

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIODIESEL
A PARTIR DE GRASA DE POLLO”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES:

Br. AMEZ ESCUDERO, Miguel Ángel
Br. LÓPEZ ANTONIO, Seleny Maylet

ASESOR:

M.S. CASTILLO CALDERON, Augusto

NUEVO CHIMBOTE- PERÚ
2013

DEDICATORIA

A Dios, a quien agradezco por darme cada minuto de vida, porque siempre me acompaña y está conmigo en los momentos buenos y malos, dándome fortaleza y ganas para siempre seguir adelante.

A mi madre, por el gran amor que nos une, por ser el motor de mi vida, por el esfuerzo que hace por darme una buena vida llena de amor, por su guía y enseñanza y por apoyarme cada día de mi vida.

A mi padre quien junto con mis hermanos me mostraron su apoyo haciendo que me sienta orgulloso de mi familia, y ellos se sientan orgullosos de mí porque los amo.

A mis profesores, porque con sus enseñanzas y motivación forjan a los profesionales de esta casa superior de estudios, por su apoyo en los momentos de dificultad y por esos momentos de alegría compartida en las aulas.

A todos mis amigos de toda la vida los que ya conocía y a los que conocí en mi vida universitaria, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por su ayuda desinteresada y los momentos compartidos. Un saludo especial para mis amigos de Promoción 2007.

Miguel

DEDICATORIA

“A DIOS que siempre estuvo y está presente en mi camino, me guía, ayuda y me da la fuerza en los momentos de dificultad para seguir adelante y comparte conmigo los momentos de alegría”.

“A mis padres y hermanos quienes con su infinito cariño y comprensión me brindan su apoyo para seguir adelante y así cumplir las metas que me he trazado”.

“A mis profesores, por estos años de comprensión y esfuerzo, por formarnos como buenos profesionales en conocimiento y valores, por su apoyo en los momentos de dificultad y por esos momentos de alegría compartida en las aulas”.

“A mis amigos, por todos estos años en la universidad, por los momentos de alegría, tristeza, ayuda mutua y enseñanza, con ellos aprendí lo que significa una verdadera amistad”.

Seleny

AGRADECIMIENTO

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

Nuestro agradecimiento están dirigido principalmente hacia nuestro asesor, M.S. Augusto Castillo Calderón, el cual nos guío para la realización de esta Investigación..

Asimismo nuestros más sinceros agradecimientos hacia el Ing. Gilbert Rodríguez Paucar, el Ing. William Catillo Martínez, y el Ing. Elizalde Carranza, quienes con su ayuda desinteresada, nos brindaron apoyo para la realización de esta tesis. A los Ingenieros, Técnicos de laboratorio y amigos Berenice, Jhon, Frayssy, Lenin, Soledad, Daniel Beatriz y Jadir, por siempre brindarnos su apoyo.

Gracias a todos nuestros compañeros y amigos de la promoción 2007 y demás, por ayuda incondicional, ellos también forman parte de este logro.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada con el objetivo de evaluar el efecto del hidróxido de sodio y metanol en la producción de biodiesel, asimismo caracterizar fisicoquímicamente al biodiesel obtenido a partir de la grasa de pollo (*Gallus Gallus*), utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde el primer factor corresponde a la concentración de metanol (10, 20 y 30% v/v) y el segundo concentración de hidróxido de sodio (0.1, 1.2 y 2 %v/v). Con ello se tienen 9 tratamientos los cuales con 2 repeticiones hacen un total de 18 experimentos.

Para la obtención del biodiesel primero se fundió la grasa de pollo. resultado de este proceso se obtuvo la grasa fundida, la cual pasó por un proceso de desgomado, para luego ser esterificada (Catálisis ácida) con el fin de disminuir su acidez y pasar a la etapa de transesterificación (Catálisis alcalina) la cual se realizó a una temperatura de 56°C, y tiempo de 110 minutos, en un reactor a 700 rpm. El producto obtenido de la transesterificación se dejó decantar durante 24 horas, tiempo después del cual se procedió a la separación del biodiesel de la glicerina formada. Para finalmente ser lavado.

Las propiedades del biodiesel obtenido de mayor rendimiento cumplen las especificaciones técnicas de las normas ASTM D6751-07, EN 14214 Y NTP 321.003, 2005. Así se determinó que el punto de inflamación del biodiesel fue de 145°C, el índice de cetano de 48, la viscosidad cinemática de 4.3966 mm²/s, el índice de acidez de 0.4488%, el % de cenizas de 0.017%, el % de agua y sedimentos de 0.01%, el poder calorífico de 39.5 MJ/kg y la densidad de 0.8684 g/ml.

ABSTRACT

The present investigation was conducted in order to evaluate the effect of sodium hydroxide and methanol in the biodiesel production, also the characterization physicochemical of the biodiesel derived from chicken fat (*Gallus gallus*), using a completely randomized design (DCA), where the first factor relates to the methanol concentration (10, 20 and 30% v / v) and the second factor relates to the sodium hydroxide concentration (0.1, 1.2 and 2% v / v). This will have 9 treatments with 2 replications which makes a total of 18 experiments.

To obtain the biodiesel first melted the chicken fat. Result of this process was obtained melted fat, which went through a degumming process, and then was esterified (acid catalysis) to reduce the acidity and move to the transesterification step (alkaline catalysis) which was held at a temperature of 56 ° C, and time of 110 minutes, in a reactor at 700 rpm. The transesterification product was decanted for 24 hours, after the biodiesel was separated of the glycerin formed. To finally be washed.

The properties of biodiesel of higher performance satisfy the technical specifications of ASTM D6751-07, EN 14214 and NTP 321 003, 2005. Thus it was determined that the flash point of the biodiesel was 145 ° C, the cetane index of 48, the kinematic viscosity of 4.3966 mm² / s, the acid of 0.4488%, carbon residue of 0.017%, water and sediments of 0.01%, the calorific value of 39.5 MJ / kg and density of 0.8684 g/ml.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	13
II.	REVISION BIBLIOGRAFICA	15
2.1.	MARCO TEORICO	15
2.1.1.	Definición de Biodiesel.....	15
2.1.2.	Composición de la Grasa de pollo.....	17
2.1.3.	Alcohol.....	18
2.1.4.	Catalizador.....	20
2.1.5.	Desgomado.....	21
2.1.6.	Reacción de Esterificación.....	22
2.1.7.	Reacción de Transesterificación.....	23
2.1.8.	Reacciones Secundarias.....	28
	A. Reacción de Saponificación.....	28
	B. Reacción de neutralización de ácidos grasos libres...29	
2.1.9.	Lavado del biodiesel.....	30
2.1.10.	Secado del biodiesel.....	31
2.1.11.	Fundamento de la caracterización Fisicoquímica de la grasa.....	31
	2.1.11.1. Humedad.....	31
	2.1.11.2. Cenizas.....	31
	2.1.11.3. Extracto Etéreo.....	32
	2.1.11.4. Índice de acidez.....	32
	2.1.11.5. Índice de Saponificación.....	34
	2.1.11.6. Índice de Peróxido.....	34
	2.1.11.7. Contenido de Ácidos Grasos.....	36
2.1.12.	Fundamento de la caracterización Fisicoquímica del biodiesel.....	36
	2.1.12.1. Viscosidad cinemática.....	36
	2.1.12.2. Punto de inflamación.....	48
	2.1.12.3. Poder calorífico.....	38
	2.1.12.4. Índice de cetano.....	38

	2.1.12.5. Agua y sedimentos.....	39
	2.1.12.6. Cenizas.....	39
III.	MATERIALES Y METODOS.....	40
3.1.	Lugar de ejecución.....	41
3.2.	Materiales y Equipos.....	41
3.2.1.	Materia prima.....	41
3.2.2.	Materiales.....	41
3.2.3.	Reactivos.....	42
3.2.4.	Equipos.....	42
3.3.	Métodos.....	43
3.3.1.	Análisis Físicoquímico de la grasa de pollo.....	43
3.3.1.1.	Humedad.....	43
3.3.1.2.	Cenizas.....	44
3.3.1.3.	Índice de acidez.....	44
3.3.1.4.	Determinación del Índice de lodo.....	44
3.3.1.5.	Determinación del Índice de Peróxido.....	44
3.3.1.6.	Determinación de la densidad.....	44
3.3.1.7.	Determinación de grasas.....	44
3.3.1.8.	Análisis del Perfil Lipídico mediante Cromatografía de Gases.....	44
	a) Preparación de la muestra.....	45
	b) Análisis cromatográfico.....	46
3.4.	Descripción del proceso.....	46
3.4.1.	Fundición de la grasa de pollo.....	46
3.4.2.	Desgomado de la grasa de pollo.....	46
3.4.3.	Proceso de esterificación.....	46
3.4.4.	Proceso de transesterificación.....	47
3.5.	Diseño estadístico.....	48
3.5.1.	Análisis estadístico.....	48
3.5.2.	Esquema de diseño experimental.....	48
3.5.3.	Diagrama de Flujo experimental.....	50
	a) Obtención de grasa de pollo fundida.....	50
	b) Desgomado de la grasa de pollo.....	51

c) Obtención de Biodiesel.....	51
IV. RESULTADOS DISCUSION.....	52
4.1. Caracterización Fisicoquímica de la Materia Prima.....	53
4.2. Perfil lipídico de la Materia Prima.....	58
4.3. Valores de los Rendimientos obtenidos en los ensayos experimentales.....	61
4.4. Caracterización Fisicoquímica del Biodiesel.....	71
V. CONCLUSIONES.....	76
VI. RECOMENDACIONES.....	77
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	78
VIII. ANEXOS	

ANEXO

Anexo 1: Procedimiento para la obtención de biodiesel.....	83
Anexo 2: Repeticiones de los análisis realizados para la caracterización de la materia prima.....	87
Anexo 3: Caracterización de los ácidos grasos de la grasa de pollo.....	89
Anexo 4: Calculo de la cantidad CH ₃ OH a usar.....	92
Anexo 5: Especificaciones del biodiesel puro por la ASTM, Norma Europea y Norma Peruana Diesel 2.....	94
Anexo 6: Análisis Físicoquímico del Biodiesel realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de la Reacción de Esterificación de ácidos grasos.....	23
Figura 2: Reacción de transesterificación con metanol.....	24
Figura 3: Representación de la Reacción de transesterificación con metanol.....	25
Figura 4: Representación de la Reacción de Saponificación de un triglicérido.....	28
Figura 5: Reacción de Saponificación de los ácidos grasos libres.....	30
Figura 6: Representación de la Reacción de Esterificación de ácidos grasos.....	35
Figura 7: Obtención de Biodiesel.....	49
Figura 8: Diagrama de flujo de la obtención de grasa de pollo fundida.....	50
Figura 9: Diagrama de flujo del proceso de desgomado de grasa de pollo.....	51
Figura 10: Diagrama de la obtención de biodiesel.....	52
Figura11: Gráfica de Efectos Principales para el rendimiento.....	67
Figura12: Gráfica de Interacciones para el rendimiento.....	68
Figura13: Gráfica de Superficie de Respuesta Estimada para el rendimiento.....	69
Figura14: Gráfica de Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada para el Rendimiento.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de la grasa de pollo.....	18
Tabla 2: Caracterización fisicoquímica de la materia prima.....	53
Tabla 3: Perfil lipídico de la grasa de pollo.....	58
Tabla4: Rendimientos obtenidos en los ensayos experimentales.....	61
Tabla 5: Rendimientos del Biodiesel obtenido ingresados al programa STATGRAPHICS.....	65
Tabla 6: Tabla ANOVA para el Rendimiento.....	66
Tabla7: Optimización del rendimiento.....	70
Tabla 8: Caracterización fisicoquímica del biodiesel.....	71

I. INTRODUCCIÓN:

En los últimos años según la EWG (Energy Watch Group) la producción de petróleo ha declinado y se reduciría a la mitad para el 2030. Asimismo la Agencia Internacional de la Energía (AIE), advierte que para este año, 2013, el mundo podría vivir la escasez de petróleo. (Remiro et al, 2009)

Además debido al coste actual del diesel, a los efectos perjudiciales para el medio ambiente y a los resultados de este y otros proyectos, Una solución alternativa es la creación de combustibles limpios como el biodiesel, (Jerome, 2007), que consiste en un combustible líquido, el cual puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales), aceites o grasas de fritura usados y metanol o etanol en presencia de un catalizador y que además posee las mismas propiedades del combustible diesel empleado como combustible para automóviles, camiones, ómnibus y puede ser mezclado en cualquier proporción con el diesel obtenido de la refinación del petróleo. (Larosa, 2000).

Por lo mencionado, esta investigación pretende obtener biodiesel a partir de grasa de pollo lo que supone un avance significativo hacia la consecución de combustibles comercialmente viables, disponibles y accesibles, además de tener un bajo coste de producción. (Calle, 2010)

Asimismo, el uso de la grasa de pollo presenta una ventaja como materia prima ya que elimina la necesidad del uso de aceites vegetales, como aceite de colza o de soja, que resultan caros, lo que provoca que el biodiesel sea poco viable económicamente. Al usar materias primas más baratas, como la grasa de pollo, el coste de producción del biodiesel minoraría ya que, hoy por hoy, se calcula duplica los costes de fabricación de la gasolina o el gasoil tradicionales. Este biocombustible de fuentes más

baratas hace posible que el biodiesel pueda competir en precio con los combustibles convencionales.

En el Perú cada habitante consume en promedio 35 kilos de pollo al año, lo que nos sitúa como el tercer país con mayor consumo per cápita de esta carne en América Latina con una población de 30 millones de habitantes, según la Asociación Peruana de Avicultores (APA, 2012) La carne de pollo contiene 10gr de grasa por cada 100gr de pollo. (Borrel, 2008). Entonces el Perú produciría 3,5 kg de grasa de pollo por habitante al año (cada kilo de grasa se produce 0.587 litros de biodiesel) entonces por año se obtendría 61 635 000 Litros de biodiesel.

De acuerdo a lo expuesto, los objetivos de este estudio fueron:

1. Caracterizar fisicoquímicamente la materia prima (grasa de pollo).
2. Obtener la grasa de pollo desgomada.
3. Evaluar el efecto del hidróxido de sodio y metanol en la producción de biodiesel
4. Caracterizar fisicoquímicamente el biodiesel

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Definición de Biodiesel

El biodiesel es un combustible compuesto por esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables como aceites vegetales, empleando en motores de ignición de compresión tanto como en calderas de calefacción. Dicho en términos más simples el biodiesel es un combustible de origen orgánico producido a partir de aceites vegetales o grasas animales asimismo puede ser utilizado como sustituto o aditivo de diesel 2 convencional el termino se hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diesel adicional derivado del petróleo por su parte el diesel alude su uso a motores de este tipo. (Acosta *et al.* 2008).

Una definición técnica de biodiesel se puede tomar de la utilizada por la sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM, por sus siglas en ingles) la que menciona que el biodiesel es un combustible compuestos de esteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado B100 y que cumplen los requerimientos de la ASTM D 6751. (IICA, 2010).

El biodiesel es un combustible, que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasa animales mediante procesos industriales de esterificación y Transesterificación y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo derivados del petróleo. (Ocrosopoma, 2008).

El Biodiesel es un combustible sustituto del gas-oil para motores diesel, el cual puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales), aceites o grasas de fritura usados y metanol o etanol (estos también puede ser obtenidos a partir de productos agrícolas). El biodiesel posee las mismas propiedades del combustible

diesel empleado como combustible para automóviles, camiones, ómnibus y puede ser mezclado en cualquier proporción con el diesel obtenido de la refinación del petróleo. (Larosa, 2000).

La obtención de biodiesel se basa en la reacción con metanol o etanol (Transesterificación) de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres. De esta manera se consigue que las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono, se transformen en otras cadenas lineales de menor tamaño, con menor viscosidad y de porcentaje de carbono y características fisicoquímicas y energéticas similares al gasóleo de automoción. (Ramos, 2004).

El biodiesel es un biocombustible líquido sintético que se obtiene de aceites vegetales o de grasas animales y se caracteriza porque en el proceso de combustión es entre el 40% y el 80% menos contaminantes que el petrodiesel pues en su molécula contiene átomos de oxígeno que ayudan a una combustión más limpia. No es tóxico, ya que no emite óxidos de azufre ni sustancias nocivas, y es completamente biodegradable. Este biocombustible ofrece ventajas medioambientales, energéticas (aporta el triple de energía de la que se necesita para su producción) y económica frente a los combustibles tradicionales, y se considera indispensable en la lucha contra el cambio climático. (Alcántara *et al.*, 2000).

En relación al CO, diversos estudios comparan las emisiones generadas por el diesel y el biodiesel mostrando una disminución del 78,45% utilizando B100. Para el B20, este valor es del 15,66%. Las emisiones de NOx, CO y VOC (compuestos orgánicos volátiles), donde se obtienen una disminución, en relación al diesel, del 13,1% y 42,7% para el CO; y del 17,9% y 63,2% para el VOC en B20 y B100 respectivamente. En el caso del NOx, se produce un aumento del 2,4% (para B20) y 13,2% (para B100). (Sheeman *et al.*, 1998).

2.1.2. Composición de la Grasa de pollo

El aceite de grasa de pollo se extrae de las grasas sólidas del pollo (*Gallus Gallus*). La grasa de pollo es una mezcla de triglicéridos diferentes los cuales a su vez están compuestos por ácidos grasos diferentes, sus propiedades físicas y químicas están relacionadas directamente con el número y estructura química de los ácidos grasos y su longitud de la cadena. (Castro, 2007)

La carne de pollo contiene poca grasa, su parte más cargada en lípidos no contiene sino 10gr por cada 100gr. Contrariamente a otras carnes la grasa contenida en el pollo es de mala calidad pero a cambio tiene ácidos grasos insaturados. El contenido específico en grasas es lo que diferencia el número de calorías de las diferentes partes del pollo. La pechuga es la parte menos grasa, seguida del muslo, el contra muslo y finalmente las alas, que son la parte más grasa. (Borrel, 2008).

Los resultados obtenidos en el estudio de la composición química y de ácidos grasos de la carne procedente de las principales partes del despiece (pechuga, muslo y contramuslo) y de la grasa subcutánea del pollo, en dos de las categorías normalmente presentes en el mercado: pollo «extra» y pollo «de corral». En cuanto a la composición química general de las dos categorías sólo se encontraron diferencias en el contenido de cenizas, mayor en el pollo «extra». Por otra parte, al comparar las tres partes del despiece analizadas, se observa que la pechuga presenta un mayor contenido de cenizas y proteína y menor de grasa, y el contramuslo es el que contiene un mayor porcentaje de extracto seco y, sobre todo, de grasa. En la composición de ácidos grasos, las dos categorías de pollo se diferencian en el ácido heptadecanoico y en el ácido linoleico, que aparecen en un mayor porcentaje en los pollos «de corral». En todas las zonas estudiadas (grasa subcutánea y grasa de la pechuga, muslo y contramuslo), los principales ácidos grasos fueron el ácido oleico (entre el 31 y el 39%), el ácido palmítico (alrededor del 26%) y el ácido linoleico (valores medios entre 16 y 18%). La grasa subcutánea destacó por su mayor contenido en

ácidos grasos monoinsaturados (palmitoleico y oleico), así como por una menor cantidad de ácidos grasos polinsaturados de cadena larga. Dentro de la grasa muscular, el contramuslo presentó un significativo mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados. (Ros *et al.*, 2001).

El contenido de grasa y distribución en ácidos grasos del pollo es de mayor proporción en monoinsaturados, seguido de saturados y por último los poliinsaturados. La grasa de ave aporta bajos contenidos de ácidos grasos saturados, altos valores de ácidos grasos monoinsaturados y una adecuada cantidad y relación de ácidos grasos de las familias W6 y W3. (Torresani, 1999).

Tabla 1: Composición química de la grasa de pollo

Parámetro	Cantidad	Unidades
Linoleico	20.6	%
Oleico	42.5	%
Palmítico	21.5	%
Esteárico	7.6	%
Linolenico	1.8	%
Otros	6.1	*n.d.

*n.d. = no determinado

Fuente: (Arteaga *et al.*, 2010).

2.1.3. Alcohol

El metanol CH_3OH es un líquido miscible con agua en todas proporciones. El punto de ebullición del metanol es 65°C , 226°C más alto que el punto de ebullición del metano. Los alcoholes se relacionan con el agua considerando que uno de los átomos de H del H_2O fue reemplazado por un grupo orgánico. Cuando se sustituye un grupo metilo en vez de uno de los hidrógenos del agua se obtiene el metanol. Las dos partes del metanol el grupo CH_3 y el grupo OH contribuyen a sus propiedades. El metanol es combustible,

propiedad que asocia con los hidrocarburos, por otra parte su punto de ebullición es más semejante al del agua. (Kotz *et al.* 2005).

En general se suele usar metanol como alcohol de sustitución para la obtención de biodiesel, en cuyo caso el biodiesel estará compuesto por esteres metílicos. El metanol tiene respecto del etanol mayores restricciones ambientales y de manipuleo, existe mayor tendencia a su uso por su menor precio, tecnología disponible y madura, menor complejidad en el proceso, separación menos dificultosa de la mezcla alcohol/agua, menor volumen de alcohol que recircula. (Donato *et al.* 2007).

Se emplea alcohol metílico o metanol de 95% de pureza. La cantidad requerida para la elaboración de biodiesel es de aproximadamente el 15% o 20% del volumen de aceite a procesar. Esta sustancia es toxica cuando se ingiere se inhala o tiene contacto con la piel, es altamente inflamable y arde con llama incolora. Su manipulación debe hacerse tomando todas las precauciones del caso. De hecho también puede usarse alcohol etílico o etanol siempre y cuando sea anhídrido o tenga una pureza de 99.5%. (Acosta *et al.* 2008).

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanólisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanólisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico (biodiesel). En cambio en la etanólisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéricos y diglicéricos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares. (Reyes, 2003).

El etanol a diferencia del metanol es menos reactivo y en la transesterificación, se requiere una razón molar de 9:1 a diferencia de una relación de 6:1 cuando se trabaja con metanol. Además se ve afectada por cualquier cantidad de agua presente en los insumos. Se requiere entonces que el etanol tenga una pureza del 99% y que los otros insumos (aceite y catalizador) sean igualmente de una alta pureza. Es por esto que la mayoría de plantas de producción de biodiesel utiliza metanol pese a su toxicidad.(Castro, 2007).

2.1.4. Catalizador

El catalizador puede ser hidróxido de sodio (NaOH, soda caustica) o hidróxido de potasio (KOH, potasa caustica) de grado industrial, en escamas o en perlas. Se ha preferido el hidróxido de potasio pues presenta ventajas al momento de disolverlo en el alcohol, favorece una transformación más compleja del aceite en biodiesel en caso se desee purificar la glicerina para su venta, permite obtener un producto utilizable como fertilizante (fosfato de potasio) en caso de trabajar con grasas la glicerina se mantiene en estado líquido al enfriar, mientras que el hidróxido de sodio se solidifica y hace difícil su separación del biodiesel por decantación en el reactor. La cantidad de catalizador depende de la acidez del aceite a tratar tanto el NaOH y el KOH es corrosivo para diversos materiales y resultan irritantes para la piel y las mucosas. (Acosta *et al*, 2008).

En los procesos de transesterificación alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0.4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados. (Omasevic, 2003).

Tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón., como se ha comentado, la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los

catalizadores formando jabones. Los catalizadores empleados para la transterificación de los triglicéridos se pueden clasificar en alcalinos, ácidos, enzimáticos o catalizadores heterogéneos, siendo los básicos y en particular los hidróxidos los más utilizados. Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. La metanólisis del sebo de animal se ha estudiado con NaOH y NaOMe. Comparando los dos catalizadores, el NaOH ha producido mejores resultados que el NaOMe [Ma, 1998]. El metóxido de sodio provoca la formación de muchos subproductos, principalmente sales de sodio, que deben eliminarse posteriormente. (Dorado, 2002).

Los catalizadores básicos homogéneos se caracterizan por su elevada actividad para la reacción de Transesterificación. En concentraciones relativamente bajas (0.5 a 1% por peso) se pueden lograr altos rendimientos de alquiésteres (94 a 99%) en tiempos de reacción relativamente cortos (inferiores a 1 hora) utilizando excesos de alcohol bajos (alrededor del 100%) y condiciones de presiones y temperatura moderadas (presión atmosférica y temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol utilizado). Otra ventaja de este tipo de catalizadores es su bajo costo, su baja agresividad química, lo que permite usar materiales convencionales en la construcción de reactores. (Benjumea *et al.* 2009).

La desventaja de los catalizadores ácidos son sus tiempos de reacción mucho más lentos en comparación con la catálisis alcalina, hecho que constituye una limitante importante. (Ojeda, 2007).

2.1.5. Desgomado

El desgomado con agua es la forma más simple de reducir la cantidad de fosfolípidos y fosfáticos en los aceites. El aceite se calienta a aproximadamente 90°C, se agrega pequeñas cantidades de agua para hidratar las gomas y hacerlas insolubles en el aceite. La cantidad de agua a usar debe ser similar al peso seco de las gomas a remover. Después de

unos 5 minutos las gomas hidratadas pueden ser removidas por centrifugación. Las impurezas que se pueden eliminar por este método son fosfáticos hidratables, triglicéridos ocluidos y otros compuestos solubles en agua como azúcares (Castro *et al*, 2007).

Entonces, si el aceite tiene un alto contenido de fósforo, se formarán emulsiones durante el proceso de decantación (separación de la glicerina luego de la transesterificación) y durante el lavado del biodiesel, lo cual lleva finalmente a pérdidas en el rendimiento del proceso. En teoría, un contenido de hasta 20 ppm de fósforo es aceptable para la producción de biodiesel, sin embargo, la experiencia en diversas plantas en Europa muestra que niveles de 3 a 4 ppm son adecuados, y con 5 a 6 ppm ya se presentan problemas mayores de emulsión. Un control de este parámetro en cada lote de aceite recibido para la producción de biodiesel es altamente recomendable. (Castro *et al*, 2007).

2.1.6. Reacción de Esterificación

La reacción entre un ácido carboxílico y un monoalcohol en presencia de un catalizador químico ácido (normalmente ácidos inorgánicos fuertes como el H_2SO_4 Y EL HCl) se conoce como esterificación de Fisher. Dicha reacción se ve favorecida mediante el retiro parcial del agua que se va formando, lo cual se puede lograr mediante el uso de tamices moleculares. (Benjumea, 2009);

La esterificación directa de un ácido con un alcohol primario o secundario da resultados satisfactorios si se realiza refluendo un exceso de alcohol (que actúa como reactivo o disolvente) con el ácido carboxílico en presencia de unas gotas de ácido sulfúrico concentrado o de ácido clorhídrico. (Griffin, 1981)

El método de esterificación de Fisher, consiste en tratar el ácido con exceso de metanol y un catalizador (HCl , H_2SO_4 , éterato de F_3B). La esterificación del C_6H_5COOH con CH_3OH , demuestra que el grupo OH que

se elimina es el del ácido, no el del alcohol. En los alcoholes secundarios ocurre lo mismo, pero cuando se esterifica con un alcohol terciario, el OH que se elimina es el del alcohol, procediendo la reacción por un mecanismo diferente. Mecanismo de esterificación: el ácido se combina con un protón, formando un ion oxonio, que reacciona con R'OH expulsando agua (R'OH queda unido al carbono y acepta la carga positiva), expulsión del protón. La acción catalítica del protón, puede ser realizada igualmente por otros aceptores de electrones (ácidos de Lewis), tal como el F₃B. (Fieser, 1985).

En la reacción de esterificación entre un ácido carboxílico y un alcohol se elimina una molécula de agua. El protón sobre la flecha indica que los ácidos catalizan el proceso. Obsérvese que el agua producida tendera a invertir el equilibrio, es decir, a hidrolizar nuevamente el éster a los productos de partida. El método de esterificación de Fisher, que emplea un gran exceso de alcohol, es uno de los más empleados para la preparación de esteres metílicos y etílicos de ácidos carboxílicos. El gran exceso de alcohol favorece el desplazamiento del equilibrio hacia la formación de éster (principio de Chatelier). Dicho exceso es económicamente aceptable en el caso del etanol y metanol, ya que estos alcoholes son baratos. (Durst, 2007).

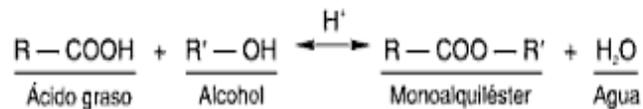


Figura 1: Representación de la Reacción de Esterificación de ácidos grasos

Fuente: (Durst, 2007).

2.1.7. Reacción de Transesterificación

El proceso químico mediante el cual se obtiene el biodiesel es conocido como reacción de transesterificación. Este proceso implica la reacción de una molécula de triglicérido (TAG) con otra de un alcohol monohídrico de cadena corta, generalmente en presencia de un catalizador y a temperatura elevada para formar ésteres alquílicos (EA) y glicerol como

productos. La conversión de los triglicéridos (TAG's) a biodiesel es un proceso que se da paso a paso, en el cual, inicialmente el alcohol en forma de anión alcóxido reacciona con el TAG para producir FAAE y diglicéridos (DAG's), los cuales reaccionan con moléculas de alcóxido nuevamente para liberar otra molécula de FAAE y generar monoglicéridos (MAG's). Por último, los MAG's experimentan alcoholólisis para producir glicerol y EA, que combinados son conocidos colectivamente como biodiesel. Tres moles de biodiesel y un mol de glicerol son producidos por cada mol de TAG que experimenta una conversión completa. (Galeano, 2011).

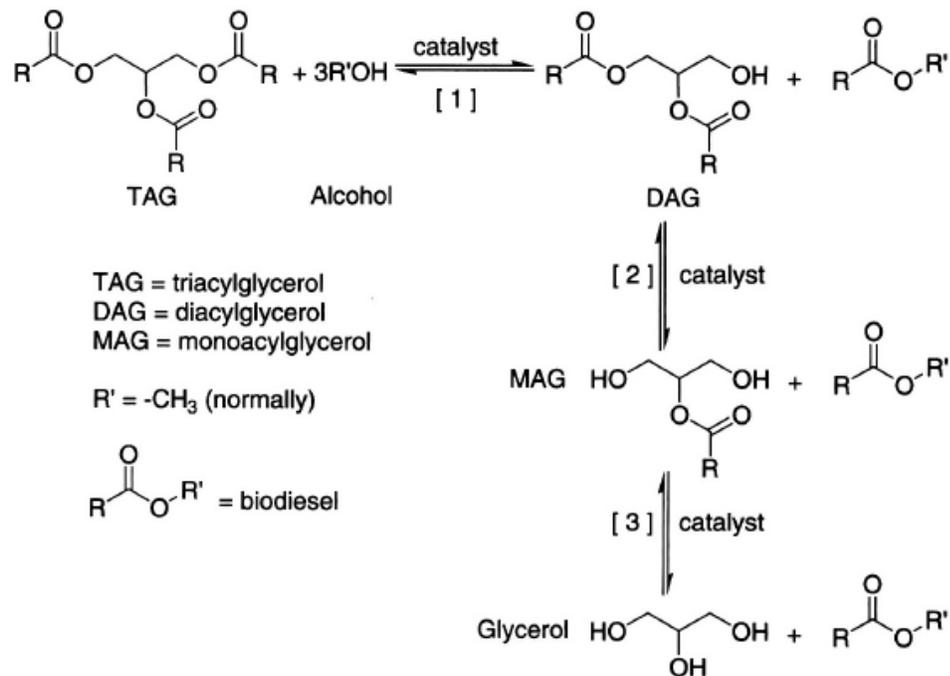


Figura 2: Reacción de transesterificación con metanol

Fuente: (Galeano, 2011)

La reacción química que mejores resultados ha demostrado tener para obtener biodiesel es la transesterificación. Esta consiste en la reacción entre un triglicérido (compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos), contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero (metanol o etanol), obteniéndose como productos glicerina y ésteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, es decir,

biodiesel. En general se suele usar metanol como alcohol de sustitución, en cuyo caso el biodiesel estará compuesto por ésteres metílicos. (IICA, 2010).

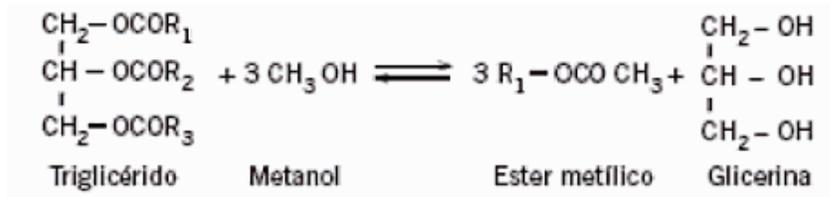


Figura 3: Representación de la Reacción de transesterificación con metanol

Fuente: (IICA, 2010).

La transesterificación, se basa en la reacción con metanol o etanol, de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres. De esta manera se consigue que las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono, se transformen en otras de cadena lineal, pequeñas, con menor viscosidad y porcentaje de carbono y, como se ha dicho, de características fisicoquímicas y energéticas más similares al gasóleo de automoción. (Menéndez, 1997).

El propósito principal del proceso de transesterificación es el de reducir la viscosidad del aceite para mejorar sus características carburantes (Ma, 1999^a) y de flujo. (Meka *et al*, 2007)

Una de las variables más importantes que afecta el rendimiento de la transesterificación es la razón molar entre el alcohol y los triglicéridos. Por razón molar se entiende la cantidad de moléculas de alcohol necesarias para reaccionar con una molécula de triglicéridos. Sin embargo la reacción de transesterificación es una reacción reversible por lo cual se necesita un gran exceso de alcohol para forzar la reacción hacia la derecha. Por esto cuando se trabaja con metanol se recomienda una razón molar de 6:1 para asegurar la conversión máxima de triglicéridos a ésteres. (Freedman *et al*, 1984)

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, del inglés Free Fatty Acid (FFA), menor al 3%. Cuanto más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. (Dorado, 2002)

La transesterificación de los ácidos grasos, se utiliza un catalizador. En dicha reacción, el aceite se esterifica con un alcohol (normalmente metanol) en una proporción aproximada de 1/10 entre alcohol y aceite (1.1 kg de metanol por cada 10kg de aceite). Tras la transesterificación se obtiene por un lado biodiesel crudo (éster metílico) y por otro lado glicerina cruda (1.1 kg por cada 10.05 kg de biodiesel producido), aparte de compuestos ácidos grasos libres que pueden ser destilados. Los dos compuestos principales sufren un proceso de refinado antes de ser utilizables. El metanol obtenido tras estos procesos de refinado puede volver a utilizarse en la transesterificación de los compuestos de entrada. (Ramos. 2008)

La reacción de transesterificación es realizada bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, se sustituyen las moléculas de glicerina por otras de un alcohol más ligero como el metanol. Tras esta reacción, además de reducir la viscosidad, se consigue ya un producto que podemos calificar como biodiesel y que químicamente se puede definir como una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos. Durante el proceso de transesterificación, además de dotar al biodiesel de sus características fundamentales, se origina glicerina, un subproducto muy apreciado en la elaboración de jabones, cosméticos, pinturas o explosivos. De modo que el siguiente y último paso consiste en retirar la glicerina y los ácidos grasos libres, que no han participado en la reacción y purificar el biodiesel para obtener un producto de calidad estándar. (Mosquera, 2006).

La transesterificación de aceites vegetales depende de las condiciones de reacción utilizadas en el proceso, tales como: temperatura y tiempo de reacción, concentración molar alcohol: aceite vegetal, tipo de

alcohol, tipo y concentración de catalizador, tiempo de reacción y contenido de ácidos grasos libres y humedad. (Vivas, 2010)

Debido a la poca solubilidad del aceite en el alcohol se requiere de agitación para acelerar el proceso de la reacción. (Ojeda, 2007)

Las temperaturas requeridas para la transesterificación varían en función de la composición de los ácidos grasos de la materia prima. Por ejemplo, aceites y/o grasas que tengan un elevado contenido de ácidos grasos saturados, requieren temperaturas de reacción más altas, en comparación con aquellas grasas y/o aceites que tengan un bajo contenido de estos ácidos. Por el contrario, un contenido en ácidos grasos insaturados alto, necesitará una menor temperatura de reacción. Así mismo, un estudio, donde se uso residuos grasos de cordero y pollo, se utilizaron para la producción de biodiesel. El estudio reveló, que el sebo de cordero, (con un contenido elevado de ácidos grasos saturados) requirió mayor temperatura de reacción (60°C) para obtener una conversión del 93% de los triglicéridos, en comparación con los residuos grasos de pollo(alto contenido de ácidos grasos insaturados), donde se obtuvo una conversión de triglicéridos del 99%, a menor temperatura (50°C). Ambas reacciones se realizaron usando catálisis ácida, debido al alto contenido de ácidos grasos libres de las materias primas. Generalmente, la reacción con catalizador básico se lleva a cabo a una temperatura cercana a la temperatura de ebullición del alcohol empleado.(Galeano, 2011)

Debido a que la grasa es inmisible con la solución alcohol-catalizador, es necesario agitar la mezcla durante la reacción. Ma *et al.* (1998) estudió este parámetro sobre el rendimiento de la metanólisis homogénea de sebo de res y halló que no se observó formación de biodiesel en ausencia de agitación. También reportó rendimientos mayores al 92% utilizando una velocidad de agitación de 330 rpm.

2.1.8. Reacciones Secundarias

Debido a la utilización de álcalis, que es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones. (Lamoureux, 2007)

De esta manera las reacciones secundarias que se pueden dar son las siguientes:

- Reacción de saponificación
- Reacción de neutralización de ácidos grasos libres,

A. Reacción de Saponificación:

Es una reacción de hidrólisis en medio alcalino que consiste en la descomposición de un ester en el alcohol y la sal alcalina del ácido carboxílico correspondientes, es decir, el triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo este, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones. (Vivas, 2010)

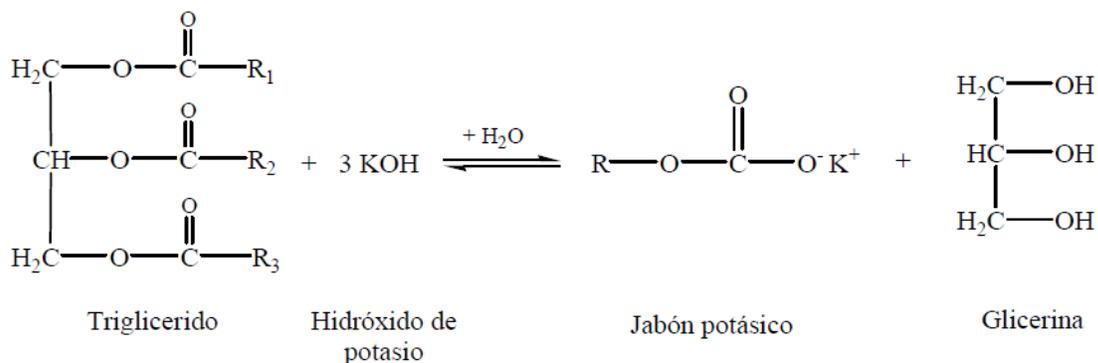


Figura 4: Representación de la Reacción de Saponificación de un triglicérido

Fuente: (Vivas, 2010)

En presencia de agua y particularmente a altas temperaturas, el triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste y dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación). Este fenómeno se explica por la formación intermedia de AGL que ocurre en presencia de agua. (Lamoureux, 2007)

En condiciones tales como descritas, el agua puede hidrolizar el triglicérido en diglicérido y formar un AGL. Cuando un catalizador básico está presente, el AGL reacciona para formar jabón. Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos sólo contienen el grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación. Por este motivo, se debe eliminar el agua, mediante evaporación, en los aceites con altos contenidos en humedad antes de llevar a cabo la transesterificación. (Lamoureux, 2007).

B. Reacción de neutralización de ácidos grasos libres:

Los AGL presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo jabón.

Esta reacción se considera parasita porque pone el catalizador en una forma en que no contribuye a acelerar la reacción. Además, el exceso de jabón puede inhibir el proceso posterior del biodiesel, por ejemplo en las etapas de separación del éster y del glicerol y durante el lavado por agua del éster. En efecto, los jabones de ácidos grasos libres tienden a solidificarse a temperatura ambiente así que una mezcla de productos con exceso de jabón podría gelificar y formar una masa media sólida que sería difícil de remover. (Lamoureux, 2007)

Existen dos maneras de neutralizar los AGL. Se puede dejar ocurrir esta reacción de saponificación y luego se recuperan los jabones. Otra manera de eliminarlos es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico. (Vivas, 2010)

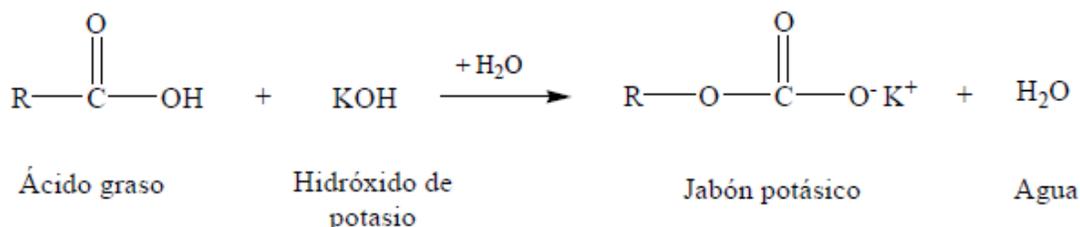


Figura 5: Reacción de Saponificación de los ácidos grasos libres

Fuente: (Vivas, 2010)

2.1.9. Lavado del biodiesel

La etapa del lavado está fuertemente afectada por el nivel de los ácidos grasos libres, a mayor cantidad de estos, mayor formación de jabón y por consiguiente mayor necesidad de agua de lavado, la que puede reaccionar con el aceite originando una reacción en cadena que dará por resultado la formación de más jabón traduciéndose a una disminución del rendimiento (Fabrizio *et al*, 2006)

El lavado consiste en la remoción de algunos jabones formados durante la transesterificación, el agua provee también un medio para la remoción de catalizador neutralizando el biodiesel y del metanol residual que provocaría una grave contaminación en las aguas residuales del proceso. Es importante el uso de agua destilada para evitar contaminar el biodiesel con algunos cationes como el hierro y el cobre. El lavado del biodiesel es un buen indicador cualitativo, del grado de conversión de la reacción de transesterificación a la misma no tiene altos grados de conversión tendrá aun la presencia de monoglicéridos y di glicéridos que son buenos emulsificantes y provocan la formación de emulsiones que durante el lavado es difícil separación. (Castro *et al*, 2007).

2.1.10. Secado del Biodiesel

Se debe evitar el uso de temperaturas excesivas porque además de provocar el oscurecimiento del biodiesel, puede también provocar la polimerización de metilesteres poliinsaturados, por acción de las pilooxigenasas. (Acosta, 2008).

2.1.11. Fundamento de la caracterización Fisicoquímica de la grasa

2.1.11.1. Humedad

El contenido de agua en un aceite es importante porque el agua produce la hidrólisis de los triglicéridos: reacciona con las uniones entre el glicerol y los ácidos grasos y las rompe, produciendo ácidos grasos libres, mono- y diglicéridos y/o glicerol. La hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua. (Castro *et al*, 2007).

Durante la transesterificación, la presencia de agua puede causar la saponificación de los ésteres y consumir el catalizador, reduciendo su eficiencia. La presencia de agua tiene un efecto aún más negativo que la de ácidos grasos libres, debe mantenerse por debajo de un 0,06%.(Castro *et al*, 2007).

La humedad se determina por medio de un método gravimétrico, en el cual se considera la diferencia de peso de la muestra de análisis que se encuentra inicialmente húmeda y posteriormente es secada a una temperatura de 105°C por un tiempo de 4 horas (Vivas, 2010)

2.1.11.2. Cenizas

El contenido de insolubles del aceite debe mantenerse lo más bajo posible (menor a un 0,8% para que el biodiesel cumpla con las especificaciones europeas). Estas sustancias no participan en el proceso

de transesterificación, pero permanecen en el éster (el biodiesel), y representan impurezas en el combustible. (Castro *et al*, 2007).

Se realiza por gravimetría. El método consiste en la incineración directa de una masa conocida de la muestra de análisis, la cual se pesa después de ser sometida hasta 600 °C, el resultado se reporta como porcentaje (%) de cenizas, que es semejante al porcentaje de minerales de la muestra. (Vivas, 2010)

2.1.11.3. Extracto Etéreo

El análisis se hace por el método Soxhlet, el cual es un sistema de extracción cíclico de los componentes solubles en éter que están presentes la muestra, la prueba concluye con el pesado del extracto obtenido (gravimétrico).

El método soxhlet brinda una extracción intermitente con un exceso de disolvente recién condensado. La eficiencia de este método depende tanto del pre-tratamiento de la muestra como de la selección del disolvente.

El equipo de extracción consiste en tres partes: el refrigerante, el extractor, que posee un sifón que se acciona automáticamente y el recipiente colector, donde se recibe o deposita la grasa. El resultado de esta prueba se reporta como porcentaje (%) de extracto etéreo que es equivalente al porcentaje de grasa en la muestra. (Vivas, 2010)

2.1.11.4. Índice de Acidez

El índice de acidez (IA) es el número de mg de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (es decir, que no se encuentran unidos a un glicérido) de 1 g de aceite. Se determina mediante la titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol con una solución estándar de KOH. Un valor elevado para este índice muestra que el aceite contiene una alta cantidad de ácidos grasos libres, ya que ha sufrido un alto grado de hidrólisis. Puede expresarse también como porcentaje de ácido oleico,

palmítico oláurico, según el ácido graso que predomine en la grasa en cuestión. (Castro *et al*, 2007).

Este índice es particularmente importante para el proceso de producción de biodiesel (transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador de la transesterificación (NaOH óKOH) formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiesel. La saponificación no sólo consume el catalizador necesario para la transesterificación, sino que además los jabones producidos promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel(Castro *et al*, 2007).

Es la medida del número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de aceite o grasa. Se realiza por métodos volumétricos, la acidez se puede reportar como porcentaje (%) de ácido oleico, ácido palmítico o ácido laurico.

Los aceites y grasas refinados deben tener un nivel de ácidos grasos libres inferior al 0,2% como ácido oleico para ser aptos para su uso en alimentación. Sin embargo, los aceites crudos y los usados previamente en frituras, comúnmente tienen un contenido de ácidos grasos libres significativamente superior a este (2% o más). (Vivas, 2010)

Este índice es particularmente importante para el proceso de producción de biodiesel (Transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador de la transesterificación (NaOH o KOH) formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiesel. La saponificación no solo consume el catalizador necesario para la transesterificación, sino que además los jabones producidos promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel.

El valor del índice de acidez permite concluir el método acertado para la reacción para producir el biodiesel, cuando la materia prima tiene valores de acidez mayores de 2%, en una primera etapa se realiza la transesterificación de los ácidos grasos libres en biodiesel utilizando como catalizador ácido sulfúrico y en una segunda etapa la reacción de transesterificación de los aceites o grasas usando como catalizador una base. (Vivas, 2010)

2.1.11.5. Índice de Saponificación

El valor o índice de saponificación de un aceite es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para saponificar 1g de aceite completamente. Dado que los aceites están formados por triglicéridos principalmente, y que cada triglicérido necesita 3 moléculas de KOH para saponificarse, el índice de saponificación puede ser usado para estimar aproximadamente el peso molecular promedio del aceite utilizado. (Castro *et al*, 2007).

El índice de saponificación es una medida aproximada del peso molecular promedio de los ácidos grasos. No es exacto para apreciar dicho peso molecular, ya que se incluyen los ácidos grasos libres junto con los glicéridos. El procedimiento radica en saponificar completamente una muestra conocida de grasa utilizando un exceso de solución alcohólica de hidróxido de potasio, y finalmente ese exceso de solución alcalina es valorado. El resultado se expresa como miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar un gramo de sustancia grasa. (Vivas, 2010).

2.1.11.6. Índice de Peróxido

El índice de peróxido (IP) mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas, cualquiera sea su composición. Se forman en los puntos de insaturación de las cadenas de carbonos de los ácidos grasos. (Castro *et al*, 2007).

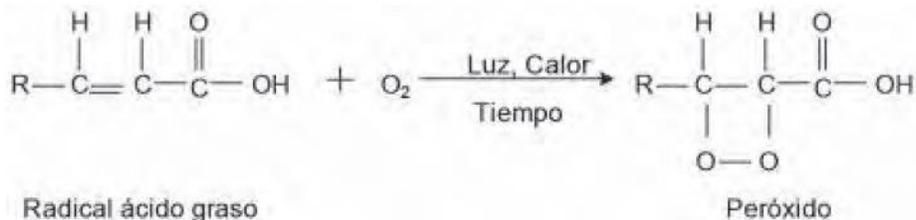


Figura 6: Representación de la Reacción de Esterificación de ácidos grasos

Fuente: (Castro *et al.*, 2007).

La oxidación de las grasas es una de las principales causas de su deterioro, y da lugar a la aparición de olores y sabores desagradables, conocidos como enranciamiento.

La oxidación inducida por el aire a temperatura ambiente se denomina autooxidación. Generalmente es un proceso lento, y se necesita un tiempo considerable para producir una cantidad suficiente de peróxidos que generen enranciamiento. Los aceites que contienen una proporción más elevada de ácidos grasos insaturados son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades más bajas, y los ácidos grasos con mayor cantidad de insaturaciones son aún más propensos. (Castro *et al.*, 2007).

La velocidad de oxidación crece con un incremento en la temperatura, con la exposición al oxígeno del aire, presencia de luz y contacto con materiales pro-oxidantes (por ejemplo, el cobre metálico, latón, bronce u otras aleaciones que contengan cobre)

La oxidación se acelera, por lo tanto, durante la fritura del aceite y también durante la estadía del biodiesel en el motor. (Castro *et al.*, 2007).

El índice de peróxido mide el estado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite, expresa el número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa. Se forman en los puntos de insaturación de las cadenas de carbonos de los ácidos grasos.

La oxidación de las grasas es una de las principales causas de su deterioro, y da lugar a la aparición de olores y sabores desagradables, conocidos como enranciamiento. Los peróxidos o compuestos de oxidación

inicial se originan si el aceite no se protege de la luz y el calor, si es maltratada o no se guarda en envases adecuados, como consecuencia de ello, a mayor índice de peróxido menor será la capacidad antioxidante de un aceite. (Vivas, 2010)

2.1.11.7. Contenido de Ácidos Grasos

La utilización de la cromatografía de gases, se trata de una técnica que trabaja en fase gaseosa y necesita una muy pequeña cantidad de muestra para su análisis.

El método consiste en la inyección de una mezcla de compuestos en el cromatografía de gases, la cual es separada en la columna cromatografía, obteniendo la elución sucesiva de los componentes individuales aislados. Cada uno de estos componentes se registra en forma de pico cromatografico. (Vivas, 2010).

2.1.12. Fundamento de la caracterización Físicoquímica del biodiesel

2.1.12.1. Viscosidad Cinemática

La viscosidad es una medida de la resistencia del combustible a fluir. Cuando la temperatura aumenta, la viscosidad disminuye. Algunos motores requieren una viscosidad mínima para evitar pérdidas durante la inyección del combustible (lo cual no es problema con el biodiesel, que suele tener mayor viscosidad que el diesel). La viscosidad máxima depende del diseño del sistema de inyección. Un combustible muy viscoso puede causar una mala atomización, que lleva a a la mala combustión y formación de depósitos. La alta viscosidad también puede facilitar la contaminación del combustible con el aceite lubricante.

La viscosidad del biodiesel viene determinada por el aceite de origen, y por su contenido en mono-, di- y triglicéridos. Una transesterificación completa es necesaria para asegurar el cumplimiento de este parámetro. (Castro *et al*, 2007).

La viscosidad en biodiesel aumenta con el número de átomos de carbono, y disminuye con el grado de insaturación de la cadena carbonada. Es la principal característica que se modifica al realizar la transesterificación. Altas viscosidades pueden provocar problemas en los inyectores en motores diesel. (Sheeman *et al*,1998).

La viscosidad es la medida de la fricción interna entre moléculas, o de la resistencia a fluir de los líquidos. El método que se emplea para determinar este parámetro es por medio del uso del viscosímetro de Ostwald. Este tipo de viscosímetros son generalmente contruidos de vidrio y hallan la viscosidad de un líquido midiendo el tiempo de flujo de un volumen dado del líquido en un tubo capilar bajo la influencia de la gravedad. Este tipo de viscosímetro viene calibrado y las constantes de fábrica dependen del recorrido que realice el fluido por los bulbos o ampollas. Está formado por un capilar unido por su parte inferior a una serie de ampollas, por donde se hace fluir el líquido.

Esta prueba sigue los requisitos de la norma ASTM D445 especificada para diesel, el resultado se expresa en unidades de milímetros cuadrados por segundo. La norma establece como rango viscosidades entre 1,9 – 6.0 mm²/s. (Vivas, 2010)

En el biodiesel se obtienen valores más altos si se los compara con diesel mineral. La viscosidad disminuye con presencia de compuestos instaurados pero aumenta marcadamente con la presencia de compuestos mono, di o triglicéridos. Por lo tanto esta propiedad es mayor en el caso del biodiesel que en diesel convencional, y en algunos casos a bajas temperaturas el biodiesel se puede convertir en un producto demasiado viscoso e incluso solidificar.

El biodiesel presenta una viscosidad mucho menor que la de su correspondiente material graso por lo que es más apto para su uso como combustible. Se considera que el biodiesel debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además, le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por otra parte también se limita la viscosidad

máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección. (Vivas, 2010)

2.1.12.2. Punto de Inflamación

El punto de inflamación o de ignición de un combustible es la temperatura mínima a la cual los vapores del combustible se hacen inflamables. Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención en el caso del biodiesel.

Mide la tendencia de un combustible de formar mezclas inflamables con el aire. Se usa para evaluar el riesgo de inflamación de un material. Se establece un mínimo para seguridad contra incendios. En el biodiesel este límite se utiliza para garantizar que se haya removido todo el metanol. El exceso de metanol además puede afectar a las bombas de combustible, sellos y empaquetaduras, y resultar una mala combustión. (Castro *et al*, 2007).

Esta propiedad es llevada a cabo por el método del vaso abierto Cleveland. Este instrumento generalmente consiste en un recipiente de bronce tipo copa, tarado a medida normalizada, una fuente de calor que puede ser eléctrica (con regulador) o a gas, termómetros, soportes y un aplicador de llama que produce la inflamación. Esta temperatura es hallada en °C según la normatividad ASTM D92. En esta norma el valor mínimo permitido es 120 °C. (Vivas, 2010)

2.1.12.3. Poder Calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible,

menos las energías utilizadas en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión. (Vivas, 2010)

La prueba se realiza con la ayuda de la bomba calorimétrica. Este equipo se usa para determinar el poder calorífico de un combustible cuando se quema a volumen constante. El combustible cuyo poder calorífico se desea determinar se coloca en un crisol para combustible dentro de la bomba calorimétrica. Se agrega el oxígeno necesario para la combustión. La bomba calorimétrica se rodea de una camisa de agua que absorbe el calor liberado por el combustible. Todo esto se realiza dentro de una camisa adiabática para evitar fuga de calor que afecte el proceso. Sin embargo, el calor que absorbe el agua no es el poder calorífico del combustible, debido a diversos factores, entre los cuales pueden nombrarse: absorción de calor por la propia bomba, liberación de calor del alambre que provoca el encendido del combustible, liberación de calor por la formación de ácido nítrico y sulfúrico, entre otros.

2.1.12.4. Índice de cetano

Mide la calidad de ignición de un combustible diesel: un alto número de cetano indica un menor retraso en la ignición, ayuda a un mejor arranque del motor y minimiza la emisión de humo. (Castro *et al*, 2007).

2.1.12.5. Agua y sedimentos

Se refiere al contenido de gotas de agua y partículas que sedimentan en el combustible. El agua puede generar corrosión y promueve el desarrollo de microorganismos. Los sedimentos pueden causar problemas de taponamiento de filtros e inyectores. (Castro *et al*, 2007).

Técnicas inadecuadas de secado de biodiesel o contacto con agua durante el transporte pueden afectar este parámetro. El biodiesel es muy higroscópico y puede absorber agua si es almacenado en contacto con aire húmedo, o durante las operaciones de carga y descarga. Es recomendable almacenarlo bajo una temperatura inerte (nitrógeno) o tener tanques con

techo flotante. Los sedimentos pueden aparecer debido a la oxidación del combustible, así que este análisis, junto con los de acidez y viscosidad ayudan a establecer si el combustible se ha oxidado durante su almacenamiento. (Castro *et al*, 2007).

El agua en el biodiesel puede estar presente en dos formas: disuelta o suspendida formando una emulsión. Aunque el biodiesel y el agua son prácticamente inmiscibles, el biodiesel puede absorber una mayor cantidad de agua que el diesel de petróleo. Por este motivo, se deben tener principales cuidados en el almacenamiento, especialmente en aquellos tanques donde se produce condensación. (Sheeman *et al*, 1998).

El método que puede utilizarse es el establecido por la norma ASTM 2709, donde el contenido de agua se mide por centrifugación. En este caso solo se detecta el agua emulsionada.

El agua puede contribuir a la corrosión en componentes del sistema de inyección, y al crecimiento de microorganismos en el combustible, alterando algunas propiedades, principalmente la acidez. (Sheeman *et al*, 1998)

2.1.12.6. Cenizas (%)

El contenido de cenizas expresa el residuo existente en el biodiesel cuando es quemado a temperaturas lo suficientemente altas para que los productos de la combustión sean CO₂ y H₂O.

Las cenizas corresponden a los compuestos inorgánicos y óxidos de los mismos existentes en el combustible. Estas son abrasivas y pueden provocar deterioro dentro del motor. (Sheeman *et al*, 1998).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Ejecución.

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

- Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorios de Bioprocesos y Química Orgánica de la de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.

3.2. Materiales y Equipos.

3.2.1. Materia Prima.

Para la experimentación se utilizó grasa de pollo (*gallus gallus*), “Chimu” proveniente del Mercado Buenos Aires, Nuevo Chimbote.

3.2.2. Materiales

- Fiolas de 50 y 100 ml.
- Probeta de 50, 100 y 250 ml.
- Peras de decantación de 250 ml.
- Pipetas graduadas de 1, 2 y 5 ml (una para cada solución).
- Viales con tapa 2 ml.
- Pipetas Pasteur.
- Vasos Precipitados.
- Tubos tapa rosca.
- Pera succionadora.
- Crisoles de porcelana
- Tubos de centrifugación
- Tazones de plástico.

3.2.3. Reactivos

- Alcohol metílico, para cromatografía de gases, Merck.
- Hidróxido de sodio (90% p/p de pureza)
- Ácido sulfúrico concentrado (químicamente puro).
- Hexano (químicamente puro).
- Fenolftaleína
- NaOH, lentejas, para análisis, ACS, ISO, pHEur, Sharlau SO 0425.
- NaCl, para análisis, ACS, ISO, pHEur, Sharlau SO 0227.
- Boro Triofloruro-Metanol (Complejo) (Solución al 20% en Metanol) para síntesis, Merck.
- Isooctano, para cromatografía de gases, Merck.
- Hexano, para cromatografía de gases, Merck.
- Metanol, para cromatografía de gases, Merck.
- Ácido Sulfúrico, 96.4%, Mallinckrodt AR 8ACS).
- Ácido Bórico, Aldrich 23.646.
- HCl, 37%, Mallinckrodt AR 8ACS).
- Azul de Metileno.
- Gas N_2 , Messer.
- Gas He UHP. Messer.
- Gas H_2 UHP, Messer.
- Aire Sintético 4.7, Messer.

3.2.4. Equipos:

- Reactor B. Braun Melsungen AG Tipo 88007311
- Centrifuga. Marca: Sartorius AG. Modelo: Sigma 2-16pk.
- Balanza Analítica modelo AA-200, marca denver Instrument Company.
- Equipo Autoclave
- Equipo de Baño María, modelo N°: 18007 A-1CE, marca Aqua Bath.
- Estufa, marca MMMERT.

- Equipo de Extracción de Grasas, Soxhlet, modelo Soxtec 2043, marca Foss.
- pHmetro, modelo HI 9017, marca HannaInstrument.
- Mufla, modelo 2-16, marca Thermoyne.
- Licuadora. Marca: Oster clásica. Modelo: 450-20.
- Viscosímetro brookfield, Rheometer RS.
- Cromatógrafo de Gas Shimadzu modelo 2010: con detector de ionización de flama (GC-FID), equipado con columna capilar se sílice fundida PAG, de carácter multipolar, con las siguientes dimensiones: (Stabilwax 100m de largo x 0.25mm de diámetro interno x 0.2um de espesor del film). Fue usado como fase móvil gas helio, hidrogeno y aire sintético, todos ellos con alto grado de pureza (99.999%), grado cromatográfico.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Análisis Físico y Químicos de la grasa de pollo.

3.3.1.1. Humedad

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

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

Dónde:

- **%H:** Humedad en porcentaje de masa.
- **P_f** : Peso final de la placa con la muestra.
- **P_i** : Peso de la placa vacía.
- **P_m** : Peso de la muestra.

3.3.1.2. Cenizas

Se determinó por incineración de la muestra a 650°C por 3 horas según A.O.A.C (1995) 942.05.

$$\%C = \frac{P_f - P_i}{P_m} \times 100\%$$

Dónde:

- **%C:** Contenido de cenizas en porcentaje de masa.
- P_f : Peso final del crisol con las cenizas.
- P_i : Peso del crisol vacío.
- P_m : Peso de la muestra.

3.3.1.3. Índice de Acidez

Se determinó por Método de Titulación directa.

3.3.1.4. Determinación del índice de Iodo

Se determinó por Método modificado de Wijs.

3.3.1.5. Determinación del Índice de Peróxido

Se determinó mediante el Método Volumétrico.

3.3.1.6. Determinación de la densidad

Se determinó mediante el Método del picnómetro.

3.3.1.7. Determinación de Grasas:

Se determinó por el método de Soxhlet.

3.3.1.8. Análisis del Perfil lipídico mediante Cromatografía de Gases.

Se utilizó el Método Oficial AOAC 996.06 para ácidos grasos FAMES en el Cromatógrafo de Gases

a) Preparación de la Muestra:

- Pesar aproximadamente 0.025 g (+/- 0.0001 g) de muestra.
- Añadir 1.5 ml de solución de NaOH 0.5N, cubrir con una capa de N₂ y calentar 5 minutos a 100°C, enfriar.
- Añadir 2 ml de la solución de BF₃, cubrir con una capa de N₂, mezclar y calentar por 30 minutos a 100°C.
- Enfriar la mezcla a 30°C – 40°C, luego añadir 1ml de Isooctano, cubrir con una capa de N₂ y agitar por 30 segundos mientras esté caliente.
- Inmediatamente añadir 5 ml de solución saturada de NaCl cubrir con una capa de N₂ y agitar vigorosamente, enfriar a temperatura ambiente.
- Cuando hay separación de fases (Fase acuosa esta abajo), transferir la fase orgánica (Isooctano), a otro vial y cubrir con una capa de N₂.
- Repetir la extracción por segunda vez, adicionando un 1 ml de Isooctano, combinar los extractos y concentrar a 1 ml aprox. (en vapor o N₂ seco).
- Inyectar 1 ul en el GC.

b) Análisis Cromatográfico:

Se realizó con las siguientes condiciones cromatográficas:

- La temperatura del inyector 225°C
- Temperatura del detector FID 250°C
- Velocidad de gas de arrastre (He) a 30ml/min.
- Flujo de flama 40ml/min.

- Flujo del aire sintético: 399.8 ml/min.

3.4. Descripción del proceso

3.4.1. Fundición de la grasa de pollo

La selección de la grasa a utilizar se realizó manualmente, separando residuos orgánicos, como: vísceras, pellejos, tendones, cartílagos, plumas, etc. Para facilitar la extracción de la grasa refinada, la grasa se sometió a un licuado. Luego se calentó la grasa en autoclave a 120°C por 60 min. Resultado de este proceso, se obtuvieron dos fases, la grasa derretida en la superficie, y un chicharrón (agua y tejido conjuntivo) en el fondo. Fue extraída la grasa derretida, y luego enfriada. Esto produjo la separación de grasa bruta (flujo de interés), de la gelatina y agua. La grasa bruta (líquida) fue filtrada a 60°C utilizando una tela fina, obteniendo como resultado la grasa fundida. (Arteaga *et al*, 2009)

3.4.2. Desgomado de la grasa

La grasa fundida se sometió a calentamiento a una temperatura de 60°C, luego se adiciono 3% de agua destilada y se mezcló con agitación constante por un tiempo de 30 minutos, se centrifugo separando la grasa fundida de las gomas hidratadas y finalmente la grasa desgomada se seco a una temperatura de 105°C por un tiempo de 30 min. (Sanchez *et al*, 2012)

3.4.3. Proceso de esterificación

La esterificación de la grasa de pollo desgomada se llevó a cabo en un reactor con agitación constante a 700 rpm, 60°C por un tiempo de 150 minutos. Se utilizó metanol al 20% v/v y ácido

sulfúrico como catalizador al 0.21% v/v (agregado gota a gota). Hasta lograr bajar el índice de acidez de 6.5% a niveles menores que 3%. En cada ensayo se utilizó un volumen de 250 ml de grasa de pollo.

La mezcla reaccionante se colocó en una pera de decantación durante 8 horas, llevándose a cabo la separación de una fase acuosa (alcohol más agua formada durante la reacción) y una fase orgánica (esteres, ácidos grasos aun no esterificados y aceite). (Arteaga *et al*, 2009)

3.4.4. Proceso de transesterificación

En la etapa de transesterificación se evaluó el efecto de la concentración de metanol (10 , 20 y 30% v/v) y la concentración de hidróxido de sodio (0.1, 1.2 y 2 %v/v) en el rendimiento del biodiesel. Se realizó a una temperatura de 56°C, y tiempo de 110 minutos, en un reactor a 700 rpm. (Arteaga *et al*, 2009)

El producto obtenido de la transesterificación se dejó decantar durante 24 horas en peras de decantación, tiempo después del cual se procedió a la separación del biodiesel de la glicerina formada. El biodiesel obtenido se lavó cuatro veces, hasta que el agua de lavado se mostró transparente. Por cada litro de biodiesel se usó un litro de agua destilada. Finalmente se realizó un secado en estufa (para eliminar el agua residual) a 105°C, por aproximadamente 30 min (hasta que no hubo formación de burbujas de vapor). (Arteaga *et al*, 2009)

3.5. Diseño Estadístico:

3.5.1. Análisis Estadístico.

Hipótesis Estadística.

Hipótesis nula.

H_0 : No existe diferencia significativa entre los tratamientos

Hipótesis alterna.

H_0 : Al menos un tratamiento posee diferencia significativa
Decisión:

Se rechaza H_0 , si $F_{cal} > F_{tab}$ o su equivalente como lo es p -valor $\leq \alpha$

Dónde: $\alpha = 0.05$ para ambos casos

Si $p < 0.05$, variables son significativas o,

Si $p > 0.05$, variables no significativas

3.5.2. Esquema de diseño experimental

- a. Las actividades se dividen en 9 ensayos diferenciados por distintos tratamientos, con 2 repeticiones. Así para cada ensayo el diseño estadístico a emplear, consiste en una factorial de 3×3 , con arreglo en un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde el primer factor corresponde a la concentración de metanol y el segundo concentración de hidróxido de sodio.

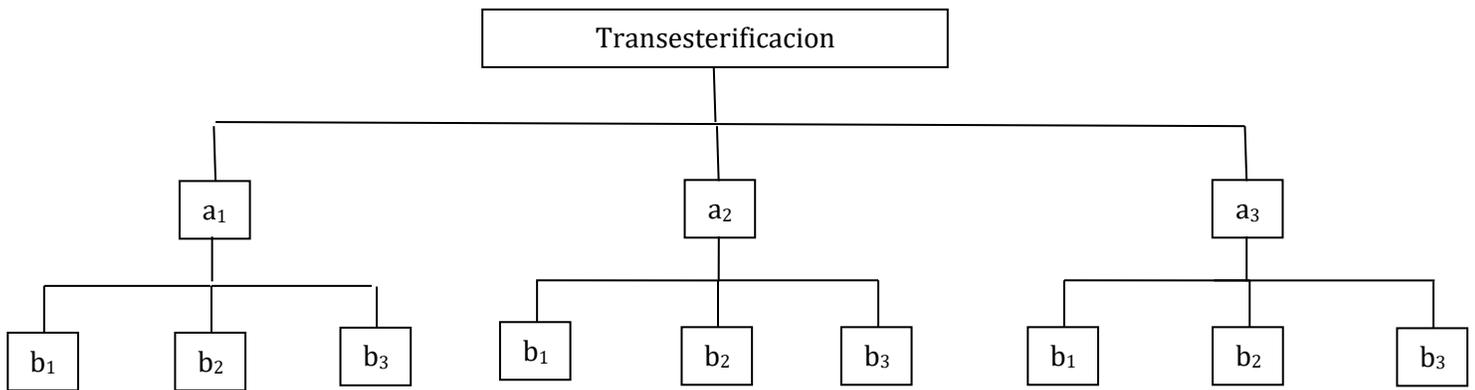


Figura 7: Obtención de Biodiesel

Factor (variable): A = concentración de Metanol

a₁: concentración Metanol 10% v/v

a₂: concentración Metanol 20% v/v

a₃: concentración Metanol 30% v/v

Factor (variable): B = Concentración de Hidróxido de Sodio

b₁: 0.2%

b₂: 1.2%

b₃: 2%

a. Primera Etapa: Obtención de biodiesel **Factorial 3x3 en DCA con r=2**

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} es el rendimiento del biodiesel obtenido con el i -ésimo la concentración de metanol j -ésimo concentración de hidróxido de sodio.
- μ es el efecto de la media general

- A_i es el efecto del i -ésimo concentración de metanol
- B_j es el efecto del j -ésimo concentración de Hidróxido de Sodio
- $(AB)_{ij}$ es el efecto de la interacción en el i -ésimo concentración de metanol, j -ésimo concentración de Hidróxido de Sodio.
- ε_{ij} es el efecto del error experimental en el i -ésimo la concentración de metanol, j -ésimo concentración de hidróxido de sodio.
- $p = 3$ es el número de concentraciones de metanol
- $q = 3$ es el número de concentraciones de Hidróxido de Sodio.
- $r = 2$ es el número de repeticiones

3.5.3. Diagrama de Flujo experimental

a) Obtención de grasa de pollo fundida:

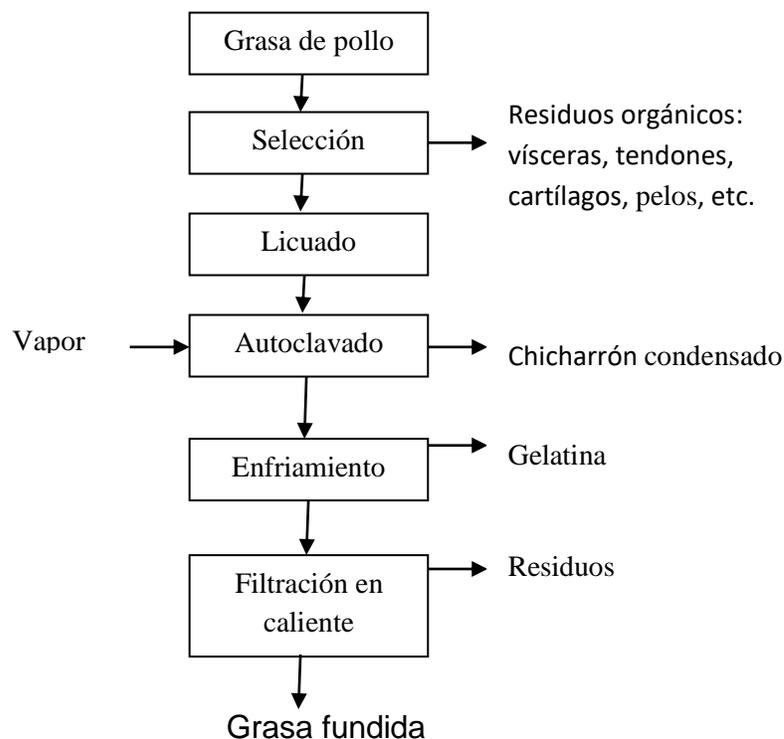


Figura 8: Diagrama de flujo de la obtención de grasa de pollo fundida

b) Desgomado de la grasa de pollo

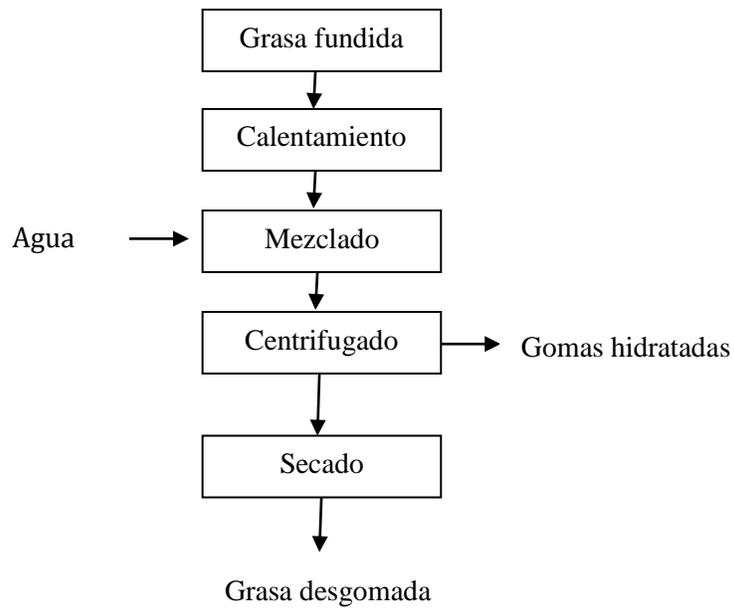


Figura 9: Diagrama de flujo del proceso de desgomado de grasa de pollo

c) Obtención de Biodiesel:

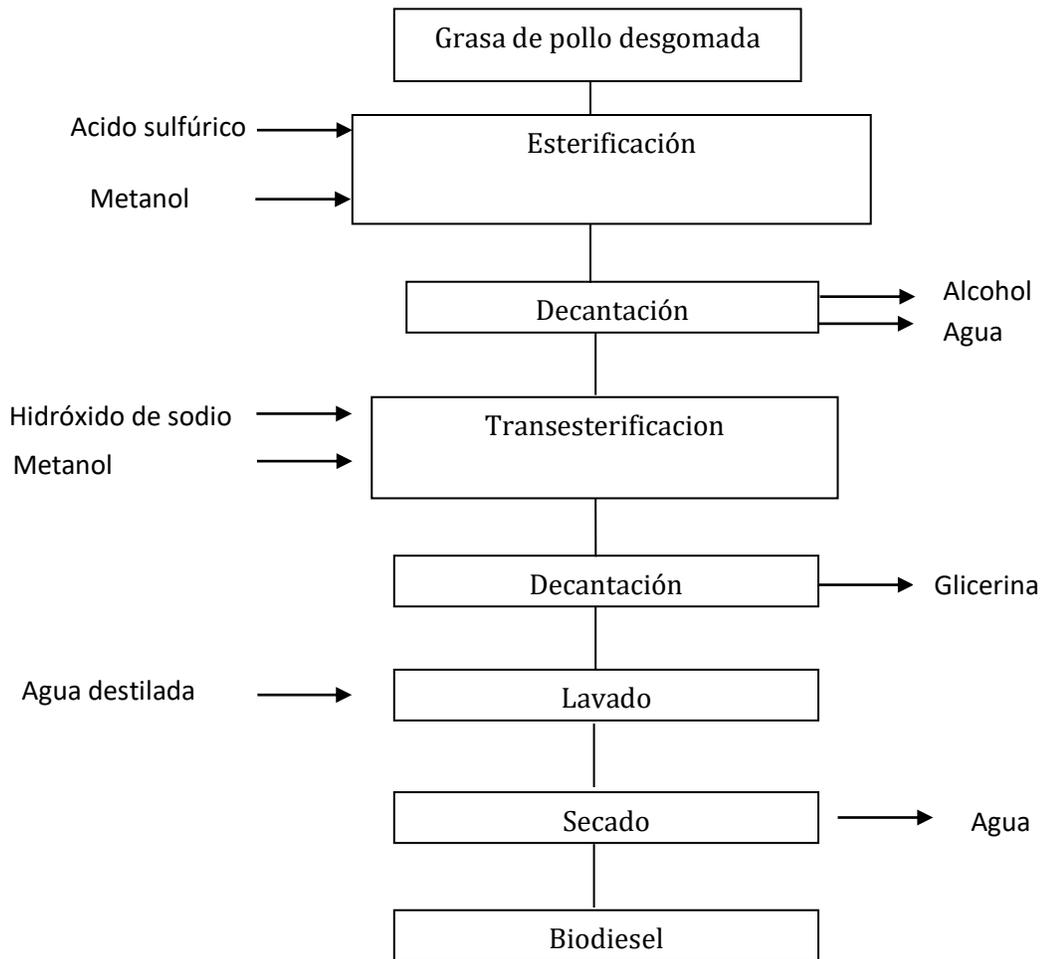


Figura 10: Diagrama de la obtención de biodiesel

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Característica Físicoquímica de la Materia Prima:

Los resultados de los análisis físicoquímicos de la grasa de pollo se muestran en la tabla 3:

Tabla 2: Caracterización físicoquímica de la materia prima

Análisis	Resultados
Humedad (%)	0.83
Extracto Etéreo (%)	75.78
Cenizas (%)	0.39
Índice de Acidez (%)	6.5
Índice de saponificación (mg de KOH/g de grasa)	194.48
Índice de yodo (g I ₂ / 100 g de grasa)	84.6
Índice de peróxido (meq. O ₂ /kg grasa)	0.43
Viscosidad (mm ² /s)	64.32

En la tabla se muestra el resultado obtenido para la humedad, el valor obtenido fue de 0.83%.

El resultado del contenido de humedad de la grasa de pollo estuvo próximo a la de la literatura en donde se reportó un valor de 0.82% para la grasa de pollo. (Gioielli *et al*, 2002) La Grasa de Pollo es un aceite con una humedad del 0-1%. (Borrel, 2008).

El contenido de agua en un aceite es importante porque el agua produce la hidrólisis de los triglicéridos: reacciona con las uniones entre el glicerol y los ácidos grasos y los rompe, produciendo ácidos grasos libres, mono- y diglicéridos y/o glicerol. La hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua. (Castro *et al*, 2007).

El valor promedio obtenido en esta investigación para el extracto etéreo fue de 75.78%. Este parámetro es de suma importancia para la obtención de biodiesel ya que da idea del contenido de aceite que está disponible en el residuo graso, para la reacción de transesterificación. (Galeano *et al*, 2011)

El resultado del contenido de extracto etéreo de la grasa de pollo es comparable a la de la literatura en donde se reportó que el rendimiento del proceso de extracción de la grasa de pollo es del 70.5%,(FEDNA, 2003). Esta diferencia muy probablemente fue debida a factores intrínsecos de las aves, tales como edad, sexo, raza, tipo de alimentación, clima y el tejido adiposo analizado. (Galeano *et al*, 2011)

Asimismo el valor promedio obtenido para el contenido de cenizas fue del 0.39 % lo cual indica que en general hay poca presencia de minerales tales como, carbonatos provenientes de la materia orgánica. Este parámetro no tiene influencia directa en el proceso para la obtención del biodiesel, sin embargo, puede llegar a influir en su calidad ya que algunos de estos minerales, tales como calcio y magnesio, podrían formar incrustaciones en el sistema de inyección de combustible. (Galeano *et al*, 2011)

El valor promedio obtenido para el índice de acidez fue 6.5% (ácido linoleico). Este valor se encuentra fuera del intervalo recomendado (< 3 % en masa) para la obtención de biodiesel. (Galeano *et al*, 2011)

Este resultado se diferencia de el resultado obtenido por la literatura en donde se reportó que el índice de acidez obtenido de la caracterización del aceite de pollo es 9%.(Ming, 2002), esta diferencia se pudo deber a la composición de la materia prima.

El proceso más conocido, utilizado y hasta el momento más efectivo es el que emplea catalizadores alcalinos. Sin embargo, si el aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos libres, la catálisis alcalina no es apropiada debido a que los hidróxidos reaccionan con los ácidos grasos formando jabones, lo cual reduce el rendimiento de producción de biodiesel. En este caso, se requiere un pre tratamiento con catalizadores ácidos. (Ma y Hanna, 1999).

El valor promedio obtenido para el índice de saponificación fue de 194.48mg KOH/g de aceite. Este parámetro es directamente proporcional a la masa molecular media de los ácidos grasos presentes en el aceite, por lo tanto no tiene relevancia alguna en el proceso de producción del biodiesel. Sin embargo, en cuanto a la calidad de éste, a medida que incrementa el promedio en la longitud de las cadenas de los ácidos grasos, se obtiene un biodiesel con mayor índice de cetano correlacionado con menores emisiones de NOx, (Lee *et al.*, 1998)

Por otro lado, este resultado es comparable con la de la bibliografía donde el índice de saponificación para la grasa de pollo es de 184.7 mg KOH/g de aceite (Gioielli *et al*, 2002), similar al de este trabajo, que fue de 194.48 mg KOH/g de aceite.

Asimismo un estudio de factibilidad para utilización de la grasa de las aves de corral (pollo) indica que el valor del índice de saponificación (mg KOH/g) para grasa del pollo es de 196.9 mg KOH/g. permitiendo

la ligera desviación del 6%, por naturaleza y composición de la muestra. (Borrel, 2008).

Asimismo el índice de saponificación obtenido en la práctica para la muestra de grasa de pollo es de 206.3 ml KOH/g, resultado que está ligeramente por encima del valor obtenido en esta investigación de 194.48 mg KOH/g de aceite lo que se pudo haber debido a factores intrínsecos propios de la muestra, tales como edad, sexo, raza, tipo de alimentación, clima y el tejido adiposo analizado (Ming, 2002)

El índice de saponificación representa el peso en mg de KOH necesario para saponificar 1 g de muestra. Es evidente que el índice de saponificación no es una magnitud absoluta, sino que su valor es función del peso molecular de los ácidos grasos de la muestra. Así, cuanto menor sea el peso molecular medio de los ácidos presentes mayor será el número de moléculas de triglicéridos (y por lo tanto de ácidos) contenidos en 1 g de grasa. No obstante, dentro de cada tipo de grasa los porcentajes de los diferentes ácidos grasos se mantienen aproximadamente constantes. Por lo tanto, este índice es un buen referente para establecer la identidad de una muestra. (FEDNA, 2003).

De la misma manera el valor promedio del índice de yodo para el aceite de pollo fue de 84.6 g de I/100 g de Aceite. De acuerdo a este valor, el aceite analizado se clasifica como “no secante” ($IY < 110$ g I/100 g aceite), es decir, que ha reaccionado poco o nada con el oxígeno del aire para formar peróxidos. (Galeano *et al*, 2011)

Los resultados del índice de yodo de la grasa de pollo estuvieron próximos al citado por la bibliografía en donde se encontró un valor de 78.5 g de I/100 g de Aceite. (Gioielli *et al*, 2002)

Asimismo los resultados del índice de yodo de la grasa de pollo citado por otro autor fue de 86.47 g de I/100 g de Aceite. (Ming,

2002). Esta diferencia se puede deber a la a se debió a la composición de los ácidos grasos de la muestra ya que a mayor cantidad de ácidos grasos saturados presentes en la materia prima se obtiene un menor índice de yodo. (Gioielli *et al*, 2002)

Este parámetro influye directamente en la calidad del biodiesel obtenido, puesto que altos valores de índice de yodo en la materia prima de partida, pueden traducirse en una mayor tendencia a la oxidación (menor estabilidad oxidativa), contribuir a la formación de gomas (polimerización) en el motor y a la disminución en la lubricidad del mismo (Galeano *et al*, 2011)

En la tabla podemos también encontrar el valor promedio del índice de peróxido para el aceite de pollo obtenido en esta investigación el cual fue de 0.43meq O₂/kg grasa.

Este valor es comparable con el de la bibliografía donde se reporta que el índice de peróxido obtenido de la caracterización del aceite de pollo es 0.40 meq peróxido /kg (Ming, 2002). La Grasa de Pollo tiene un índice de peróxidos de 0-4 Meq O₂/kg. de grasa. (Borrel, 2008). La diferencia en el índice de peróxido se puede deber a la composición de los triglicéridos en el aceite ya que los aceites que contienen una proporción más elevada de ácidos grasos insaturados son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades más bajas, y los ácidos grasos con mayor cantidad de insaturaciones son aún más propensos. (Castro *et al*, 2007).

Este valor se encuentra en el intervalo establecido para grasas y aceites vírgenes (0 - 5 meq O₂/kg aceite). (Galeano *et al*, 2011)

El valor promedio obtenido para la viscosidad del aceite de pollo fue de 64.32 mm²/s,

El valor promedio obtenido para la viscosidad del aceite de pollo fue de 64.32 mm²/s, este resultado es próximo al citado por la bibliografía en donde se encontró un valor 59,20 mm²/s. (Alptekin *et al*, 2010) y 43,3855 mm²/s estudiando el mismo aceite utilizado en esta investigación. La diferencia entre estos resultados se pudo deber a los factores intrínsecos de la muestra como edad, raza, tipo de alimentación ya que la viscosidad depende directamente de la composición (longitud de las cadenas) de los triglicéridos en el aceite de partida, asimismo a mayor viscosidad del aceite, más viscoso será el biocombustible producido, generándose así, pérdidas de potencia y disminución en la lubricidad del mismo. (Galeano *et al*, 2011).

4.2. Perfil lipídico de la materia prima:

Antes de iniciar el proceso de obtención del biodiesel se caracterizó el perfil lipídico de la grasa de pollo, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3: Perfil lipídico de la grasa de pollo

N°	Nombre del Componente	Unidad	Concentración
1	Ácido mirístico	%	0.338
2	Ácido palmítico	%	17.3565
3	Ácido palmitoleico (Cis-9)	%	4.359
4	Ácido esterárico	%	4.0825
5	Ácido oleico (Cis-9)	%	32.581
6	Ácido linoleico (Cis-9,12)	%	37.398
7	Ácido linolénico (Cis-9,12,15)	%	3.9075

Los ácidos grasos presentes en la grasa de pollo de acuerdo a la caracterización realizada a la materia prima son Acido mirístico 0.338%, Acido Palmítico 17,3565%, Ácido palmitoleico 4.359%, Ácido esteárico 4,0825%, Ácido oleico 32.581%, Ácido linoleico 37.398% y Ácido linolenico 3.9075%, dando un total de 21.77% de ácidos grasos saturados y 78.23% de ácidos grasos insaturados siendo presentados por 36.94% de ácidos grasos monoinsaturados y 41.29% de ácidos grasos poliinsaturados.

Los resultados son comparables a la de la literatura en donde se reportó que los ácidos grasos del aceite de pollo están conformados por, ácidos grasos Oleico (42.5%), Palmítico (21.5%) y Linoleico (20.6%) los cuales son los que se encuentran en mayor proporción en esta grasa. (Arteaga *et al*, 2010).

Los ácidos grasos presentes en la grasa de pollo son laurico 0.1%, mirístico 0.9%, palmítico 21.6%, palmitoleico 5.7% esteárico 6%, oleico 37.3%, linoleico 19.5%, dando un total de 31.2% de ácidos grasos saturados y 68.8% de ácidos grasos insaturados. (Ros *et al*, 2001).

El contenido en ácido graso linoleico del aceite de pollo varía entre 16 y 25%, en función de la alimentación de las aves previo al sacrificio. (FEDNA, 2003).

La grasa de pollo presentó cierto equilibrio entre las concentraciones de monoinsaturados (44.8%) con predominio del ácido oleico, saturados (32.8%), con predominio del ácido palmítico y poliinsaturados (22.4%), con predominio del ácido linoleico. (Gioielli et al, 2002)

La grasa de pollo de aves procedentes de Uruguay, presentaron gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (29.6%), siendo los más característicos el ácido linoleico (26.9%) y linolénico (2.7%). En el

presente estudio los valores obtenidos para los ácidos grasos poliinsaturados totales fue de 22.4%, siendo 21.2% de ácido linoleico y 1.2% de ácido linolénico. (Gioielli *et al*, 2002)

La caracterización de los ácidos grasos del aceite de pollo indica que este contiene 24.76% de ácidos grasos saturados, 50.13% de ácidos grasos monoinsaturados y 21.48% de ácidos grasos poliinsaturados. Los valores de los ácidos grasos contenidos en la grasa de pollo son 30.50% de ácidos grasos saturados, 44.71% de ácidos grasos monoinsaturados y 24.79% de ácidos grasos poliinsaturados. (Borrel, 2008).

En investigaciones con grasas de pollo, indican los principales triacilgliceroles presentes en la grasa de pollo fueron PO₂, POL, LO₂, O₃ y P₂O, donde P = ácido palmítico, O = ácido oleico y L = ácido linoleico. La baja cantidad de triacilgliceroles saturados (<3%) explica la baja concentración de grasa sólida a la temperatura ambiente (3-10% a 20°C). Los ácidos grasos encontrados en mayor cantidad en la grasa de pollo fueron el palmítico y el oleico. (Torresani, 1999).

La grasa de pollo presenta cerca de 60% de ácidos grasos insaturados, siendo por lo tanto, altamente insaturada en comparación con el sebo bovino. (Ming, 2002)

Los resultados encontrados para la composición de los ácidos grasos de la grasa de pollo estuvieron aproximados a los de la literatura, con una diferencia máxima alrededor de 15%, para el ácido oleico y de 5% para los demás ácidos grasos. Estas diferencias muy probablemente fueron debidas a factores intrínsecos de las aves, tales como edad, sexo, raza, tipo de alimentación, clima y el tejido adiposo analizado. (Galeano *et al*, 2011)

4.3. Valores de los rendimientos obtenidos en los ensayos experimentales:

Tabla 4: Rendimientos obtenidos en los ensayos experimentales

	Aceite (ml)	CH₃OH (%)	NaOH (%)	Biodiesel (ml)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio
T1	250	10	0.2	235	93.6	93.4
				236	93.0	
T2	250	10	1.2	239	92.4	92.2
				237	92.0	
T3	250	10	2	-	-	.
				-	-	
T4	250	20	0.2	242	96.8	96.4
				240	96	
T5	250	20	1.2	215	95.4	94.8
				219	94.2	
T6	250	20	2	-	-	.
				-	-	
T7	250	30	0.2	235	91.4	91.8
				234	92.2	
T8	250	30	1.2	213	89.2	88.2
				218	87.2	
T9	250	30	2	-	-	.
				-	-	

En los tratamientos 1 y 2, la concentración de metanol permanece fija en 20% mientras que la concentración de hidróxido de sodio aumenta de 0.2% a 1.2%. Bajo estas condiciones, ocurre una disminución del rendimiento desde 93.4% a 92.2%. En los tratamientos 4 y 5, la

concentración de metanol permanece fija en 10% mientras que la concentración de hidróxido de sodio aumenta de 0.2% a 1.2%. Bajo estas condiciones, ocurre una disminución del rendimiento desde 96.4% a 94.8%. En los tratamientos 7 y 8, la concentración de metanol permanece fija en 30% mientras que la concentración de hidróxido de sodio aumenta de 0.2% a 1.2%. Bajo estas condiciones, ocurre una disminución del rendimiento desde 91.8% a 88.2%. En los tratamientos 3,6 y 9, la concentración Hidróxido de sodio permanece fija en 1.2% mientras que la concentración de metanol aumenta de 10%, 20% y 30%. Bajo estas condiciones no existe separación de fases.

Una de las variables más importantes que afecta los rendimientos de los ésteres es la relación molar alcohol-triglicérido. La proporción estequiometría requerida es de tres moles de alcohol por cada mol de triglicérido para producir tres moles del éster del ácido graso y un mol de glicerol, pero debido a la reversibilidad del proceso, se requiere un exceso de alcohol. Sin embargo La alta relación alcohol-aceite interfiere en la separación de la glicerina debido al incremento de su solubilidad. La proporción a utilizar depende de la materia prima que se utilice. (Álvarez *et al*, 2010).

La transesterificación es una reacción reversible, es decir, se necesita un gran exceso de alcohol para forzar la reacción hacia la formación de los productos buscados, biodiésel y glicerol. Por esto, en la práctica, cuando se trabaja con metanol se recomienda una razón molar de 6:1 para asegurar una conversión máxima de los triglicéridos a ésteres Si la cantidad de alcohol no es suficiente, el producto contendrá monoglicéridos y diglicéridos (productos intermedios de la transesterificación), los cuales cristalizan muy fácilmente en el biodiésel y pueden causar taponamiento de los filtros y otros problemas en el motor. (Freedman *et al*, 1984).

La reacción de transesterificación es reversible y se ocupa alcohol en exceso para forzar el equilibrio del lado de los productos. La proporción molar de alcohol a triglicérido, es una de las variables más importantes que afectan al rendimiento de Éster. (Gómez, 2006)

Girón, 2011 reportó que al transesterificar sebo de pato se obtuvo rendimientos de 75% y 97% a una relación de 3:1 y 6:1, respectivamente. En la alcoholólisis homogénea de grasa de pollo, manteca de cerdo, aceite de pescado y sebo de res, los rendimientos son mayores al 90% a una relación de 6:1.

Jerome, 2007 reportó que a una gran cantidad de alcohol disminuye el rendimiento, debido a que actúa como emulsificador del catalizador, haciendo lenta la reacción, al transesterificar grasa animal a relaciones de 6:1, 7,5:1 y 9:1, obtuvo rendimientos del 80%, 73% y 68%, respectivamente.

En esta investigación la mayor relación molar empleada en los tratamientos fue de 30% (9:1) de metanol no originándose problemas en la separación de fases biodiesel y glicerina, salvo en el tratamiento 9 con 2% de concentración de hidróxido de sodio y 30% de concentración de metanol, donde no hubo separación de fases debido a la alta concentración de hidróxido de sodio. Asimismo se determinó que utilizando una concentración de metanol de 20% (6:1) se obtuvo un mejor rendimiento a comparación que cuando se utilizó una concentración del 10% (3:1) y 30%(9:1) de metanol.

Tanto en catálisis alcalina, como en catálisis ácida, se ha encontrado dependencia de la conversión de triglicéridos con la cantidad de catalizador usado. Se debe tener cuidado con la cantidad adicionada de catalizador, puesto que un exceso de catalizador conlleva a la formación de emulsiones. Posteriormente, se da la formación de un gel. La formación de este gel interfiere en la separación de las fases

líquidas resultantes. (Gioielli *et al*, 2002). En los tratamientos 3, 6 y 9 donde la concentración de hidróxido de sodio fue de 2% se formaron emulsiones que perjudicaron la separación de fases biodiesel glicerina, en esta investigación se comprueba experimentalmente que a una concentración de 2% de hidróxido de sodio, dificulta la separación de fases.

Puede concluirse que la concentración del catalizador tiene gran dependencia con el tipo de aceite usado. Utilizando 1,0% de NaOH se ha obtenido también un 89,8% de rendimientos para aceites utilizados. El proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel, tuvo un rendimiento del 96% a partir de la grasa de pollo, lo que se considera un buen rendimiento desde el punto de vista técnico y económico. (FEDNA, 2003). Esta concentración de hidróxido de sodio es próximo al empleado en este estudio (1.2%) con el cual se obtuvo un rendimiento 92.2% en el tratamiento 2, 94.8% en el tratamiento 5 y 88.2% en el tratamiento 8. Con esta concentración de hidróxido de sodio (1.2%) se obtuvieron menores rendimientos a comparación que cuando se utilizó una concentración de 0.2%, donde el mejor rendimiento obtenido fue de 96.4 % en el tratamiento 4.

Con una cantidad de catalizador de 2% en peso, una razón molar de 10:1 de metanol a triglicéridos (mucho menor a la necesaria cuando se trabaja con ácido sulfúrico) y una temperatura de reacción de 95° C, se alcanzó una conversión de 97% de los ácidos grasos libres de un aceite usado en biodiesel. (Álvarez *et al*, 2010). En este trabajo donde se utilizó aceite de grasa de pollo como materia prima, se obtuvieron resultados negativos al utilizar una concentración de hidróxido de sodio al 2%, produciéndose emulsiones y formación de gel y no se obtuvo la separación de fases biodiesel y glicerina.

Otros autores han reportado que los mayores rendimientos se obtuvieron cuando se utilizó una baja concentración de catalizador (0,4% de NaOH). (FEDNA, 2003). En este trabajo se obtuvo un mejor rendimiento de 96,4% en el tratamiento 4 al utilizar una concentración de hidróxido de sodio de 0.2% y una concentración de metanol de 20%, donde la separación de fases biodiesel y glicerina fue exitosa sin presentar ningún inconveniente.

Para realizar el análisis de ANOVA para la variable de respuesta: Rendimiento, se ingresaron los resultados incluyendo las repeticiones con un total de 12 experimentos, al programa STATGRAPHICS:

Tabla 5: Rendimientos del Biodiesel obtenido ingresados al programa STATGRAPHICS

CH₃OH (%)	NaOH (%)	Rendimiento (%)
10.0	0.2	93.6
20.0	0.2	96.8
30.0	0.2	91.4
10.0	1.2	92.4
20.0	1.2	95.4
30.0	1.2	89.2
10.0	0.2	93
20.0	0.2	96
30.0	0.2	92.2
10.0	1.2	92
20.0	1.2	94.2
30.0	1.2	87.2

A continuación se presenta la tabla ANOVA para el factorial de 2 factores:

Tabla 6: Tabla ANOVA para el Rendimiento

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:CH3OH	15.125	1	15.125	35.94	0.0010
B:NaOH	13.23	1	13.23	31.44	0.0014
AA	47.6017	1	47.6017	113.11	0.0000
AB	3.125	1	3.125	7.43	0.0344
bloques	1.47	1	1.47	3.49	0.1108
Error total	2.525	6	0.420833		
Total (corr.)	83.0767	11			

En la tabla, se muestran los resultados para el rendimiento, donde la concentración de CH3OH, la concentración de NaOH y la interacción entre estos factores tiene diferencia altamente significativa.

Ecuación optimizada:

$$\text{Rendimiento} = 81.17 + 1.64 \cdot \text{CH}_3\text{OH} + 0.4 \cdot \text{NaOH} - 0.04225 \cdot \text{CH}_3\text{OH}^2 - 0.125 \cdot \text{CH}_3\text{OH} \cdot \text{NaOH}$$

R-cuadrada = 96.9606 por ciento

Gráfica de Efectos Principales para Rendimiento

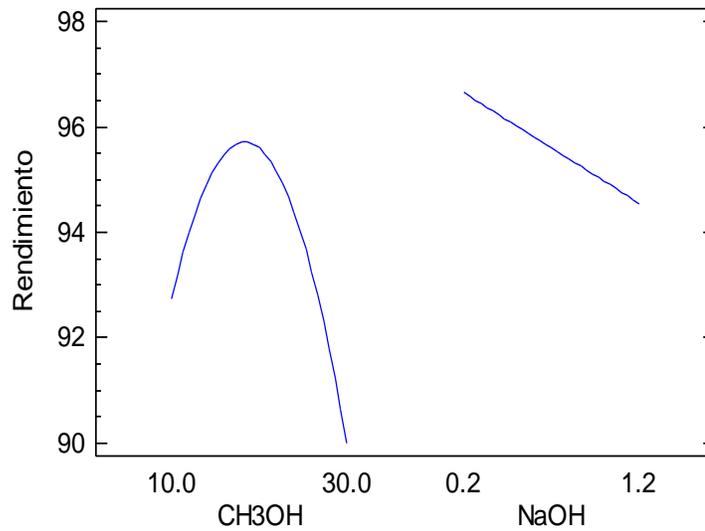


Figura11: Gráfica de Efectos Principales para el rendimiento

En la figura muestra como la concentración de CH3OH y la concentración de NaOH afectan el rendimiento del biodiesel, así a medida que la concentración de NaOH aumenta, el rendimiento disminuye, asimismo el rendimiento aumenta cuando la concentración de CH3OH es aprox. 20%, al disminuir y aumentar esta concentración el rendimiento disminuye.

Gráfica de Interacción para Rendimiento

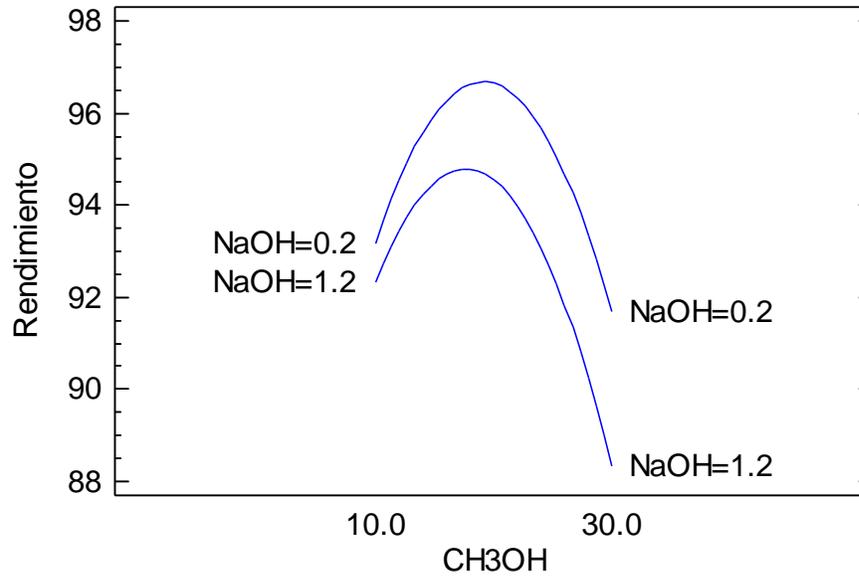


Figura12: Gráfica de Interacciones para el rendimiento

En la figura, muestra que la interacción de la concentración de NaOH y la concentración de CH_3OH influye en el rendimiento del biodiesel, siendo así que para una concentración de CH_3OH al 20%, el rendimiento aumenta al utilizar una concentración al 0.2% de NaOH .

En la siguiente figura, se muestra la Superficie de Respuesta Estimada para el rendimiento.

Superficie de Respuesta Estimada

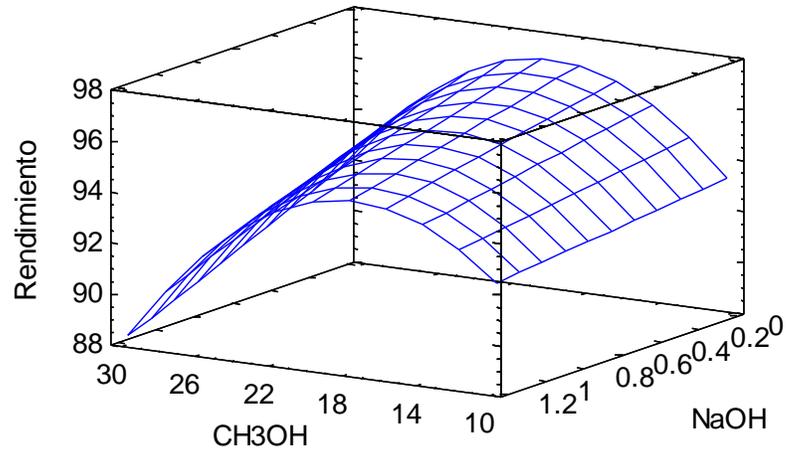


Figura13: Gráfica de Superficie de Respuesta Estimada para el Rendimiento

La gráfica de Superficie de Respuesta estimada, muestra que se obtiene un mayor rendimiento a una concentración entre 18% a 22% de CH₃OH y una concentración de NaOH al 0.2%, además se observa que al disminuir o aumentar esta concentración de CH₃OH el rendimiento disminuye. Asimismo se obtiene un menor rendimiento al aumentar esta concentración de NaOH.

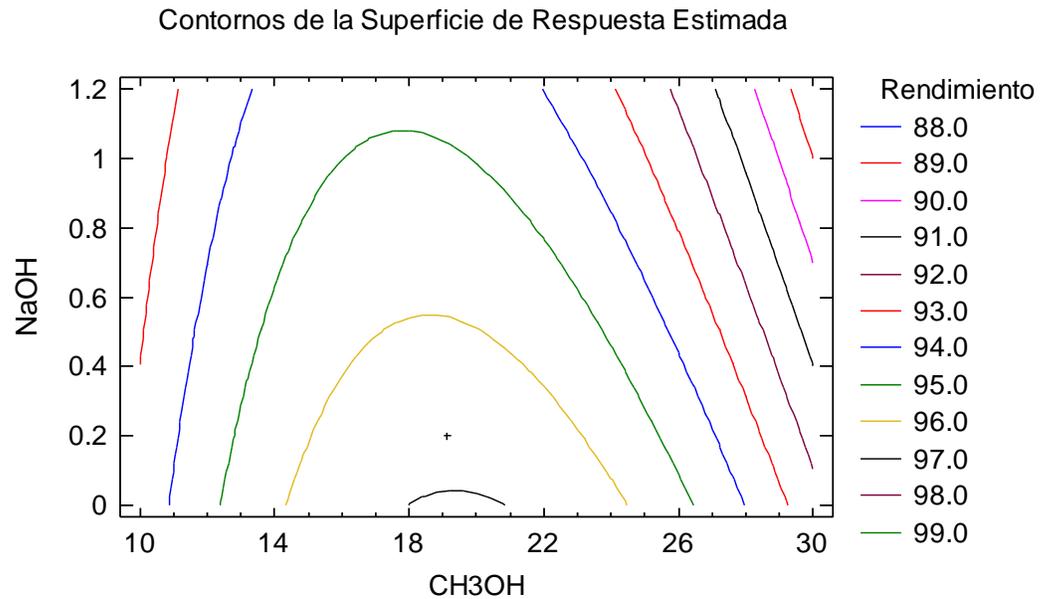


Figura14: Gráfica de Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada para él Rendimiento

La gráfica de Contornos de la Superficie de Respuesta estimada, muestra que se obtiene un mayor rendimiento a una concentración entre 18% a 22% de CH₃OH y una concentración de NaOH al 0.2%.

Tabla 7: Optimización del rendimiento

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
CH ₃ OH	10.0	30.0	19.1132
NaOH	0.2	1.2	0.2

Valor óptimo (Rendimiento) = 96.6833

Esta tabla muestra que a una concentración de CH₃OH a 19.1132% y una concentración de NaOH a 0.2%, se obtiene el máximo Rendimiento en la obtención de biodiesel, 96.6833%.

4.4. Caracterización fisicoquímica del Biodiesel:

Tabla 8: Caracterización fisicoquímica del biodiesel

Análisis	Valor
Punto de Inflamación °C	145
Índice de Cetano	48
Viscosidad Cinemática (mm ² /s)	4.3966
Índice de Acidez (%)	0.4488
Cenizas (%)	0.017
Agua y Sedimentos (%)	0.01
Poder Calorífico (MJ/kg)	39.5
Densidad(g/ml)	0.8684

El valor del punto de inflamación obtenido de biodiesel fue de 145 °C valor que cumple con las Especificaciones establecidas por la NTP 321.125:2008 (93 ° C min) y la norma internacional American Society of Testing and Materials (ASTM) indica que el punto de inflamación debe ser de (130 °C min), condición que le otorga ventajas frente al diésel comercial relacionado con requisitos legales y medidas de seguridad involucradas con el manejo y almacenamiento del combustible. Además la determinación del punto de inflamación esta relacionada con el contenido de metanol residual, pues cantidades muy pequeñas de este alcohol reducen notablemente este parámetro. El metanol puede afectar los equipos de bombeo del combustible, sellos y empaques, además de generar problemas de lubricidad. (N. Rel, 2009)

El valor obtenido en esta investigación (145 °C) es inferior al reportado por Galeano et al. 2011(178 °C) para Biodiesel a partir de grasa de pollo. Esta diferencia puede deberse al diferente método de

lavado empleado, ya que con el lavado se separa los residuos de jabones, metanol y glicerina y la presencia de estos reduce el valor del punto de inflamación. Se recomienda utilizar una mejor técnica de lavado. Sin embargo el punto de inflamación obtenido esta dentro de las especificaciones de la NTP B100 y la norma internacional ASTM.

El valor obtenido del Índice de Cetano del biodiesel fue de 48 valor que cumple con los Especificaciones establecidos por la NTP 321.125:2008 (47 min) y la norma internacional ASTM (47min). El índice de cetano es un parámetro de calidad relacionado con el retraso en el tiempo de ignición del motor y la calidad de combustión del biodiesel. Entre más alto sea el índice de cetano, se obtendrán mejores propiedades de ignición, mejor rendimiento del motor, mejor encendido en frio y reducción de humos blancos en la emisión (Ramos *et al.*, 2009).

En medida que incrementa el promedio en la longitud de las cadenas de los ácidos grasos, se obtiene un biodiesel con mayor índice de cetano correlacionando con menores emisiones de NOx según estudios realizados por Knothe *et al.*, 2003.

Este valor obtenido es menor al reportado por Arteaga et al. 2009 (60.08), para la misma materia prima, Esta diferencia puede deberse a la diferencia en la composición química de las materias primas utilizadas, ya que a pesar de ser la misma, se originaron con diferentes hábitos alimenticios en las aves de corral.

El resultado de la viscosidad cinemática obtenida en esta investigación fue de 4.3966 mm²/s, el cual se encuentra dentro de los límites establecidos por la NTP B100 (1.9-6.0 mm²/s) y la norma internacional ASTM (1.9-6.0 mm²/s), situación favorable para el biodiesel obtenido en este estudio, ya que viscosidades que sobrepasan el límite superior (6.0 mm²/s), pueden ocasionar perdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección, poca

lubricidad y depósitos en el sistema de inyección de combustible, así como combustibles incompletas y mayores emisiones de humos. La viscosidad del biodiesel puede variar dentro de un intervalo muy amplio dependiendo de la clase de ácidos grasos a partir de los cuales se haya producido, es decir, incrementa a medida que aumenta la longitud de la cadena carbonada y el grado de saturación en la misma (Kegl 2008) El valor obtenido es comparable al reportado por Galeano *et al.*, 2011 (4,5384 mm²/s) para la misma materia prima.

El valor obtenido Porcentaje de Acidez del biodiesel fue de 0.4488% valor que cumple con los Especificaciones establecido por la NTP B100 (0.50 max) y la norma internacional ASTM (0.80 max). Si el biodiesel posee un alto grado de acidez se formaran una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema, además que contribuyen al aumento del residuo carbonos de manera notable pudiendo formar jabones que colmatan los filtros del combustible y reducir su vida útil. (Tyson *et al.*, 2004).

Este valor obtenido es menor al reportado por Canakci *et al.* 2011 (0.30%), para la misma materia prima, Esta diferencia puede deberse a la diferencia en la composición química de las materias primas utilizadas, ya que a pesar de ser la misma, se originaron en diferentes latitudes (clima, altura, etc) y con diferentes hábitos alimenticios en las aves de corral.

El valor obtenido de Cenizas en el biodiesel fue de 0.017% valor que cumple con los Especificaciones establecidos por la NTP B100 (0.020% min) y la norma internacional ASTM (0.020 % min). Un bajo contenido de cenizas es equivalente a un bajo contenido de minerales tanto los sólidos abrasivos como los catalizadores no eliminados favorecen al desgaste del inyector, bomba de inyección,

pistón y anillos, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen un efecto menor en el desgaste pero pueden afectar más a la colimación de filtros y depósitos de motor. (WEARCHECK IBERICA)

Este valor obtenido es similar al reportado por Arteaga et al 2009 (0.01), empleando el mismo método de determinación e Cenizas, en su estudio de obtención de biodiesel a partir de grasa de pollo.

El valor obtenido para el contenido de humedad fue de 0.01% valor que cumple con los Especificaciones establecidos por la NTP B100 (0.050% max) y la norma internacional ASTM (0.050% max). Los altos contenidos de agua puede favorecer la proliferación microbiana, participar en la formación de emulsiones, causar corrosión del tanque e hidrólisis u oxidación hidrolítica al biodiesel obtenido. El contenido de agua en el biodiesel debe ser eliminado mediante evaporación de la misma, de lo contrario se pueden presentar grandes inconvenientes, tales como, disminución en el calor de combustión y corrosión a las partes metálicas de los sistemas de inyección, válvulas, entre otros. (Knothe *et al*, 2006). Este valor obtenido es comparable al reportado por Arteaga *et al*. 2009 (<0.01%), esta aproximación de resultados se puede asumir a que la técnica de secado empleada fue la misma (secado en estufa a 105 °C).

Este parámetro no está incluido en la normatividad nacional vigente que regula la calidad de este tipo de combustible. Sin embargo se llevó a cabo como un parámetro de caracterización ya que proporciona información útil para compararlo con resultados obtenidos en otras investigaciones.

Según la Normativa Internacional ASTM D240 indica que el poder calorífico del Biodiesel debe ser 39.5 KJ/kg min. El valor calculado en esta investigación fue de 39.5 KJ/kg el cual cumple exactamente con el límite mínimo establecido por dicha Norma. Entonces se puede

indicar que el uso del Biodiesel obtenido en este estudio puede evitar tanto pérdidas de potencia en el motor como mayor consumo del mismo, además de disminuir el tiempo de encendido del motor (Canakci M, 2007) Este valor obtenido es menor al reportado por Arteaga et al. 2009 (40.22 KJ/kg) para la misma materia prima, Esta diferencia puede deberse a la diferencia en la composición química de las materias primas utilizadas, ya que a pesar de ser la misma, se originaron en diferentes latitudes (clima, altura, etc) y con diferentes hábitos alimenticios en las aves de corral. El calor de combustión incrementa su valor a medida que aumenta la longitud de la cadena carbonada (Knothe et al, 2006).

Este parámetro no está incluido en la normatividad nacional vigente que regula la calidad de este tipo de combustible. Sin embargo se llevó a cabo como un parámetro de caracterización ya que proporciona información útil para compararlo con resultados obtenidos en otras investigaciones.

Según la Normativa Internacional EN 14214 (Estándares europeos) indica que la Densidad a 15°C del Biodiesel debe estar 860-900 kg/m³. El valor calculado en esta investigación fue de 868.4 kg/m³ el cual cumple dentro de los límites establecido por dicha Norma. Este valor es comparable al obtenido por Galeano et al. 2011, para biodiesel a partir de grasa de pollo (8758.8 kg/m³). La densidad refleja las propiedades de los compuestos químicos (metilesteres) componentes del biodiesel, además, de proporcionar información acerca del contenido de energía del combustible, es decir, mayores densidades indican mayor energía térmica y una mejor economía de combustible. (WEARCHECKIBERICA 2010).

V. CONCLUSIONES

- La caracterización fisicoquímica de la grasa de pollo dio como resultado valores adecuados, que permitieron obtener biodiesel de calidad, a excepción del índice de acidez, el cual se logró disminuir a valores menores de 3% en la etapa de esterificación.
- Se obtuvo la grasa de pollo desgomada la cual fue sometida a los diferentes ensayos experimentales.
- Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que a una concentración de metanol de 20% y una concentración de hidróxido de sodio de 0.2%, se obtiene un mejor rendimiento de biodiesel a partir de grasa de pollo, el cual cumple con los parámetros estudiados establecidos en la NTP 321.125:2008 y en la norma internacional ASTM D6751.
- Que a concentraciones de hidróxido de sodio al 2% en la etapa de transesterificación se origina emulsiones y formación de gel, que dificultan la separación de fases biodiesel y glicerina.
- Así también el biodiesel con mayor rendimiento fue caracterizado obteniendo valores que cumplen con lo establecido en la NTP 321.125:2008 y en la norma internacional ASTM D6751.

VI. RECOMENDACIONES

- La reacción de transesterificación se debe realizar a una temperatura no mayor a la temperatura de ebullición del alcohol, ya que a temperaturas mayores, el alcohol se volatiliza.
- Se recomienda realizar estudios para la obtención de biodiesel a partir de grasa de pollo usando catalizadores ácidos y enzimáticos. De esta manera comparar sus rendimientos.
- Realizar un estudio de la vida útil del biodiesel obtenido refiriéndose a su estabilidad en el tiempo.
- Realizar un estudio de los diferentes tipos de lavado para el biodiesel, de esta manera obtener el que otorgue la menor pérdida referente al biodiesel obtenido después de la transesterificación.
- Se recomienda realizar pruebas del biodiesel obtenido en motores a largo plazo, para verificar su comportamiento.
- Implementar los laboratorios con equipos que permitan realizar los análisis convenientes para asegurar que el biodiesel obtenido cumple con las normas establecidas lo que permitiría un mejor estudio de este tipo de investigación.
- Se recomienda realizar un estudio de costos de producción para la obtención de biodiesel a partir de grasa de pollo. Incluyendo en su estructura la recuperación del metanol y la purificación de la glicerina.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Acosta Fernando, Castro Paula, Cortijo Elsa. Manual de construcción y uso de reactor para la producción de biodiesel a pequeña escala, 1era edición Lima, Perú; 2008.
2. Alvarez A. Viviana, Muercia N. José. Evaluación del proceso de producción de biodiesel mediante la transesterificación de microalgas sintético con etanol en medio básico y caracterización del biodiesel obtenido [Tesis]. Bucaramanga, Colombia: Universidad Nacional de Santander Facultad de Ingenierías Físicoquímicas; 2010.
3. Arteaga H., Siche R., Pagador S. Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel a partir de grasa refinada de pollo. Scientia Agropecuaria. 2010; 37-45.
4. Benjumea H. Pedro, Agudelo S. Jhon, Alberto R. Luis. Biodiesel: Producción, calidad y caracterización. 1era edición. Medellín, Colombia: Editorial Antioquia; 2009.
5. Borrel Marie. Mi cocina anti fatiga. Barcelona, España: Editorial Hispano Europa; 2008.
6. Brenda Watson; Leonard Smith. La dieta Fibra 35. Bogotá, Colombia: Editorial Norma S.A.; 2007.
7. Chiu Chih Ming. Grasas y Aceites. Vol. 53. São Paulo, Brasil: 2002.
8. Canakci M, Van J. Gerpen. Biodiesel Production From Oils and Fats with High Free Fatty Acids. American Society of Agricultural Engineers. Vol. 44; 2001. pp 1429-1436.

9. Cobos A., Díaz O. Composición química y de ácidos grasos de la carne de pollo "extra" y "de corral", *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*. 2001; (20): pags. 45-50
10. Donato L., Huerga L. Balance energético de los cultivos potenciales para la producción de biocombustibles. Instituto de Ingeniería rural. 2008.
11. Durst H. D., Gokel G. W. *Química Orgánica Experimental*. Barcelona, España: Editorial Reverte S.A.; 2007.
12. Emilio Menéndez Pérez. *Las Energías Renovables*. Madrid, España: Editorial Los Libros de la Catarata; 1997.
13. FEDNA, (2003). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos*. [libro electrónico] 2da edición. Madrid, España. C. de Blas, G.G. Mateos y P.G^a. Rebollar, autores. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal., disponible en:
http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites/grasa_pollo.htm
14. Freedman, et al. Variables que afectan el rendimiento de los esteres de ácidos grasos de la transesterificación de aceite vegetal. *Revista de aceites vegetales*. Sociedad química. 1984.
15. Fieser Fieser. *Química Orgánica fundamental*. [libro electrónico] Barcelona, España: Editorial Reverte S.A.; 1985. Disponible en:
<http://books.google.com.pe/books?id=KpTfbF6mguAC&printsec=frontcover&dq=Fieser+Fieser.+Qu%C3%ADmica+Org%C3%A1nica+fundamental&hl=es&sa=X&ei=EecYUvi2H4m-9QS8yIH4BA&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=Fieser%20Fieser.%20Qu%C3%ADmica%20Org%C3%A1nica%20fundamental&f=false>
16. Galeano, et al. Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos del pollo para la producción de un biocombustible (biodiesel). Universidad

tecnológica de Pereira facultad de tecnología escuela de tecnología química programa de química industrial Pereira. 2011.

- 17.** Gioielli L. A. Lípidos estructurados obtenidos por interesterificación química y enzimática a partir de aceite de pescado y grasa de palmiste, Departamento de Tecnología Bioquímico-Farmacéutica Facultad de Ciencias Farmacéuticas - Universidad de São Paulo Caixa Postal 66083, Vol. 54. São Paulo, Brasil, 2003.
- 18.** Gómez Avila Adrian. Desarrollo de la cinética química de la reacción de transesterificación de la oleína de palma [Tesis]. Universidad del Norte división de Ingeniería. Departamento de ingeniería Mecánica. Barranquilla, Colombia; 2006.
- 19.** IICA. Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. San José, Costa Rica.2010.
- 20.** José L., Calle M. Producción de biodiesel a partir de grasa animales y aceites vegetales residuales Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 2010.
- 21.** Karabulut, I., Turan, S y Ergin, G. Effects of Chemical Interesterification on Solid Fat Content and Slip Melting Point of Fat/Oil blends. European Food Research Technology, 2004; (218): 224-229.
- 22.** Kellens, M. Desarrollos en la Tecnología de Modificación de las Grasas. Interesterificación de Grasas y Aceites. En: Asociación Argentina de Grasas y Aceites. Aceites y Grasas. Buenos Aires, Argentina: Editorial Amalevi; 2000. Aniversario. Recopilación de Artículos Técnicos Argentina. p 246-261.
- 23.** Knothe, G. Analyzing biodiesel: Standars and other Methods. Journal of the American Oil Chemists's Society. Vol 83. 2006; (10): pp 823-833
- 24.** Kotz C. John, Treichel M. Paul, Weaver C Gabriela. Química y reactividad química, 6ta edición. Buenos Aires, Argentina. 2005.

- 25.** Laura Figueroa. El libro de la soya. 1era edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Pluma y papel ediciones. 2006.
- 26.** Liu L. How is Chemical Interesterification Initiated: Nucleophilic Substitution or - Proton Abstraction. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2004; (381): pp 331-337.
- 27.** Mateos G.G. Utilización de Grasas y Productos Lipídicos En Alimentación Animal: Grasas Puras y Mezclas. Departamento de Producción Animal Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 1996.
- 28.** O'brien, R. Formulating and Processing for Applications. 2da ed. Editorial Boca Raton, 2004.
- 29.** Ocrospoma R. Lorena. Situación y perspectiva de los biocombustibles en el Perú. Lima, Perú. 2008; pp. 79.
- 30.** Pedro Ramos Castellanos. Energías y Cambios Climáticos. Salamanca, España: Ediciones Universidad Salamanca. 2008.
- 31.** Pepa M. Martínez, Luis M. Ruesga. Empresas y Energías Renovables. Madrid, España: Editora Fundación Confemetal. 2006.
- 32.** Polackiewickz, B. Hidrogenación e interesterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). Grasas y Aceites. 2001; (252): 192-197.
- 33.** Ramos C. Pedro. Energía y medio Ambiente. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca y los autores. 2004.
- 34.** Remiro B. Antonio, Rosa F. Egea. El cambio climático en el derecho internacional y comunitario. 1era edición. Bilbao, España. 2009.

- 35.** Reyes S. J. Investigación para la producción de biodiesel a partir de aceites y ácidos grasos comestibles. Memoria ciencias químicas. Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas. 2003.
- 36.** Rojas G. Andrés, Gallego G. Erika. Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales. Vol.15. Bogotá-Colombia; 2010.
- 37.** Rodger W., Griffin Jr. Química Orgánica Moderna. Barcelona, España: Editorial Reverte S.A. 1981.
- 38.** Ruiz, M.D. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. II tomo. Madrid, España: Editorial médica panamericana S.A. 2010.
- 39.** Sheehan J., Camobreco V., Duffield J. An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles. Colorado: US Department Energy and US Department Agricultural. 1998; 33 pp.
- 40.** Sophanodora, P. Chemical Transesterification of Tuna Oil to Enriched Omega-3 Polyunsaturated fatty acids. Food Chemistry. 2004; (87): 415-421.
- 41.** Torresani, E., Somoza, M.I. Lineamientos para el cuidado nutricional. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires. 1999; 513-529.
- 42.** Valencia R. A.; Garzon A Villavicencio. Potencialidades de la soya y usos en la alimentación humana y animal. 2da Edición. Meta, Colombia: Editorial La Bastilla Ltda. 2004.
- 43.** Willis W. Lencki, Maragoni A. Lipid Modification Strategies in the Production of Nutritionally Functionals Fats and Oils. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1998; (38): 639-674.

ANEXOS

ANEXO 1: Procedimiento para la obtención de biodiesel.

a) Lavado de Materia prima

La materia prima a utilizar es: grasa de pollo (*gallusgallus*), la cual fue transportada al laboratorio de Investigación para realizar su lavado con agua potable, con la finalidad de eliminar impurezas como sangre, vísceras, resto sólidos, etc.



b) Licuado de la materia prima

Se realizó el licuado de la materia prima con la intención de homogeneizarla para obtener una mejor separación de fases. Se comprobó mediante ensayos previos que se obtiene un mejor rendimiento cuando la materia prima es licuada.



c) Separación de fases a una temperatura de 121 °C

Luego del licuado la grasa fue sometida a una temperatura de 121°C por 1 hora en una autoclave, con la intención de separar el aceite de los sólidos y agua. Luego se filtro en caliente con una tela fina dejándola lista para el posterior centrifugado.



d) Centrifugado del aceite

El aceite es sometido a un centrifugado a 5000 rpm durante 20 minutos con la intención de separar las gomas con la intención de separar las gomas hidratables del aceite (fosfolípidos y fosfáticos). Luego se procedió a un secado en estufa a 100°C por 15 minutos, obteniéndose la grasa de pollo desgomada.



e) Esterificación

Luego de la etapa de esterificación la mezcla reaccionante se dejó decantar por 8 horas, observándose una separación de fases.



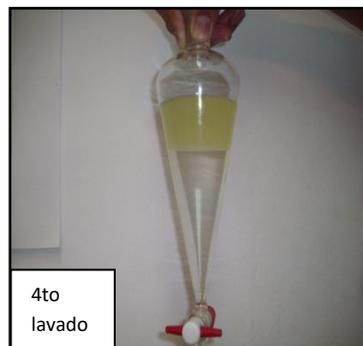
f) Transesterificación

Luego de la transesterificación la mezcla resultante fue llevada a una pera de decantación por 8 horas, observándose la separación final de fases biodiesel (parte superior) y glicerina (parte inferior).



g) Lavado

El biodiesel fue lavado con agua destilada 4 veces, hasta que el agua de lavado resulte transparente.



h) Biodiesel purificado

Luego del lavado el Biodiesel fue sometido a un secado en estufa a 105°C por aproximadamente 30 minutos.



ANEXO 2: Repeticiones de los análisis realizados para la caracterización de la materia prima

	Resultados	Promedio
Humedad (%)	0.67%	0.83%
	0.95%	
	0.88%	

	Resultados	Promedio
Extracto Etéreo (%)	74.20%	75.78%
	77.33%	
	75.83%	

	Resultados	Promedio
Ceniza (%)	0.42%	0.39%
	0.36%	
	0.40%	

	Resultados	Promedio
Índice de Acidez (%)	0.66	0.60
	0.54	
	0.60	

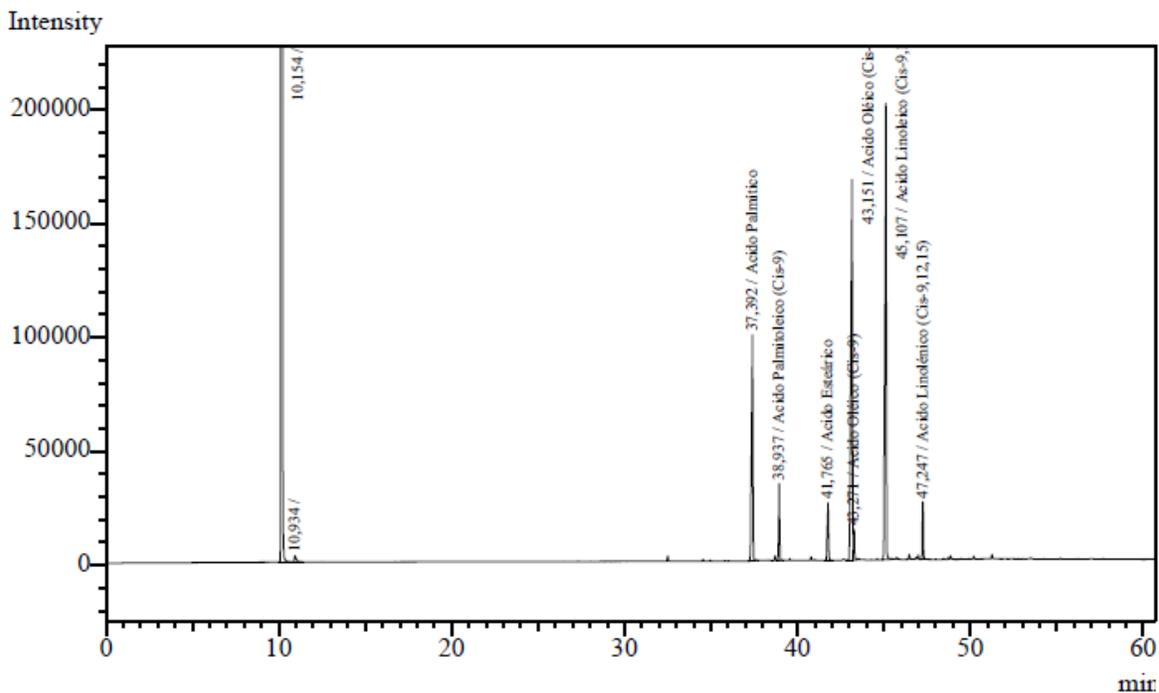
	Resultados	Promedio
Índice de saponificación (mg de KOH/g de grasa)	201.96	194.48
	179.52	
	201.96	

	Resultados	Promedio
Índice de yodo (g I₂/ 100 g de grasa)	76.14	84.6
	88.83	
	88.83	

	Resultados	Promedio
Índice de peróxido (meq O₂/kg grasa)	0.6	0.43
	0.4	
	0.3	

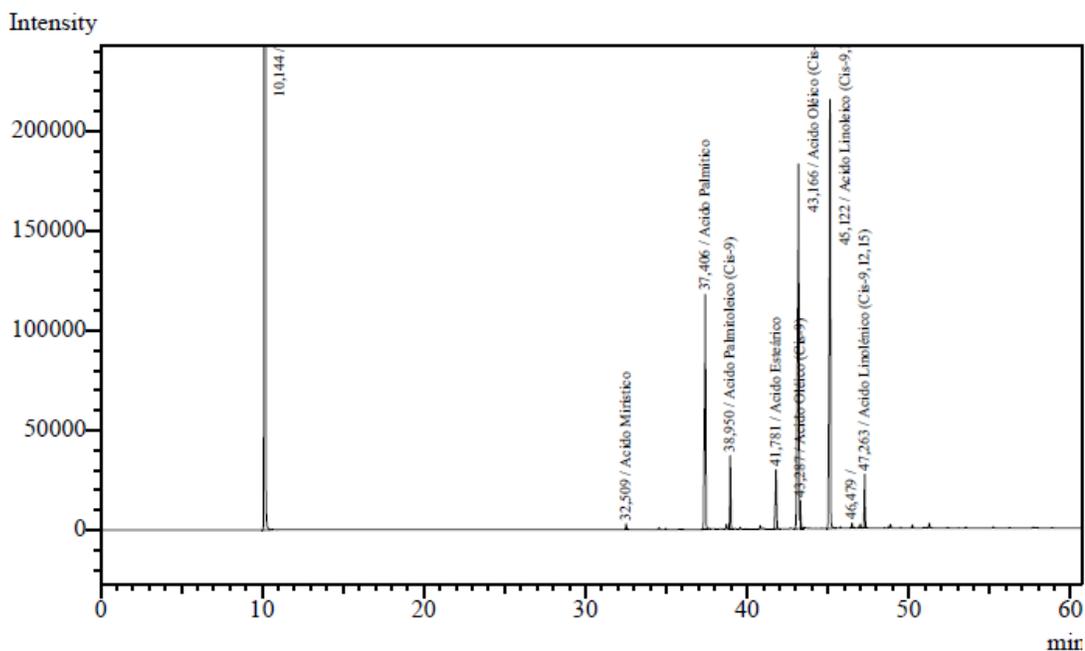
ANEXO 3: Caracterización de los ácidos grasos de la grasa de pollo

a) Caracterización de los Ácidos grasos presentes en la grasa de pollo fundida



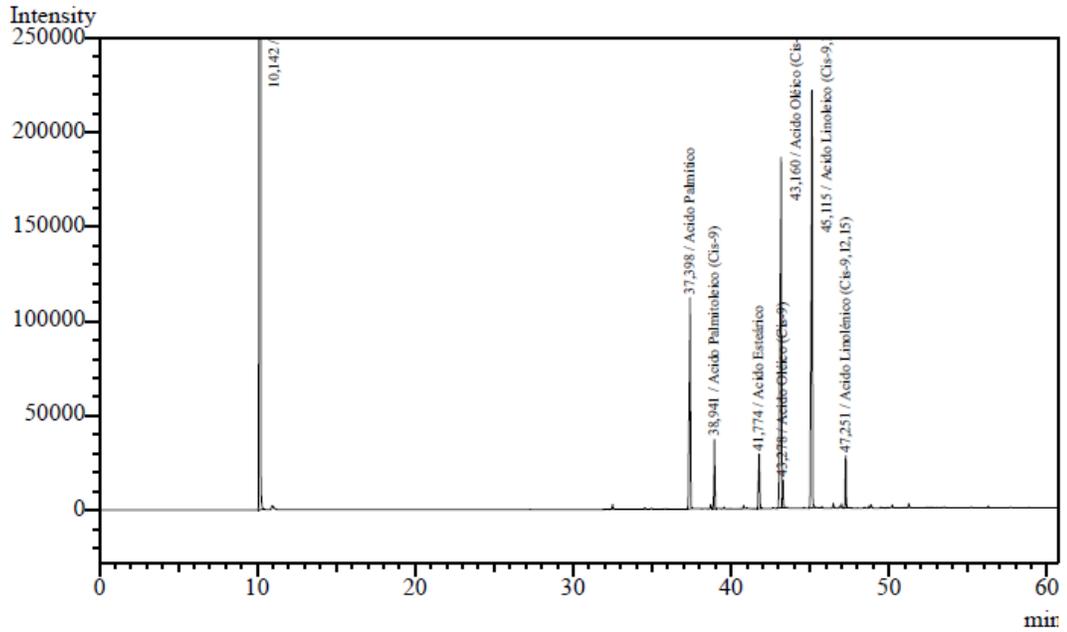
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	10,154	147195003	59788305	0,000		S		
2	10,934	21365	2778	0,000		T		
3	37,392	529127	98975	16,733	%		11	Acido Palmítico
4	38,937	134708	33780	4,386	%	V	12	Acido Palmítico (Cis-9)
5	41,765	131005	25253	4,083	%		14	Acido Estéarico
6	43,151	1010102	167030	31,255	%	V	16	Acido Oléico (Cis-9)
7	43,271	52689	13344	1,630	%	V	16	Acido Oléico (Cis-9)
8	45,107	1072809	200105	37,924	%	S	18	Acido Linoleico (Cis-9,12)
9	47,247	99093	25207	3,987	%	S	21	Acido Linolénico (Cis-9,12,15)
Total		150245901	60354777					

b) Caracterización de los Ácidos grasos presentes en la grasa de pollo fundida (Repetición)



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	10,144	147905946	60759115	0,000				
2	32,509	11141	2816	0,338	%		8	Acido Mirístico
3	37,406	622988	117545	17,980	%		11	Acido Palmítico
4	38,950	145783	36790	4,332	%	V	12	Acido Palmítico (Cis-9)
5	41,781	153747	29601	4,373	%		14	Acido Estéarico
6	43,166	1090496	182519	30,795	%		16	Acido Oléico (Cis-9)
7	43,287	52480	13997	1,482	%	V	16	Acido Oléico (Cis-9)
8	45,122	1142890	214228	36,872	%	S	18	Acido Linoleico (Cis-9,12,15)
9	46,479	10388	2544	0,000				
10	47,263	104244	27017	3,828	%		21	Acido Linoleico (Cis-9,12,15)
Total		151240103	61386172					

c) Caracterización de los Ácidos grasos presentes en la grasa de pollo extraída en Soxhlet



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	10,142	149828474	61188745	0,000			
2	37,398	596516	111430	16,938	%	11	Acido Palmítico
3	38,941	144143	36550	4,214	%	12	Acido Palmítico (Cis-9)
4	41,774	151180	28969	4,231	%	14	Acido Estearico
5	43,160	1132243	185379	31,457	%	16	Acido Oléico (Cis-9)
6	43,278	51487	14480	1,430	%	V	16 Acido Oléico (Cis-9)
7	45,115	1194604	220760	37,917	%	18	Acido Linoleico (Cis-9,12,15)
8	47,251	105524	27520	3,813	%	21	Acido Linoléico (Cis-9,12,15)
Total		153204171	61813833				

ANEXO 4: Cálculo de la cantidad CH₃OH a usar.

El peso molecular del aceite (triglicéridos) para el cálculo de la cantidad CH₃OH a usar se obtiene a través del índice de saponificación según la norma técnica ASTM D 5558-95 (Standard Test Method for Determination of the Saponification Value of Fats and Oils).

El valor o índice de saponificación de un aceite es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para saponificar 1g de aceite completamente. Dado que los aceites están formados por triglicéridos principalmente, y que cada triglicérido necesita 3 moléculas de KOH para saponificarse, el índice de saponificación puede ser usado para estimar aproximadamente el peso molecular promedio del aceite utilizado. (Castro *et al*, 2007).

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

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

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

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

Sabiendo que el índice de saponificación según el resultado obtenido de la caracterización de la materia prima es 194.48 mg KOH/g de aceite. Entonces:

$$PM_{\text{trigliceridos}} = \frac{168000}{194.48}$$

$$PM_{\text{trigliceridos}} = 863.84 \text{ g/mol}$$

Cálculo de la cantidad de CH₃(OH) a usar:

$$\% = \frac{PM_{\text{CH}_3\text{OH}} \times 6}{PM_{\text{trigliceridos}}}$$

$$\% = \frac{32.042\text{g} \times 6}{863.84\text{g}}$$

$$\% = 22.25$$

Se debe agregar 22.25% de CH₃OH con base al volúmen a usar del aceite de pollo.

$$\text{Cantidad de CH}_3\text{OH} = 250\text{ml} \times 22.25\%$$

$$\text{Cantidad de CH}_3\text{OH} = 55 \text{ ml}$$

ANEXO 5 Especificaciones del biodiesel puro por la ASTM, Norma Europea
y Norma Peruana Diésel 2

Parámetro	Unidad de Medida	Norma estadounidense Biodiesel (ASTM D6751:2007)	Norma Europea (EN 14214:2003)	Norma Peruana Biodiesel (NTP 321.125:2008)
VOLATILIDAD				
Punto de Inflamación	°C	130 min	120 min	93 min
Temperatura de destilación 90% de recuperación	°C	380 máx.		282 - 380
Temperatura de Destilación	°C			360 máx.
95% de recuperación	%Vol.			65 máx.
Destilado recuperado a 250°C				80 min
Destilado recuperado a 350°C	g/cm ³			0.82 – 0.845
Densidad a 15°C			0.86 – 0.90	
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	1.9 – 6.0	3.5 – 5.0	1.9 – 6
Punto de oscurecimiento	°C			
Punto de Niebla	°C			
Punto de taponamiento de filtros	°C			
CONTAMINANTES				
Agua y sedimentos	%Vol.	0.05 máx.	0.05 máx.	0.05 máx.
Material particulado	mg/l			24 máx.
Contaminación Total	%peso		0.0024 máx.	
Azufre total	%peso	0.0015 máx.(S15) 0.05 máx. (S500)	0.001 máx.	0.035 máx. (S350) 0.005 máx. (S50)

				(0.5 máx. para el diesel 2 y 0.05 máx. para el diesel 2 especial)
CORROSIVIDAD Y ESTABILIDAD				
Corrosión de lamina de cobre	Horas	Nº 3 máx.	Nº 1 máx.	Nº 1 máx. (Nº 3 máx.)
Estabilidad a la oxidación a 110°C	mg/100 ml	3 min	6 min	
Estabilidad a la oxidación	mm			25 máx.
Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60°C				0.46 máx.
COMPOSICIÓN				
Índice de cetano		47 min	51 min	47 min
Ceniza sulfatada	%peso	0.02 máx.	0.02 máx.	0.020
Cenizas	%peso			0.01 máx.
Residuo de carbón	%peso	0.05 máx.		0.05máx.
Residuos de Carbón del 10% del destilado	%peso		0.3 máx.	
Índice de acidez	mgKOH/g	0.50 máx.	0.50 máx.	0.5máx.
Índice de yodo			20 máx.	
Glicerina libre	%peso	0.02 máx.	0.02 máx.	
Glicerina total	%peso		0.24máx.	
Metanol	%peso		0.20 máx.	
Contenido de Ester	%peso		96.5 máx.	
Monoglicéridos	%peso		0.8 máx.	
Diglicéridos	%peso		0.2 máx.	
Triglicéridos	%peso		0.2 máx.	
Metil Ester de ácido linolenico	%peso		12 máx.	
Esteres insaturados C4 y	%peso		1 máx.	

mayores				
Contenido de fosforo	%peso	0.24 máx.	0.001 máx.	
Metales del grupo I (Na, K)	%peso	0.001 máx.	0.0005 máx.	
Metales II (Ca, Mg)	%peso	0.0005 máx.	0.0005 máx.	
Contenido de aromáticos	%Vol.	0.0005 máx.		35 máx.
Contenido de esteres metílicos se ácidos grasos	%Vol.			5 máx.

Fuente: (Arteaga *et al.*, 2010).

ANEXO 6: Análisis Físicoquímico del Biodiesel realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería

INFORME TÉCNICO

N ° 09-1LAB.21-13

SOLICITANTE : MIGUEL ANGEL AMEZ ESCUDERO
MUESTRA : BODIESEL A PARTIR DE GRASA DE POLLO
Muestra identificada y proporcionada por el solicitante
ENSAYO : ANALISIS FISICOQUIMICO
FECHA : 27-03-13

.....
REPORTE DE RESULTADOS

PARAMETRO	REPORTE	METODO
PUNTO DE INFLAMACION, ° C	145	ASTMD93
PODER CALORIFICO, MJ/Kg.	39,5	ASTMD
INDICE CETANO	48	ASTMD4737

Sin otro particular, quedamos de ustedes,

Atentamente,

.....
ING. CÉSAR J. OSORIO CARRERA

Jefe del LAB.21