a la planta ECO125 su precio unitario fue de 4995€ de acuerdo a la cotización presentada en el anexo F. El factor de locación utilizado para abordar los costos de envío e instalación de la planta fue de 1,60. El tiempo de depreciación considerado para los cálculos fue de 5 años.

Calculo del Precio de la Planta ECO125:

$$\text{Precio ECO125} = 4995\text{€} \times \frac{\$1,11}{1\text{€}} \times 1,6$$

$$\text{Precio ECO 125} = \$ 8871,12$$

Tabla XXX: Costos de Equipos para la Implementación del Sistema Productivo

Tipo de Equipo	Unidades	Capacidad (L)	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)	Dividendo Anual de Amortización (\$/año)
Planta ECO125	1	100	8871,12	8871,12	1774,22
Tanque - Grasa Residual	3	100	524,88	1574,65	314,93
Tanques –Metanol	2	100	597,78	1195,56	239,11
Tanque – Biodiesel	1	80	675,22	675,22	135,04
Tanque –Glicerina	1	50	200,00	200,00	40,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>10869,00</b>	<b>12516,55</b>	<b>2503,31</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

- Costo de las Instalaciones:

La planta sería ubicada en la zona de Carcelén Industrial al ser un sector con una variada oferta de bodegas, las cuales podrían adecuarse para el funcionamiento del sistema productivo. La tabla XXXI detalla los costos mensuales y anuales por concepto de arriendo mientras la tabla XXXII especifica los gastos proyectados para muebles y accesorios de oficina.

Tabla XXXI: Costos por el arriendo de las instalaciones

Concepto	Area de la Planta (m2)	Costo Unitario (\$/m2)	Costo Mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Arriendo	150	4,50	675	8100
<b>TOTAL</b>				<b>8100</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

Tabla XXXII: Costos de Muebles y Accesorios de Oficina

Designaciones	Número de Unidades	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)	Dividendo Anual de Amortización (\$/año)
Escritorio	1	150,00	150,00	30,00
Computador	1	800,00	800,00	160,00
Archivadores	1	175,00	175,00	35,00
Sillas	3	20,00	60,00	12,00
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>1185,00</b>	<b>237,00</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

#### 4.5.4 Análisis Económico Preliminar:

El análisis económico contempló establecer la inversión que debería realizarse para implementar el sistema productivo y el cálculo del costo anual de producción como se indica en las tablas XXXIII y XXXIV respectivamente. En base a esta estructura de costos se realizó una proyección de ventas, ingresos y egresos para un período de cinco años (Tablas XXXV y XXXVI). La viabilidad del proyecto se evaluó en base a estas proyecciones a través del cálculo del valor actual neto (VAN).

Tabla XXXIII: Inversión total para la ejecución del proyecto.

Concepto	Valor Total (\$)
Convertidor de Biodiesel ECO125	8871,12
Tanques Almacenamiento Grasa	1574,65
Tanques de Almacenamiento de Metanol	1195,56
Tanque Almacenamiento de Biodiesel	675,22
Tanque de Almacenamiento de Glicerina	200,00
Escritorio	150,00
Computador	800,00
Archivadores	175,00
Sillas	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>13701,55</b>

Elaborado por: Guayara, 2016

Tablas XXXIV: Desglose de los Costos Anuales de Producción

<b>Costos Variables</b>	<b>Concepto</b>	<b>Costo Anual (\$/año)</b>
Materias Primas	Grasa de Pollo Residual	0,00
	Metanol	29394,67
	Oxido de Calcio	6570,00
	Energía Eléctrica Equipo Transesterificación	291,81
Insumo	Energía Eléctrica oficina	354,28
	Agua para Limpieza de Tanques	11,20
	<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>36621,96</b>

<b>Costos Fijos</b>	<b>Concepto</b>	<b>Costo Anual (\$/año)</b>
Fuerza de Trabajo	Secretaria	6369,77
	Operadores 1	6369,77
	Operador 2	6369,77
Instalaciones	Arriendo	8100,00
Depreciaciones Equipos	Convertidor de Biodiesel ECO125	1774,22
	Tanques Almacenamiento Grasa	314,93
	Tanques de Almacenamiento de Metanol	239,11
	Tanques Almacenamiento de Biodiesel	135,04
	Tanque de Almacenamiento de Glicerina	40,00
Depreciaciones Accesorios y Equipos de Oficina	Escritorio	30,00
	Computador	160,00
	Archivadores	35,00
	Sillas	12,00
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>		<b>29949,61</b>

<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (\$/AÑO)</b>	<b>66571,57</b>
--	-----------------

<b>COSTO UNITARIO PARA EL PROCESAMIENTO DE LA GRASA RESIDUAL (\$/L)</b>	<b>4,40</b>
---	-------------

Elaborado por: Guayara, 2016

La proyección de ingresos y egresos se realizó considerando que la producción de biodiesel se mantendría constante (13139,25L /año). Este criterio se estableció debido a que desde el primer año de operación ya se fijó el procesamiento de la totalidad de grasa de pollo generada por la cadena de supermercados. La adición de materia prima de ciudades aledañas no fue contemplada puesto que no se disponían de datos sobre la producción de grasa en otras localidades. Además la estimación de costos por logística y transporte resultaría compleja y podría incrementar la incertidumbre en los cálculos.

El precio de biodiesel empleado en los análisis fue de \$0,95/L, el cual corresponde al valor manejado por el gobierno colombiano como lo establece la resolución 40436 del Ministerio de Minas y Energía (Anexo J). En cuanto a la glicerina, el precio de venta al público fue de \$1,78/Kg, de acuerdo a la Casa de los Químicos Laquin Cia Ltda (2016).

Tabla XXXV: Ingresos Proyectados durante los primeros 5 años

Año	Grasa Residual Procesada (L/año)	Producción Biodiesel (L/año)	Producción Glicerina (Kg/año)	Ingresos por biodiesel(\$)	Ingresos por glicerina (\$)	Total de Ingresos (\$)
1	15120	13139,28	1907,82	12482,32	3395,93	15878,24
2	15120	13139,28	1907,82	12482,32	3395,93	15878,24
3	15120	13139,28	1907,82	12482,32	3395,93	15878,24
4	15120	13139,28	1907,82	12482,32	3395,93	15878,24
5	15120	13139,28	1907,82	12482,32	3395,93	15878,24

Elaborado por: Guayara, 2016

Tabla XXXVI: Egresos Proyectados durante los primeros 5 años

Periodos	Costo Variable Total (\$/año)	Mano de Obra (\$)	Arriendo (\$)	Total de Egresos (\$)
Año1	36621,96	19109,30	8100,00	63831,26
Año2	36621,96	19109,30	8100,00	63831,26
Año3	36621,96	19109,30	8100,00	63831,26
Año4	36621,96	19109,30	8100,00	63831,26
Año5	36621,96	19109,30	8100,00	63831,26

Elaborado por: Guayara, 2016

#### 4.5.4.1 Cálculo del VAN:

En orden de determinar si la Corporación la Favorita debería invertir en la implementación de este sistema productivo se utilizó como indicador económico el valor actual neto. La tabla XXXVII detalla su cálculo utilizando una tasa de descuento del 15%.

Tabla XXXVII: Valor Actual Neto del Proyecto

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos (\$)	0,00	15878,24	15878,24	15878,24	15878,24	15878,24
Egresos (\$)	13701,55	63831,26	63831,26	63831,26	63831,26	63831,26
Diferencia Neta (\$)	-13701,55	-47953,01	-47953,01	-47953,01	-47953,01	-47953,01
Flujos Presente (\$)	-13701,55	-41698,27	-36259,37	-31529,88	-27417,29	-23841,12
<b>VAN =-174447,49</b>						

Elaborado por: Guayara, 2016

No se realizó el cálculo de la tasa de rentabilidad (TIR) considerando que el valor del VAN es bastante negativo y que los flujos de caja del año 1 al 5 sin actualizar son menores a la inversión inicial lo cual desembocaría en un tasa negativa. Las interpretaciones económicas se detallarán en la sección de conclusiones.

#### 4.5.4.2 Costos Económicos actuales por el tratamiento de la Grasa:

En orden de evaluar de manera integral el proyecto se determinó el monto destinado al tratamiento de residuos grasos. El gestor ambiental responsable actualmente de estos residuos es la empresa Servitem, la cual desarrolla abonos orgánicos a partir de los mismos. El anexo H especifica los tratamientos que se realizan y la cantidad de grasa recolectada quincenalmente de la trampa de grasa del supermercado donde se recolecta totalidad grasa generada en el establecimiento.

Se utilizó para las proyecciones los datos referenciales del Megamaxi-El Condado (Tabla XXXVIII). El costo promedio utilizado por concepto de servicios del gestor ambiental fue de \$800/mes según información suministrada por la administración. La tabla XXXIX presenta los costos mensuales y anuales para la ciudad de Quito contemplando sus 20 establecimientos.

Tabla XXXVIII:

Costos asociados al tratamiento de los Residuos Grasos Totales del Megamaxi-El Condado

Grasa Promedio Entregada al Gestor Mensualmente	1710	Kg/mes
Grasa Promedio Entregada al Gestor Anualmente	20520	Kg/año
Costo Promedio por los Servicios del Gestor	800	\$/mes
Costos Anuales Proyectados por los Servicios del Gestor	9600	\$/año

Elaborado por: Guayara, 2016

Tabla XXXIX:

Proyección de Gastos por el Tratamiento de los Residuos Grasos Totales en Quito

Proyección a la cadena de Supermercado en Quito		
Total de establecimientos	20	Establecimientos
Grasa Promedio Entregada al Gestor	34200	Kg/mes
Grasa Promedio Anual Entrega al Gestor	410400	Kg/año
Costo Promedio Asociados a los Servicios del Gestor	16000	\$/mes
Costos Anuales Proyectados por el Servicio del Gestor	192000	\$/año

Elaborado por: Guayara, 2016

## CAPITULO V: Discusión

### 5.1 Conclusiones:

#### Caracterización de la Grasa de Pollo Residual:

- En cuanto al índice de acidez, el valor obtenido de 0,1% se encuentra debajo del rango establecido ( $\geq 3\%$ ) para implementar la esterificación como pretratamiento; razón por la cual la única medida necesaria para el acondicionamiento de esta materia prima es un proceso de filtración al vacío.
- Las propiedades del biodiesel dependen directamente de la concentración y el tipo de ácidos grasos presentes en la materia prima. A un mayor contenido de ácidos grasos saturados inclusive incluyendo a los mono insaturados disminuye la viscosidad e incrementa el número de cetano del biodiesel. En su conjunto los ácidos grasos mencionados constituyeron el 86,14% de la grasa de pollo residual, razón por la cual el cumplimiento de los parámetros indicados resultó congruente.

#### Rendimiento de los Tratamientos:

- De acuerdo a los intervalos de confianza al 95%, las mejores condiciones para la transesterificación empleando óxido de calcio como catalizador son una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de catalizador. El límite de confianza superior para el rendimiento del proceso correspondiente a una relación molar 12:1 (98,39%) sobrepasa en un 71,80% al límite superior determinado para la proporción 6:1. En el caso del porcentaje en peso, el límite superior para esta condición establece un rendimiento superior al 98% y sobrepasa en un 54,67% al límite superior establecido al utilizarse un 2% de este óxido.

- En el caso del óxido de magnesio los análisis estadísticos reflejaron rendimientos bajos mostrando intervalos de confianza con límites superiores que no sobrepasaron el 20% de rendimiento. Se debe destacar que el uso de una RMAC de 6:1 generó un intervalo en el cual existe la probabilidad de que la reacción ni siquiera tome lugar siendo el límite inferior de rendimiento de 0,00% y el mayor de 7,03%.
- El análisis ANOVA con un valor P de 0,0542 reveló que el porcentaje en peso de óxido de magnesio no es una variable significativa por lo que no incide directamente en el rendimiento del proceso. Ante este criterio se concluye que el uso de este catalizador no es efectivo y debe descartarse como variable de estudio.

#### Caracterización del Biodiesel:

- De acuerdo a la norma INEN 2482 referente a los requisitos del biodiesel se determinó que el biocombustible resultante del tratamiento con óxido de calcio bajo las mejores condiciones de reacción cumple con los siguientes requisitos: corrosión a la lámina de cobre, viscosidad cinemática, contenido de azufre, temperatura de destilación al 90% recuperado y contenido tanto de agua como de sedimentos.
- Una de las ventajas presentadas por el biocombustible obtenido fue un contenido de azufre del 0,023% el cual es 30 veces menor al límite permisible para el diesel No.2. Esta reducción significativa se reflejará en una menor producción de dióxido de azufre durante la combustión minimizando los impactos ambientales.
- Los parámetros fuera de rango fueron el punto de inflamación, índice de cetano y densidad. La densidad e índice de cetano presentaron errores porcentuales bajos respecto al valor mínimo permitido del 4% y 1,43% respectivamente. El punto de inflamación registró un valor bajo de 63°C, el cual es casi la mitad del mínimo valor permitido en la norma (120°C), esta diferencia se debió a la presencia de metanol que todavía se encontraba disuelto en el biocombustible.

- Si se considera los requisitos específicos para el diesel No.2, el cual es utilizado en automotores a diesel y en equipos industriales, los parámetros de estudio cumplieron en su totalidad los requisitos por lo que el biocombustible podría utilizarse para los equipos descritos bien sea puro o como mezcla.

#### Prefactibilidad Económica:

- La capacidad productiva conjunta determinada para los establecimientos Supermaxi y Megamaxi en Quito fue de: 15120 L/año de grasa de pollo residual, la cual bajo las mejores condiciones de operaciones determinadas experimentalmente para la transesterificación produciría 13139,28 L/año de biodiesel y 1514,15L/año de glicerina.
- Los requerimientos anuales para procesar 15120 L de grasa de pollo residual son de 131,393 Kg de óxido de calcio y 8233,83 L de metanol generando un costo anual respectivo de \$6570,00 y \$ 29394,67. Los costos variables totales calculados fueron de \$36621,96.
- Las cantidades de óxido de calcio serían bajas respecto a la cantidad de grasa que lograría procesarse con su uso como catalizador. En términos de costos representa apenas el 17,93% del costo variable total frente al 80,26% correspondiente al metanol.
- La inversión total requerida para implementar la producción de biodiesel a partir de la grasa de pollo residual en la cadena de supermercados de la Corporación la Favorita de la ciudad de Quito es de \$13701,55. La proyección de egresos calculada anualmente fue de \$ 63275,39 y los ingresos \$15878,24.
- Los costos totales anuales de la operación (\$66571,57) son muy altos respecto a los niveles de producción que generaría el proceso desembocando en un costo unitario (\$4,40/L grasa de pollo procesada) poco competitivo frente al precio de venta del biodiesel (\$0,95/L) y de la glicerina (\$1,78/Kg). La limitada grasa residual disponible como materia prima no permite acceder a economías de escala para reducir costos por lo que se mantendrá la tendencia de que los egresos sean mayores a los ingresos anualmente.

- El valor actual neto calculado para un período de cinco años fue de -174447,49 USD lo que indica que la inversión en el proyecto producirá pérdidas por el valor absoluto indicado y debe ser rechazado.

## 5.2 Recomendaciones:

- Enfocar el estudio de prefactibilidad al aprovechamiento de los residuos grasos recolectados en la trampa de grasa del Megamaxi-El Condado. El volumen disponible de estos residuos (34200 Kg/mes) es 31 veces mayor a la grasa de pollo analizada (1094,94 Kg/mes). El aumento en la disponibilidad de la materia prima puede reducir los costos variables y logísticos puesto que no se necesitaría la contribución de material graso de tantos establecimientos.
- Realizar ensayos adicionales para la transesterificación con el óxido de calcio como catalizador seleccionando esta vez como variables de estudio la temperatura y la relación molar alcohol aceite. El incremento de la temperatura dada la naturaleza endotérmica de la reacción favorecería el rendimiento y velocidad de la misma. Esto podría reducir la cantidad de metanol requerido, el cual resultó ser el rubro más costoso de la operación.
- Seleccionar un filtro más idóneo para el pretratamiento de la grasa en orden de eliminar su olor característico y de esta manera mejorar las propiedades organolépticas de los productos resultantes.
- Realizar ensayos adicionales que permitan evaluar la incidencia de reutilizar el óxido de calcio respecto al rendimiento de la reacción. En base al conocimiento de la vida útil del catalizador se puede reestructurar y reducir los costos en materias primas.
- Se sugiere el uso de los equipos Efuels para plantas a escala piloto o industrial puesto que presentan múltiples ventajas tales como la recuperación del 30% de metanol por lote, un proceso de purificación del biodiesel que no requiere agua y una secuencia de filtros que si bien no están diseñados específicamente para la retención del óxido son funcionales al presentar poros con diámetros bajos de 3µm.

## CAPITULO VI: Bibliografía

1. Alba, A. (2011). Nuevos procesos para la obtención de biodiesel a partir de catalizadores ácidos y básicos. Tesis de doctorado no publicada. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
2. Albis, A. Parra, J. Sanchez, F. (2005). Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea. *Ingeniería e Investigación*, vol.25, pp.71-77
3. Alvarado, E. (1998). Producción de polvos de óxidos de magnesio a partir de diferentes precursores. Tesis de maestría no publicada. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
4. Banco Central del Ecuador.(2015). Reporte del Sector Petrolero IV trimestre de 2015. Recuperado de: <https://www.bce.fin.ec/index.php/hidrocarburos>
5. Becera, M. López, J Centeno, A. Giraldo, A. (2008). Producción de Biodiesel y Glicerina Limpia Empleando Catálisis Básica Heterogénea. *Revista ION*, vol. 21, pp.31-38
6. Castellanos, A. (2015). Producción de biodiesel a partir de grasa de res por vía enzimática. Tesis de grado no publicada. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
7. Castellar, G. Angulo, E. Cardozo, B. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospect*, vol12, pp.90-104

8. Cardenas, C. (2014). Obtención de biodiesel a partir de aceite de frituras, utilizando un nuevo catalizador. Tesis de grado no publicada. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
9. Cifuentes, M.(2010). Obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina por transesterificación en dos etapas, con dos tipos de alcoholes. Tesis de maestría no publicada. Universidad Libre, Santa Fe de Bogota, Colombia.
10. Coloma, G. (2008). La cal es un reactivo químico. Chile. Instituto de Ingenieros y Minas de Chile.
11. Cho, B. Seo,G. Chang, D.(2009). Transesterification of tributyrin with methanol over calcium oxide catalyst prepared from varies precursors. *Fuel Process Technol*, vol 90, pp.1252-1259.
12. Corporación La Favorita C. A.(2012). Historia Corporación Favorita. Recuperado de: <http://www.corporacionfavorita.com/portal/es/web/favorita/historia;jsessionid=9FB79F71A079993F3378F03D52B6EF58>
13. Constitución de la República del Ecuador. (2008). Recuperado de: [http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf)
14. Di Serio, M. Ledda, M. Cozzolino, M. Minutillo, G. Tesser, R. Santacesaria, E. (2006). Transesterification of soybean oil to biodiesel by using heterogeneous basic catalysts.*Ind.Eng.Chem.Res*,vol45 , pp. 3009-3014.
15. Di Serio, M. Tesser, R. Pengmei, L. Santacesaria, E.(2008). Heterogeneous catalysts for biodiesel production. *EnergyFuels*, vol 22, pp. 207-217

16. Dinis. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. Tesis de doctorado no publicada. Universidad de Extremadura, Extremadura, España.
17. Decreto 1303.(2012). Declárese de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. Registro Oficial N° 799.
18. Decreto 1303.(2012). Declárese de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. Registro Oficial N° 799
19. Decreto 146.(2011). Estatutos orgánicos de gestión organizacional por procesos. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/2.11-Acuerdo-Ministerial.pdf>
20. Dufey, A.(2006). Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo, Londres. Recuperado de: <http://pubs.iied.org/pdfs/15504SIIED.pdf>
21. Ecuador. Ministerio del Ambiente. (2015). Resolución Ministerial N°061.Recuperado de:[http://insigma.com.ec/wp-content/uploads/2015/03/23-04-2015\\_Acuerdo\\_Ministerial\\_061-.pdf](http://insigma.com.ec/wp-content/uploads/2015/03/23-04-2015_Acuerdo_Ministerial_061-.pdf)
22. Fundación de fomento de exportaciones de aceite de palma –FEDEPAL. (2015). Exportaciones aceite de palma por producto año 2015. Recuperado de: <http://fedapal.com/web/index.php/joomla/estadisticas-nacionales>
23. Galeano, C. Guapacha, E.(2011). Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos de pollo para la producción de biocombustibles (biodiesel). Tesis de grado sin publicar. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

24. Ganduglia, F. León, J. Gasparini, R. Rodríguez, M. Huarte, G. Estrada, J. Filgueiras, E. (2009). Manual de biocombustibles. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA. Recuperado de:  
[http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual\\_Biocombustibles\\_ARPEL\\_II\\_CA.pdf](http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual_Biocombustibles_ARPEL_II_CA.pdf)
25. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 2482: Biodiesel Requisitos. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2482.2009.pdf>
26. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1973). NTE INEN 0040: Grasas y aceites comestibles, determinación del índice de saponificación. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0040.1973.pdf>
27. Instituto Ecuatoriano de Normalización.(1978). NTE INEN 0277: Grasas y aceites, determinación del índice de peróxido. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0277.1978.pdf>
28. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Productos derivados del petróleo, diesel requisitos. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1489.2012.pdf>
29. Kawashima,A. Matsubara,K. Honda, K.(2009). Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production. *BioresourceTechnology*, vol 100, pp.696-700
30. Liu, X. He, H. Wang, Y. Zhu,S. Piao, X.(2008).Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, Vol 87, PP.216-221.
31. López, M. D. Martín Alonso, M. D.ZafraPoves, R. Mariscal, F. Cabello Galisteo, R. Moreno-Tost, J.Santamaría, J. L. G. Fierro. (2007). *Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide*. *Appl. Catal B: Environmental*, vol 73, pp. 317-326.
32. Lizana, D.(2008). Antecedentes generales sobre el biodiesel. Recuperado de: [http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/Antecedentes\\_Biodiesel\\_D.pdf](http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/Antecedentes_Biodiesel_D.pdf)

33. MacLeod, C. S., Harvey, A. P., Lee, A. F., Wilson, K.(2008).Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalyts for application to an intensified method of biodiesel production. *ChemicalEngineeringJournal*, vol 135, pp. 63-70.
34. Martínez, G. Ponce, R. Reyes, L.(2007). Diseño del proceso químico a escala de laboratorio para la producción de biodiesel a partir de grasa de pollo. Tesis de grado no publicada. Universidad de el Salvador, San Salvador, Salvador.
35. Medina, E. Acosta, A. Burgos, A. Crisanto, B. Eyzaguirre, P. Rivera, J. (2013). Análisis y diseño de un sistema de recolección y tratamiento de aceites domésticos usados para la producción de biodiesel en la ciudad de Piura y Castilla. Universidad de Piura.
36. Medina, I. Chávez, N. Jauregui. J. (2012).biodiesel un combustible renovable. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Vol. 55, pp.62-70
37. Montenegro, M. Sierra, F. Guerrero, C.(2012). Producción y caracterización de biodiesel a partir de aceite de pollo. Recuperado de:  
[http://sena.metarevistas.org/index.php/inf\\_tec/article/viewFile/29/34](http://sena.metarevistas.org/index.php/inf_tec/article/viewFile/29/34)
38. Patil, P. Deng, S.(2009).[Transesterification of camelinasativa oil using heterogeneous metal oxide catalyts](#).*Energy and Fuels*, vol 23, pp.4619-4624.
39. Ramírez. Chávez, N. Jauregui, J.(2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, vol 55, pp.62-70.
40. Salazar, A. (2014).Elaboración artesanal de biodiesel en reactor agitado mediante uso de catalizadores sólidos. Tesis de grado no publicada. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
41. Sanchez, C. (2007). Estudio de prefactibilidad para la elaboración de biodiesel a partir de aceite de palma africana en Ecuador. Tesis de grado no publicada. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

42. Toinga, L.(2016). Diseño de una planta piloto para la obtención de biodiesel mediante catálisis heterogénea. Tesis de grado no publicada. Escuela Politécnica del Ecuador, Quito, Ecuador.
  
43. Vásquez. (2015).Producción de biodiesel utilizando aceite de reuso en presencia de catalizadores básicos heterogéneos: determinación de las mejores condiciones de transesterificación. Tesis de maestría no publicada .Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
  
44. Zelaya, J. (2007). Evaluación de materiales vegetales y residuales oleaginosos para la producción de biodiesel en el Salvador. Tesis de grado no publicada. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

**Tabla A.1 Parámetros del biodiesel según la norma 14214:2008.**

<b>Propiedad</b>	<b>Método de Prueba</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Contenido de ésteres	EN 14103	% (m/m)	96,5	-
Densidad a 15°C	EN ISO 3675	Kg/m <sup>3</sup>	860	900
	EN ISO 12185			
Viscosidad a 40°C	EN ISO 3104 ISO 3105	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5
Punto de inflamación	EN ISO 3679	°C	120	-
Contenido de azufre	EN ISO 20846	mg/kg	-	10
	EN ISO 20884			
Residuo carbonoso	EN ISO 10370	%(m/m)	-	0,3
Índice de cetano	EN ISO 5165	-	51	-
Contenido de cenizas de sulfatos	ISO 3987	%(m/m)	-	0,02
Contenido de agua	EN ISO 12937	mg/kg	-	500
Contaminación total	EN 12662	mg/kg	-	24
Corrosión en lámina de cobre	EN ISO 2160	clasificación	Clase 1	Clase 1
Estabilidad a la oxidación,110°C	EN 14112	horas	6	-
Valor ácido	EN 14104	mg KOH/g	-	0,5
Índice de yodo	EN 14111	g yodo/100g	-	120
Metiléster linoléico	EN 14103	%(m/m)	-	12
Metiléster poliinsaturado	-	%(m/m)	-	1
Contenido en metanol	EN 14110	%(m/m)	-	0,2
Contenido en monoglicéridos	EN 14105	%(m/m)	-	0,8
Contenido en diglicéridos	EN 14105	%(m/m)	-	0,2
Contenido en triglicéridos	EN 14105	%(m/m)	-	0,2
Glicerina libre	EN 14105, EN 14106	%(m/m)	-	0,02
Glicerina total	EN 14105	%(m/m)	-	0,25
Metales grupo I (Na+K)	EN 14108, EN 14109	mg/kg	-	5
Metales grupo II (Ca+Mg)	prEN 14538	mg/kg	-	5
Contenido en fósforo	EN 14107	mg/kg	-	10

(Comité europeo de normalización EN 14214-08,2008)

## ANEXO B

**Tabla B.1 Parámetros de biodiesel según la norma ASTM D 6751:2012**

Propiedad	Método de Prueba	Limite	Unidad
Punto de inflamación	D 93	130 min	°C
Agua y sedimentos	D 2709	0,050 máx.	% volumen
Viscosidad cinemática a 40 °C	D 445	1,9-6,0	mm <sup>2</sup> /s
Cenizas sulfatadas	D 874	0,020 máx.	% masa
Azufre	D 5453	0,0015 máx.	% masa
Corrosión en lámina de cobre	D 130	No. 3 máx.	-
Índice de cetano	D 613	47 min	-
Punto de enturbiamiento	D 2500	Reporte	°C
Residuo carbonoso	D 4530	0,050 máx.	% masa
Acidez	D 664	0,80 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	D 6584	0,020 máx.	% masa
Glicerina total	D 6584	0,240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	D 4951	0,001 máx.	% masa
Temperatura de destilación, equivalente en temperatura atmosférica, 90% recuperado	D 1160	360 máx.	°C

(Especificaciones para biodiesel B100 ASTM D 675-12,2012)

## ANEXO C

### C.1 Resultados de la Caracterización de la Grasa de Pollo Residual.



**LABORATORIO LASA**  
LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS  
Y PRODUCTOS PROCESADOS



Servicio de  
**Acreditación**  
Ecuatoriano  
Acreditación N° OAE LE 1C 06-002  
LABORATORIO DE ENSAYO

**INFORME DE RESULTADOS**

INF. LASA 17-03-16-412  
ORDEN DE TRABAJO No. 000643-16

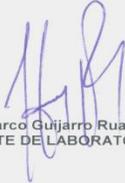
**SOLICITADO POR:** ANDRÉS FELIPE GUAYARA PINZÓN  
**DIRECCIÓN:** AV. REPÚBLICA DEL SALVADOR Y PORTUGAL  
**TELÉFONO / FAX:** 6006268 / 0998374763  
**TIPO DE MUESTRA:** ALIMENTO  
**PROCEDENCIA:** HORNO PARA POLLOS – MEGAMAXI DEL CONDADO  
**IDENTIFICACIÓN:** GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS RESIDUOS  
GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN  
**COD. MUESTRA:** 3376-16

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 07/03/2016  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 07/03-17/03/2016  
**FECHA DE ENTREGA:** 17/03/2016  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** UNA (1)  
**MUESTREO:** SOLICITANTE

SM: 002902-16

**ANÁLISIS DE EXTRACTO LIPÍDICO**

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO
Ácido Palmítico	24,95	%	PEE-LASA-FQ-47 AOAC 996.06 AOAC 963.22
Ácido Oleico	45,55	%	
Ácido Linoleico	12,59	%	



**Dr. Marco Guíjarro Ruales**  
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815 • Celular: 099 9236 287  
e-mail: info@laboratoriolasa.com • web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador



Pág. 1 de 2



**INFORME DE RESULTADOS**

INF. LASA 17-03-16-412  
ORDEN DE TRABAJO No. 000643-16

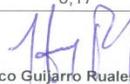
**SOLICITADO POR:** ANDRÉS FELIPE GUAYARA PINZÓN  
**DIRECCIÓN:** AV. REPÚBLICA DEL SALVADOR Y PORTUGAL  
**TELÉFONO / FAX:** 6006268 / 0998374763  
**TIPO DE MUESTRA:** ALIMENTO  
**PROCEDENCIA:** HORNO PARA POLLOS – MEGAMAXI DEL CONDADO  
**IDENTIFICACIÓN:** GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN  
**COD. MUESTRA:** 3376-16

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 07/03/2016  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 07/03-17/03/2016  
**FECHA DE ENTREGA:** 17/03/2016  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** UNA (1)  
**MUESTREO:** SOLICITANTE

SM: 002902-16

**SCREENING DE ACIDOS GRASOS**

CLASIFICACIÓN	PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO
ÁCIDOS GRASOS SATURADOS	Ácido Caprílico	0,03	%	PEE-LASA-FQ-47 ADAC 996.06 AOAC 963.22 CROMATOGRAFÍA DE GASES
	Ácido Cáprico	0,06	%	
	Ácido Láurico	0,05	%	
	Ácido Tridecanoico	0,00	%	
	Ácido Mirístico	0,70	%	
	Ácido Pentadecanoico	0,10	%	
	Ácido Heptadecanoico	0,16	%	
	Ácido Esteárico	5,70	%	
	Ácido Araquídico	0,09	%	
	Ácido Behénico	0,10	%	
ÁCIDOS GRASOS MONOINSATURADOS	Ácido Miristoleico	0,23	%	CROMATOGRAFÍA DE GASES
	Ácido Palmitoleico	7,81	%	
	Ácido Elaídico	0,17	%	
	Ácido Eicosenoico	0,46	%	
	Ácido Erúcido	0,15	%	
ÁCIDOS GRASOS POLI INSATURADOS	Ácido Linolénico	1,09	%	
<b>Ac. Grasos saturados</b>		<b>31,94</b>	<b>%</b>	
<b>Ac. Grasos mono insaturadas</b>		<b>54,20</b>	<b>%</b>	
<b>Ac. Grasos poli insaturados</b>		<b>13,68</b>	<b>%</b>	
<b>Ac. Grasos trans</b>		<b>0,17</b>	<b>%</b>	

  
**Dr. Marco Guijarro Ruales**  
**GERENTE DE LABORATORIO**

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815  
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com  
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador





### INFORME DE RESULTADOS

SOLICITADO POR: ANDRES FELIPE GUAYARA PINZON  
DIRECCION: AV. REPUBLICA DEL SALVADOR Y PORTUGAL  
TELEFONO: 6006268/ 0998374763  
TIPO DE MUESTRA: Alimento  
PROCEDENCIA: HORNO PARA POLLOS- MEGAMAXI DEL CONDADO  
IDENTIFICACION: GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE COCCION  
COD. DE MUESTRA: 3376-16

INF. LASA 17-03-16-412  
ORDEN DE TRABAJO No. 000643-16

FECHA DE RECEPCION: 07/03/2016  
FECHA DE ANALISIS: 07/03 - 17/03/2016  
FECHA DE ENTREGA: 17/03/2016  
NUMERO DE MUESTRAS: Una (1)  
MUESTREO POR: Solicitante

SM 002902-16

### ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO
Acidez libre (en oleico)	%	0.1	NTE INEN 38

  
Dr. Marco Guijarro Ruales  
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorios LASA. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815  
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com  
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador

Page 1 of 1

## ANEXO D

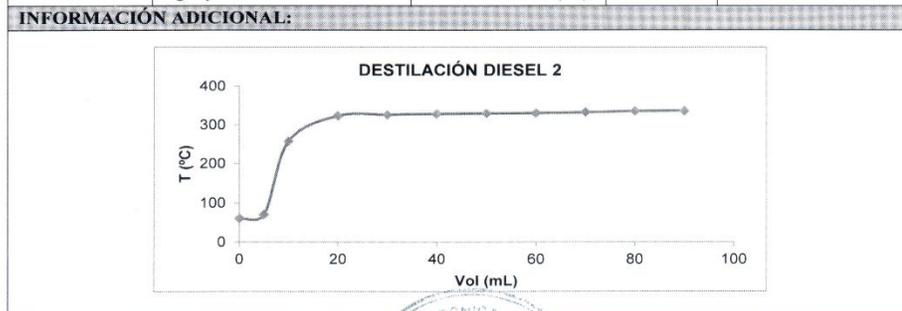
### D.1 Resultados de Caracterización del Biodiesel.

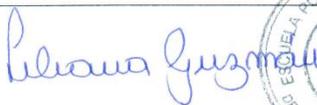
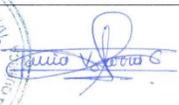
	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>LABORATORIO DE PETRÓLEOS</b>	Página 1 de 1
		HIO1

REPORTE DE ANÁLISIS N°. ALPEP 038-016 ORDEN DE TRABAJO 4645			
INFORMACIÓN GENERAL:			
CLIENTE	ANDRES GUAYARA		
MUESTRA	BIODIESEL	NÚMERO DE MUESTRAS	1
FECHA RECEPCIÓN	16-06-2016	FECHA DE ENTREGA INFORME	27-06-2016

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
MP GRASA DE POLLO RESIDUAL	LPM147-JUN	Biodiesel	Vidrio	1 L

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO
LPM147-JUN	Punto de inflamación	INEN 1493:2013 (2R)	°C	63
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	0.023
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	48.3
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	337
	Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	INEN 1491:2013 (1R)	%	2.545
	Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.708
	Viscosidad cinemática a 40 °C	INEN 810:2013 (1R)	mm <sup>2</sup> /s	3.848
Agua y sedimentos	INEN 1494:2013 (1R)	%	<0.05	



	
<b>Ing. Liliana Guzmán</b> Jefe del Laboratorio de Petróleos	<b>Ing. Tania Parra</b> Analista del Laboratorio de Petróleos

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso  
 022976-300 Ext. 4328/4329/4317  
 lab.petroleos\_ing.quimica@epn.edu.ec

## ANEXO E

### E.1 Cotización y especificaciones de la Planta.



Figura 19: Equipos de conversión a biodiesel marca EFUELS, serie ECO. Fuente: Efuels, 2013



**GREENFUELS 2012 España SL**  
B-73761199  
C/. Vereda Tío Rafael,3  
30139 El Real (Murcia)  
TÉ: +34 633144775  
[www.efuels.es](http://www.efuels.es)

**Características:**

- Construidas 100% Acero Inoxidable
- Producción 125, 200, ó 300 litros por ciclo. (2 ciclos al día)
- Sistema de lavado en seco del Biodiesel integrado. No es necesaria agua de proceso ni secado posterior.
- Carcasa y filtro semipermeable 3 micras.
- Mezclador de metanol-potasa integrado.
- Sistema de calentamiento semiautomático.
- Operación fácil y fiable mediante válvulas multivía.
- Autómata Siemens LOGO! incorporado.
- Bomba Inox Biodiesel. Alta cizalladura.
- Potencia de 3,5 a 4,5 KW total
- Medidas 60x60 por 140, 170, 180 cm alto.
- 220 V / 50 Hz Monofásico
- Montaje sobre ruedas para facilitar su transporte (Peso total 150 Kg modelo EFUELS125)

- Manual y curso de operación en nuestras instalaciones.
- Garantía 1 año

**Opciones de ampliación:**

- Decantador adicional (doble su producción diaria).
- Automatización con servo válvulas multivía.
- Sistema de recuperación de metanol. Recupere hasta el 25% del Metanol utilizado.



GREENFUELS 2012 España SL  
 B-73761199  
 C/. Vereda Tío Rafael,3  
 30139 El Real (Murcia)  
 Tlf: +34 633144775  
 www.efuels.es

### 5. Oferta Económica

Mercancía			
Cantidad	Denominación	Precio	Total
1	Convertidor Efuels 125	4.995.-	4.995.- €
1	Convertidor Efuels 200	5.995.-	5.995.- €
1	Convertidor Efuels 300	6.995.-	6.995.- €

Opciones			
Cantidad	Denominación	Precio	Total
1	Proceso automático con electroválvulas multivía	1.500.-	1.500.-
1	Proceso automático con display táctil.	2.500.-	2.500.-
1	Depósito decantador adicional y conexiones y acoplamientos a máquina. Acero Inox	2.495.-	2.495.-
1	Cartucho filtrante 3 micras	35.-	35.-
1	Metanol / reactivos	Consult.	

IVA Y TRANSPORTE NO INCLUIDO

### 6. Plazos

La Entrega se realizará antes de 30 días laborables desde el ingreso en la formalización del pedido. Informamos que nuestro tiempo medio de entrega es de 20 días laborables desde el ingreso en la formalización del pedido.

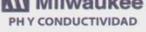
### 7. Ventajas

1. Todas nuestras máquinas utilizan el sistema de purificación del Biodiesel en seco mediante adsorción físico-química.

## ANEXO F

### Cotización de Materias Primas

#### F.1 Cotización del Metanol, HR Representaciones.

 <p><b>HR REPRESENTACIONES</b> Hugo Rueda Representaciones Cia. Ltda.</p>	<p><b>EQUIPOS CIENTIFICOS, PARA EL LABORATORIO LA INDUSTRIA Y ENSEÑANZA</b></p> <p>QUITO: Av. de los Shyris N40-110 (2678) y Gaspar de Villarreal Telfs: 2444 156 / 2444 154 / 2452 344 Fax: 2432 002 E-mail: hr-repre@tvcable.net.ec Apartado: 17-16-376 web: www.hrrepresentaciones.com</p>	<p><b>PROFORMA</b></p> <p>Nº. 000006765</p> <p>RUC.: 1792130093001</p>		
	<p><b>CLIENTE:</b></p> <p>ANDRES GUAYARA DIRECCION : AV. REPUBLICA DEL SALVADOR Y PORTUGAL RUC : 1715559330 FECHA FACTURA : 27/Junio/2016 CODIGO VENDEDOR : 00001 TELEFONO : 6006268 OBSERVACIONES :</p>			
COD.	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
PAN-131091.0716	METHANOL PA-ACS-ISO 25 LIT 99.8%	28.00	89.25	2,499.00
<p><b>HUGO RUEDA REPRESENTACIONES CIA. LTDA.</b> Firma Autorizada</p>		<p>SUBTOTAL : 2,499.00 IVA : 349.86 TOTAL : 2,848.86</p>		
<p>        </p> <p>         </p> <p>  - Telf: 2550279 - Quito DEL 6001 AL 7000 - Original / Amarilla / Verde         </p>				

**F.2 Cotización del Oxido de Calcio, Casa de los Químicos Laquin Cía. Ltda.**



La Casa de los Químicos Cía. Ltda.

**LA CASA DE LOS QUIMICOS LAQUIN CIA LTDA**

AV. AMERICA N18-17 Y ASUNCION

RUC: 1790941892001 Telf(s) 2503 475

QUITO - Ecuador - Email: laquin@andinanet.net

CLIENTE						UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK		COTIZACION No.	
DIRECCION								501	
TELEFONO		2223688		RUC		1791255364001		FECHA	
ATENCION A		ANDRES GUAYARA		VENDEDOR		ADMINISTRADOR		24/06/2016	
CONDICIONES COMERCIALES		BAJO PEDIDO ENTREGA EN 48 HORAS						VALIDEZ OFERTA	
								10	
Ord	Código	Descripción	Presentación	Cantidad	P.V.P.	% Des	SUBTOTAL		
1	RAL-MET	ALCOHOL METILICO P.A.	LT	252.00	7.5000	0.00	1,890.00		
2	RCA-OXI	CALCIO OXIDO P.A. 100 Gr.	UND	30.00	5.0000	0.00	150.00		
Son DOS MIL TRESCIENTOS VEINTICINCO 60/100						Subtotal Imponible		2,040.00	
AUTORIZADO						ACEPTACIÓN CLIENTE		Subtotal No Imponible	
						0.00% Descuento		0.00	
						14% I.V.A.		285.60	
						TOTAL		2,325.60	

**Observaciones: Para la compras de los productos marcados con \* necesitan el permiso del SETED**

## ANEXO G

### Cotización de Insumos

#### G.1 Costo de Agua Referencial.

**QUITO** EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO  
 MATRIZ: Av. Mariana de Jesús SN y Alameda  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL: Resolución No. 201 del 23 de Enero de 1997  
 www.aguaquito.gov.ec - Atención al cliente: 1800-242424

RUC: 1768154260001  
 CLAVE DE ACCESO:

ESTADO DE CUENTA No.  
 001-008-004323915

CUENTA No.: **89698310**  
 RAZON SOCIAL: SERRANO GUSTAVO  
 No. MEDIDOR: 151501557  
 C. POSTAL: 170502  
 TELÉFONO: 22243319

CEDULA/RUC: 1702680446  
 DIRECCIÓN: AV AMAZONAS 6351  
 PLACA PR: N44-471

CICLO	SECTOR	RUTA	MZ	SECUENCIA	PISO	DPTO	M. CALCULO
10	044	06	001	05290	00	01	Real

LECT. ANTERIOR	LECT. ACTUAL	PERIODO DE CONSUMO	CONSUMO (M3)
92	123	20-04-2016 / 21-05-2016	31

**MENSAJE AL CLIENTE**  
 Pague únicamente el monto facturado en nuestros Centros integrales de Atención al Cliente y puntos Autorizados. La EPMAPS no realiza cobros a domicilio. Denuncie estos casos! Llame 1800 24 24 24  
 Este documento no tiene valor tributario, para descargar su factura electrónica ingrese a nuestro servicio web www.aguaquito.gov.ec Su usuario es el numero de cuenta y la clave registrada en este documento.

**DETALLE DE VALORES A PAGAR**  
 FACTURACION DEL MES (A)

CP	CA	DESCRIPCIÓN	P.U.	DESC.	P. TOTAL
03	1	AGUA	22,32	0,00	22,32
04	1	ALCANTARILLADO	8,62	0,00	8,62
05	1	ADMIN. CLIENTES	2,10	0,00	2,10

Su monto subsidiado es de USD: 0,00	SUBTOTAL 12%:	0,00
	SUBTOTAL 0%:	33,04
	SUBTOTAL no sujeto IVA:	0,00
	SUBTOTAL sin impuestos:	0,00

IVA 12%: 0,00  
 VALOR TOTAL FACTURA (USD): 33,04

**INFORMACION ADICIONAL (OTROS VALORES POR PAGAR EPMAPS) (B)**

SUBTOTAL OTROS VALORES EPMAPS: 0,00

**INFORMACION ADICIONAL (RECAUDACION DE TERCEROS) (C)**

1 TASA X NOMENCLA. EMOP 0,53

SUBTOTAL RECAUDACION DE TERCEROS: 0,53

**CREDITOS A FAVOR DEL CLIENTE (D)**

SUBTOTAL CREDITO: 0,00

MESES DEUDA: 3  
**TOTAL A PAGAR (A) + (B) + (C) - (D) : 33,57**

El Agua Potable de esta Empresa Pública tiene certificación del cumplimiento de la norma INEN 1106

FECHA EMISION: 21-05-2016  
 FECHA VENCIMIENTO: 03-06-2016

**QUITO** Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento  
 RUC: 1768154260001

TOTAL PAGAR (USD)  
 33,57

G.2 Planilla de Luz Referencial.



**EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**  
Las Casas E1-24 y Av. 10 de Agosto  
R.U.C.: 1790053881001  
CONTRIBUYENTE ESPECIAL  
RESOLUCIÓN N° 5368

Factura No. 001-006-003199307  
 Autorización SRI: 11 9720  
 Fecha Autorización: 20 12-15  
 Válida Hasta: 2016-12-15



No. de Control: 8032615-7b  
Valor a pagar: 125.71

**Fecha de Emisión:** 2016-05-11

**Fecha de Vencimiento:** 2016-05-27

**INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR**

SUMINISTRO: 80326-6 CONSUMIDOR FINAL(SERRANO GUSTAVO)

Código Único Eléctrico Nacional: 1400080326 Cédula / R.U.C.: 9999999999 Código Postal: 170503

Dirección servicio: AV AMAZONAS N45-47 PB AV. EL INCA EL LABRADOR

Plan/Geocódigo: 21 20-44-008-3320 Tarifa: 715-Comercial sin Demanda (Baja Tension) 2016-05-11 1

Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - EL BATAN

Dirección notificación: Domicilio

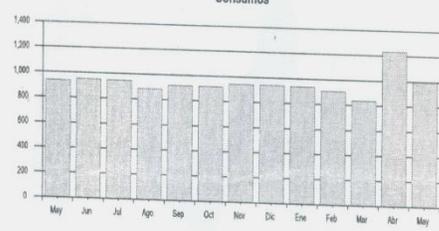
**1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO**

Medidor: 80-AET-AT Desde: 2016-04-08 Hasta: 2016-05-09 Días Facturados: 31 Tipo consumo: Leído Constante: 1.00

Factor multiplicación: 1.00 Factor Corrección: 1.00 Factor Potencia: 1.00 Penalización Fp: 0.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía	382377.00	381380.00	997	kWh	96.79

Consumos



**1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG**

VALOR CONSUMO:	96.79
COMERCIALIZACION	1.41
I.V.A.(0%)	0.00
<b>SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):</b>	<b>98.20</b>
SERV.ALUM.PUB	7.42
<b>SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):</b>	<b>7.42</b>

**1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG**

<b>SUBTOTAL OTROS:</b>	<b>0.00</b>
<b>TOTAL SE, AP Y OTROS (1):</b>	<b>105.62</b>

**2. VALORES PENDIENTES**

CONCEPTO	VALOR
VALORES PENDIENTES (2) :	0.00

**3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO(SE)-PLANES DE FINANCIAMIENTO**  
ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	SUSTENTO LEGAL	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3)		0.00

**SUBSIDIO DEL GOBIERNO**

Tarifa Eléctrica	60.14
<b>TOTAL:</b>	<b>60.14</b>

## ANEXO H

### H.1 Costos Asociados al tratamiento de la grasa residual por parte de un Gestor Ambiental.

**SERVITEM**  
GESTORES AMBIENTALES  
MAE-RA-RES: No. 202605

RECOLECCION DE CARTON, PAPEL, PLASTICO, CHATARRA, ACEITE COMESTIBLE USADO, RECOLECCION DE DESPERDICIOS ALIMENTICIOS, EVACUACION, TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE AGUAS Y LODOS DE: POZOS SEPTICOS, PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS, TRAMPAS DE GRASA DE COCINA, LETRINAS DE BAÑO, TANQUES CEDIMENTADORES, LODOS RESIDUALES, CENIZAS RESIDUALES, RESIDUOS DE LODOS DE MATERIALES PETREOS CON HORMIGON, DESECHOS CARNICOS, SERVICIOS DE DESTAPE DE CAÑERIAS, LIMPIEZA DE ALCANTARILLADO, LIMPIEZA DE CISTERNAS DE AGUAS SERVIDAS Y AGUAS LIMPIAS A NIVEL NACIONAL.

QUITO - ECUADOR R.U.C 1791734289001

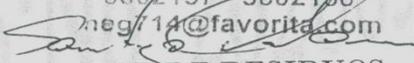
---

### REGISTRO DE CONTROL AMBIENTAL

-ORDEN N°	0001531
-FECHA:	21 JUNIO DEL 2016
-GENERADOR DE RESIDUOS:	MEGAMAXI CONDADO
-DIRECCION:	CONDADO SHOPPING
-RESPONSABLE DEL MANEJO DEL RESIDUO:	SR.
-TIPO DE RESIDUO:	GRASA DE COCINA
-METODO DE OBTENCION DEL RESIDUO	TRAMPA DE GRASA
-METODO DE RECOLECCION DEL RESIDUO:	CERNIDERA Y TACHO
-ALMACENAMIENTO PARA EL TRANSPORTE:	CANECAS PLASTICAS
-TRANSPORTE DE RESIDUO:	TANQUERO
-ESTADO FISICO DEL RESIDUO:	BLANDO
-VOLUMEN	1,800 KG
-DISPOSICION PARA EL TRATAMIENTO:	CENTRO DE ACOPIO SERVITEM
-METODO DE TRATAMIENTO INICIAL:	DESHIDRATAACION Y COMPOSICION
-DISPOSICION FINAL:	GENERACION DE ABONO
ORGANICO CON LOMBRICULTURA PARA RECUPERACION DE SUELOS	
-OBSERVACIONES:	HACER LIMPIEZA QUINCENAL

---

 **SERVITEM**  
RUC:  
1791734289001  
Ing. John Betancourt  
Dpto. DE MEDIOAMBIENTE.

  
MEGAMAXI EL CONDADO  
3802157-3802188  
meg114@favorita.com  
GESTOR DE RESIDUOS  
MEGAMAXI CONDADO

---

[www.servitemsccuador.com](http://www.servitemsccuador.com) email: [servitemsc@hotmail.com](mailto:servitemsc@hotmail.com)  
TELEF.: 2844346/2638449/3066178/0998549558/0985698783

## ANEXO I

### I.1 Decreto ejecutivo 1303.

N 1303

**RAFAEL CORREA DELGADO**

**PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA**

#### DECRETA:

**Artículo 1.-** Declárese de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. La producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando la soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental.

**Artículo 2.-** El combustible diesel *premium* que se utilice en el país deberá contener biodiesel de origen vegetal de producción nacional, para uso en motores diesel.

**Artículo 3.-** Contados ocho (8) meses a partir de la suscripción del presente Decreto Ejecutivo, la distribución y comercialización de la mezcla de diesel base con biodiesel de producción nacional, se aplicará en todo el territorio nacional en una proporción del 5% de biodiesel (B5), de acuerdo con los requisitos técnicos que determine la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfico.

**Artículo 4.-** La producción, distribución y comercialización de biodiesel estará sometida a la libre competencia, y como tal, podrán participar en estas actividades las personas naturales o jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, según lo establece la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública.

**Artículo 5.-** La transportación de biodiesel desde los centros de producción hasta las terminales de la EP PETROECUADOR, será de responsabilidad de los productores, distribuidores y comercializadores de biodiesel; y, la recepción, almacenamiento, mezcla del biodiesel con diesel base y la comercialización de dicha mezcla, será responsabilidad de EP PETROECUADOR de acuerdo con la normativa que establezca la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfico, para el efecto.

#### DISPOSICIÓN GENERAL

**Primera.-** El combustible diesel destinado al sector automotriz que se utilice en el país deberá ir incrementando progresivamente el porcentaje de biodiesel de origen vegetal de producción nacional, hasta llegar a un 10% (B10); incremento que se aplicará en función de la oferta nacional de biodiesel y de acuerdo con los requisitos técnicos definidos por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfico.

## ANEXO J

### J.1 Resolución 40436. Ministerio de Minas y Energía (2016). República de Colombia

<p style="text-align: center;">República de Colombia</p> <p style="text-align: center;"> Libertad y Orden</p> <p style="text-align: center;"><b>MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RESOLUCIÓN NÚMERO 4 0436 DE</b></p> <p style="text-align: center;"><b>( 2 9 ABR 2016 )</b></p> <p>Por la cual se establece el Ingreso al Productor del Alcohol Carburante y del Biocombustible para uso en motores diésel a partir del 1 de mayo de 2016</p> <p style="text-align: center;"><b>LA VICEMINISTRA DE MINAS, ENCARGADA DEL EMPLEO DE MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA</b></p> <p>En uso de sus facultades legales, en especial las señaladas en los Decretos 381 de 2012, 667 de 2016, y</p> <p style="text-align: center;"><b>CONSIDERANDO:</b></p> <p>Que mediante Resolución 18 1780 del 29 de diciembre de 2005, modificada por las resoluciones 18 0134 del 29 de enero de 2009, 18 1966 del 24 de noviembre de 2011, 18 1489 del 30 de agosto de 2012, 9 1566 del 27 de septiembre de 2012 y 4 0211 del 29 de febrero de 2016, se definió la estructura de precios del ACPM mezclado con el biocombustible para uso en motores diésel y la fórmula para el cálculo de este último.</p> <p>Que a través de la Resolución 18 1088 del 23 de agosto de 2005, modificada por las resoluciones 18 0222, 18 1232, 18 0825, 18 0643 y 9 1771, del 27 de febrero de 2006, 30 de julio de 2008, 27 de mayo de 2009, 27 de abril de 2012 y 29 de noviembre de 2012, respectivamente, se definió la estructura de precios de la gasolina motor corriente oxigenada, incluyendo lo relacionado con la fórmula de cálculo del precio del alcohol carburante en el país.</p> <p>Que teniendo en cuenta las consideraciones señaladas en las mencionadas resoluciones, la Dirección de Hidrocarburos del Ministerio de Minas y Energía procedió a calcular el ingreso al productor para el alcohol carburante y para el biocombustible para uso en motores diésel que regirá a partir del 1 de mayo de 2016.</p> <p style="text-align: center;"><b>RESUELVE:</b></p> <p><b>Artículo 1.</b> El Ingreso al productor del biocombustible para uso en motores diésel que regirá a partir del 1 de mayo de 2016, será de Diez Mil Novecientos Once Pesos con Cero Centavos M/Cte. (\$10.911,00), por galón.</p> <p><b>Artículo 2.</b> El Ingreso al productor del alcohol carburante que regirá a partir del 1 de mayo de 2016, será de Siete Mil Seiscientos Noventa y Ocho Pesos con Sesenta y Cinco Centavos M/Cte. (\$7.698,65), por galón.</p>
---

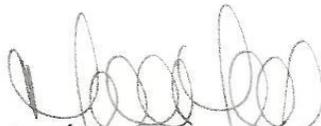
RESOLUCIÓN No. **4 0436** DE **29 ABR 2016** Hoja No. 2 de 2

Continuación de la Resolución: "Por la cual se establece el Ingreso al Productor del Alcohol Carburante y del Biocombustible para uso en motores diésel a partir del 1 de mayo de 2016"

**Artículo 3.** La presente resolución deroga todas las disposiciones que le sean contrarias, en especial la resolución 4 0339 del 4 de abril de 2016.

**Artículo 4.** Publíquese la presente Resolución en el Diario Oficial.

**PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE**  
Dada en Bogotá, D. C., a los **29 ABR 2016**



**MARÍA ISABEL ULLOA CRUZ**

Viceministra de Minas, encargada del empleo de Ministro de Minas y Energía

Proyectó: Diego Fabian Lozano Lozano *DFL*  
Revisó: Carlos Fernando Eraso Calero/Carlos David Beltrán Quintero /Yolanda Patiño Chacón *COB*  
Aprobó: María Isabel Ulloa Cruz *MIC*

## ANEXO K: EVIDENCIAS FOTOGRÁFICO

Autor: Andrés Guayara

### K.1 Ensayos de Caracterización de la grasa de pollo residual



Figura 20 y 21: Determinación de los Índices de Saponificación y Peróxidos

### K.2 Equipo de Transesterificación:



Figura 22 y 23: Proceso de transesterificación a escala de laboratorio.

### K.3 Transesterificación con Óxido de Calcio.

#### K.3.1 Transcurso de las reacciones.



Figura 24: Grasa Residual del Pollo previo a la filtración.



Figura 25: Almacenamiento del óxido calcinado en el desecador tras la calcinación



Figura 26: Fases generadas durante la reacción



Figura 27: Período de Decantación de 24 horas.

### K.3.2 Destilación



Figura 28: Recuperación del Metanol por destilación.

### K.3.3 Filtración



Figura 29: Proceso de filtración al vacío.

#### K.4 Cuantificación de subproductos:

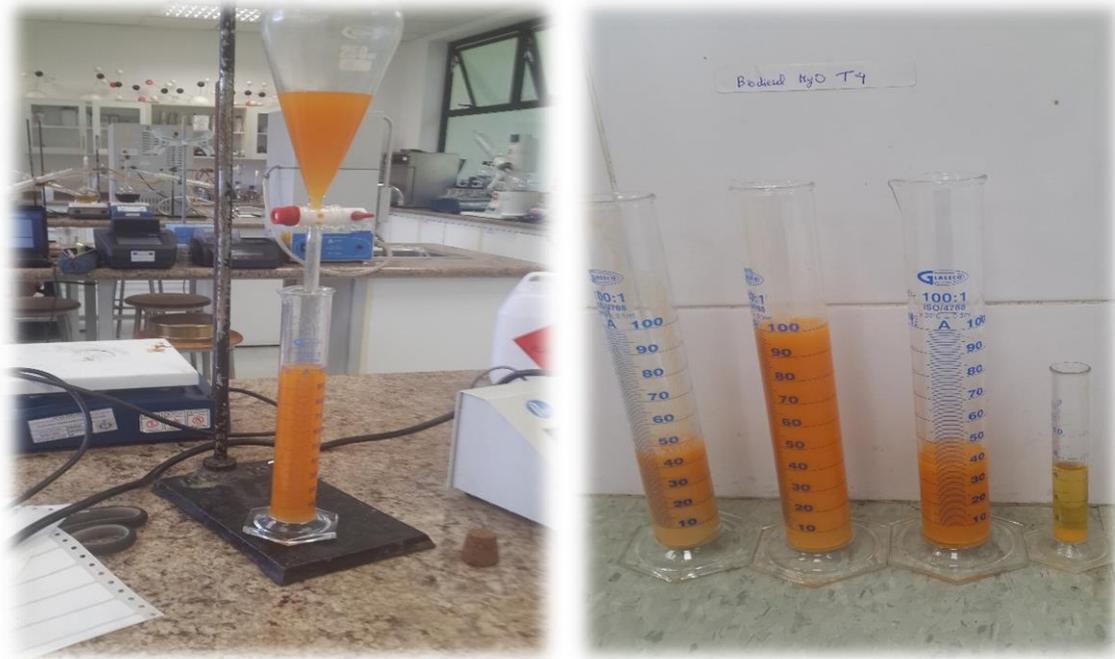


Figura 30 y 31: Separación y Medición del biodiesel, glicerina y jabón por tratamiento.