

ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL AVÍCOLA Y EVALUACIÓN  
PRELIMINAR DE SU USO POTENCIAL EN LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL.

KAREN YESENIA DÍAZ MERCHÁN  
KAREN JULIANA RAMÍREZ VARGAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2016

ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL AVÍCOLA Y EVALUACIÓN  
PRELIMINAR DE SU USO POTENCIAL EN LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL.

KAREN YESENIA DÍAZ MERCHÁN  
KAREN JULIANA RAMÍREZ VARGAS

Trabajo de grado para optar por el título de: INGENIERA QUÍMICA  
MODALIDAD INVESTIGACIÓN

Director:

FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS  
Doctor en Ingeniería Química Ambiental y Procesos

Codirector:

EVERTH ALFONSO VARGAS RUBIO  
Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2016

*A Dios, por sus grandes bendiciones, su cuidado y valentía para seguir  
adelante y sonreírle a la vida.*

*A mi madre Edilma, por su comprensión y apoyo, por ser una mujer tan  
fuerte y dejarme esto como una enseñanza, te amo.*

*A mi hermana Ángela, por todas sus sonrisas, abrazos y miles de momentos  
que recordare sin lugar a duda, te amo.*

*A Lina, una gran amiga que se convirtió en una hermana, estuvo desde el  
primer momento hasta el último apoyándome y aconsejándome, la quiero.*

*A Andrés, Brian, Caro, David, Geraldine, Leslie, Leidy, Sergio, ellos saben  
tiene un lugar en mi corazón por tantos momentos vividos, sonrisas, locuras  
que jamás olvidaremos, ante todo recordarles que siempre estaré al lado de  
ellos apoyando y brindando una sonrisa más para saber que el mundo es  
nuestro, los quiero.*

*A la Selección Femenina de Rugby UIS PANTERAS, con quienes pasé grandes  
momentos y se convirtieron en grandes personas en mi vida, con signos de  
superación tanto en la cancha como en la vida, porque la vida es como el  
Rugby, te caes, te golpeas, pero te levantas con la cabeza en alto.*

*A Karen Juliana, por su entrega y apoyo en el desarrollo del proyecto, Dios  
te brinde grandes bendiciones y éxitos en tu vida profesional.*

*Karen Yesenia*

*A Dios y a la virgen de Chiquinquirá por ser soporte  
y fortaleza espiritual en los momentos difíciles, por ser mi guía y mi  
consuelo y por las bendiciones recibidas.*

*A mis padres Francisco y Blanca por su constante entrega,  
por sus sacrificios y su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento  
cuando sentía desfallecer, por la fortaleza que siempre me han transmitido y  
por el apoyo que me han otorgado para emprender nuevos proyectos.*

*A mi hermano Sebastián, quien aún tiene un largo camino por recorrer, por  
esa alegría y dinamismo que lo caracteriza y ha logrado contagiarme.*

*A Luisito, mi mayor tesoro, familiares y amigos por su apoyo y por las  
Infinitas sonrisas y momentos de alegría compartidos.*

*A Karen Yesenia, por su compañía y apoyo en el desarrollo de este proyecto,  
una vida llena de oportunidades se abrirá frente a ti.*

*La necesidad implacable de transitar por nuevos caminos  
es lo que nos lleva a experimentar, correr el riesgo,  
romper las reglas, equivocarnos y divertirnos. RR  
Un ganador es un perdedor que nunca se rindió...*

*Karen Juliana*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la escuela de Ingeniería Química por la oportunidad de hacer parte de ella y ser formadas como profesionales integrales.

A todos los docentes que pusieron su granito de arena no solo en el ámbito académico sino también en su ardua labor de brindar las herramientas necesarias para afrontar los caminos de la vida, especialmente al doctor Fredy Avellaneda por permitirnos trabajar con él, por compartir sus conocimientos y brindarnos orientación durante el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Everth Vargas por su guía y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

Al grupo de investigación INTERFASE y sus integrantes por el apoyo brindado, por el ambiente de trabajo ameno. Especialmente a los ingenieros Sebastian Vecino y Claudia Tavera por su paciencia, sus valiosos aportes y enseñanzas.

A los grupos de investigación en polímeros (GIP) y de alimentos (CICTA) por su colaboración y apoyo en la ejecución de este proyecto, al laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química y al Centro Integrado de Laboratorios de Ingeniería Química (CLIQ), a los técnicos Eduardo Carreño, Wilson Carreño y el Ingeniero Guillermo Aceros por su gran colaboración.

A la empresa HARINAGRO S.A. por la materia prima proporcionada.

## CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	20
<b>1. METODOLOGÍA</b> .....	26
1.1. CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA: Aceite de Pollo .....	27
1.1.1. Propiedades Físicas .....	27
1.1.2. Propiedades Químicas .....	27
1.2. PRETRATAMIENTO MATERIA PRIMA .....	28
1.2.1. Pruebas Preliminares .....	28
1.2.2. Diseño central compuesto rotatable .....	29
1.2.3. Caracterización Aceite Pretratado .....	30
1.3. OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL .....	31
1.3.1. Metodología Simplex .....	31
1.3.2. Reacción de transesterificación catalizada con NaOH .....	32
1.3.3. Caracterización Biodiésel .....	32
<b>2. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	33

2.1.	CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA: Aceite de Pollo .....	33
2.1.1.	Propiedades Físicas y Químicas del Aceite Crudo .....	33
2.2.	PRETRATAMIENTO MATERIA PRIMA.....	35
2.2.1.	Pruebas preliminares.....	35
2.2.2.	Diseño central compuesto .....	38
2.3.	OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL .....	43
2.3.1.	Diseño Experimental: Optimización Secuencial Simple .....	43
2.3.2.	Caracterización Biodiésel .....	45
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>4.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>60</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>68</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Perfil de ácidos grasos de grasas animales [8]. .....	21
<b>Tabla 2</b> Comparación de propiedades del aceite medidas y según la literatura. ....	34
<b>Tabla 3</b> Resultados obtenidos en las pruebas preliminares. ....	35
<b>Tabla 4</b> Resultados obtenidos en el punto central del diseño central compuesto rotatable: Esterificación.....	38
<b>Tabla 5</b> Evaluación de la adición del proceso de desgomado en el pre tratamiento de la materia prima .....	39
<b>Tabla 6</b> Resultados obtenidos en el punto central del diseño central compuesto rotatable: Desgomado-Esterificación .....	40
<b>Tabla 7</b> Resultados obtenidos en el desarrollo de la optimización secuencial simple. ....	43
<b>Tabla 8</b> Propiedades del aceite de pollo, aceite desgomado, aceite esterificado y biodiésel comparado con la norma NTC 5444. ....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Reacción de esterificación [24] .....	23
<b>Figura 2</b> Diagrama de las etapas de investigación.....	26
<b>Figura 3</b> Montaje Experimental Reacción de Transesterificación.....	30

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1</b> Medida de Dispersión del Índice de Acidez para las pruebas preliminares 3,4 y 9.....	36
<b>Gráfica 2</b> Rendimiento Pruebas Preliminares .....	37
<b>Gráfica 3</b> Índice de acidez y %Rendimiento, reacción de esterificación. ....	41
<b>Gráfica 4</b> Diagrama de la superficie de respuesta: optimización secuencial simple. .....	44

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b> REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	68
<b>ANEXO B</b> UNE EN ISO 660: ACEITES Y GRASAS ANIMALES DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL. DETERMINACION DEL ÍNDICE DE ACIDEZ Y DE LA ACIDEZ.....	69
<b>ANEXO C</b> NTC 335: GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN .....	70
<b>ANEXO D</b> DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTABLE Y METODOLOGÍA SIMPLEX .....	72
<b>ANEXO E</b> EN 14103: PRODUCTOS DERIVADOS DE ACEITES Y GRASAS. ESTERES METÁLICOS DE ACIDOS GRASOS (FAME). DETERMINACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE ÉSTER Y DE ÉSTER METÁLICO DE ACIDO LINOLEICO .....	74
<b>ANEXO F</b> CONDICIONES CROMATOGRAFÍA, FAME .....	76
<b>ANEXO G</b> NTC 5444 REQUISITOS DE CALIDAD DEL BIOCOMBUSTIBLE BIODIESEL PARA MEZCLAR CON LOS COMBUSTIBLES DIÉSEL .....	77
<b>ANEXO H</b> FICHA TÉCNICA ACEITE DE POLLO HARINAGRO S.A.....	79
<b>ANEXO I</b> RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTABLE: ESTERIFICACIÓN .....	81

<b>ANEXO J</b> RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTABLE: DESGOMADO-ESTERIFICACIÓN .....	82
<b>ANEXO K</b> CROMATOGRAMA MEJORES CONDICIONES REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	83
<b>ANEXO L</b> EVIDENCIA FOTOGRÁFICA.....	84

## GLOSARIO

AGL	ácidos Grasos Libres
FAME	(Fatty Acids Methyl Ester) metilésteres de ácidos grasos
NaOH	hidróxido de sodio
IA	índice de acidez
EN	norma europea
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ácido sulfúrico
RMA	relación molar alcohol: aceite
Cat	cantidad másica de catalizador
T <sub>i</sub> , T	temperatura de reacción
t <sub>i</sub> , t	tiempo de reacción

## RESUMEN

**TÍTULO:** ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL AVÍCOLA Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SU USO POTENCIAL EN LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL. \*

**AUTOR:** KAREN YESENIA DÍAZ MERCHÁN

KAREN JULIANA RAMÍREZ VARGAS \*\*

**PALABRAS CLAVE:** aceite residual de pollo, índice de acidez, desgomado, esterificación ácida, biodiésel, transesterificación.

### DESCRIPCIÓN:

En la actualidad el creciente consumo de carne de pollo ocasiona el aumento de residuos en la industria avícola, incitando a la búsqueda de usos alternativos y así mitigar el impacto ambiental negativo generado por estos. En este proyecto se tuvo como objetivo principal acondicionar aceite de pollo residual para diversas aplicaciones industriales, inicialmente se realizó la medición de algunas propiedades físicas y químicas del aceite caracterizado por un alto índice de acidez. Con el fin de obtener una materia prima de mejor calidad se buscó disminuir el índice de acidez mediante una etapa de pre tratamiento, esta consistió en la integración de dos procesos: desgomado y esterificación ácida, se encontraron las mejores condiciones de reacción mediante la aplicación del diseño central compuesto rotatable con la ejecución de 20 experimentos, cada uno con réplica, teniendo como variable de respuesta el índice de acidez y un segundo criterio de selección, el rendimiento del aceite pre tratado respecto al desgomado. Se logró disminuir el índice de acidez y a su vez mejorar propiedades físicas como la viscosidad del aceite de pollo residual aumentando su calidad y ampliando su aplicación industrial, obteniéndose un rendimiento de 95,8% sobre el aceite desgomado. Posteriormente se realizó una evaluación preliminar del uso de este aceite acondicionado en la obtención de biodiésel, las mejores condiciones para la reacción de transesterificación se encontraron usando el método simplex, teniendo como variable de respuesta la cantidad de metiléster producido (FAME) y se hizo seguimiento al rendimiento del biodiésel respecto al aceite pre tratado. Se realizó la medición de algunas propiedades fisicoquímicas de

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Director: Doctor Fredy Augusto Avellaneda Vargas. Codirector: Ingeniero Everth Alfonso Vargas Rubio.  
[kjuliana2207@gmail.com](mailto:kjuliana2207@gmail.com) [soleird92@gmail.com](mailto:soleird92@gmail.com)

acuerdo con la norma NTC 5444, dicho producto cumple con sus exigencias en cuanto a índice de acidez, viscosidad, densidad, pero no %FAME que fue de 91,9% con un rendimiento de 85,2% sobre el aceite pre tratado.

## ABSTRACT

**TITLE:** CHICKEN RESIDUAL OIL CONDITIONING AND PRELIMINARY ASSESSMENT OF USE POTENTIAL IN OBTAINING BIODIESEL. \*

**AUTHOR:** KAREN YESENIA DÍAZ MERCHÁN  
KAREN JULIANA RAMÍREZ VARGAS \*\*

**KEYWORDS:** chicken residual oil, acid value, degumming, acid esterification, biodiesel, transesterification.

### DESCRIPTION:

Currently, the growing consumption of chicken meat causes the increased of waste in the poultry industry, prompting the search for alternative uses to mitigate the negative environmental impact caused by these. This project's main objective was to put chicken residual oil for several industrial applications, initially measuring some physical and chemical properties of the oil characterized by a high level of acidity. In order to obtain a raw material better quality, it was seek to reduce the acidity through a pretreatment phase, this involved the integration of two processes: degumming and acid esterification, the best reaction conditions were found by applying design Central rotatable with running experiments each with 20 replicates compound having as response variable the acid and second selection criterion, the yield to oil pretreated compared degummed. Subsequently, a preliminary assessment of the use of this oil conditioning in the biodiesel was made, the best conditions for the transesterification reaction were found using the simplex method, with the response variable amount of methyl-ester produced (FAME) and monitoring the yield of biodiesel was compared to pretreated oil. Measurement of some physicochemical properties was performed and compared to the standard 5444. NTC, this product meets their requirements in terms of viscosity, level of acidity, density, but not %FAME was 91,9% with a yield of 85,2% on the pretreated oil.

---

\* Thesis

\*\* Universidad Industrial de Santander. School of Chemical Engineering. Director: Doctor Fredy Augusto Avellaneda Vargas. Codirector: Ingeniero Everth Alfonso Vargas Rubio.  
[kjuliana2207@gmail.com](mailto:kjuliana2207@gmail.com) [soleird92@gmail.com](mailto:soleird92@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el calentamiento global ocasiona tanto veranos y sequías intensas como lluvias más fuertes y prolongadas, situación que afecta directamente al medio ambiente y en consecuencia a los procesos que dependen de un comportamiento adecuado de las condiciones climáticas. Este escenario no es ajeno a Colombia, considerando que en los últimos años ha presentado una reiterativa variabilidad climática a causa de los fenómenos del niño y la niña.

Con el propósito de mitigar el impacto ambiental generado, estancias gubernamentales supervisan la aplicación de normativas como el acuerdo 344 de 2008 [1] y la ley No. 1259 del 2008 [2], promoviendo el uso de materiales de desecho con bajo valor comercial para obtener productos de valor agregado. Algunas empresas alimenticias venden grasas animales residuales para la producción de alimento para animales y abono, mientras restaurantes y cafeterías las desechan inapropiadamente [3]. En la industria, el manejo adecuado de los residuos es de vital importancia, en la explotación avícola residuos como sangre, vísceras no comestibles, huesos y plumas son ocasionalmente vertidos al alcantarillado; esto causa taponamientos en las tuberías y dan lugar a reacciones químicas que producen sustancias sulfurosas, con tiempos de descomposición prolongados y olores repugnantes. En consecuencia, la vida acuática se ve amenazada por la esterilización del agua, dada la biodegradación de la sangre en presencia de oxígeno [4].

La industria avícola se ha consolidado favorablemente dentro de la economía colombiana con productos que van desde la comercialización de aves y huevos hasta la producción de carnes frías; el departamento de Santander presenta una

alta participación en el volumen de ventas en la zona central del país [5]. El consumo de carne de pollo ha aumentado en los último diez años, en el año 2015 el consumo per cápita a nivel nacional fue de 30,4 kilogramos [6], incrementando la producción de grasas y aceites residuales en el procesamiento de las aves, los cuales pueden ser aprovechados mediante un tratamiento adicional en la misma unidad productiva o en un proceso externo [4].

Las grasas de origen animal son de alta viscosidad e incluso sólidas a temperatura ambiente, como en el caso del sebo de res, en la tabla 1 se puede observar que este presenta un alto contenido de ácidos grasos saturados [7], a diferencia de la grasa de pollo y manteca de cerdo cuyo porcentaje de ácidos grasos insaturados supera el 50% y se encuentran líquidas a temperatura ambiente.

**Tabla 1** Perfil de ácidos grasos de grasas animales [8]

<b>Perfil de ácidos grasos de grasas animales</b>			
<b>Tipo de ácido graso</b>	<b>Contenido de ácidos grasos (% p/p)</b>		
	<b>Sebo de res</b>	<b>Manteca de cerdo</b>	<b>Grasa de pollo</b>
<b>Total Saturados</b>	60,1	54,6	31,2
<b>Total Mono insaturados</b>	33,8	35	48,3
<b>Total Poliinsaturados</b>	1,8	9,3	20,2
<b>Insaturados totales</b>	<b>35,6</b>	<b>44,3</b>	<b>68,5</b>

La extracción de la grasa de pollo se realiza con agua a presión y en ebullición [9], por fundición [7] o por fritura [10] de los residuos grasos, la diversificación en el proceso de extracción contribuye considerablemente en la variación de las características del aceite, presentándose en algunos casos la necesidad de realizar

etapas de pre tratamiento con el fin de mejorar sus propiedades físicas como la viscosidad y químicas como el índice de acidez , y así aumentar la calidad para uso industrial.

La comercialización de aceites como materia prima de calidad para las diferentes aplicaciones industriales se ve restringida por propiedades como viscosidad [11], humedad, índice de yodo, índice de saponificación e índice de acidez [11,12]. En la norma UNE EN ISO 660 se define el índice de acidez como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres (AGL) presentes en un gramo de grasa [13], elevados valores de este demandan etapas de tratamiento para su disminución [3,11,14–16], dando lugar a procesos como la neutralización, el desgomado, decoloración o blanqueo, desodorización, winterización y esterificación para cumplir con tal objetivo [17,18].

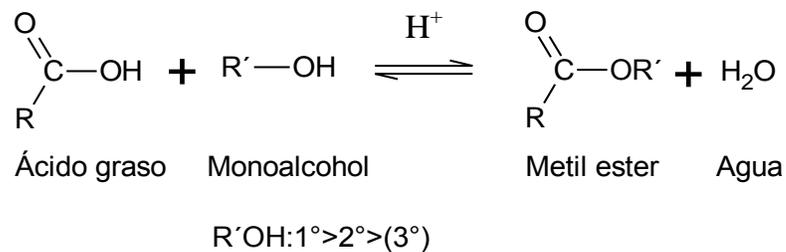
La neutralización elimina las impurezas perjudiciales del aceite, con la mínima alteración, tanto de los glicéridos, como de los toco-fenoles y otras impurezas beneficiosas, así como la mínima pérdida de aceite. El método de neutralización de mayor importancia y de práctica más extendida es el del tratamiento del aceite con un álcali, utilizando sosa cáustica (hidróxido de sodio) diluida en una cantidad tal que neutralice los ácidos en el aceite, cuya acción es más efectiva que la de otros álcalis más débiles, eliminando los ácidos grasos libres y favoreciendo la separación de los jabones y la desaparición de emulsiones [19,20].

El proceso de desgomado es la eliminación de lípidos responsables en mayor o menor grado del mal sabor y olor de las grasas, que deben eliminarse para darle al aceite las características de aceptabilidad. La separación de gomas hidratables consiste en tratar el aceite con agua para que los fosfátidos, proteínas y otras

impurezas coloidales se hidraten y precipiten al hacerse insolubles en la fase grasa, estos fosfátidos se separan por centrifugación, quedando el aceite transparente y desgomado [18,21,22]. Para el caso de las gomas liposolubles se recomienda usar ácido cítrico o ácido fosfórico [18].

Otra alternativa que disminuye el índice de acidez es la reacción de esterificación, la cual consiste en la modificación química de los grupos carboxilo de los ácidos grasos libres adicionando un exceso de mono alcohol en presencia de un catalizador ácido (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico) [8], para disminuir el tiempo de reacción y desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres [23], dicha reacción se describe en la figura 1. La reducción de los ácidos grasos libres presentes en el aceite permite la diversificación de su uso como materia prima en la industria de alimentos, combustibles, lubricantes, cosmética y aseo [3,11,14–16]. En el campo de los biocombustibles, se encuentra el biodiésel como posible producto para dar valor agregado a grasas residuales como el aceite de pollo, las cuales son desechadas regularmente.

**Figura 1** Reacción de esterificación



Esterificación de los ácidos grasos libres (FFA) del aceite crudo de palma [24].

La American Standards for Testing and Materials, ASTM, define el biodiésel como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos (FAME por sus siglas en inglés) de cadena larga derivados de lípidos renovables, tales como aceites vegetales o grasas animales, que se emplean en motores de ignición de compresión o en calderas de calefacción [25].

La obtención de biodiésel se ejecuta a través de la reacción química de transesterificación [26] , esta consta de tres etapas consecutivas en las que el triglicérido es convertido en di glicéridos, mono glicéridos y glicerina (la descripción de dicha reacción se encuentra detalladamente en el anexo A). Una molécula de triglicéridos, componente mayoritario en la grasa, reacciona con el alcohol primario, bajo la acción de un catalizador (hidróxido de sodio o de potasio), para producir una mezcla de ésteres ácidos y glicerina. Para aceites con valores de índice de acidez superiores a 2 mg de KOH/ g (1% de acidez, contenido de ácidos grasos libres determinado según el procedimiento especificado en la norma UNE EN ISO 660 [13]) se requiere de etapas de pre-tratamiento que minimicen el efecto negativo causado en la reacción de transesterificación [27].

El biodiésel es menos tóxico y produce menos humo y olores desagradables respecto al diésel convencional, lo que ayuda a disminuir la polución del aire y, por ende, los riesgos de salud pública que esta pueda generar. Al ser un producto renovable que presenta las bondades mencionadas, la implementación de su uso es una alternativa que podría favorecer el medio ambiente y ayudar a diversificar los combustibles fósiles [28].

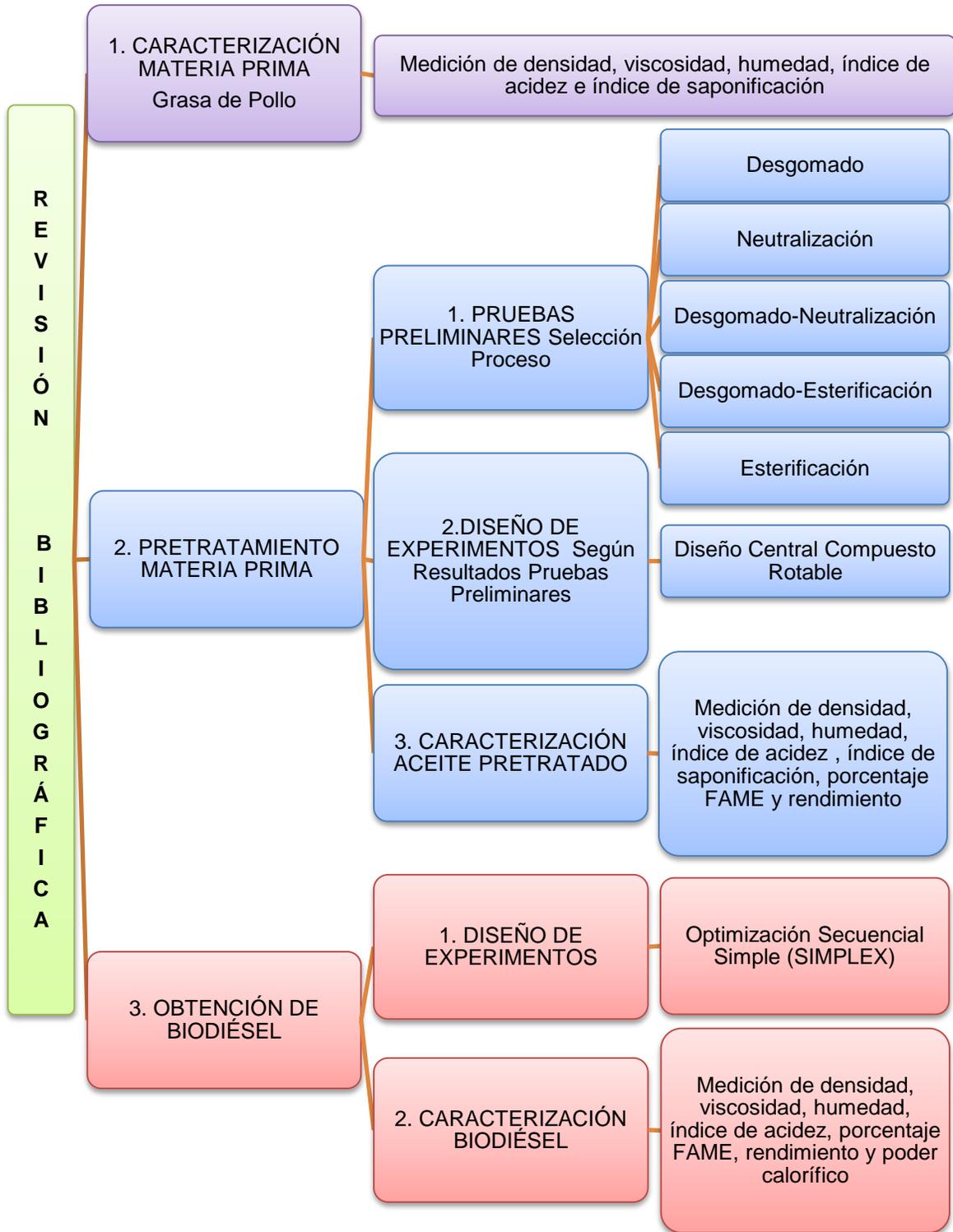
Una fuerte desventaja del biodiésel está relacionada con su costo [29], en el mes de agosto de 2016 se reportó una superioridad en su precio de \$ 2,655.98 por galón

respecto al diésel convencional (Biodiésel \$ 9,549.88/galón, Diésel \$ 6,893.9/galón) [30], esto se debe al alto costo de la materia prima y el tratamiento que conlleva su producción [31]. Según el reporte del International Grains Council, para la producción de biodiésel en el año 2008 se emplearon principalmente materias primas de origen vegetal, sin embargo, la obtención del aceite requiere de grandes áreas cultivadas, es así como en los próximos tres años se cultivarán en el territorio nacional alrededor de un millón de hectáreas de palma [32]. La grasa de pollo a diferencia de los aceites vegetales no compite con tierras y cultivos utilizados para fines alimenticios, además tener mayor contenido de ácidos grasos insaturados comparado con otras grasas animales la favorece como materia prima para diversas aplicaciones, entre ellas obtención de Biodiésel.

Teniendo en cuenta la necesidad de acondicionar las grasas residuales animales para su uso industrial en la obtención de productos de valor agregado como jabones, lubricantes y numerosos productos alimenticios [33], este proyecto plantea acondicionar un aceite residual de la industria avícola, implementando una metodología que permita disminuir su índice de acidez y mejorar su calidad. Con el fin de verificar el potencial industrial del aceite acondicionado, se realizará una evaluación preliminar de su posible uso en la obtención del biodiésel como producto de valor agregado, basándose en lo establecido en la norma NTC 5444 (especifica las características fisicoquímicas necesarias para garantizar el buen funcionamiento y la vida útil de los equipos de inyección de combustible en los motores diésel [34]), ya que al usar un desecho de la industria repercutiría favorablemente la economía de su producción y dados los beneficios que supone la implementación del biodiésel como un sustituyente de los combustibles convencionales, se aborda una solución a la problemática energética y climática planteada en este proyecto.

# 1. METODOLOGÍA

Figura 2 Diagrama de las etapas de investigación



La siguiente metodología se compone de tres etapas que promueven la elección de las mejores condiciones de tratamiento del aceite de pollo residual como materia prima en la posterior obtención de biodiésel, dando así cumplimiento a los objetivos trazados en este proyecto. Las actividades realizadas se encuentran sintetizadas en la figura 2.

## **1.1. CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA: Aceite de Pollo**

La materia prima objeto de estudio en el desarrollo de este proyecto fue proporcionada por la empresa HARINAGRO S.A, esta corresponde a aceite de pollo producto del proceso de fritura y prensado de material proveniente de vísceras, pieles y pollos no aptos para la cadena de comercialización avícola.

**1.1.1. Propiedades Físicas.** La densidad del aceite se midió mediante el método del picnómetro teniendo como sustancia patrón agua destilada; la viscosidad fue medida en el equipo BROOKFIELD PROGRAMMABLE DV-III+RHEOMETER con punta SC4-18 a temperatura ambiente aprovechando la fluidez del aceite.

La medición del contenido de agua o humedad [mg H<sub>2</sub>O/ Kg de aceite] se realizó por técnica termogravimétrica (TGA) utilizando una balanza Discovery TA INSTRUMENTS, a una rapidez de calentamiento de 10°C/min, iniciando desde temperatura ambiente hasta 500°C, con flujo de nitrógeno de 60ml/min [35].

**1.1.2. Propiedades Químicas.** Se determinó el índice de acidez [mg de KOH/g aceite] y el índice de saponificación [mg de KOH/g aceite] siguiendo la Norma UNE EN ISO 660 y la Norma NTC335 respectivamente descritas en el anexo B y C.

## 1.2. PRETRATAMIENTO MATERIA PRIMA

**Homogeneización Materia Prima.** Debido al aspecto grumoso y al comportamiento variable del aceite se homogeneizaron 8 L, previamente al desarrollo de las pruebas correspondientes al diseño experimental, este se calentó a 50°C durante una hora con agitación magnética por lotes, luego se mezcló mecánicamente para garantizar uniformidad y se almacenó en dos botellas ámbar de 4 L.

**1.2.1. Pruebas Preliminares.** Las pruebas preliminares tuvieron como finalidad definir el pretratamiento en una o dos de las siguientes etapas:

- Neutralización mediante KOH o NaOH
- Desgomado
- Esterificación ácida

Las condiciones utilizadas en la ejecución de las pruebas para cada uno de los casos fueron consultadas en la literatura, realizando la evaluación del proceso de desgomado, desgomado-esterificación, neutralización con KOH y NaOH y finalmente esterificación, estudiando el efecto que tienen sobre el índice de acidez del aceite y sobre el rendimiento del aceite refinado respecto al aceite crudo. Además, se evaluaron los efectos del tiempo, relación alcohol:aceite y catalizador en la reacción de esterificación.

**1.2.2. Diseño central compuesto rotatable.** Con el fin de determinar las mejores condiciones de operación en la reacción de esterificación y así disminuir el índice de acidez del aceite de pollo residual se eligió el diseño central compuesto rotatable. A partir de las pruebas preliminares y la literatura se definieron los factores tiempo de reacción, relación metanol: aceite y cantidad de catalizador con sus respectivos niveles alto y bajo, la definición del diseño central compuesto, su finalidad y el por qué de su elección se encuentra junto con las condiciones calculadas para su desarrollo en el anexo D. Se realizaron 20 experimentos, cada uno con réplica para garantizar la reproducibilidad del proceso para un total de 40 experimentos que se realizaron de manera aleatoria.

**Desgomado.** Las condiciones del desgomado se establecieron de acuerdo a lo presentado por Avellaneda en su tesis doctoral, y se mantuvieron constantes en la ejecución de las pruebas del diseño experimental, para cada prueba se desmugaron 70 g de aceite aproximadamente, el aceite se calentó hasta alcanzar una temperatura de 90°C, en seguida se adicionó agua destilada en una relación de 5% v/v y se mantuvo bajo agitación magnética durante 30 min. Para eliminar las trazas de agua y gomas se centrifugó el aceite a 4500 rpm durante 5 min; se pesó y se dispuso para el siguiente tratamiento [18].

**Reacción de esterificación catalizada por Ácido Sulfúrico.** La reacción de esterificación se llevó a cabo en un balón fondo plano de 250 ml en baño maría a temperatura de 60°C, bajo agitación constante de 500 rpm y con reflujo para evitar la pérdida por evaporación del metanol. Se pesaron aproximadamente 50 g de aceite desgomado y se llevó al baño maría, se adicionó la mezcla de metanol y ácido sulfúrico (catalizador) al aceite, en las cantidades calculadas según las condiciones del diseño experimental.

**Figura 3** Montaje Experimental Reacción de Transesterificación



Transcurrido el tiempo de reacción se detuvo la agitación y el producto se trasladó a un embudo de decantación por dos horas. Se separó la fase oscura del aceite y se procedió a realizar cinco lavados con agua destilada caliente, 60°C, en una proporción agua:aceite de 30% v/v. Finalmente se llevó el aceite a una temperatura de 120°C durante una hora, se pesó y se almacenó en botellas ámbar de 60 ml. El porcentaje de rendimiento se calculó con la masa inicial y final de la reacción de esterificación, se midió de igual forma el índice de acidez por duplicado siguiendo la Norma UNE EN ISO 660 (Ver anexo B).

**1.2.3. Caracterización Aceite Pretratado.** Con el fin de comparar el aceite antes y después del tratamiento de desgomado y esterificado a las mejores condiciones de reacción se midió la densidad del aceite, su viscosidad y humedad siguiendo el método descrito en el apartado 1.1.1. El índice de acidez y el índice de saponificación se calcularon siguiendo la Norma UNE EN ISO 660 y NTC335 respectivamente (Ver anexo B, C). Además, se calculó el porcentaje de rendimiento (aceite esterificado/aceite desgomado) y se registró el %FAME conforme se establece en la norma EN 14103 descrita en el anexo E. Se usó un cromatógrafo de gases AGILENT TECHNOLOGIES 7890A GC System, utilizando como método el descrito en el anexo F.

### 1.3. OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

**Preparación materia prima.** Se desgomaron 1015,21 g de aceite para su posterior esterificación con ácido sulfúrico, las condiciones aplicadas fueron las seleccionadas en el diseño de experimentos central compuesto rotatable realizado; se obtuvieron 800 g de aceite tratado para el desarrollo de la fase final del proceso, es decir un 79% de rendimiento sobre el aceite residual crudo.

**1.3.1. Metodología Simplex.** Las mejores condiciones de la reacción de transesterificación se encontraron mediante la optimización secuencial simple que es una técnica para mejorar la calidad y la productividad en el desarrollo de la investigación [36]. El tiempo y la temperatura de reacción así como la agitación y el tipo de catalizador fueron definidos según la literatura, obteniendo condiciones de 120 min, 60°C, 300 rpm y como catalizador NaOH [7,9,10,31,37,38], además, los factores que se tuvieron en cuenta fueron dos, relación metanol:aceite y cantidad de catalizador, originando tres condiciones iniciales para el desarrollo del SIMPLEX, para una mejor comprensión del método ver anexo D.

**1.3.2. Reacción de transesterificación catalizada con NaOH.** La totalidad de las pruebas se realizaron en un balón fondo plano de 250 ml con agitación constante de 300 rpm, en baño maría a 60°C y con reflujo, inicialmente se llevó el aceite a la plancha de calentamiento a 110°C durante una hora con agitación constante para eliminar la humedad, luego se pesaron aproximadamente 50 g de aceite esterificado y se llevó al montaje hasta alcanzar la temperatura de reacción, paralelamente se mezclaron el metanol y el NaOH en las cantidades calculadas durante 20 min para ser adicionadas posteriormente al aceite. Transcurridas las dos horas de reacción se trasladó el producto a un embudo de decantación por 20 horas. Se separó la glicerina del biodiésel y se procedió a realizar los lavados; dos con agua acidulada, con una concentración de 2 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% p/p / litro, dos con agua destilada; manteniendo la proporción agua:biodiésel del 30% p/p. Posteriormente se llevó el biodiésel a la centrifuga a 4500 rpm durante cinco minutos y se secó en la estufa a 105°C durante 150 min. El %FAME de cada prueba se midió mediante cromatografía de gases cuya descripción se hizo en el apartado 1.2.3. , en cuanto al porcentaje de rendimiento se calculó respecto al biodiésel y el aceite esterificado.

**1.3.3. Caracterización Biodiésel.** El biodiésel obtenido de las mejores condiciones en el método simplex fue caracterizado mediante la medición de la densidad, la viscosidad, la humedad y el índice de acidez siguiendo la metodología y con los dispositivos descritos en el numeral 1.1.1. En cuanto al %FAME se calculó como en el apartado 1.2.3. y el rendimiento se calculó biodiésel obtenido/aceite pretratado. Estas propiedades fueron comparadas y analizadas según los estándares de la norma NTC 5444 (ver anexo G).

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2.1. CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA: Aceite de Pollo

El aceite residual de pollo recibido de la empresa Harinagro S.A, es de color café claro con presencia de un olor fuerte y desagradable, de apariencia grumosa a temperatura ambiente debida a la presencia de dos fases, según autores puede tratarse de oleína (fase líquida) y estearina (fase sólida), las cuales se pueden trabajar por separado o realizar una homogeneización de la materia, considerando una mayor cantidad de ácidos grasos libres debidos a la fase sólida [10,39], el proceso de extracción llevado a cabo en esta empresa consiste en la fritura y prensado de partes del ave que no sean aprovechados por la industria avícola (ver anexo H. Ficha Técnica Aceite de Pollo Harinagro).

**2.1.1. Propiedades Físicas y Químicas del Aceite Crudo.** Los resultados de las mediciones de densidad, viscosidad, humedad, índice de acidez (IA) e índice de saponificación (IS) del aceite de pollo, se muestran en la siguiente tabla y se comparan con los referentes reportados en la bibliografía.

**Tabla 2** Comparación de propiedades del aceite medidas y según la literatura.

Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosidad [mm <sup>2</sup> /s]	Humedad [%]	IA [mg KOH/g]	IS [mg KOH/g]	Autor
876	---	---	2,77	---	Tejada C. [7]
---	---	---	2,8	191	Bakir E. [40]
---	---	0,3	26,89	---	Alptekin. [41]
934,2	43,38	---	---	170,94	Galeano L. [9]
---	---	---	---	196,9	Chiu P. [39]
---	---	1	---	197	Martínez G. [10]
<b>893,4</b>	<b>336</b>	<b>0,29</b>	<b>10,75</b>	<b>197,37</b>	<b>Este estudio</b>

En la tabla 2 se observa que las propiedades físico-químicas que presentan mayor diferencia entre los valores medidos y los reportados en la literatura son la viscosidad y el índice de acidez, indicativos de la calidad del aceite para cualquier uso industrial, estas diferencias pueden estar relacionadas con la interacción de la materia prima a condiciones ambientales y climáticas, al proceso de extracción y el genotipo de las aves de cada zona. Estos factores afectan significativamente la composición de ácidos grasos libres que sumado a las condiciones de almacenamiento originan una materia prima de baja calidad.

Sin embargo, en la obtención de biocombustibles como posible aplicación para el aceite de pollo, se encuentra una ventaja del aceite estudiado en este proyecto frente a otros estudios en cuanto al Índice de Saponificación, altos valores de este favorecen la reacción de transesterificación ya que disminuyen la cantidad de jabones formados aumentando la cantidad de biodiésel producido, pero por otro lado podrían aumentar la cantidad de componentes menores en el producto final. El olor desagradable, la variabilidad del estado líquido del aceite, la presencia de humedad, el alto valor de viscosidad y el alto índice de acidez hacen del aceite inapropiado para usos industriales, siendo necesario el pre tratamiento del mismo

para disminuir el material sólido y obtener una materia prima homogénea con un valor apropiado de índice de acidez.

## 2.2. PRETRATAMIENTO MATERIA PRIMA

**2.2.1. Pruebas preliminares.** Las 12 pruebas realizadas presentaron disminución del índice de acidez, en algunos casos no fue un cambio significativo, por ejemplo, se observó que en las pruebas 1, 2, 6 y 7 el índice de acidez disminuyó respecto al aceite crudo, sin embargo, fue una diferencia máxima de dos unidades aproximadamente debido a la eliminación de lípidos hidratables y de otras impurezas. Por tanto, se descartaron los procesos de desgomado y neutralizado desarrollados de forma individual, debido a que no se alcanzó el objetivo de llegar a valores de índice de acidez bajos. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en la ejecución de las pruebas preliminares.

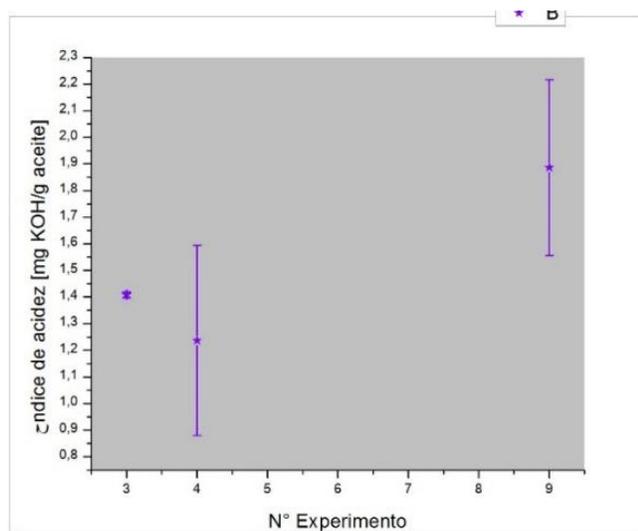
**Tabla 3** Resultados obtenidos en las pruebas preliminares

	Desgomado		Esterificado			Neutralización		Índice de acidez [mg KOH/ g aceite]	Rendimiento [aceite tratado/aceite crudo]
	Agua (%v/v)	Agua Sal (%p/p)	Relación molar (CH <sub>3</sub> OH:1)	%Catalizador	Tiempo [min]	KOH [mg]	NaOH [mg]		
Aceite	-	-	-	-	-	-	-	11,75	-
1	5	-	-	-	-	-	-	8,31	78,1
2	5	10	-	-	-	-	-	7,07	80,7
3	5	-	6	1,25	120	-	-	1,41	69,7
4	5	10	6	1,25	120	-	-	1,24	70,4
5	5	-	6	1,25	60	-	-	3,05	61,9
6	-	-	-	-	-	-	6,59	8,12	56
7	-	-	-	-	-	0,03	-	9,77	69,5
8	-	-	6	1,25	180	-	-	1,67	79
9	-	-	6	1,25	120	-	-	1,89	81,7
10	-	-	6	1,25	60	-	-	1,52	85,6
11	-	-	9	1,25	120	-	-	1,74	56
12	-	-	6	2	120	-	-	6,82	39,1

En las pruebas 3,4 y 8 el índice de acidez disminuyó por debajo de 2 mg KOH/g aceite gracias a la modificación química de los grupos carboxilo de los ácidos grasos libres, el índice de acidez presenta un valor aceptable para uso industrial, esto resalta la necesidad de realizar la reacción de esterificación como etapa del proceso de pre tratamiento.

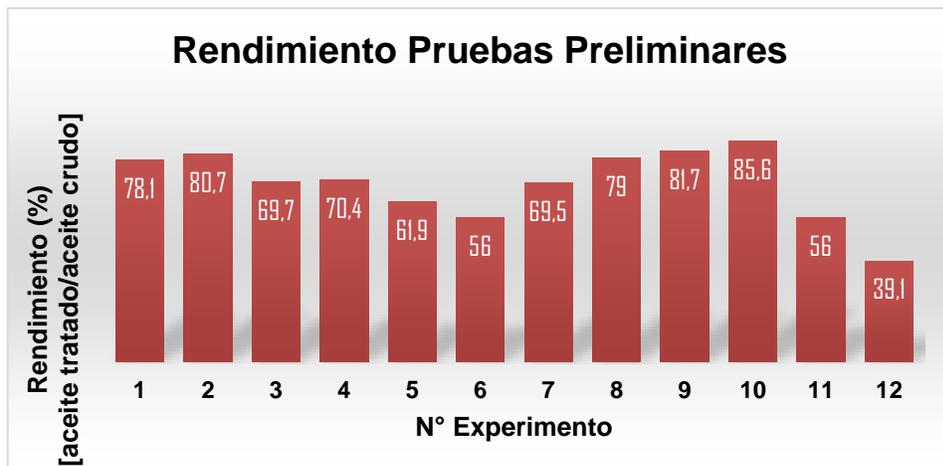
En la ejecución de las pruebas correspondientes al proceso de desgomado se observó mejoras en los aspectos físicos del aceite, cambio en el color y turbidez con una notable reducción de olores desagradables, por lo tanto, se evaluó la unión de los procesos de desgomado y esterificación, sin embargo, se calculó la desviación estándar en el Índice de Acidez para las pruebas 3, 4 y 9 y se graficaron los escenarios alto, bajo y medio. En la gráfica 1 se observa que las respuestas no muestran una diferencia estadísticamente significativa, las condiciones de reacción se mantuvieron constantes en los tres experimentos, ratificando que la influencia del proceso de desgomado en el IA tiene menor peso en comparación a la esterificación catalizada por ácido.

**Gráfica 1** Medida de Dispersión del Índice de Acidez para las pruebas preliminares 3,4 y 9



Es necesario el uso de otro parámetro como criterio de decisión, por tanto se grafican los experimentos con sus respectivos rendimientos, en la gráfica 2 se observa que la prueba número 10 presenta el mayor rendimiento de los 12 experimentos, mientras la prueba 9 supera los rendimientos obtenidos en 3 y 4, con base a este resultado se decidió realizar el pre tratamiento del aceite de pollo mediante la esterificación ácida, ya que al suprimir el proceso de desgomado como etapa de pre tratamiento se disminuyen los costos de procesamiento y aun así se alcanzan valores de índice de acidez bajos y buenos rendimientos.

**Gráfica 2** Rendimiento Pruebas Preliminares



En el estudio de las condiciones de reacción se encuentra que tanto el tiempo, pruebas 5, 8, 9 y 10, como la relación metanol: aceite y el porcentaje de catalizador, pruebas 11 y 12, afectan considerablemente la variable de respuesta. Por tanto, se define que estos son los tres factores a tener en cuenta en el desarrollo del diseño experimental.

De manera cualitativa se pudo observar después de la reacción de pre-esterificación, en la etapa de decantación la separación de dos fases en las primeras

dos horas, aceite de pollo y glicerina, por tanto, se decidió que esta etapa no sobrepasaría este tiempo.

**2.2.2. Diseño central compuesto.** En la tabla 4 se observa las condiciones de las pruebas experimentales en el punto central del diseño de experimentos y los resultados de rendimiento e índice de acidez (detalles experimentos totales realizados ver anexo I), este último con un promedio de 2,53 mg KOH/ g aceite; el cálculo de la desviación estándar en los puntos centrales estima la magnitud del error experimental [42], con un valor de 0,35 unidades indica un grado de variabilidad alto en el índice de acidez el cual no es satisfactorio en el desarrollo experimental. Esto se debe a la mala calidad de la materia prima, reflejada en el olor desagradable y aspecto grumoso con dificultad en el manejo del aceite en las etapas de decantación y lavado debido a la solubilización del glicerol en la fase aceitosa y su emulsificación en presencia de agua.

**Tabla 4** Resultados obtenidos en el punto central del diseño central compuesto rotatable: Esterificación

TIEMPO [min]	RMA	ÁCIDO [% p/p]	RENDIMIENTO [% aceite esterificado/aceite desgomado]	IA [mg KOH/ g aceite]
120	7.5:1	1,5	66,8	2,81
120	7.5:1	1,5	61,9	2,71
120	7.5:1	1,5	85,2	2,22
120	7.5:1	1,5	75,8	2,99
120	7.5:1	1,5	85,8	2,30
120	7.5:1	1,5	82,5	2,16
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>0,35</b>

Según lo descrito en el párrafo anterior se estableció realizar cuatro pruebas adicionales en el punto central para evaluar el efecto que tenía la adición del proceso de desgomado en la calidad y procesamiento del aceite. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 5, estas pruebas muestran la notable disminución de la desviación estándar y por tanto una menor dispersión de los datos obtenidos para un mismo punto, a su vez se obtuvieron valores de índice de acidez menores en comparación a los resultantes en el tratamiento de la materia prima en una sola etapa, por tanto el desgomado y el esterificado resultan ser dos etapas claves para el acondicionamiento adecuado del aceite de pollo residual mediante la eliminación de impurezas.

**Tabla 5** Evaluación de la adición del proceso de desgomado en el pre tratamiento de la materia prima

	Tiempo [min]	Relación molar metanol	Porcentaje catalizador [%p/p]	Rendimiento [% aceite tratado/aceite crudo]	Índice de Acidez [mg KOH/g aceite]	Desviación Estándar
Esterificación	120	7,5	1,5	70,6	4,6087	0,44
Esterificación	120	7,5	1,5	74,9	3,9842	
Desgomado y Esterificación	120	7,5	1,5	70,11	1,6728	0,09
Desgomado y Esterificación	120	7,5	1,5	69,13	1,5500	

Con base en los aspectos mencionados anteriormente se decidió realizar de nuevo el diseño experimental central compuesto rotatable con la adición del proceso de desgomado del aceite, sin embargo, los factores analizados fueron los correspondientes a la reacción de esterificación y se encuentran especificados en el apartado 2.2.1. Para cada experimento del diseño central compuesto rotatable se obtuvieron los resultados de rendimiento de la reacción e índice de acidez, en la siguiente tabla se encuentran los resultados correspondientes a los puntos centrales

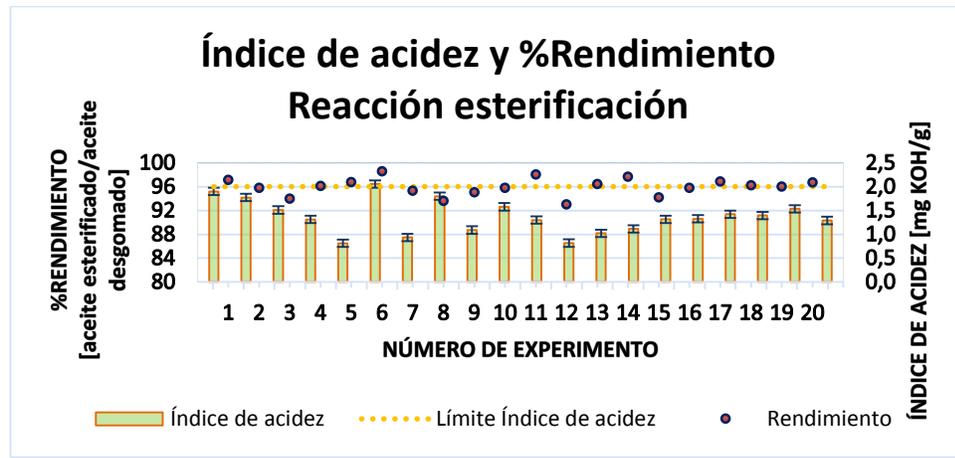
del diseño aplicado al tratamiento de la materia prima mediante el proceso de desgomado y esterificado (los resultados detallados de los 20 experimentos se encuentran en el anexo J). Cabe resaltar la disminución de la desviación estándar y por ende el aumento en la reproducibilidad para el nuevo diseño de experimentos ejecutado, además se ratificaron los resultados obtenidos en las pruebas adicionales en cuanto a los valores bajos de IA.

**Tabla 6** Resultados obtenidos en el punto central del diseño central compuesto rotatable: Desgomado-Esterificación

TIEMPO [min]	RELACIÓN MOLAR METANOL	ÁCIDO [% p/p]	RENDIMIENTO [% aceite esterificado/aceite desgomado]	IA [mg KOH/ g aceite]
120	7.5:1	1,5	94,2	1,3151
120	7.5:1	1,5	95,8	1,3270
120	7.5:1	1,5	96,9	1,4231
120	7.5:1	1,5	96,2	1,3966
120	7.5:1	1,5	96,0	1,5360
120	7.5:1	1,5	96,7	1,2902
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>0,09</b>

Todos los experimentos cumplieron con el objetivo de disminuir el índice de acidez, lo que indica que se logró neutralizar un alto porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite y comprueba la validez del proceso de desgomado y esterificación ácida como pre tratamiento para el aceite residual. La gráfica 3 representa el IA y rendimiento promedio obtenido en el desarrollo experimental tomando como punto de referencia un IA de 2 mg KOH/ g aceite.

**Gráfica 3** Índice de acidez y %Rendimiento, reacción de esterificación



Las pruebas 5 (tiempo 60 min; relación metanol: aceite 6:1; porcentaje catalizador 2%), 7 (tiempo 60 min; relación metanol: aceite 9:1; porcentaje catalizador 2%) y 12 (tiempo 120 min; relación metanol: aceite 10,02:1; porcentaje catalizador 1,5%) presentaron los mejores resultados con un IA inferior a 1 mg KOH/g y rendimientos por encima del 93% (aceite esterificado/aceite desgomado), sin embargo, de las tres pruebas la N° 5 presenta mayor rendimiento en la reacción de esterificación con relación a las demás. El proceso de desgomado en el tratamiento del aceite de pollo no ha sido reportado, por tanto, no es posible comparar estos resultados con la literatura, siendo un primer paso para mejorar la difícil tarea de acondicionar aceites residuales avícolas para la posterior obtención de productos de valor agregado en miras de su propagación industrial.

En estudios realizados por la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Industrial de Santander sobre la reacción de esterificación con aceite de palma y sebo bovino como materia prima, se encontró que a valores altos de relación molar metanol: aceite (8:1 y 7,5:1 respectivamente) y cantidad de catalizador (2,5% y 1,25% respectivamente) se alcanzaban índices de acidez inferiores a 1 mg KOH/g [24,31]. En otro estudio, Alptekin trató aceite de pollo con ácido sulfúrico con el fin

de reducir los ácidos grasos libres presentes en este [41], y afirmó que usar cantidades bajas de catalizador ácido no es eficaz para reducir el nivel de AGL.

Ramírez afirma que al aumentar la relación molar manteniendo alta la concentración de catalizador existe un punto de inflexión para cierto valor de relación molar en el cual el IA tiende a aumentar para cantidades mayores de alcohol, situación atribuida a la desactivación del catalizador. Se obtuvieron resultados similares a los de Alptekin pese a que se trabajaron con condiciones diferentes, el mayor índice de acidez medido es de 2,42 mg KOH/ g aceite y las mejores condiciones son una relación molar metanol: aceite 6:1, concentración de catalizador de 2 %p/p y tiempo de reacción de 60 min (experimento #5) asegurando así la disminución de costos de operación y la no contaminación por parte del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Los resultados correspondientes a la medición de las propiedades fisicoquímicas del aceite tratado con las mejores condiciones obtenidas se muestran en la tabla 8. Una vez finalizado el acondicionamiento del aceite de pollo residual se cuenta con una materia prima de baja viscosidad e Índice de Acidez, con un valor por debajo de los 2 mg de KOH/ g aceite permite evaluar su potencial uso en la reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel.

## 2.3. OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

**2.3.1. Diseño Experimental: Optimización Secuencial Simple.** Previo a la ejecución de las pruebas experimentales se obtuvieron 800 gramos de aceite tratado con 79% de rendimiento sobre el aceite residual crudo y un índice de acidez de 0,81 mg KOH/g aceite, con alta reproducibilidad comparado con los resultados obtenidos en la etapa anterior. En la tabla 7 se muestran las condiciones iniciales de la reacción de transesterificación y los resultados correspondientes al rendimiento y el %FAME (criterio de parada) para cada una.

**Tabla 7** Resultados obtenidos en el desarrollo de la optimización secuencial simple

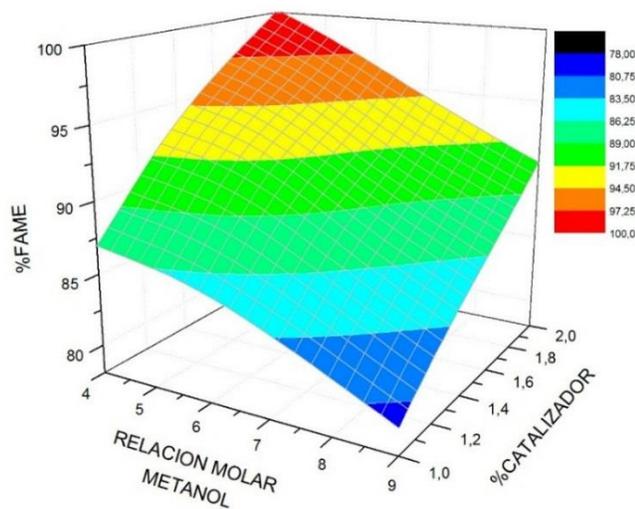
N° REACCIÓN	RELACIÓN MOLAR METANOL	NaOH [%p/p]	RENDIMIENTO [biodiésel/aceite pretratado]	%FAME
1	4	0,5	89,9	87
2	5	1	85,2	91,9
3	6	1	81,4	90,4
4	7	1,5	68,8	91,1
5	8	2	---	---
6	9	2	53,1	90,6
7	10	2,5	---	---

En la tabla anterior se observa que los experimentos N° 5 y 7 no poseen datos de respuesta, esto es consecuencia de la solidificación de las muestras después de transcurrido el tiempo de reacción (ver anexo L-6), debido a que altas relaciones molares de metanol/aceite y a porcentajes elevados de catalizador, se originan reacciones secundarias indeseables como las de saponificación. La excesiva formación de jabones ocurrió por la combinación de dos factores; en primer lugar, proporciones mayores de metanol aumentan la solubilidad con el glicerol dificultando su separación [18,43], esto disminuye el rendimiento debido a que actúa como emulsificador del catalizador [38]; en segundo lugar la reversibilidad de la

reacción sumado a la presencia de agua en el aceite tratado (ver tabla 8) mueve el equilibrio hacia la izquierda, dando lugar a la reacción de saponificación. En cuanto a la búsqueda de otros estudios con resultados similares, se encontró que no hay casos reportados de gelatinización, emulsificación o solidificación del producto de la reacción de transesterificación.

A partir de los datos presentados en la tabla 7 se graficó la superficie de respuesta correspondiente, la gráfica 4 representa el efecto de la cantidad de metanol y NaOH sobre la variable de respuesta, en esta se puede observar mayores valores del %FAME a medida que disminuye el metanol y aumenta el catalizador, esto se ve respaldado por Ramírez y Mendoça en sus estudios de obtención de biodiésel a partir de sebo bovino [31,44].

**Gráfica 4** Diagrama de la superficie de respuesta: optimización secuencial simple



Como se mencionó, cantidades altas de metanol y catalizador favorecen reacciones secundarias indeseadas, sin embargo, existe un equilibrio entre estos factores que

permite la formación de metilésteres como se observa en la tabla 7 (experimento #6), el cual alcanza un %FAME de 90,6% con una relación molar de metanol: aceite de 9:1 y 2% de NaOH.

Para aceites con una acidez inferior al 5%, autores como Tomasevic y Siler-Marinkovic sugieren usar 1% p/p de catalizador y una relación molar de 6:1 [27,45]. Sin embargo, los resultados obtenidos en la metodología simplex evidencian que la reacción N° 2 con condiciones de reacción de: relación metanol: aceite de 5:1 y una cantidad de catalizador (NaOH) de 1% p/p es la mejor condición de operación al alcanzar un %FAME de 91,9%. Los datos de rendimiento a partir de aceite desechado, usado y fresco (residuos de asadero de pollo, usado de hogares y fresco) se encuentran en un rango entre 72,80-81,50 [46], comparados con el rendimiento del aceite de pollo en la reacción de mayor %FAME (85,2%) son menores, afirmando que las pérdidas de materia en la reacción de transesterificación son cercanos a los resultados obtenidos en otros trabajos con igual o diferente materia prima.

**2.3.2. Caracterización Biodiésel.** En la tabla 8 se detalla la caracterización del biodiésel obtenido en la aplicación de las mejores condiciones de reacción, mediante la medición de la densidad, la viscosidad, la humedad, el índice de acidez y el %FAME. Además, se comparan las propiedades del biodiesel con los valores permitidos por la norma y la evolución de las mismas tras cada etapa del proceso.

El aceite tratado presentó notables mejoras en su aspecto físico y al realizar el análisis a nivel de sus propiedades fisicoquímicas cabe destacar que los cambios más significativos se encontraron a nivel de viscosidad e IA, donde la disminución de sus valores se debió principalmente a la eliminación de gomas y la reducción de los AGL presentes en el aceite crudo a través de cada una de las etapas de pre

tratamiento, teniendo tanto el desgomado como la esterificación ácida mayor impacto en las propiedades, viscosidad e IA respectivamente.

En cuanto a los valores de humedad se observa en la tabla 8 que el aceite desgomado presenta un valor de cero para la técnica utilizada, esto se puede deber a que en el proceso las gomas presentes en este se hidratan y se retiran por medio de centrifugación quedando el agua atrapada dentro del lodo que es desechado. Cabe notar que de acuerdo a la norma europea 14214 la medición de esta propiedad se realiza utilizando un equipo Karl Fisher.

**Tabla 8** Propiedades del aceite de pollo, aceite desgomado, aceite esterificado y biodiésel comparado con la norma NTC 5444

MATERIA	ACEITE DE POLLO	ACEITE DESGOMADO	ACEITE ESTERIFICADO	BIODIÉSEL 5:1 1%	NORMA NTC 5444
DENSIDAD a 15 °C [Kg/m <sup>3</sup> ]	893,4	919,7	916,9	881,2	860-900
VISCOSIDAD (cinemática a T.amb) [mm <sup>2</sup> /s]	336	78	48	6	---
VISCOSIDAD (cinemática a 40°C) [mm <sup>2</sup> /s]	---	---	---	4	1,9-6,0
HUMEDAD [mg H <sub>2</sub> O/Kg]	2960	0	1530	4500	500 máximo
ÍNDICE DE ACIDEZ [mg KOH/g]	10,75	8,311	0,87	0,26	0,5 máximo
ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN [mg KOH/g]	197,37	201,13	197,02	---	---
%FAME	---	---	5,4	91,9	96,5 mínimo
PODER CALORÍFICO [MJ/Kg]	---	---	---	40,08	---

Las propiedades del biodiésel que cumplieron la norma NTC 5444 fueron la densidad, la viscosidad y el índice de acidez, a lo largo de las etapas del proceso

se observa la evolución de las mismas a excepción de la densidad cuyo valor no presenta una variabilidad considerable. En el caso de la humedad y el %FAME no se cumplen los estándares de la norma, imposibilitando de esta manera el uso de este biodiésel en motores de combustión interna. El incremento de la humedad entre el aceite pre tratado y el biodiésel se debe a que este es altamente hidrofílico, quedando en desventaja frente al diésel convencional el cual absorbe 40 veces menos agua [9], por tanto, se recomienda aumentar el tiempo de secado o implementar la agitación del biodiésel durante esta fase.

La cantidad de metilésteres presentes en el biodiesel se puede aumentar agregando procesos que remuevan los ácidos grasos libres que no reaccionaron, como la destilación o pasando los metilésteres a través de materiales absorbentes como sílica gel o silicatos de magnesio [18], en cuanto a las condiciones trabajadas en este proyecto se podría mejorar la etapa de lavado de los ésteres metílicos o como se mencionó anteriormente evaluar la fase de secado tanto del aceite esterificado como del biodiésel.

Se conoce como poder calorífico de un combustible la cantidad de energía producida por la combustión completa de un kilogramo de esa sustancia [9], Martínez G. reporta un poder calorífico para biodiésel a partir de grasa de pollo de 42,68 1895 MJ/Kg [10], valor cercano al poder calorífico del diésel convencional el cual corresponde a 42,42 MJ/Kg [47], mientras Abraham J. [47] reporta un valor de 38,71 MJ/Kg menor comparado con el diésel convencional. El valor medido en este proyecto se encuentra entre los dos valores encontrados en la literatura confirmando que, a pesar de ser un buen resultado, este podría ser mejor.

El proceso de desgomado y esterificación ácida son procesos eficientes en la eliminación de ácidos grasos libres e impurezas, se encontraron las mejores condiciones para acondicionar el aceite de pollo el cual posteriormente se usó como materia prima en la transformación a metilésteres (FAME). El biodiésel obtenido

presenta algunas propiedades fisicoquímicas por fuera de los estándares de la normativa inhabilitando su uso en motores de combustión interna, por tanto, se recomienda disminuir la humedad del aceite pre tratado para mejorar las propiedades del producto de valor agregado y a su vez aumentar los porcentajes de rendimiento. En caso de no lograr subir esos rendimientos se propone estudiar la aplicación el aceite de pollo otros campos de acción, teniendo en cuenta que se alcanzó un aceite de calidad con índice de acidez bajo y mejoras en algunas de sus propiedades físicas.

### 3. CONCLUSIONES

El acondicionamiento del aceite de pollo residual en dos etapas, proceso de desgomado y esterificación catalizada con ácido, logró la disminución del índice de acidez a valores inferiores de 2mg KOH/g aceite, lo que mejora la calidad del aceite como materia prima y posibilita su aplicación industrial.

Las mejores condiciones encontradas experimentalmente en el tratamiento del aceite de pollo residual por medio de la reacción de esterificación catalizada por ácido disminuyeron el índice de acidez a valores cercanos a 1 mg KOH/g aceite con un rendimiento del 95,8% (aceite esterificado/aceite desgomado), además se encontró reproducibilidad al tratar cantidades mayores de aceite con estas condiciones.

Las mejores condiciones encontradas experimentalmente para la reacción de transesterificación a partir de aceite de pollo residual pre tratado permitieron obtener un rendimiento biodiesel/aceite pre tratado de 85,2%p/p con 91,9 %FAME.

#### **4. RECOMENDACIONES**

Se recomienda experimentar, comparar y analizar los resultados con otros catalizadores como hidróxido de potasio, metilato de sodio y metilato de potasio en la reacción de transesterificación.

Se recomienda destilar o utilizar materiales absorbentes como sílica de gel para aumentar el contenido de metilésteres en el producto terminado.

En cuanto a las propiedades físico-químicas medidas al biodiesel que no se encuentran dentro de los estándares emitidos por la norma NTC 5444, se recomienda aumentar el tiempo de secado o implementar la agitación del este durante esta fase.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONCEJO DE BOGOTA. [sitio web]. Acuerdo 344 de 2008. Regist. Dist. 4125. (2008). [consulta: julio 5 de 2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>.
  
- [2] CONGRESO DE COLOMBIA. [sitio web]. Ley 1259 de 20008. D. Of. 47208. (2008). [consulta: julio 5 de 2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>.
  
- [3] ZELAYA GARCÍA, J.D. Evaluación De Materiales Vegetales Y Residuales Oleaginosos Para La Producción De Biodiesel en el Salvador. Trabajo de Grado Ingeniera Química. El Salvador: Universidad de el Salvador, 2007. 231 p.
  
- [4] PEREZ VILLA, M.V. VILLEGAS CALLE, R.A. Procedimientos para el manejo de residuos orgánicos avícolas. Trabajo de Grado Zootecnista. Medellín. Universidad de Antioquia, 2009. 71 p.
  
- [5] GOMEZ DAZA, E. Estudio De Gestion Ambiental Para La Empresa Avicola Agricola Mercantil Del Cauca-Agricca S.a. Trabajo de Grado Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales. Universidad de Manizales, 2012. 173 p.

- [6] FEDERACIÓN NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA. [en línea]. Consumo Per Cápita, Estadísticas. (2016). [consulta: julio 10 de 2016]. Disponible en: <http://www.fenavi.org>.
- [7] TEJADA TOVAR, Candelaria. TEJEDA BENITEZ, Lesly. VILLABONA ORTIZ, Angel. Obtención de Biodiesel a partir de Diferentes Tipos de Grasa Residual de Origen Animal, Luna Azul. (2013) 240–256. doi:10.17151/luaz.2015.40.14.
- [8] BENJUMEA HERNANDEZ, P.N. SANTAMARÍA AGUDELO, J.R. RÍOS, L.A. Biodiésel: Producción, calidad y caracterización. 1 ed, Universidad de Antioquia, Antioquia, 2009.
- [9] GALEANO, C.A. GUAPACHA M., E. Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos del pollo para la producción de un biocombustible. Trabajo de Grado Químico Industrial. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. 117 p.
- [10] MARTINEZ ANAYA, G.C. PONCE PORTILLO, R.F. REYES GUTIERREZ, L.T. Diseño Del Proceso Químico a Escala De Laboratorio Para La Producción De Biodiesel a Partir De Grasa De Pollo. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. El Salvador. Universidad de el Salvador, 2007. 253 p.
- [11] PÉREZ GALERA, J.A. Aceites lubricantes. Los Aceites Lubricantes. (n.d.).

- [12] FACULTAD QUÍMICA DE FARMACEÚTICA. [sitio web]. Grasas y Aceites Comestibles. Universidad de Antioquia. (2016). [consulta: julio 22 de 2016]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co>.
- [13] ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE EN ISO 660 - Aceites y Grasas de Origen Animal y Vegetal: Determinación del Índice de Acidez y de la Acidez, (2000) 17.
- [14] ALVIAREZ, J. MURILLO, E. MURILLO, W. ROJANO, E. MENDEZ, B. Caracterización y extracción lipídica de las semillas del cacao amazónico ( *Theobroma grandiflorum* ). Ciencia En Desarrollo. 7 (2016) 103–109.
- [15] LUNA GUEVARA, J.A. GUERRERO BELTRAN, J. J. Evaluación de algunos índices físicos y químicos de aceites extraídos de nuez pecanera , nuez de Castilla y Macadamia. Ciencia Y Tecnología Alimentaria. 22 (2012) 33–39.
- [16] FACULTAD QUÍMICA DE FARMACEÚTICA. [sitio web]. Índice de acidez, Grasas Y Aceites Comestibles. Universidad de Antioquia. (2016). [consulta: julio 22 de 2016]. Disponible en : <http://docencia.udea.edu.co>.
- [17] YAGÜE AYLÓN, M.A. Estudio de Utilización de Aceites para Fritura en Establecimientos Alimentarios de Comidas Preparadas, Obs. La Segur. 2 (2003) 1–34.

- [18] AVELLANEDA VARGAS, F.A. Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tesis Doctoral. Tarragona. Universitat Rovira I Virgili, 2010. 244 p. ISBN:978-84-693-4594-8/DL:T.1007-2010.
- [19] HERRERA RESTREPO, J.A. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Trabajo de Grado Tecnólogo Químico. Pereira. Universidad Tecnológica De Pereira, 2008. 91 p.
- [20] BAILEY, Alton E. Aceites y Grasas Industriales. 2 ed. Barcelona: Reverté S.A., 1961. 743 p. ISBN 84-291-7901-1.
- [21] SANCHEZ PINEDA DE LAS INFANTAS, M.T. Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas, Primera Ed, Madrid, 2003.
- [22] PRIMO YÚFERA, E. Química orgánica y básica aplicada: de la molécula a la industria. 2 ed, Universidad Politécnica de Valencia, Barcelona, 2007.
- [23] QUÍMICA ORGÁNICA. Ácidos Carboxílicos y Derivados, Química Orgánica. 1–31 p. [consulta: octubre 4 de 2016]. Disponible en: <http://www.sinorg.uji.es>.
- [24] MAZO, P. GALEANO, L. Esterificación de los ácidos grasos libres (FFA) del aceite crudo de palma. Calentamiento convencional vs microondas, Scientia.

(2007) 461–465.

- [25] LIZANA R., Diego. Antecedentes generales sobre biodiesel. Tesis de Maestría. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. 22 p.
- [26] FAKHRY, E.M. EL MAGHRABY, D.M. Fatty Acids Composition and Biodiesel Characterization of *Dunaliella salina*. *J. Water Resour. Prot.* 2013 (2013) 894–899 p. doi:10.4236/jwarp.2013.59091.
- [27] TOMASEVIC, A. V. SILER-MARINKOVIC, S.S. Methanolysis of used frying oil, *Fuel Process. Technol.* 81 (2003) 1–6 p. doi:10.1016/S0378-3820(02)00096-6.
- [28] ACOSTA, F. CASTRO, P. CORTIJO, E. Manual de construcción y uso de Reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. *Soluciones Prácticas*, 2008. 55 p.
- [29] RIVERA, G. VILLANUEVA, Ivanna. SANDOVAL, Gerardo. Producción de biodiesel a partir de residuos grasos animales por vía enzimática, *Grasas Y Aceites*. Ejemplar 60 (2009) 468–474 p.
- [30] FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES, Estadística, Precios del Biodiesel. [sitio web] Ministerio de Agricultura. (2016). 1 p. [consulta: septiembre 15 de 2016]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com>.

- [31] RAMIREZ GARCÍA, Y.Andrea. Acondicionamiento del Sebo de Bovino Residual como Materia Prima para la Obtención de Biodiesel. Trabajo de Grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, 2016. 64 p.
- [32] HOYOS, S. Colombia aumentará en 150.000 las hectáreas cultivadas de palma en tres años. [en línea] Federación Nacional de Biocombustibles Colombia. (2016). [consulta: octubre 6 de 2016]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-2470.htm>.
- [33] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Aceites y grasas de origen vegetal y animal (Nota) [sitio web], FAO. (2016) [consulta: septiembre 25 de 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org>.
- [34] MATINEZ VALENCIA, L.J. ZAMARRIPA COLMENERO, Biaani Beeu. SOLIS BONILLA, Alfredo. LOPEZ ANGEL, Jose Luis. Calidad fisicoquímica de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en México, (2011) 75 p.
- [35] MATEOS TRIGOS, M.L. Obtención de Biodiésel utilizando aceites vegetales de reúso con radiación ultrasónica: Identificación de las mejores condiciones de Reacción de Transesterificación. Trabajo de Grado Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental. Querétaro. Universidad Autonoma de Querétaro, 2014. 69 p.

- [36] WALTERS, D. MORGAN, Parker. Sequential simplex optimization, CRC-LLC, Sweden, 1999. doi:10.1080/00032719908542815.
- [37] MONTENEGRO, C.A. SIERRA VARGAS, Manuel Antonio. GUERRERO FAJARDO, Fabio Emiro. Production and characterization of biodiesel from chicken fat. Bogotá. Universidad Nacional, (2012) 10 p.
- [38] ROJAS GONZÁLEZ, A. GIRÓN GALLEGO, E. Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales: Una revisión, Ing. Y Univ. 15 (2011) 197–218 p.
- [39] CHIU, P. MING, C. ANTONIO, L. SOTERO, V. Fraccionamiento de la grasa abdominal de pollo. Grasas Y Aceites. 53 (2002) 298–303 p.
- [40] BAKIR, A. FADHIL, Emmad. Production of biodiesel from chicken frying oil. Waste Manag. 26 (2006) 487–494 p. doi:10.1016/j.wasman.2005.02.025.
- [41] ALPTEKIN, E. CANAKCI, M. SANLI, H. Methyl ester production from chicken fat with high FFA. World Renew. Energy Congr. 1 (2011) 319–326 p. doi:10.3384/ecp11057319.
- [42] SIQUEIROS, A. Aplicación de la Metodología de Superficies de Respuesta para el Mejoramiento de la Calidad del Aceite de Soya. Trabajo de Grado Licenciado en Matemáticas. Hermosillo Sonora. Universidad de Sonora, 2004.

113 p.

- [43] CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. Grasas y Aceites, Folleto. Volumen 62, Editorial CSIC (2011) 1–2 p. doi:10.3989/gya.022212.
- [44] MENDONÇA, D.R. et al. Application of full factorial design and Doehlert matrix for the optimisation of beef tallow methanolysis via homogeneous catalysis, Fuel Process. Technol. 92 (2011) 342–348 p. doi:10.1016/j.fuproc.2010.09.026.
- [45] CASTRO MARTINEZ, J.C. Claudia. BELTRAN ARREDONDO, Laura ORTIZ OJEDA, Ivonne. Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética?. Revista Sociedad, Cultura Y Desarrollo Sustentable. 8 (2012) 101–115 p.
- [46] ORDOÑEZ, B.M. CHAVES, L.C. RODRÍGUEZ PÉREZ, W. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Revista Colombiana Biotecnología.(2013) 61–70 p.
- [47] ABRAHAM, J. SARAVANAKUMAR, V.R. Yield and Quality Characteristics of Rendered Chicken Oil for Biodiesel Production. Springer AOCS. 91 (2013) 133–141. doi:10.1007/s11746-013-2346-5.
- [48] SOPORTE DE MINITAB. ¿Qué es un diseño central compuesto? [sitio web]

(2016). [consulta: agosto 8 de 2016]. Disponible en:  
<http://support.minitab.com>.

- [49] OROPEZA, D.C. Aplicación de diseño central compuesto para la formulacion de un néctar a base de melón, parchita y limón. Universidad Simón Bolívar, 2006. 21 p.

## BIBLIOGRAFÍA

ABRAHAM, J. SARAVANAKUMAR, V.R. Yield and Quality Characteristics of Rendered Chicken Oil for Biodiesel Production. Springer AOCS. 91 (2013) 133–141. doi:10.1007/s11746-013-2346-5.

ACOSTA, F. CASTRO, P. CORTIJO, E. Manual de construcción y uso de Reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. Soluciones Prácticas, 2008. 55 p.

ALPTEKIN, E. CANAKCI, M. SANLI, H. Methyl ester production from chicken fat with high FFA. World Renew. Energy Congr. 1 (2011) 319–326 p. doi:10.3384/ecp11057319.

ALVIAREZ, J. MURILLO, E. MURILLO, W. ROJANO, E. MENDEZ, B. Caracterización y extracción lipídica de las semillas del cacao amazónico ( *Theobroma grandiflorum* ). Ciencia En Desarrollo. 7 (2016) 103–109.

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE EN ISO 660 - Aceites y Grasas de Origen Animal y Vegetal: Determinación del Índice de Acidez y de la Acidez, (2000) 17.

AVELLANEDA VARGAS, Fredy Augusto. Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tesis Doctoral. Tarragona. Universitat Rovira I Virgili,

2010. 244 p. ISBN:978-84-693-4594-8/DL:T.1007-2010.

BAILEY, Alton E. Aceites y Grasas Industriales. 2 ed. Barcelona: Reverté S.A., 1961. 743 p. ISBN 84-291-7901-1.

BAKIR, A. FADHIL, Emmad. Production of biodiesel from chicken frying oil. Waste Manag. 26 (2006) 487–494 p. doi:10.1016/j.wasman.2005.02.025.

BENJUMEA HERNANDEZ, P.N. SANTAMARÍA AGUDELO, J.R. RÍOS, L.A. Biodiésel: Producción, calidad y caracterización. 1 ed, Universidad de Antioquia, Antioquia, 2009.

CASTRO MARTINEZ, J.C. Claudia. BELTRAN ARREDONDO, Laura ORTIZ OJEDA, Ivonne. Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética?. Revista Sociedad, Cultura Y Desarrollo Sustentable. 8 (2012) 101–115 p.

CHIU, P. MING, C. ANTONIO, L. SOTERO, V. Fraccionamiento de la grasa abdominal de pollo. Grasas Y Aceites. 53 (2002) 298–303 p.

CONCEJO DE BOGOTA. [sitio web]. Acuerdo 344 de 2008. Regist. Dist. 4125. (2008). [consulta: julio 5 de 2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>.

CONGRESO DE COLOMBIA. [sitio web]. Ley 1259 de 20008. D. Of. 47208. (2008). [consulta: julio 5 de 2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. Grasas y Aceites, Folleto. Volumen 62, Editorial CSIC (2011) 1–2 p. doi:10.3989/gya.022212.

FACULTAD QUÍMICA DE FARMACEÚTICA. [sitio web]. Grasas y Aceites Comestibles. Universidad de Antioquia. (2016). [consulta: julio 22 de 2016]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co>.

FACULTAD QUÍMICA DE FARMACEÚTICA. [sitio web]. Índice de acidez, Grasas Y Aceites Comestibles. Universidad de Antioquia. (2016). [consulta: julio 22 de 2016]. Disponible en : <http://docencia.udea.edu.co>.

FAKHRY, E.M. EL MAGHRABY, D.M. Fatty Acids Composition and Biodiesel Characterization of *Dunaliella salina*. J. Water Resour. Prot. 2013 (2013) 894–899 p. doi:10.4236/jwarp.2013.59091.

FEDERACIÓN NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA. [en línea]. Consumo Per Cápita, Estadísticas. (2016). [consulta: julio 10 de 2016]. Disponible en: <http://www.fenavi.org>.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES, Estadística, Precios del Biodiesel. [sitio web] Ministerio de Agricultura. (2016). 1 p. [consulta: septiembre 15

de 2016]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Aceites y grasas de origen vegetal y animal (Nota) [sitio web], FAO. (2016) [consulta: septiembre 25 de 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org>.

GALEANO, C.A. GUAPACHA M., E. Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos del pollo para la producción de un biocombustible. Trabajo de Grado Químico Industrial. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. 117 p.

GOMEZ DAZA, E. Estudio De Gestion Ambiental Para La Empresa Avicola Agricola Mercantil Del Cauca-Agricca S.a. Trabajo de Grado Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales. Universidad de Manizales, 2012. 173 p.

HERRERA RESTREPO, J.A. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Trabajo de Grado Tecnólogo Químico. Pereira. Universidad Tecnológica De Pereira, 2008. 91 p.

HOYOS, S. Colombia aumentará en 150.000 las hectáreas cultivadas de palma en tres años. [en línea] Federación Nacional de Biocombustibles Colombia. (2016). [consulta: octubre 6 de 2016]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-2470.htm>.

LIZANA R., Diego. Antecedentes generales sobre biodiesel. Tesis de Maestría. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. 22 p.

LUNA GUEVARA, J.A. GUERRERO BELTRAN, J. J. Evaluación de algunos índices físicos y químicos de aceites extraídos de nuez pecanera , nuez de Castilla y Macadamia. Ciencia Y Tecnología Alimentaria. 22 (2012) 33–39.

MARTINEZ ANAYA, G.C. PONCE PORTILLO, R.F. REYES GUTIERREZ, L.T. Diseño Del Proceso Químico a Escala De Laboratorio Para La Producción De Biodiesel a Partir De Grasa De Pollo. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. El Sallvador. Universidad de el Salvador, 2007. 253 p.

MATEOS TRIGOS, M.L. Obtención de Biodiésel utilizando aceites vegetales de reúso con radiación ultrasónica: Identificación de las mejores condiciones de Reacción de Transesterificación. Trabajo de Grado Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental. Querétaro. Universidad Autonoma de Querétaro, 2014. 69 p.

MATINEZ VALENCIA, L.J. ZAMARRIPA COLMENERO, Biaani Beeu. SOLIS BONILLA, Alfredo. LOPEZ ANGEL, Jose Luis. Calidad fisicoquímica de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en México, (2011) 75 p.

MAZO, P. GALEANO, L. Esterificación de los ácidos grasos libres (FFA) del aceite crudo de palma. Calentamiento convencional vs microondas, Scientia. (2007) 461–465.

MENDONÇA, D.R. et al. Application of full factorial design and Doehlert matrix for the optimisation of beef tallow methanolysis via homogeneous catalysis, Fuel Process. Technol. 92 (2011) 342–348 p. doi:10.1016/j.fuproc.2010.09.026.

MONTENEGRO, C.A. SIERRA VARGAS, Manuel Antonio. GUERRERO FAJARDO, Fabio Emiro. Production and characterization of biodiesel from chicken fat. Bogotá. Universidad Nacional, (2012) 10 p.

ORDOÑEZ, B.M. CHAVES, L.C. RODRÍGUEZ PÉREZ, W. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Revista Colombiana Biotecnología.(2013) 61–70 p.

OROPEZA, D.C. Aplicación de diseño central compuesto para la formulacion de un néctar a base de melón, parchita y limón. Universidad Simón Bolívar, 2006. 21 p.

PÉREZ GALERA, J.A. Aceites lubricantes. Los Aceites Lubricantes. (n.d.).

PEREZ VILLA, M.V. VILLEGAS CALLE, R.A. Procedimientos para el manejo de residuos orgánicos avícolas. Trabajo de Grado Zootecnista. Medellín. Universidad de Antioquia, 2009. 71 p.

PRIMO YÚFERA, E. Química orgánica y básica aplicada: de la molécula a la industria. 2 ed, Universidad Politecnica de Valencia, Barcelona, 2007.

QUÍMICA ORGÁNICA. Ácidos Carboxílos y Derivados, Química Orgánica. 1–31 p. [consulta: octubre 4 de 2016]. Disponible en: <http://www.sinorg.uji.es>.

RAMIREZ GARCÍA, Y.Andrea. Acondicionamiento del Sebo de Bovino Residual como Materia Prima para la Obtención de Biodiesel. Trabajo de Grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, 2016. 64 p.

RIVERA, G. VILLANUEVA, Ivanna. SANDOVAL, Gerardo. Producción de biodiesel a partir de residuos grasos animales por vía enzimática, Grasas Y Aceites. Ejemplar 60 (2009) 468–474 p.

ROJAS GONZÁLEZ, A. GIRÓN GALLEGO, E. Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales: Una revisión, Ing. Y Univ. 15 (2011) 197–218 p.

SANCHEZ PINEDA DE LAS INFANTAS, M.T. Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas, Primera Ed, Madrid, 2003.

SIQUEIROS, A. Aplicación de la Metodología de Superficies de Respuesta para el Mejoramiento de la Calidad del Aceite de Soya. Trabajo de Grado Licenciado en Matemáticas. Hermosillo Sonora. Universidad de Sonora, 2004. 113 p.

SOPORTE DE MINITAB. ¿Qué es un diseño central compuesto? [sitio web] (2016). [consulta: agosto 8 de 2016]. Disponible en: <http://support.minitab.com>.

TEJADA TOVAR, Candelaria. TEJEDA BENITEZ, Lesly. VILLABONA ORTIZ, Angel. Obtención de Biodiesel a partir de Diferentes Tipos de Grasa Residual de Origen Animal, Luna Azul. (2013) 240–256. doi:10.17151/luaz.2015.40.14.

TOMASEVIC, A. V. SILER-MARINKOVIC, S.S. Methanolysis of used frying oil, Fuel Process. Technol. 81 (2003) 1–6 p. doi:10.1016/S0378-3820(02)00096-6.

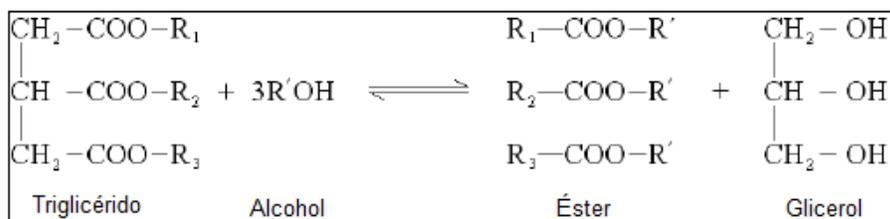
WALTERS, D. MORGAN, Parker. Sequential simplex optimization, CRC-LLC, Sweden, 1999. doi:10.1080/00032719908542815.

YAGÜE AYLÓN, M.A. Estudio de Utilización de Aceites para Fritura en Establecimientos Alimentarios de Comidas Preparadas, Obs. La Segur. 2 (2003) 1–34.

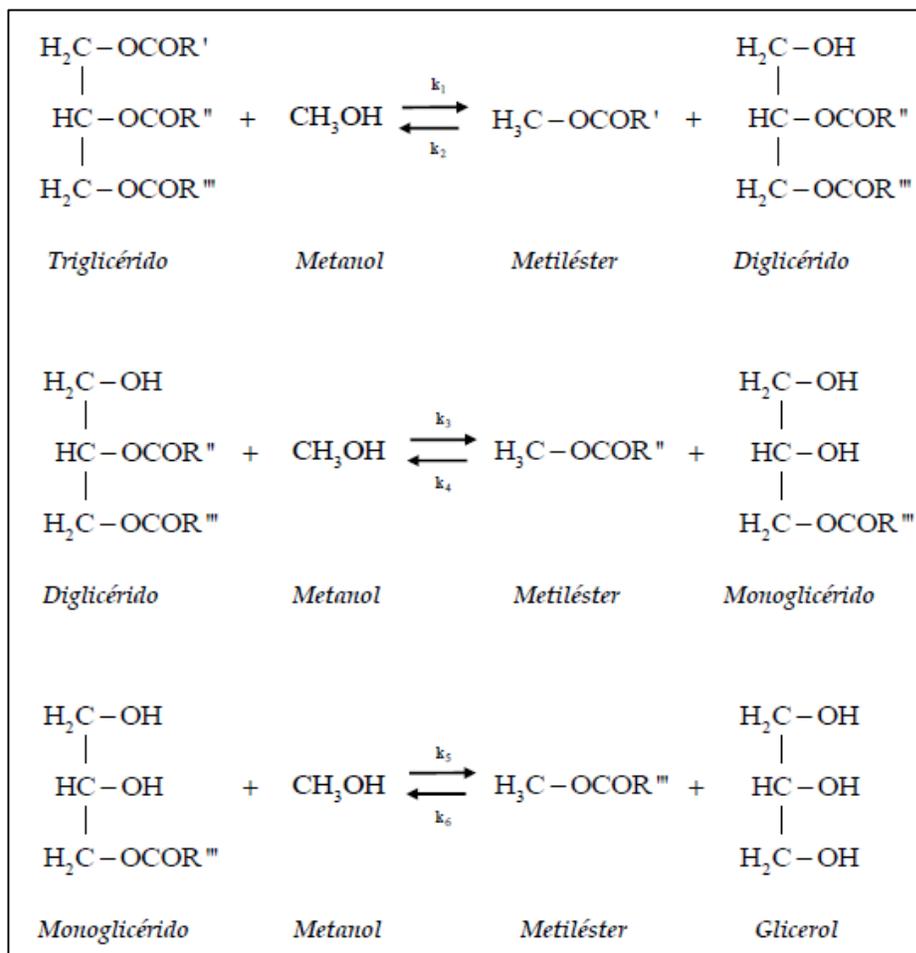
ZELAYA GARCÍA, J.D. Evaluación De Materiales Vegetales Y Residuales Oleaginosos Para La Producción De Biodiesel en el Salvador. Trabajo de Grado Ingeniera Química. El Salvador: Universidad de el Salvador, 2007. 231 p.

## ANEXOS

### ANEXO A REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN



Reacción de transesterificación [10]



Reacción de transesterificación por etapas [10]

## **ANEXO B UNE EN ISO 660: ACEITES Y GRASAS ANIMALES DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL. DETERMINACION DEL INDICE DE ACIDEZ Y DE LA ACIDEZ**

Se define el índice de acidez como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres y la acidez como el contenido de ácidos grasos libres determinado según el procedimiento en esta norma internacional.

Se determina de la siguiente manera:

- Se prepara la solución patrón (KOH en etanol) a una concentración de 0,1 mol/l y se verifica con la neutralización de ácido benzoico disuelto en 4-metil-2-pentanona.
- Se pesa en un matraz una masa suficiente de muestra.
- Se calienta 50 ml de 2-propano o etanol hasta casi hervir con 0,5 ml de fenolftaleína y se neutraliza con la solución patrón hasta producir un leve cambio de color.
- Se agrega el alcohol neutralizado a la porción de ensayo de aceite o grasa y se lleva a ebullición. Se valora con la solución patrón agitándose.

Finalmente, para calcular el índice de acidez se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{56,1 * V * c}{m}$$

Donde

$V$  = Es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica patrón de hidróxido de sodio o de potasio usada,  $c$  = Es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica patrón de hidróxido de potasio o de sodio usada,  $m$  = Es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

## **ANEXO C** NTC 335: GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

El índice de saponificación es el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para saponificar 1 gramo de grasa bajo las condiciones especificadas en esta norma. Se pesan 2 g de la muestra de ensayo en un matraz cónico y se realiza el siguiente procedimiento para su determinación:

1. Se añaden a la porción e ensayo, 25 ml de la solución etanólica de hidróxido de potasio y algunas ayudas de ebullición se conecta un condensador de reflujo al matraz, se coloca este sobre el dispositivo de calentamiento y se deja ebullición ligeramente, agitando esporádicamente, por 1 h.
2. Se añaden a la solución caliente de 0,5 ml a 1 ml de solución fenolftaleína y se titula con la solución volumétrica de ácido estándar hasta que desaparezca el color rosa indicador. Si la solución está muy coloreada, se usan 0,5 ml de solución de azul de metileno.
3. Se realiza un ensayo en blanco siguiendo el procedimiento especificado anteriormente con 25,0 ml de solución etanólica de hidróxido de potasio, pero omitiendo la porción de ensayo.

El índice de saponificación  $I_s$  se obtiene por la formula:

$$I_s = (V_0 - V_1) * c * \frac{56,1}{m}$$

Donde:  $V_0 =$  es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de ácido clorhídrico que se usa para el ensayo en blanco,  $V_1 =$  es el volumen, en mililitros de la solución volumétrica normalizada de ácido clorhídrico que se usa para la determinación,  $c =$  es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica estándar de ácido clorhídrico,  $m =$  es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

## **ANEXO D DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTABLE Y METODOLOGÍA SIMPLEX**

### **Diseño central compuesto rotable**

El diseño central compuesto consiste en un diseño factorial  $2^k$  con puntos centrales, ampliado con un grupo de puntos axiales que permiten estimar la curvatura de la superficie de respuesta [48]. El diseño factorial proporciona la posibilidad de analizar el comportamiento de la reacción de esterificación, permitiendo la combinación entre los factores tiempo de reacción, relación metanol: aceite y cantidad de catalizador, en un rango de dos niveles (alto y bajo). Se adicionaron seis puntos centrales y seis axiales para obtener una estimación del error y garantizar la rotabilidad de la respuesta respectivamente [49].

El diseño central compuesto busca que el modelo generado suministre buenas predicciones, obteniendo una varianza razonable, consistente y estable de la respuesta. Permite obtener resultados adecuados con un mínimo número de pruebas, contribuyendo a la disminución de costos de experimentación en cuanto a reactivos y materia prima. Además, proporciona información sobre los efectos de las variables experimentales y sobre todo del error experimental, siendo la desviación estándar y la precisión constante en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia del centro de la superficie de respuesta [42].

Los puntos correspondientes al diseño de experimentos se encuentran distribuidos en tres grupos: puntos diseño factorial, puntos centrales y puntos axiales.

Valores Altos y Bajos para cada Factor

<b>Número de variables de respuesta:</b>				1	(Índice de acidez)		
<b>Número de factores experimentales:</b>				3	(Tiempo, Relación metanol-aceite, %Catalizador)		
<b>Factor 1</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Relación Metanol-Aceite</b>	<b>Factor 3</b>	<b>%Catalizador (H2SO4)</b>	<b>α</b>	1,68179
Lím. Inferior	60	Lím. Inferior	6:1	Lím. Inferior	1		
Lím. Superior	180	Lím. Superior	9:1	Lím. Superior	2		

Condiciones de reacción 20 experimentos diseño central compuesto rotatable.

<b>Diseño factorial 2<sup>3</sup></b>			<b>Puntos estrella</b>			<b>Puntos centrales replicados</b>		
<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
60	6:1	1	19,09	7.5:1	1,5	120	7.5:1	1,5
180	6:1	1	220,9	7.5:1	1,5	120	7.5:1	1,5
60	9:1	1	120	4.97:1	1,5	120	7.5:1	1,5
180	9:1	1	120	10.02:1	1,5	120	7.5:1	1,5
60	6:1	2	120	7.5:1	0,65	120	7.5:1	1,5
180	6:1	2	120	7.5:1	2,34	120	7.5:1	1,5
60	9:1	2						
180	9:1	2						

### Optimización secuencial simple

Un simplex es una figura donde cada vértice corresponde a un conjunto de condiciones experimentales, se evalúa la respuesta y se rechaza, y proyecta un punto para calcular las nuevas condiciones, procedimiento que finaliza cuando se encuentra la mejor condición mediante la repetición de la misma en las últimas comparaciones. Esta metodología experimental es eficaz en la predicción de las mejores condiciones, ya que se mueve rápidamente alrededor de la región en la que se encuentra con un mínimo número de experimentos y a su vez disminuyendo el uso de reactivos y materia prima siendo económico y eficiente.

**ANEXO E EN 14103: PRODUCTOS DERIVADOS DE ACEITES Y GRASAS. ESTERES METILICOS DE ACIDOS GRASOS (FAME). DETERMINACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE ESTER Y DE ESTER METILICO DE ACIDO LINOLEICO**

El propósito es determinar el contenido de éster de los esteres metílicos de los ácidos grasos (FAME) destinados al uso como biocombustible puro o como un componente de las mezclas destinadas a calefacción o a combustibles diésel. También permite determinar el contenido de esteres del ácido linolénico. Permite verificar que el contenido de ésteres de los FAME es superior al 90% (m/m) y que el contenido en el ácido linolénico está comprendido entre el 1% (m/m) y el 15 % (m/m).

El método resulta adecuado para FAME que contengan esteres metílicos de longitud comprendida entre C14 y C24. Se determina el porcentaje del éster metílico del ácido linolénico presente en la muestra mediante cromatografía en fase gaseosa, utilizando calibración interna (heptadecanoato metílico).

El heptadecanoato metílico, disolución a 10 mg/ml, se llevan a un matraz aforado de 50 ml y se enrasa con heptano. Para la preparación de la muestra de debe pesar con precisión unos 250 mg de muestra y se añaden 5 ml de la disolución de heptadecanoato metílico utilizando una pipeta.

La determinación de éster, C, expresado como fracción de masa en tanto por ciento, se calcula utilizando la siguiente formula:

$$C = \frac{(\Sigma A) - A_{EI}}{A_{EI}} * \frac{C_{EI} * V_{EI}}{m} * 100\%$$

Dónde:  $\Sigma A$  = es el área total de los picos desde el del éster metílico C<sub>14</sub> hasta el del C<sub>24,1</sub>;  $A_{EI}$  = es el área del pico correspondiente al heptadecanoato metílico;  $C_{EI}$  = es la concentración de la disolución de heptadecanoato metílico utilizada, en miligramos por mililitro;  $V_{EI}$  = es el volumen de la disolución de heptadecanoato metílico, en mililitros;  $m$  = es la masa de la muestra, en miligramos.

## **ANEXO F CONDICIONES CROMATOGRAFÍA, FAME**

Detector FID a una temperatura de 250°C, flujo de aire de 400 mL/min, flujo de hidrogeno de 30 mL/min y flujo de helio de 25 mL/min, un inyector modo Split a una temperatura de 250°C, 25 psi de presión, flujo total de 91,277 mL/min y flujo de purga de 3mL/min, y un auto inyector con un volumen de inyección de 1 µL que hizo dos veces 4 lavados con el solvente Metanol y 4 lavados con el solvente heptano y se hicieron 7 bombeos en la muestra; con una columna DB-WAX de longitud 30 m, diámetro de 0,25 mm, espesor de 0,25 µm y flujo de 1,7309 mL/min, con una rampa de calentamiento que entra a 150 °C y permanece durante un minuto, sube 10°C/min hasta 210°C y permanece 10 min y finalmente sube 15°C/min hasta 250°C y permanece cinco minutos teniendo como tiempo total 24,67 min [31].

## **ANEXO G NTC 5444 REQUISITOS DE CALIDAD DEL BIOCOMBUSTIBLE BIODIESEL PARA MEZCLAR CON LOS COMBUSTIBLES DIÉSEL**

Norma establecida por el instituto de Normas Técnicas, Icontec, a través de su Comité de Combustibles Líquidos, expidió la Norma NTC 5444, señalando las especificaciones del biocombustible para uso en motores diésel. En tanto se expone los requisitos para la calidad del biocombustible.

Para tener en cuenta:

1. El biocombustible debe estar siempre visualmente libre de agua sin disolver, de sedimentos y de partículas suspendidas.
2. Las especificaciones de la Tabla 3A de la presente Resolución son las que debe cumplir el biocombustible en el momento de la entrega al comprador.
3. Se recomienda complementar con el método ASTM D4625, con niveles máximos de 1,5 mg/100 ml a 6 semanas.
4. Los valores para estos parámetros deberán establecerse en las normas técnicas específicas que se definan para cualquier mezcla biocombustibles - diésel (ACPM) de origen fósil en cualquier proporción. Los valores definidos deberán ser sustentados en estudios realizados en laboratorios acreditados y avalados por la autoridad competente.
5. El carbón residual debe ser determinado sobre el 100 % de la muestra

PARÁMETRO	UNIDADES	ESPECIFICACION Vigencia (febrero 1° de 2007)	MÉTODOS DE ENSAYO
Densidad a 15 °C	Kg/m <sup>3</sup>	860 – 900	ASTM D 4052 ISO 3675
Número de cetano	Cetanos	47 mínimo	ASTM D 613 ISO 5165
Viscosidad (cinemática a 40°C)	mm <sup>2</sup> /s	1,9 - 6,0	ASTM D 445 ISO 3104
Contenido de agua	mg/kg	500 máximo	ASTM E 203 ISO 12937
Contaminación Total	mg/kg	24 máximo	EN 12662
Punto de inflamación	°C	120 mínimo	ASTM D 93; ISO 2719
Corrosión lámina de cobre	Unidad	1	ASTM D 130 ISO 2160
Estabilidad a la oxidación (3)	Horas	6 mínimo	EN 14112
Estabilidad Térmica	% de reflectancia	70 % mínimo	ASTM D 6468
Cenizas sulfatadas	% en masa	0,02 máximo	ASTM D 874 ISO 3987
Contenido de fósforo	% en masa	0,001 máximo	ASTM D 4951 ISO 14107
Destilación (PFE)	°C	máx. 360	ASTM D 86 ISO 3405
Número ácido	mg de KOH/g	0,5 máximo	ASTM D 664 EN 1404
Temperatura de Obturación del filtro frío (CFPP)	°C	Reportar (4)	ASTM D 6371 EN 116
Punto de nube/ enturbiamiento	°C	Reportar (4)	ASTM D 2500 ISO 015
Punto de fluidez	°C	Reportar (4)	ASTM D 97
Carbón residual	% en masa	0,3 máximo	ASTM D 4530 ISO 10370 (5)
Contenido de sodio y potasio	mg/kg	5 máximo	ASTM D 5863 EN 14108 EN 14109
Contenido de calcio y magnesio	mg/kg	5 máximo	ASTM D 5863 EN 14108 EN 14109
Contenido de Mono glicéridos	% en masa	0.8 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105
Contenido de Di glicéridos	% en masa	0.2 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105
Contenido de Triglicéridos	% en masa	0.2 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105
Glicerina libre y total	% en masa	0,02/0,25	ASTM D 6584; ISO 14105 ISO 14106
Contenido de metano) o etanol	% en masa	0,2 máximo	ISO 14110
Contenido de éster	% en masa	96,5 mínimo	EN 14103
Contenido de alquiléster de ácido linolénico	% en masa	12 máximo	EN 14103
Índice de yodo	gr de yodo/ 100 gr	120 máximo	EN 14111

## ANEXO H FICHA TÉCNICA ACEITE DE POLLO HARINAGRO S.A.

<b>H</b> ARINAGRO S.A.	<b>FICHA TECNICA</b>	Código: FP-GP-04
	<b>ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PRODUCTO TERMINADO</b>	Versión: 01
		Fecha: 27/05/2015

### ACEITE DE POLLO



#### DESCRIPCIÓN GENERAL

Aceite de alta calidad y contenido nutricional obtenido en la elaboración de Harina de Visceras a partir de la fritura y prensado de vísceras.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Parámetros	Resultado
Aspecto	Líquido de color rojo cobrizo.
Densidad	900-915 kg/m <sup>3</sup>
Olor	Libre de olor rancio, extraños o solventes.

#### INGREDIENTES

Aceite de pollo con impurezas.

#### ADITIVOS

Antioxidante BHT

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

PARAMETRO	RESULTADO
Humedad	Máximo 1.5 %
Acidez	Máximo 5.0 %. Expresada como A. Oleico
Índice de peróxidos	Máximo 1.0 meq O <sub>2</sub> / kg
Sólidos + impurezas	Máximo 3.0 %

#### CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETRO	RESULTADO
Mohos y Levaduras UFC/g	Máximo 1000
Echerichia Coli	Ausente
Salmonella sp.	Ausente
Clostridium Sulfitos Reductores UFC/g	Máximo 200
Clostridium Perfringes UFC/g	Máximo 10

<b>H</b> ARINAGRO S.A.	FICHA TECNICA	Código: FP-GP-04
	ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PRODUCTO TERMINADO	Versión: 01
		Fecha: 27/05/2015

#### EMPAQUE Y ROTULADO

A granel en carros cisterna.

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

El producto debe mantenerse almacenado:

- Temperatura de 12-25 ° C, máximo 60 días
- Temperatura de 25-35°C, máximo 45 días
- Temperatura de 38-42°C máximo 30 días

Controlando periódicamente parámetros químicos.

Almacenamiento en tanques o canecas limpias, secas, protegidas de luz solar, humedad, roedores, pájaros y otras plagas.

#### VIDA UTIL

3 meses, cumpliendo con las indicaciones de almacenamiento y transporte

#### RESTRICCIONES

No calentar el aceite por encima de 40°C, con el fin de evitar el deterioro. No apto para consumo humano, ni rumiantes.

#### USO

Materia prima para la elaboración de concentrados de consumo animal.

#### CONDICIONES DE TRANSPORTE

La cisterna del carro o caneca debe estar limpia y seca.

Solo se despacha producto en carros que cumplan con las condiciones establecidas, autorizados por el proveedor o por el área de Producción y Control de Calidad de Harinagro S.A.

#### LUGAR DE ELABORACIÓN

Planta Harinagro s.a. Parque Industrial II Etapa, Km 6.5 vía Palenque - Café Madrid. Bucaramanga, Colombia, Tel. 6760509-6760569.

**ANEXO I RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO  
ROTABLE: ESTERIFICACIÓN**

N °	Tiempo [min]	Relación metanol: aceite	Porcentaje ácido	Rendimiento [aceite esterificado/aceite desgomado]	IA [mg KOH/g aceite]
1	60	6:1	1	81,5	3,31
	60	6:1	1	73,1	4,49
2	180	6:1	1	65,1	5,55
	180	6:1	1	77,8	1,92
3	60	9:1	1	75,5	2,18
	60	9:1	1	59,7	3,48
4	180	9:1	1	66,2	1,62
	180	9:1	1	75,1	1,42
5	60	6:1	2	61,5	2,80
	60	6:1	2	77,2	1,89
6	180	6:1	2	69,2	0,74
	180	6:1	2	72,3	2,08
7	60	9:1	2	84,7	1,74
	60	9:1	2	75	1,29
8	180	9:1	2	62,5	1,59
	180	9:1	2	62,5	1,03
9	19	7.5:1	1,5	38,4	5,72
	19	7.5:1	1,5	76,9	3,49
10	221	7.5:1	1,5	80,2	0,95
	221	7.5:1	1,5	80,3	2,44
11	120	4.98:1	1,5	67,3	4,50
	120	4,98:1	1,5	87,4	1,49
12	120	10.02:1	1,5	76,5	7,06
	120	10.02:1	1,5	75,7	1,93
13	120	7.5:1	0,7	76,6	4,11
	120	7.5:1	0,7	72,5	4,76
14	120	7.5:1	2,3	80,5	1,46
	120	7.5:1	2,3	71	1,44
15	120	7.5:1	1,5	69,2	4,32
	120	7.5:1	1,5	85,6	1,30
16	120	7.5:1	1,5	61,1	4,30
	120	7.5:1	1,5	71,9	1,12
17	120	7.5:1	1,5	64,4	2,80
	120	7.5:1	1,5	83,9	1,64
18	120	7.5:1	1,5	79,7	4,70
	120	7.5:1	1,5	92	1,30
19	120	7.5:1	1,5	62,6	3,19
	120	7.5:1	1,5	86,4	1,42
20	120	7.5:1	1,5	73	2,53
	120	7.5:1	1,5	86	1,79

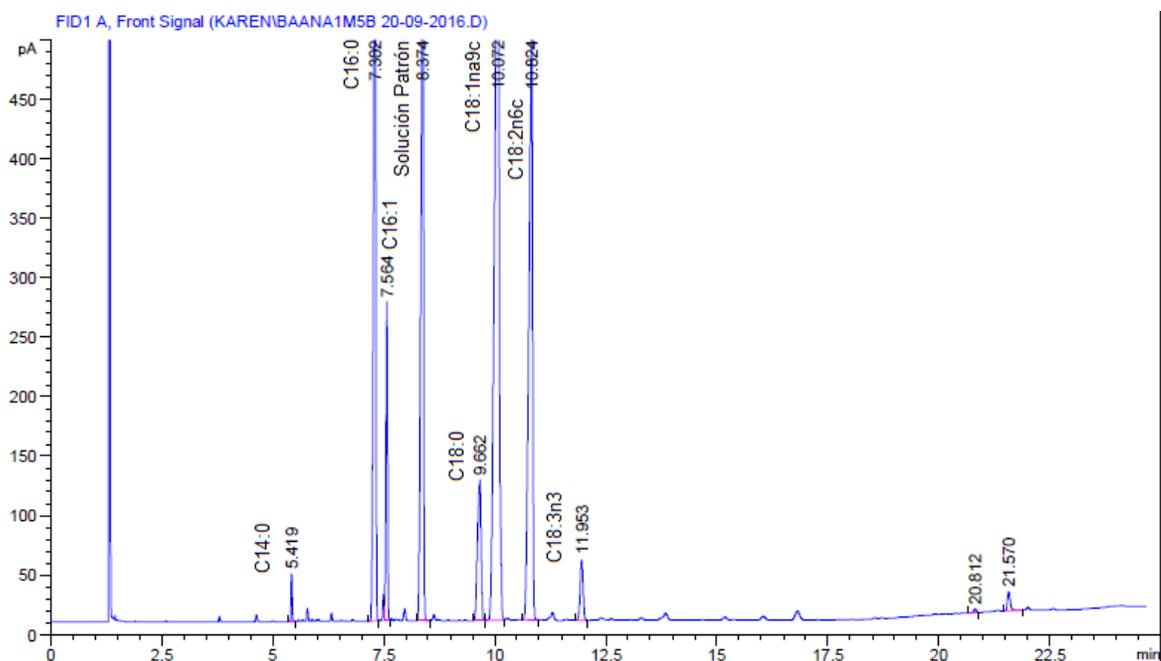
**ANEXO J RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO CENTRAL COMPUESTO  
ROTABLE: DESGOMADO-ESTERIFICACIÓN**

N °	Tiempo [min]	Relación metanol: aceite	Porcentaje Ácido	Rendimiento [aceite esterificado/aceite desgomado]	IA [mg KOH/g aceite]
1	60	6:1	1	97,2	1,94
	60	6:1	1	97,0	1,86
2	180	6:1	1	95,4	2,16
	180	6:1	1	96,2	1,39
3	60	9:1	1	94,4	1,33
	60	9:1	1	93,5	1,69
4	180	9:1	1	95,9	1,79
	180	9:1	1	96,2	0,83
5	<b>60</b>	<b>6:1</b>	<b>2</b>	<b>97,0</b>	<b>0,85</b>
	<b>60</b>	<b>6:1</b>	<b>2</b>	<b>96,5</b>	<b>0,77</b>
6	180	6:1	2	98,5	2,42
	180	6:1	2	98,6	1,70
7	60	9:1	2	94,6	1,19
	60	9:1	2	96,0	0,68
8	180	9:1	2	93,4	1,61
	180	9:1	2	93,7	1,98
9	19	7.5:1	2	96,4	0,89
	19	7.5:1	2	93,6	1,29
10	221	7.5:1	2	96,0	1,31
	221	7.5:1	2	95,5	1,84
11	120	4,97:1	2	96,7	1,49
	120	4,97:1	2	99,4	1,11
12	120	10,02:1	2	96,2	0,72
	120	10,02:1	2	89,8	0,91
13	120	7.5:1	0,66	96,3	0,81
	120	7.5:1	0,66	96,6	1,24
14	120	7.5:1	2,34	98,4	0,72
	120	7.5:1	2,34	96,8	1,51
15	120	7.5:1	2	95,9	0,96
	120	7.5:1	2	96,2	1,67
16	120	7.5:1	2	92,5	1,35
	120	7.5:1	2	95,3	1,31
17	120	7.5:1	2	97,3	1,61
	120	7.5:1	2	96,5	1,23
18	120	7.5:1	2	95,9	1,19
	120	7.5:1	2	96,5	1,60
19	120	7.5:1	2	96,9	1,57
	120	7.5:1	2	95,1	1,50
20	120	7.5:1	2	96,9	1,93
	120	7.5:1	2	96,4	0,65

- Mejores condiciones de pretratamiento

## ANEXO K CROMATOGRAMA MEJORES CONDICIONES REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

Cromatograma correspondiente a las mejores condiciones obtenidas en la aplicación de la metodología SIMPLEX en la reacción de transesterificación medición B. Relación molar metanol: aceite esterificado 5:1, cantidad de catalizador 1% y tipo de catalizador hidróxido de sodio a una temperatura de 60°C y 2 horas de tiempo de reacción.



Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.419	BB	0.0298	78.75291	40.25886	0.55044
2	7.302	BB	0.0477	2604.22974	784.64386	18.20206
3	7.564	VV	0.0383	673.18512	268.03784	4.70518
4	8.374	BB	0.0561	2408.29468	609.31885	16.83259
5	9.662	BB	0.0736	661.45032	117.72020	4.62316
6	10.072	BB	0.0875	4767.73828	708.54254	33.32374
7	10.824	BB	0.0737	2797.97925	504.85162	19.55626
8	11.953	BB	0.0704	230.86867	51.35602	1.61364
9	20.812	BB	0.0648	12.15396	2.90717	0.08495
10	21.570	BB	0.0628	72.67858	16.06120	0.50798

## ANEXO L EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



1. Decantación Reacción de Esterificación.



2. Lavados Aceite Esterificado.



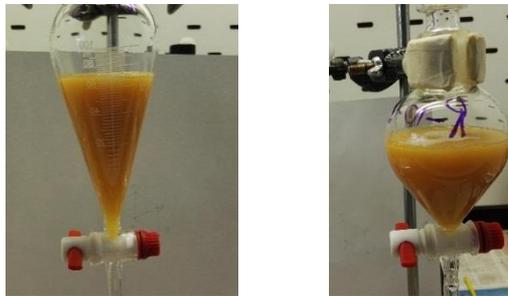
3. Proceso de Desgomado



4. Decantación Reacción de Transesterificación



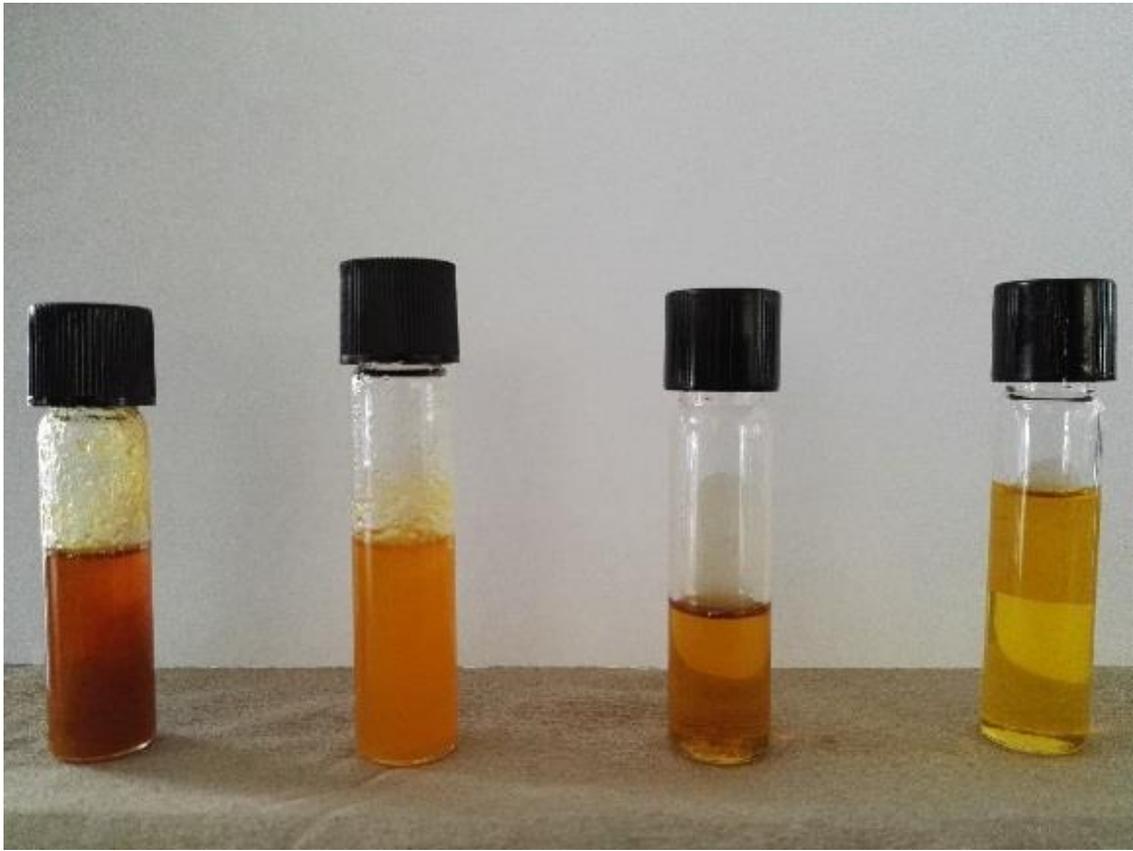
5. Lavados Biodiésel



6. Solidificación Reacción de Transesterificación



7. Biodiesel Obtenido



8. Aceite Pollo, Aceite desgomado, Aceite esterificado y Biodiesel