



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo

Production and characterization of biodiesel from chicken fat

Recibido: 12-07-2012. Aceptado: 25-10-2012

MANUEL ANTONIO MONTENEGRO MIER,¹
FABIO EMIRO SIERRA VARGAS,²
CARLOS ALBERTO GUERRERO FAJARDO.³

Resumen

En la actualidad se viene trabajando en todo el mundo en la sustitución de los combustibles fósiles por combustibles alternativos, entre otras razones por el agotamiento de los recursos naturales no renovables y por las emisiones que aquellos producen, generando con ello importantes efectos ambientales. Este artículo hace parte de la investigación *Producción y caracterización de biodiésel a partir de grasa de pollo* adelantada entre el 2009 y el 2012. Se realizaron pruebas de viscosidad y densidad, curva de destilación y cálculo del índice de cetano con el fin de determinar la factibilidad de utilizar biodiésel como combustible en los motores de combustión interna de encendido por compresión MCI-EC. El estudio demostró que el biodiésel obtenido cumple con la normatividad técnica para biocombustibles líquidos, vigente a nivel internacional, por lo que podría ser utilizado con éxito en motores de combustión interna.

Palabras clave: Biodiésel, biocombustibles, grasa de pollo, motores de combustión interna, combustibles alternativos.

Abstract

At present, the world has been working on substituting fossil fuels by alternative fuels, among other reasons, due to the depletion of non-renewable natural resources and the emissions that they produce, generating large environmental implications. This article is part of the research advancement between 2009 and 2012 related to the "Production and characterization of biodiesel from chicken fat". Tests for viscosity, density, distillation curve calculation of ketene index, were performed in order to determine the feasibility for the use of biodiesel as a fuel in internal combustion ignition by compression engines MCI-EC. The study showed that the biodiesel obtained meets existing technical standards for liquid biofuels at the international level and could, therefore, be successfully used in internal combustion engines.

Keywords: biodiesel, biofuels, chicken fat, internal combustion engines, alternative fuels.

- 1 M. Sc(c) Ingeniero. Instructor del SENA-CTT. Grupo de Investigación en Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética (MDLYGE) de la Universidad Nacional de Colombia. montenegromanolo@gmail.com
- 2 Ph.D. Profesor asociado, Departamento de Ing. Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional Sede Bogotá. Director Grupo de Investigación en MDLYGE de la Universidad Nacional. fesierrau@unal.edu.co
- 3 Ph.D. Profesor asociado, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Director Grupo de Investigación APRENA de la Universidad Nacional. caguerrero@unal.edu.co

Introducción

Dentro de las estrategias para enfrentar el actual problema energético, el sostenimiento del desarrollo industrial, el crecimiento económico y el aumento de la calidad de vida de la humanidad, se encuentra la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes alternativas y renovables, las cuales se restituyen constantemente y por lo tanto no se van a agotar en el mediano plazo. Entre estas fuentes se encuentra el biodiésel, combustible renovable derivado de aceites o grasas de origen vegetal o animal.

Las energías alternativas deben no solo plantear modelos de desarrollo sostenible sino también mitigar las emisiones y sus efectos nocivos originados por la utilización de combustibles derivados de fuentes fósiles, dentro de cuyos usuarios se encuentra el parque automotor como su principal consumidor.

Colombia no puede ser ajena a las tendencias mundiales en materia de recursos energéticos y en especial en lo que respecta a los combustibles líquidos, específicamente los consumidos por el sector del transporte, los cuales representan aproximadamente el 35% de su consumo energético (Figura 1). En nuestro país el consumo de combustibles líquidos derivados del petróleo (gasolina y diésel) alcanza el 82% y el diésel representa casi el 50% (Figura 2), razón por la cual la sustitución parcial del diésel por el biodiésel es una alternativa para diversificar la canasta energética sin abandonar los criterios de abastecimiento energético, mejoramiento de la calidad del combustible, sostenibilidad ambiental, generación de empleo agrícola y desarrollo agroindustrial (UPME, 2007).

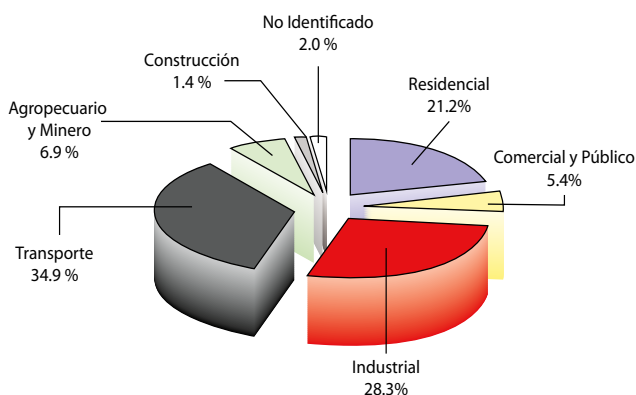


Figura 1. Consumo final energético en Colombia por sectores, año 2009. (Memorias de la rendición de cuentas de la UPME-2010).

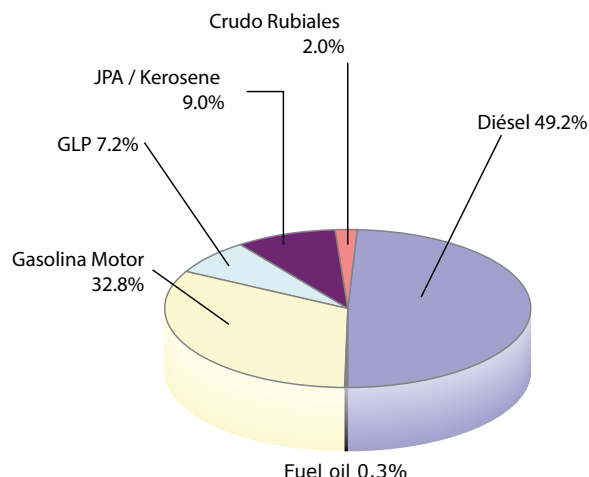


Figura 2. Consumo de derivados del petróleo en Colombia, año 2010 (Memorias de la rendición de cuentas de la UPME-2010).

Los estudios y las investigaciones que en Colombia se han adelantado con respecto a los biodiésel no son abundantes. Estos se relacionan principalmente con combustibles obtenidos de aceites vegetales –en especial alquilésteres– que utilizan como materia prima el aceite de palma. Se sabe de un estudio que utilizó grasa de vacuno como materia prima, pero no se encontraron estudios relacionados con aceite o con grasa de pollo. Dentro de estos estudios resaltamos los siguientes:

- En el 2003, Agudelo *et al.* realizaron una revisión bibliográfica sobre el desempeño mecánico y ambiental de motores diésel en la que utilizaron diversos combustibles, entre ellos el diésel convencional y alquilésteres obtenidos de aceites vegetales (biodiésel).
- En el 2004, Corredor *et al.* efectuaron un análisis comparativo relacionado con el desempeño de un motor de aplicación marina que utilizaba con diferentes mezclas diésel /etil-éster de aceite de palmiste.
- Fajardo *et al.*, en el 2004, trabajaron sobre el desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión.
- El trabajo de Agudelo *et al.*, en el 2005 midió las emisiones gaseosas y la opacidad del humo de un motor de ensayos tipo diésel de inyección directa y turbo alimentado que operaba con bajas concentraciones de biodiésel de palma.
- En el 2010, Vivas Castaño estudió la obtención del biodiésel a partir de residuos grasos de origen bovino.

Concepto de biodiésel

La ASTM (*American Society for Testing and Materials*) define el biodiésel como ésteres monoalquílicos de ácidos de cadena larga derivados de lípidos renovables, tales como aceites vegetales o grasas de animales, que se utilizan en motores de combustión interna de encendido por compresión.

El biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de materias primas renovables, como aceites y grasas vegetales o animales, o de aceites de fritura usados y es comparable con el gasóleo o el A.C.P.M (aceite combustible para motor). Es decir, las propiedades del biodiésel son similares a las del gasóleo de los automotores en cuanto a densidad y número de cetano, pero presenta un punto de inflamación superior, razón por la cual el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en los MCI-EC e incluso sustituirlo totalmente si se realizan algunas adaptaciones de los motores (Huber y Corma, 2006). El concepto de biodiésel hoy en día se restringe de forma exclusiva a mezclas de monoalquilésteres de ácidos grasos obtenidos a partir de lípidos renovables, como aceites y grasas de origen vegetal o animal (Benjumea *et al.*, 2009).

Materias primas

Los aceites y grasas utilizados para la producción de biodiésel provienen de fuentes vegetales (oleaginosas), de animales y últimamente de algas cultivadas para tal fin.

Fuentes vegetales

Aceites vegetales convencionales y alternativos y plantas oleaginosas (Sierra *et al.*, 2008). En la Tabla 1 se presentan los principales cultivos y sus características.

Fuentes animales

Aceites y grasas de origen animal (tejidos oleaginosos). Los aceites y grasas de animales, como el sebo de los vacunos y de la industria avícola, pueden utilizarse como materia prima para obtener biodiésel. En comparación con los aceites vegetales, las grasas y aceites de origen animal son de costo más bajo, pero su disponibilidad comercial es más limitada por tratarse de subproductos de la industria cárnica y de la cadena alimentaria de la humanidad.

En la Tabla 2 se muestra el perfil de ácidos grasos de las grasas animales más representativas. El cebo de res y la manteca de cerdo son más ricos en ácidos grasos saturados que la grasa de pollo, y llegan a tener proporciones similares o superiores a las del aceite de palma y sus fracciones semisólidas.

Tabla 1. Principales cultivos oleaginosos

Nombre común y científico	Parte oleaginosa	Contenido de aceite (%)	Rendimiento promedio kg/ha/año	Principales productores
Palma aceitera <i>Elaeis guineensis</i>	Pulpa del fruto (aceite de palma) Semilla (aceite de palmaste)	Pulpa: 45 – 55 Semilla: 44 – 57	Pulpa: 5.000 Semilla: 800	Malasia, Indonesia, Nigeria, Tailandia, Colombia, Brasil.
Soya <i>Glycine max.</i>	Semilla	18 – 20	280 – 580	Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, India, Paraguay, Canadá.
Colza y canola <i>Brassica napus, Brassica rapa</i>	Semilla	40	700 – 1500	India, China, Canadá, Alemania, Francia.
Girasol <i>Helianthus annuus</i>	Semilla	45 – 55	600 – 950	Federación rusa, Ucrania, India, China, Argentina, Estados Unidos.
Algodón <i>Gossypium hirsutum</i>	Semilla	18 – 25	300	India, China, Estados Unidos, Pakistán, Uzbekistán, Brasil.
Ricino o higuera <i>Recinus communis</i>	Semilla	45 – 55	1.200	China, India, Brasil.
Piñon <i>Jatropha curcas</i>		24 – 34 incluye cáscara	1.590	

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

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos de grasas animales

Tipo de ácido graso		Contenido de ácidos grasos en porcentaje por peso (% / p)		
		Cebo de res	Manteca de cerdo	Grasa de pollo
Saturados	C10:0	0 – 0,1	0,1	-
	C12:0	0,1	0,1	-
	C14:0	2,7 – 4,8	1,4 – 1,7	1,3
	C16:0	20,9 – 28,9	23,1 – 28,3	23,2
	C17:0	1	0,5	0,3
	C18:0	7,0 – 26,5	11,7 – 24,0	6,4
	C20:0	0,9	0,2 – 0,3	-
	C22:0	0 – 0,1	0 – 0,4	-
	C24:0	0 – trazas	0 – 0,5	-
			TOTAL	31,2
Monoinsaturados	C14:1	0,8 – 2,5	0 – 0,1	0,2
	C16:1	2,3 – 9,1	1,8 – 3,3	6,5
	C18:1	30,4 – 48,0	29,7 – 45,3	41,6
	C20:1	0,3 – 1,7	0,8 – 1,3	-
	C22:1	0 – trazas	Trazas – 0,1	-
	C24:1	0	0 – 0,5	-
			TOTAL	48,3
Poliinsaturados	C18:2	0,6 – 1,8	8,1 – 12,6	18,9
	C18:3	0,3 – 0,7	0,7 – 1,2	1,3

Fuente: Benjumea, *et al.*, 2009

Las especificaciones de las propiedades que deben cumplir los biodiésel están establecidas para EE. UU. en la norma ASTM 6751-02 (Agudelo *et al.*, 2005) (ASTM, 2002), para la Comunidad Europea en la norma EN 14214 (Agudelo *et al.*, 2005) (EN, 2003) y para Colombia en la norma NTC 1438 (NTC, 2004) y NTC 5444 (NTC, 2006).

Los aceites y grasas pueden ser caracterizados de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas. Dentro de las propiedades físicas se tienen la densidad, la viscosidad, el punto de fusión y el índice de refracción. Dentro de las propiedades químicas se cuentan el índice de acidez, el índice de yodo, el índice de peróxido, el índice de saponificación y el índice de éster. En la Tabla 3 se presentan las características fisicoquímicas de los principales aceites y grasas para la producción de biodiésel.

La norma ASTM D6751-02 establece las especificaciones del biodiésel B100 y sus mezclas, y se relacionan las normas de los métodos de prueba que se deben seguir para determinar las propiedades del biodiésel B100 y sus mezclas (NREL, 2009).

La viscosidad, la densidad y el número de cetano son propiedades muy importantes de los biodiésel. El número

de cetano es un indicador de la calidad de los combustibles y mide la facilidad del encendido después de que estos han sido inyectados al motor diésel. Un adecuado número de cetano es necesario para el buen rendimiento del motor. El diésel convencional que se utiliza en los motores de vehículos de transporte, debe tener un número de cetano de al menos 40 para garantizar el buen arranque en frío, disminuir el nivel de ruidos y minimizar la formación de humo blanco y emisiones en el escape; un número mayor incrementa los costos del combustible. Normalmente el número cetano se mantiene entre 40 y 45 (Sarmiento, 2008); sin embargo, para combustible diésel tipo 1 el número se fija en 54.

El número de cetano se determina experimental y directamente en un motor de carrera variable de acuerdo con la norma ASTM D613, pero dada la dificultad de realizar esta prueba según el estándar recomendado, una alternativa para establecer un indicador de la calidad y facilidad de encendido del combustible es determinar el índice de cetano, aunque este valor es ligeramente mayor. El índice de cetano (ASTM D976) no es un indicador preciso del número de cetano del biodiésel o de las mezclas de biodiésel ya

Tabla 3. Características fisicoquímicas de algunos aceites y grasas

Aceite o grasa	Ácidos grasos presentes	Viscosidad a 38 °C mm ² /s	Índice de yodo (g/100g)	Índice de saponificación (mg KOH/g)	Materia insaponificable (%)
Soya	53% linoleico 23% oleico 12% palmito 8% linolénico	32,6	125 – 140	190 – 194	1,00
Semilla de algodón	53% linoleico 24% palmítico 18% oléico	33,5	110	192 – 200	1,50
Girasol	59% linoleico 34% oleico	37,1	133	189 – 194	1,30
Palma	48% palmítico 38% oleico 9% linoleico		50	196 -206	0,30
Coco	49% láurico 18% mirístico 8% caprílico 8% palmítico		10	252 -260	0,40
Canola	62% oleico 22% linoleico 10% linolénico	37	100	170 -180	1,00
Manteca de cerdo	45% oleico 25% palmítico 13% esteárico 10% linoleico				
Sebo de vacuno	39% oleico 26% palmito 22% esteárico	51,2	35 – 48		
Ricino	88% recinoleico 8% oleico	297	85	177 – 187	0,50

Fuente: Castro *et al.*, 2007

que se basa en un cálculo que utiliza la gravedad específica o la densidad y la curva de destilación, parámetros que son diferentes para el biodiésel de diésel derivado del petróleo. Sin embargo, es un método utilizado para determinar el índice de cetano para biodiésel y sus mezclas (NREL, 2009), (Rodríguez, 2010).

El límite inferior, de acuerdo con ASTM para índice de cetano B100, es fijado en 47 ya que este es el nivel identificado para combustible de diésel premium por la Conferencia Nacional de Pesas y Medidas de Estados Unidos. Además, 47 ha sido el menor número de cetano en combustibles de biodiésel de U.S. (NREL, 2009). El número de cetano del biodiésel generalmente es alto. Los valores del biodiésel variaban entre 45 y 67 (Van Gerpen, 1996).

Técnicas de producción

El uso del aceite puro o de las mezclas con el diésel en los motores puede ocasionar dificultades en los motores modernos, razón por la cual la opción más recomendada para minimizar los problemas es transformar el aceite puro, de tal manera que se obtenga un combustible con propiedades parecidas a las del combustible diésel de origen fósil. La alternativa más viable es la transformación de los triglicéridos (triésteres) en ésteres simples o monoalquíésteres de ácidos grasos (transesterificación) (Benjumea *et al.*, 2009), (Schwab y Freedman, 1987).

La transesterificación de aceites o grasas vegetales o animales, consiste en reemplazar el glicerol de los triglicéridos

por alcoholes simples para obtener moléculas de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas de los hidrocarburos. La principal ventaja de este proceso es que reduce la viscosidad del aceite hasta un nivel cercano al diésel. En la "transesterificación" (llamada también alcoholólisis), reaccionan las moléculas de los triglicéridos (el número de átomos de carbono de las cadenas está comprendido entre 15 y 23 (el 18 es el más habitual) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) en presencia de un catalizador, normalmente sosa o potasa, a una temperatura aproximada de 60°C y se producen nuevos ésteres con los ácidos grasos liberados en la reacción y glicerina (Sierra *et al.*, 2008), (García y García, 2006).

La reacción de transesterificación se desarrolla en una proporción molar de alcohol a glicérido de 3 a 1 y reacciona en la metanolólisis un mol de triglicérido con tres de alcohol (normalmente se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación de éster metílico).

La reacción global es el resultado de tres reacciones consecutivas reversibles. El triglicérido se convierte consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerol, de tal manera que en cada reacción intermedia se libera un mol de alquiléster. La transesterificación alcalina requiere un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas, por tal razón hay que realizar un pretratamiento de la materia prima y asegurar de esta manera su calidad (Figura 3).

En la Figura 4 se observan las etapas del proceso de producción de biodiésel por transesterificación alcalina. El tiempo de reacción está supeditado al nivel de conversión deseado.

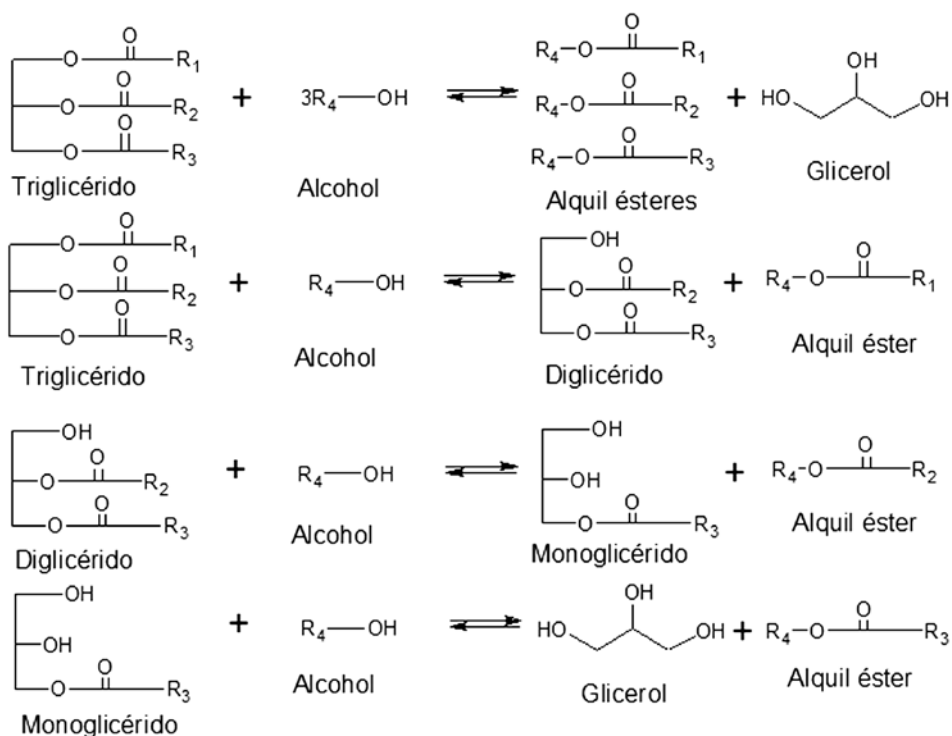


Figura 3. Reacción de transesterificación.

Fuente: Autores.

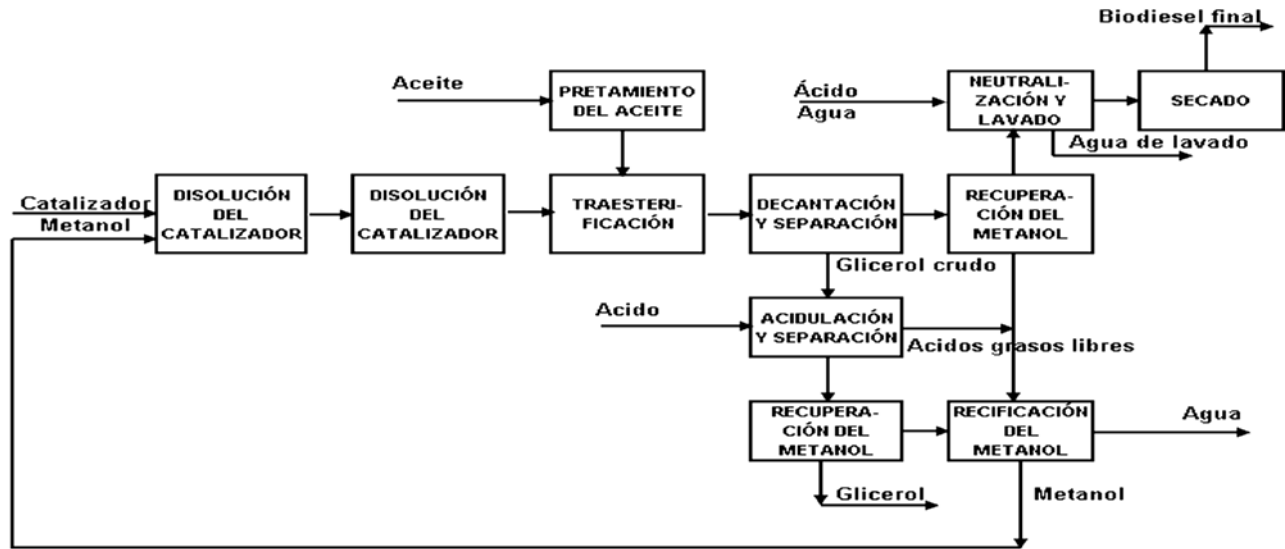


Figura 4. Proceso de producción de biodiésel por transesterificación alcalina

Fuente: Autores

Metodología de producción de biodiésel a partir de aceite de pollo

La producción del biodiésel a partir de aceite de pollo se realizó en el laboratorio de ingeniería química y en el laboratorio de biomasa y energía del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, en el marco de las investigaciones realizadas por el grupo MDLyGE.


En la reacción se utilizó metanol (0.791 g/ml) al 99.5 en una proporción molar en exceso de 6:1 alcohol/aceite e hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador, con un porcentaje del 0.5% del peso del aceite. Para detener la reacción de transesterificación y con el fin de neutralizar

el catalizador, se utilizó ácido acético al 37% en peso (medición realizada según la norma ASTM D1980-87).

La reacción de transesterificación se realizó en un reactor *batch* de vidrio de 500 ml, equipado con un condensador vertical a reflujo refrigerado con agua y con una chaqueta de vidrio por la cual se conduce agua proveniente de un termostato que permitió controlar la temperatura interna del reactor.

El aceite de pollo utilizado como materia prima para la producción de biodiésel fue suministrado en bolsas de 5 kg por la Industria de Alimentos Procesados INDALPRO LTDA., de la ciudad de Bogotá. En la Tabla 4 se presenta la ficha técnica suministrada por INDALPRO LTDA., con las características físico-químicas de la materia prima.

Tabla 4. Características físico-químicas de materia prima (Aceite de pollo)

Ficha técnica	
Producto	Aceite de pollo
Características generales	Aceite de pollo obtenido a partir de la fusión y filtración de sebos de pollo de primera calidad, comprados a empresas reconocidas en el medio.
Características físicas	Color: Blanco cremoso, libre de partículas extrañas. Sabor: característico a aceite de pollo. Olor: Característico a aceite de pollo, suave, a grasa procesada debido a la termolabilidad de los ácidos grasos. Aspecto: Sólido a 4°C o emulsión a temperatura ambiente.
Características fisicoquímicas	Punto de fusión: 30°C + 1. Humedad: Max. 1.5% Índice de peróxidos: máx. 5.0 meq O ₂ /kg. Acidez: máx. 1.5% ácido oleico.
Características microbiológicas	Aerobios mesófilos: máx. 1*10 ⁴ UFC/g Coliformes totales: máx. 10 NMP/g. Coliformes fecales: < 3 NMP/g. Hongos y levaduras: max. 100 UFC/g
Empaque	Cajas de cartón corrugado con bolsa interior por 15 Kg.
Almacenamiento	Almacenar a temperatura ambiente o congelación. El producto almacenado en congelación con un buen manejo (sin destapar, ni mojar) puede durar seis meses o más.

Proceso de producción

El aceite se filtra con el fin de retirar los sedimentos e impurezas sólidas y se obtienen diez litros de aceite de pollo.

Con base en este volumen, se calculan las cantidades de reactivos requeridas para la producción, así:

- Aceite de pollo: 10 l
- Metanol: 3,32 l
- Hidróxido de sodio: 42 gramos
- Ácido acético: 56 ml

El proceso se inicia con el precalentamiento de la chaqueta del reactor (Figura 5) y la posterior carga del aceite y se eleva la temperatura a 60°C para iniciar la reacción.

Durante todo el proceso se realiza agitación mecánica con el objetivo de calentar de manera uniforme el aceite para obtener una mezcla homogénea de los reactivos y llevar a cabo correctamente la reacción.



Figura 5. Reactor del laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia.

Mientras se hizo este calentamiento se mezcló la solución de metanol con hidróxido de sodio con el fin de tenerla preparada para agregarla al aceite una vez éste alcanzara la temperatura deseada de 60°C. Tras ello, se agregó la solución de metanol con hidróxido de sodio al reactor y se cerró herméticamente para que ocurriera la reacción sin que la temperatura excediera los 60°C.

Para detener la reacción de transesterificación se neutralizó el catalizador se agregó el ácido acético y se agitó la mezcla por diez minutos al cabo de los cuales se detuvo el proceso y se apagó el equipo. Se dejó la mezcla en reposo en un embudo de decantación por un tiempo aproximado de 12 horas, para permitir que el biodiésel se separase de la glicerina a través de la decantación de esta última.

En la separación de la glicerina del biodiésel hay que tener el cuidado de minimizar las posibles pérdidas de biodiésel. Una vez separada la glicerina del biodiésel, se efectúa el lavado del biodiésel con agua para eliminar las

posibles trazas de glicerina y sal producidas con la neutralización del catalizador. Para este lavado, se calienta el biodiésel a 40°C en el reactor, se agrega una cantidad de agua equivalente a dos veces el volumen de biodiésel y se agita muy suavemente. Luego, se deja decantar el biodiésel por dos horas, se retira el agua y se repite el lavado hasta obtener un biodiésel sin trazas de glicerina o sal.

Una vez retiradas las trazas de agua, se calienta el biodiésel hasta los 70 °C con el fin de evaporar el agua que se encuentra suspendida en el biodiésel. Este proceso se realizó por dos horas y se dejó nuevamente en reposo el biodiésel.

Aproximadamente 48 horas después, se repite el secado durante tres horas, al cabo de las cuales se nota claramente la transparencia del biodiésel. Finalmente, se deja enfriar y se procede a su almacenamiento en un recipiente apropiado.

Resultados

Los resultados obtenidos de las pruebas de cromatografía, densidad, viscosidad y curva de destilación realizadas a las muestras de biodiésel a partir de aceite de pollo, se efectuaron en los laboratorios de biomasa y energía del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

El biodiésel producido se caracterizó por medio de cromatografía de gases (CG-FID) con el fin de identificar el grado de conversión de la reacción como una función de FAME producidos; para evaluar el rendimiento de producción de biodiésel se mide la densidad del producto. Los resultados de la caracterización de la muestra de biodiésel cuyas condiciones de producción presentaron el mayor rendimiento (R) se muestran en la Figura 6.

Este perfil de ácidos grasos revela los más representativos en el biodiésel de pollo. En la Figura 6 se observa que los metilesteres de ácidos grasos o FAME de mayor porcentaje son oleato, linoleato, palmitato y palmitoleato.

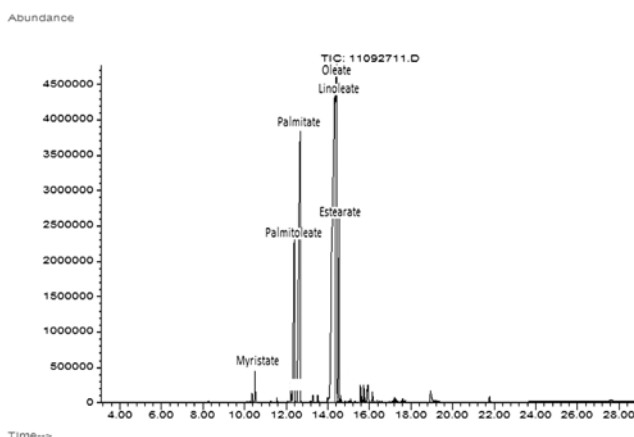


Figura 6. Muestra de biodiésel que presentó mayor rendimiento (R).

Mediante el análisis completo de la composición de ácidos grasos se estableció que los insaturados constituyen el 75% y los saturados el 25%. Esto indica que el aceite de pollo, al tener un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados, le confiere al biodiésel que se obtiene por transesterificación una mejora en las propiedades del combustible, como la viscosidad, la fluidez y la reducción de contenido de sólidos insolubles en el producto final (Figuras 7 y 8).

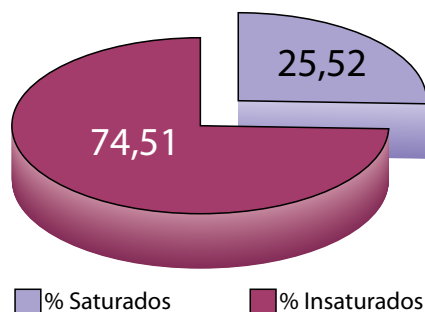


Figura 7. Tipos ácidos grasos AP1. Fuente: Autores

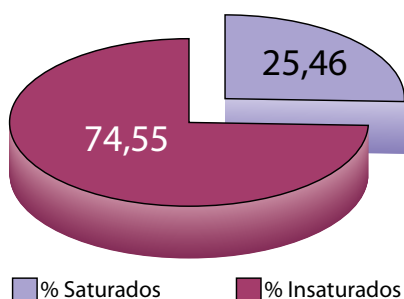


Figura 8. Tipos ácidos grasos AP2. Fuente: Autores.

El cálculo del índice de cetano se hizo de acuerdo con el método de prueba de la norma ASTM D976 y la prueba a tres diferentes muestras de biodiésel de distintos puntos del reactor. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 5 y de acuerdo con el promedio de estos resultados se elaboró la curva de destilación (Figura 9).

Tabla 5. Temperaturas obtenidas de la prueba de destilación de biodiésel a partir de aceite de pollo.

Volumen % vol.	Temperaturas de destilación b de pollo (°C)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0	137,1	137,9	140,2	138,4
10	256,2	254,4	254,1	254,9
20	251,1	251,9	254,2	252,4
30	284,5	282,7	282,4	283,2
40	320,5	321,3	323,6	321,8
50	327,9	328,7	331,0	329,2
60	331,5	329,7	329,4	330,2
70	326,9	327,7	330,0	328,2
80	321,4	321,2	324,0	322,2
90	228,5	229,3	231,6	229,8

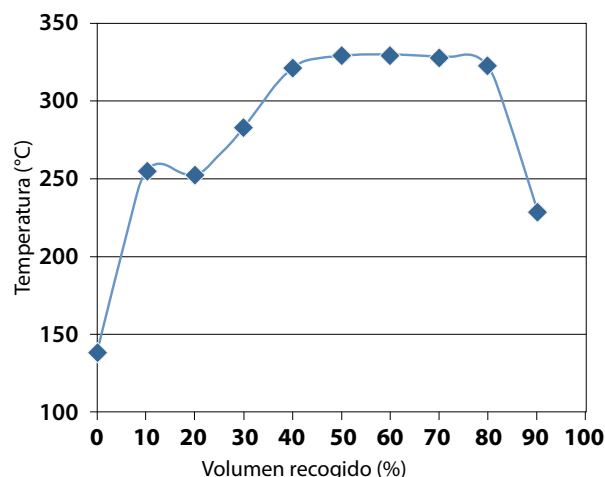


Figura 9. Curva de destilación corregida a presión barométrica para biodiésel producido a partir de aceite de pollo, elaborada con resultado promedio (Autores, 2012).

Para el cálculo del índice de cetano, la literatura relaciona la fórmula siguiente (Rodríguez, 2010):

$$\text{Índice Cetano} = 454.74 - 1641.416D + 77474D^2 - 0.55B + 97.803 (\log B)^2$$

donde:

D : Densidad a 15°C (g/ml)

B : Temperatura media de ebullición en °C

En las pruebas realizadas en esta investigación, se encontró que: $D = 0,8586$ y $B = 229.8$. Con estos valores se obtuvo un índice de cetano de 53,93.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de las pruebas para determinar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido a partir de aceite de pollo. Cada prueba se realizó por triplicado. En la Tabla 5 se presenta el valor promedio de cada propiedad y a la vez se muestran los valores de las especificaciones límites estándares según normas ASTM.

Tabla 6. Valores de las propiedades físico químicas de la muestra de biodiésel a partir de aceite de pollo y comparados con las especificaciones de Norma ASTM D6751-08.

Propiedad	Unidad	Muestra biodiésel de pollo b100	Especificaciones límites estándar biodiésel fuel (B 100) ASTM D6751-08
Agua y sedimentos	% Vol.	< 0.01	Método D 2709: 0.050% Vol Max.
Densidad a 18 °C	g/ml	0.8589	EN ISO 3675: 860-900 Kg/m³
Viscosidad 40 °C	mm2 / s	4.71	Método ASTM D 445: Límites: 1.9 – 6.0 mm²/s
Temperatura de destilación 90% vol.	°C	229.8	Método ASTM D 1160: Límite 360°C máximo con 90% de volumen recogido
Índice de cetano calculado D976		53.93	Método ASTM D 976: 47 mínimo
Cloud Point. ASTM D 2500	°C	7	Método ASTM D 2500: Raported in °C
Flash Point. ASTM D 93	°C	164	Método ASTM D 93: 101 Mínimo
Pour Point (fluidez)	°C	0	Método ASTM D 97

Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas al biodiésel de pollo se concluye lo siguiente:

La mayor presencia de ácidos insaturados en la composición indica un alto índice de yodo, lo que da lugar a puntos de fusión bajos y a mejores características de fluidez, aspecto esencial en los combustibles usados en motores de combustión interna. Asimismo, el grado alto de insaturación evita las posibles formaciones de sólidos en el combustible y reduce los riesgos de taponamiento en los sistemas de inyección.

- Los resultados de las pruebas realizadas al biodiésel B100 muestran que los valores obtenidos están dentro de los valores límites de los estándares (Tabla 6), consignados en las diferentes normas bajo las cuales se realizaron las pruebas.
- Los valores del agua y los sedimentos son menores a los valores límites de la norma ASTM D6751-08.
- La densidad a 18°C está dentro de los valores límites (inferior y superior) de la norma EN ISO 3675.
- La viscosidad se encuentra entre los límites superior e inferior del ASTM Método D 445, lo que garantiza que el biodiésel no presentará dificultades para fluir.
- Temperatura de destilación (90% vol) de 229,8°C obtenida, es más baja con respecto al valor límite de 360°C máximo con 90% de volumen recogido, de acuerdo con el método ASTM D 1160. Según esta temperatura el biodiésel fabricado vaporiza más fácilmente, lo que hace que la combustión sea más rápida y se produzca una pérdida de potencia. Sin embargo, con porcentajes de mezcla inferiores al 30% se espera un proceso normal de combustión sin pérdida de potencia significativa.
- El índice de cetano calculado (NC=53.93), está por encima del valor mínimo (NC=47), de acuerdo con el método ASTM D 976. Con este índice de cetano, al utilizar el biodiésel como combustible en MCI-EC el motor no presentará dificultades en su encendido y se logrará un buen funcionamiento, sin ruidos excesivos y con buenas posibilidades de bajar las emisiones, ya que con este índice de cetano se mejora la combustión.
- El punto de fluidez (*Pour point*) obtenido fue de 0°C, lo que significa que a esta temperatura el biodiésel no tendría problemas para ser bombeado sin dificultad por el sistema de alimentación (Método ASTM-D93).
- El punto de inflamación o combustión (*Flash point*), obtenido de 164°C está por encima del valor mínimo dado en el método ASTM D 93. Este resultado garantiza su utilización en las pruebas y da seguridad para almacenar el combustible.

- El punto de nube (*Cloud point*) obtenido 7°C, es un valor un poco alto ya que con el biodiésel obtenido habría problemas de formación de cristales a esta temperatura, lo que no haría conveniente su uso en climas bajos. Sin embargo, esperamos que con el porcentaje de biodiésel máximo de la mezcla (22.5%) utilizado en las pruebas a las condiciones de Bogota, no se presenten dificultades para su uso.
- Dado que los valores obtenidos de las propiedades en las pruebas realizadas al biodiésel producido a partir de grasas de pollo, están dentro de los valores límites de los estándares de las diferentes normas con que se realizaron las pruebas, este combustible presenta buenas posibilidades para su uso en los motores de combustión interna de encendido por compresión.
- El valor de la viscosidad a 40 °C de 4.71 mm²/s, es un valor intermedio del valor estándar de la norma ASTM D 445. Esto, sumado al valor del índice de cetano calculado (53.93), posibilita la utilización del biodiésel al 100% (B100), en el funcionamiento de los motores diésel.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación sede Bogotá, de la Universidad Nacional de Colombia, por su apoyo financiero mediante la convocatoria nacional de investigación 2009, modalidad 5 (apoyo a tesis de posgrado) con el código Hermes 10068, y a los miembros del Grupo de Investigación *Mecanismos de desarrollo limpio y gestión energética*, de la Universidad Nacional.

Referencias

- ASTM, ASTM D-6751-02 Standard Specification for Biodiésel Fuel (B100). Blend Stock for Distillate Fuels. 2002.
- AGUDELO, JOHN R. BEDOYA, IVÁN D. Y AGUDELO, ANDRÉS F. Biodiésel. Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiésel de palma. Grupo GASURE, Universidad de Antioquia. Medellín. 2005.
- AGUDELO S, JOHN R., BENJUMEA, P. y PERÉZ B, J. F. Biodiésel. Biodiésel. Una revisión del desempeño mecánico y ambiental. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. Barranquilla, 2003.
- BENJUMEA, P. N. AGUDELO, J. R. y RIOS, L. A. Biodiésel: Producción, calidad y caracterización, Medellín: Universidad de Antioquia y Grupo de Manejo Eficiente de la Energía, 2009.
- CASTRO, PAULA. COELLO, JAVIER. CASTILLO, LILIANA. Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú. Soluciones prácticas-ITDG. Perú, 2007.
- CORREDOR, L. A, PEÑA, C.A, LYONS, L.L. Análisis comparativo del desempeño de un motor con diferentes mezclas diésel / etil ester de aceite de palmiste. Grupo de investigación en Uso Racional y Preservación del Medio Ambiente—UREMA. Universidad del Norte, Barranquilla, 2004.
- EN, EN 14214. Automotive fuels, fatty acid ethyl esters (FAME) for Diesel engines. Requirements and test methods., 2003.

- FAJARDO, J., MEZA, J., ABUCHAR, A., JULIO, F., DÍAZ, A., NAVAS, O. Estudio del desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión al utilizar biodiésel como combustible. Grupo de investigaciones EOLITO. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2004.
- GARCÍA, J. M. y GARCÍA, J. Á. Biocarburantes líquidos: Biodiésel y Bioetanol., Madrid, España: Universidad Rey Juan Carlos del círculo de innovación en tecnologías medio ambientales y energía., 2006.
- HUBER, G. IBORRA, S. y CORMA, A. Synthesis of transportation fuels from Biomass: chemistry, catalysts and Engineering, Universidad Politécnica de Valencia., Valencia-España., 2006.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, ICONTEC. Petróleo y sus derivados. Combustibles para motores diésel. Bogotá D.C., (Colombia), 2007. (NTC 1438)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, ICONTEC. Biodiésel para uso en motores diésel. Especificaciones. Bogotá D.C., (Colombia), 2006.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, ICONTEC. Petróleo crudo y productos petrolíferos líquidos. Bogotá D.C., (Colombia) 1999. (NTC ISO 3675).
- NREL. National Renewable Energy Laboratory. Innovation for Our Energy Future; Biodiésel Handling and Use Guide: Fourth Edition NREL /TP-540-43672. Revised January 2009. www.nrel.gov/vehiclesandfuels/pdfs/43672.pdf.
- RODRÍGUEZ, MARÍA ELENA. Impacto de porcentajes crecientes de Biodiésel en las propiedades de las mezclas con Gas Oil. Octubre 2010. Servicio Técnico & OEM's – YPF SA [en Línea]. www.aita.org.ar/2smc/ing_maria_ele-na_rodriguez.pdf
- SARMIENTO TORRES, ROCÍO. Propiedades físicas y químicas del biodiésel vs diésel del petróleo. Revista Energía a Debate. Nov – Dic. 2008. Mundi Comunicaciones, S.A. de C.V.
- SCHWAB, A. BABGY, M. y FREEDMAN, B. Preparation and properties and diésel fuels from vegetable oil, Fuel, 1987.
- SIERRA V., FABIO. GUERRERO F., CARLOS. ARANGO G., JORGE. Tecnologías para el aprovechamiento de los biocombustibles. Grupo de investigación en mecanismos de desarrollo limpio y gestión energética. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, sede Bogotá. 2008.
- UPME, Boletín Estadístico de Minas y Energía 2002-2007., Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética, 2007.
- UPME, Memorias de la rendición de cuentas de la UPME-2010. Subdirección de Planeación, Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética, 2010.
- VAN GERPEN, JON. Cetane Number Testing of Biodiésel, 1996. [en Línea]. www.biodiesel.org/.../19960901_gen-187.pdf
- VIVAS CASTAÑO, ANDREA MARITZA. Estudio y obtención de biodiésel a partir de residuos grasos de origen bovino. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Programa de Ingeniería Química. Pereira, 2010.