

Caracterización fisicoquímica de biodiésel derivado de grasa de pollo como alternativa de producción limpia en la Sabana de Túquerres-Nariño

Physicochemical characterization of biodiesel derived from chicken fat as an alternative of clean production in sabana of Túquerres-Nariño

José Mera-Ayala^{1*}
 Danilo Revelo-Vargas²
 Milton Mora-Martínez³
 Jonathan Pérez-Barón⁴
 Yuliana Areiza-Rico⁵

^{1*}Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia); correo: jmera@sena.edu.co;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5582-542X>

²Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia); correo: drevelo@sena.edu.co;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9879-1976>

³Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia); correo: mmoram@sena.edu.co;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5564-3906>

⁴Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia); correo: jonnas1982@gmail.com;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8112-9401>

⁵Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia); correo: yareiza@sena.edu.co;
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3988-5996>

Recibido: 05-09-2018 Aceptado: 21-03-2019

Cómo citar: Mera-Ayala, José; Revelo-Vargas, Danilo; Mora-Martínez, Milton; Pérez-Barón, Jonathan; Areiza-Rico Yuliana (2019). Caracterización fisicoquímica de biodiésel derivado de grasa de pollo como alternativa de producción limpia en la sabana de Túquerres-Nariño. *Informador Técnico*, 83(1), 41-50. <https://doi.org/10.23850/22565035.1783>

Resumen

Actualmente, existe una alta dependencia en zonas limítrofes de Colombia por el suministro constante de combustibles derivados del petróleo. La generación de biocombustibles a partir de materiales grasos biológicos de bajo costo, fácil adquisición y que minimicen los impactos ambientales, son temas de investigación. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas de biodiésel derivado de grasa de pollo, la cual es manejada como residuo agroindustrial del proceso de transformación en las granjas avícolas de la subregión de la sabana de Túquerres del departamento de Nariño, Colombia. Se evaluó la grasa de pollo ó aceite de pollo sometido a procesos de extracción, purificación y transesterificación, por medio de una catálisis básica, utilizando como catalizador hidróxido de sodio en una fase alcohólica de metanol. Los resultados de los análisis del biodiésel de grasa de pollo, cumplieron con lo estipulado en la NTC 5444, a excepción del parámetro de viscosidad (7,5 mm²/s a 40 °C), el cual es superior a lo establecido en la norma. La grasa de pollo es una materia prima alternativa en la producción de biodiésel convencional en las zonas de producción, que cumple con las especificaciones de la normatividad colombiana, de acuerdo a la NTC 5444, y podría ser utilizado en cualquier motor de combustión diésel, para obtener beneficios, como proceder de una fuente renovable, un menor contenido de azufre y contribuir en la búsqueda de sostenibilidad.

Palabras clave: biocombustibles; fuente de energía; grasa animal; residuos; transesterificación.

Abstract

Currently, there is a high dependence in border areas of Colombia for the constant supply of petroleum fuels. The biofuels generation from low-cost biological fat materials, easy acquisition and minimizing environmental impacts, are research topics. The objective of this work, was to evaluate the physicochemical characteristics of biodiesel derived from chicken fat, which is managed as agroindustrial waste of the transformation process in the poultry farms of the Sabana Sub Region, Nariño Department, Colombia. Chicken fat oil was evaluated to extraction, purification and transesterification processes by means of basic catalysis, using sodium hydroxide in an alcoholic phase of methanol. The results of the chicken fat biodiesel analysis comply with the stipulations of NTC 5444, with the exception of the viscosity parameter (7.5 mm²/s at 40 °C), which is higher than the one established in the rule. Chicken fat is an alternative raw material in the production of conventional biodiesel in the same production areas, which meets the specifications of Colombian regulations according to NTC 5444, and could be used in any diesel combustion engine, with benefits like a lower sulfur content and contributing to the research for sustainability.

Keywords: biofuels; energy source; animal fat; waste; transesterification.

Introducción

Hoy por hoy, existe un gran auge a nivel mundial por la obtención de energías limpias y combustibles que reemplacen total o parcialmente el uso de combustibles fósiles en sistemas mecánicos a motor. Esta iniciativa promueve el uso de aceites vegetales o animales en la producción de biocombustible tipo diésel, con el fin de disminuir los impactos económicos y ambientales generados por el uso de combustión tradicional, sin comprometer la seguridad alimentaria (Saka; Kusdiana, 2001; Montenegro; Sierra; Guerrero, 2012) y conservando el óptimo desempeño del motor.

En países como Colombia, las poblaciones limítrofes alejadas de las ciudades principales tienen una alta dependencia del suministro constante de combustibles derivados de petróleo y dependen de las naciones contiguas para solucionar sus demandas energéticas (Kirubakaran; Arul, 2018). Sin embargo, las distancias y los costos de transporte hacen que en algunos casos escasee el suministro de combustible y muchas de las industrias se vean afectadas. Por ello, se plantea la producción de un biocombustible alternativo a partir de la utilización de grasa animal de bajo costo y fácil adquisición, que contribuyan a la reducción de gastos de producción de biodiesel (Purandaradas *et al.*, 2018), como es el caso de la grasa de pollo, de la cual pueden extraerse ácidos grasos útiles para la obtención de biodiésel. La grasa tiene una alta disponibilidad en el departamento de Nariño debido a que la principal actividad avícola de la región es la producción de pollos para engorde, seguida de la producción de pollos para postura (Cámara de Comercio de Pasto, 2018). El 50 % de la producción se encuentra localizada en la Subregión la sabana (Guaitarilla, Imués, Ospina, Sapuyes y Túquerres). De los despojos del pollo, entre 22 al 25 % del peso total corresponde a la piel, compuesta principalmente por lípidos de un 32 al 36,5 % (Kyung; Gandemer, 1987), que pueden ser una fuente alternativa para la producción de biodiésel en la región.

El biodiésel puro obtenido es biodegradable, sin toxicidad, libre de azufre y compuestos aromáticos independientemente del alcohol y el aceite vegetal utilizados (Reyes; Sepúlveda, 2006). Además del aceite y el catalizador, también se opta por utilizar el metanol sobre el etanol por los beneficios económicos y las mejores propiedades que trae su utilización (Muniyappa; Brammer; Noureddini, 1996; López; Goodwin; Bruce; Lotero, 2005; Mendonça *et al.*, 2019), resultando, en general, un biodiésel con mínimas cantidades de azufre, y que a causa del contenido de oxígeno en su composición química, presenta una combustión más completa, disminuyendo la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados (Castro; Castillo; Nazario; Coello; Guevara, 2008).

La transesterificación es uno de los métodos más empleados en la producción de biodiésel a partir de grasa vegetal o animal (Hincapié; Mondragón; López, 2011; Zhang; Chen; Yang; Yan, 2010; Alptekin; Canakci, 2009; Montenegro *et al.*, 2012), con la presencia de un catalizador básico (Gürü; Artukoglu; Keskin; Koca, 2009) o catálisis heterogénea ácida o básica para evitar problemas de saponificación (Arnaud, Trystram, Relkin; Collignan, 2006), usando hidróxido de sodio (Becerra; López; Centeno; Giraldo, 2008). Además, los compuestos y materiales a usar a nivel de laboratorio, son económicos y

factibles de adquirir (Arias; Teuta; Parra, 2011). Según Saleh (2011), este método radica en un intercambio de las moléculas de un éster y un alquil de baja densidad, obteniendo cadenas de alquil-éster ($C_xH_yO_2$) muy similares a la molécula del diésel ($C_{16}H_{34}$), excepto por el oxígeno que se libera con los gases de combustión, generando como subproducto la glicerina (Šimáček *et al.*, 2011).

La transesterificación es un proceso reversible, donde se utiliza alcohol en exceso con el fin de lograr el equilibrio a la producción de esteres. El metanol (CH_3OH), en el trascurso de la reacción forma emulsiones que se disuelven con facilidad, sin embargo, no es miscible con los triglicéridos, como consecuencia, es necesaria la agitación mecánica, con el fin de facilitar la transferencia de masa (Novillo; Velarde; Cascante, 2017). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las características fisicoquímicas de biodiésel derivado de grasa de pollo, residuo agroindustrial del proceso de transformación en las granjas avícolas de la subregión de la sabana del departamento de Nariño.

Materiales y métodos

La producción de biodiésel se llevó a cabo en las instalaciones de la Tecnoacademia del Centro Sur Colombiano de Logística Internacional, SENA – Regional Nariño, ubicado en el municipio de Túquerres, departamento de Nariño (Colombia), localizado a 4.070 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) a una temperatura promedio de $11 \pm 1^\circ C$ y una humedad relativa promedio de 70 %.

Extracción y purificación del aceite

Se utilizó una muestra de 750 g del tejido graso generado como residuo de los procesos de transformación en las granjas avícolas de la sabana de Túquerres. La muestra se sometió a un proceso de calentamiento a $70^\circ C$ en una estufa eléctrica (HACEB, modelo EM-1), por 20 min, con el fin de romper los tejidos celulares y extraer el aceite líquido. Posteriormente, se utilizó papel filtro para separar el aceite de los demás tejidos y, finalmente, el aceite fue sometido a deshumidificación en una placa de agitación y calentamiento (Thomas Scientific, Hotplate/stirrer) a una temperatura de $105^\circ C$ durante 15 min como se ilustra en la Figura 1, del cual se obtuvo el aceite.

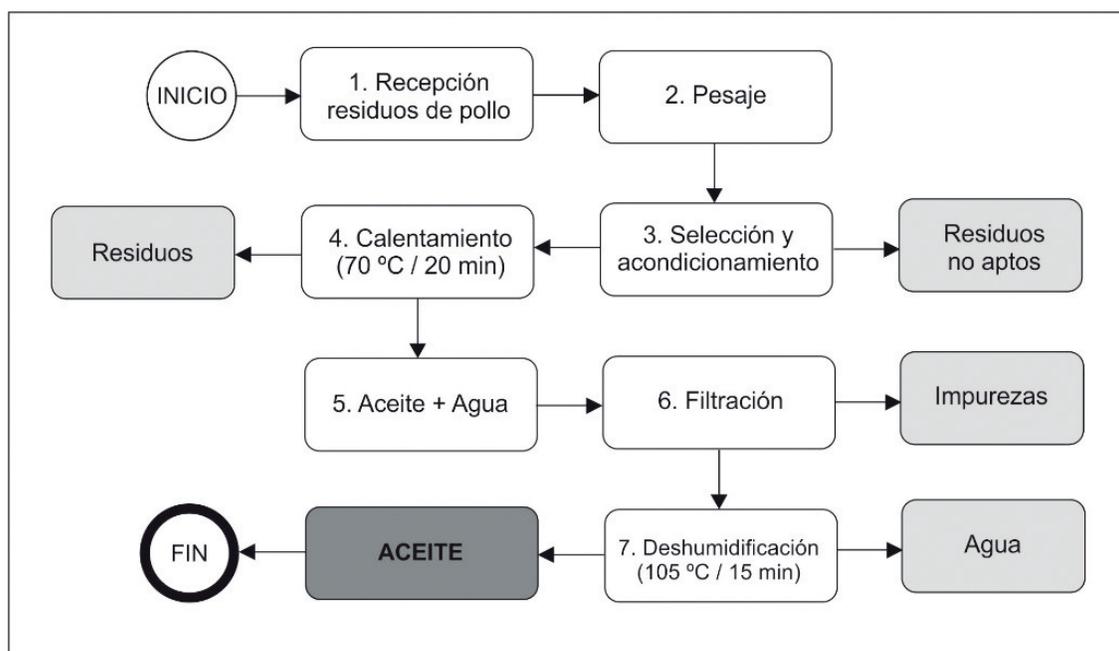


Figura 1. Diagrama de flujo para la extracción y purificación de aceite de grasa de pollo
Fuente: elaboración propia

Caracterización del aceite de pollo

El aceite de grasa de pollo fue sometido a análisis de propiedades fisicoquímicas con el propósito de caracterizar el producto final después de la reacción química. La densidad del aceite se determinó por medio de un densímetro digital (ASTM D4052, ASTM, 2018); y las propiedades concernientes a las características de instauración, cantidad de oxígeno incorporado y acidez total de las muestras, se determinaron por medio de los métodos de índice de refracción (NTC 289, ICONTEC, 2002), índice de peróxidos (NTC 236, ICONTEC, 2011) e índice de acidez (ASTM D664, ASTM, 2017), respectivamente.

Transesterificación de aceite de pollo y producción de biodiésel

Inicialmente, el aceite de pollo ó grasa de pollo se precalentó hasta una temperatura de $50 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ en una plancha de agitación y calentamiento (Thomas Scientific, Hotplate/stirrer). La preparación de la fase alcohólica de metanol se realizó mediante mezcla y reacción inicial con el catalizador de hidróxido de sodio, por su ventaja de disolverse en aceite en presencia de metanol, especialmente se opta debido a la solubilidad, es más eficaz y de un costo bajo (Kirubakaran; Arul, 2018), el cual fue añadido al reactor en una proporción de 0,5 % con base al contenido de aceite. Se optó por emplear un contenido de metanol en exceso de 200 % para obtener una relación molar estequiométrica de alcohol: aceite (3:1), según recomienda Sánchez-Cantú *et al.*,(2019), donde se tomó como ácido graso predominante el ácido oleico, el cual representa el 41 % (Amado; Villamizar; Gafaro, 2005). Finalmente, se mezcló y efectuó la reacción de transesterificación durante 60 min.

Separación y purificación del biodiésel

Para la separación de las dos fases formadas (biodiésel y glicerina) en la reacción de transesterificación, se sometieron los productos a un proceso de decantación durante 30 min como muestra la Figura 2. Posteriormente, se realizaron dos lavados con ácido acético (6 % v/v) para retirar el hidróxido de sodio. El agua y el metanol residual se eliminaron calentando el biodiésel a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (Thomas Scientific, Hotplate/stirrer) durante 15 min.

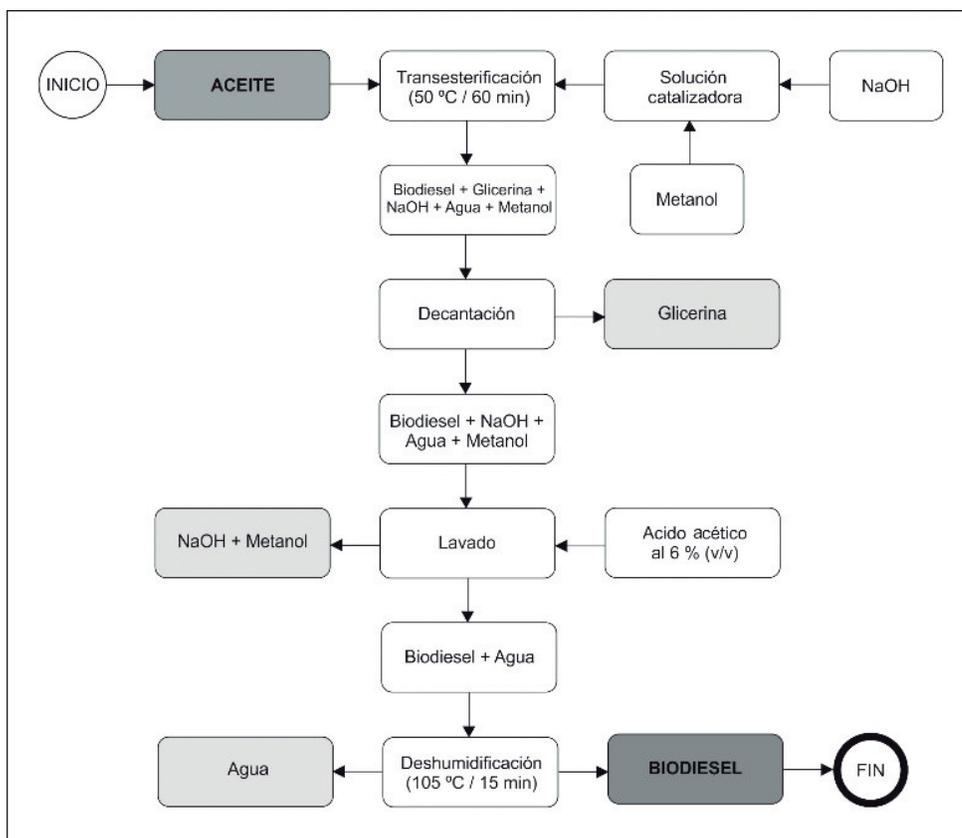


Figura 2. Diagrama de flujo para la producción y purificación de biodiésel a partir de grasa de pollo
Fuente: elaboración propia

Caracterización del biodiésel

Se evaluaron las propiedades del biodiésel obtenido a partir de grasa de pollo, con las siguientes propiedades: densidad (ASTM D4052, ASTM, 2018), contenido de metanol (UNE-EN 14110, Norma Europea EN, 2003), contenido de humedad (NTC 287, ICONTEC, 2018), viscosidad a 40 °C (ASTM D445, ASTM, 2018), índice de acidez (ASTM D664, ASTM, 2017), punto de inflamación (ASTM D93, ASTM, 2018), cenizas sulfatadas (ASTM D874, ASTM, 2018) y poder calorífico inferior (ASTM D5865, ASTM, 2013). Estas propiedades se compararon, según la NTC 5444 (biodiésel para uso en motores diésel: especificaciones, ICONTEC, 2018).

Resultados y discusión

Caracterización del aceite de pollo ó grasa de pollo

Los resultados de la caracterización del aceite obtenido a partir de grasa de pollo y su comparación con el aceite de soya, según la Norma Técnica Colombiana (NTC 254, ICONTEC, 2016) está registrado en la Tabla 1.

Tabla 1.
Caracterización del aceite obtenido a partir de grasa de pollo

Propiedad	Aceite de grasa de pollo	Aceite de soya (NTC 254)	Método de ensayo
Densidad a 13 °C (kg/m ³)	922,9	917 - 924	ASTM D4052 (ASTM, 2018)
Índice de refracción a 12,2 °C	1,4674	1,4760 – 1,4720	NTC 289 (ICONTEC, 2002)
Índice de peróxidos (m-eq g de O ₂ /kg)	3,0	5 máximo	NTC 236 (ICONTEC, 2011)
Índice de acidez (mgNaOH/g)	0,2	0,1 máximo	NTC 218 (ICONTEC, 2011)

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los resultados de la Tabla 1, se evidenció que a excepción del parámetro de índice de acidez (0,2 mgNaOH/g), el aceite de grasa de pollo cumple con lo estipulado en la NTC 254 (ICONTEC, 2016), norma en la que se basan los parámetros del aceite que actualmente se comercializa en Colombia. Por consiguiente, es clara la viabilidad de producir aceite de fuentes animales, cumpliendo con la normatividad colombiana.

Caracterización del biodiésel

Las propiedades evaluadas del biodiésel obtenido se compararon con la NTC 5444 (ICONTEC, 2018), que especifica las características del biodiésel para uso en motores diésel (Tabla 2).

Tabla 2.
Caracterización del biodiésel obtenido a partir de grasa de pollo

Propiedad	Método de ensayo	Biodiésel de grasa de pollo	Biodiésel B100 (NTC 5444)	Otros autores
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	ASTM D4052 (ASTM, 2018)	892,8	860 - 900	867 (Bhatti; Hanif; Qasim; Rehman, 2008) 858,9
Contenido de metanol (% masa)	ISO 14110 (EN, 2003)	0,001	0,2 máximo	0,06 (Kirubakaran; Arul 2018)
Contenido de humedad (mg/kg)	NTC 287 (ICONTEC, 2018)	120	500 máximo	100 (Bhatti <i>et al.</i> , 2008)
Viscosidad a 40 °C (mm ² /s)	ASTM D445 (ASTM, 2018)	7,5	1,9 - 6,0	4,71 (Montenegro <i>et al.</i> , 2012)
Índice de acidez (mgNaOH/g)	ASTM D664 (ASTM, 2017)	0,2	0,5 máximo	0,25 (Bhatti <i>et al.</i> , 2008)
Punto de inflamación (°C)	ASTM D93 (ASTM, 2018)	169	120 mínimo	180 (Gürü <i>et al.</i> , 2009) 164 (Montenegro <i>et al.</i> , 2012)
Cenizas sulfatadas (%masa)	ASTM D874 (ASTM, 2018)	0,02	0,02 máximo	0,02 (Ramos; Fernández; Casas; Rodríguez; Pérez, 2009)
Poder calorífico inferior (kJ/kg)	ASTM D5865 (ASTM, 2013)	39.456,1	+/- 39.500	44.947,5 (Gürü; Koca; Can; Cinar; Sahin, 2010)

Fuente: elaboración propia

El biodiésel de grasa de pollo cumple con lo estipulado en la NTC 5444 (ICONTEC, 2018) (Tabla 2), a excepción del parámetro de viscosidad cuyo valor resultó superior al establecido en la norma. Sin embargo, de acuerdo a Rakopoulos; Papagiannakis y Kyritsis (2011), la viscosidad del biodiésel normalmente es mayor respecto al diésel comercial, en ese caso, el motor requerirá mayor potencia para su funcionamiento, y así evitar dificultades generadas por la variación en el flujo de combustible durante la combustión y una posible reducción de la eficiencia del motor (Alptekin; Canakci 2009; Pehan; Jerman; Kegl; Kegl; Kirubakaran; Arul, 2018). Por lo tanto, para disminuir la viscosidad del biodiésel, se recomienda realizar una mezcla estándar de B5 o B10 (5 % biodiésel – 95 % diésel o 10 % biodiésel – 90 % diésel).

Según Torres *et al.*, (2011), se pudo evidenciar que la densidad en el biodiesel obtenido se ajusta dentro del parámetro de la norma, lo que permite reducir el riesgo de problemas durante la combustión, como retrasos en la inyección y disminución del rendimiento del motor, los cuales son ocasionados por densidades fuera del estándar.

Con relación al contenido de metanol, el cual es un parámetro de calidad del biodiésel, se pudo evidenciar que el resultado obtenido es un valor significativamente bajo, producto de una reacción total durante la transesterificación. Una reacción incompleta puede conllevar a bajo número de cetano y altos porcentajes de glicerina, generando taponamientos en los inyectores (Arias *et al.*, 2011).

Respecto al contenido de humedad, se evidenció que el resultado de 120 mg/kg fue bajo, según parámetros de la NTC 5444 (ICONTEC, 2018); similar al resultado reportado por Bhatti *et al.*, (2008), de 100, 200 y 150 mg/kg con biodiésel de grasa de pollo, carnero y aceite de cocina, respectivamente. Este parámetro está relacionado con el poder calorífico inferior, pues cuanto menor sea el contenido de humedad mayor será su poder calorífico. Rakopoulos *et al.*, (2011) expresan que la propiedad higroscópica del etanol y metanol se encuentra asociada a su contenido de agua, el cual puede aumentar si no se almacena el biodiésel en un recipiente adecuado (Geller; Adams; Goodrum; Pendergrass, 2009). La presencia de agua puede

ocasionar una separación de fases en mezclas con diésel comercial, además corrosión y proliferación de microorganismos que afecten la calidad del biodiésel (Arias *et al.*, 2011).

También se pudo notar que el Índice de acidez de 0,25 mgNaOH/g coincide con el que reporta Bhatti *et al.*, (2008), en su estudio de la producción de biodiésel de grasa desechada, en el cual figura la grasa de pollo como una alternativa competitiva al diésel convencional.

Por otro lado, el punto de inflamación reportado fue de 169 °C, cuyo valor representa un efecto importante sobre la potencia del motor, de modo que cuando se aumenta el contenido de concentración de biodiésel en el combustible mezclado con diésel y biodiésel, también se aumentará la potencia del motor similar al del biodiésel de múltiples fuentes oleosas vegetales (Ramos *et al.*, 2009; Hoseini *et al.*, 2019), que se ajusta a lo establecido en la NTC 5444 (ICONTEC, 2018), el cual es considerado un índice de seguridad para el manejo y depósito del biodiésel.

El contenido de cenizas sulfatadas obtenido cumple el requerimiento de la norma, disminuyendo la generación de depósitos en el motor, lo cual representa un combustible más limpio que no perjudicará su vida útil (Kaplan; Arslan; Sürmen, 2006). Además, el empleo de biodiésel, en contraste con el diésel, es el alto valor del punto de inflamación en el combustible biodiésel y un número de cetano mayor, que es de gran importancia en la combustión dentro de los motores diésel, mejorando el rendimiento y reduciendo la contaminación producida (Hoseini *et al.*, 2019), convirtiendo al biodiésel a base de grasa de pollo en un aspirante viable para substituir los combustibles fósiles (Khan *et al.*, 2014).

En cuanto al poder calorífico reportado, se evidenció similitud al estipulado en la norma, sin embargo, este puede aumentar si se mezcla con diésel en una relación del 10 % biodiésel – 90 % diésel, tal como lo reporta Gürü *et al.*, (2010), quien realizó un estudio comparativo de las propiedades del diésel y mezcla de diésel con biodiésel obtenido a partir de grasa de pollo. De igual manera, es de considerar que el biodiésel de origen vegetal presenta un número de cetano mayor al diésel comercial (Kaplan *et al.*, 2006), que puede llegar a compensar el biodiésel con valores inferiores del poder calorífico inferior.

Conclusiones

La grasa de pollo generada como residuo agroindustrial en las granjas avícolas, es una materia prima alternativa para la producción de biodiésel, que puede ser utilizada en las zonas rurales donde el acceso de combustibles convencionales es muy difícil. Los resultados experimentales permitieron identificar las propiedades físico-químicas del biodiésel de grasa de pollo, que cumple con las especificaciones de la normatividad colombiana, de acuerdo a la NTC 5444, a excepción de la viscosidad, y podría ser utilizado en cualquier motor de combustión diésel. Se recomienda realizar una mezcla normalizada (B5 o B10) con diésel comercial, la cual no representaría efectos negativos durante su uso, ya que no requiere realizar ninguna modificación del motor. Asimismo, el biodiésel de grasa de pollo se destaca por sus cualidades ambientales y la producción limpia al provenir de una fuente renovable, tener menor cantidad de azufre y contribuir a la sostenibilidad como una fuente de energía alternativa.

Referencias

- Alptekin, E.; Canakci, M. (2009). Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. *Fuel*, 88(1), 75–80.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.05.023>
- Amado, E.; Villamizar, A.; Gafaro, A. (2005). Evaluación del proceso de producción de biodiesel a partir de grasas amarillas con altos contenidos de ácidos grasos libres. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(1), 54–60.
- Arias, D. E.; Teuta, C. A.; Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 8(2) 73–80.

- Arnaud, E.; Trystram, G.; Relkin, P.; Collignan, A. (2006). Thermal characterization of chicken fat dry fractionation process. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.021>
- ASTM International. (2013). Standard test method for gross calorific value of coal and coke. (ASTM D5865-13).
- ASTM International. (2017). Standard test method for acid number of petroleum products by potentiometric titration. (ASTM D664-17a).
- ASTM International. (2018). Standard test method for density, relative density and api gravity of liquids by digital density meter. (ASTM D4052-18a).
- ASTM International. (2018). Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity). (ASTM D445-18).
- ASTM International. (2018). Standard test method for sulfated ash from lubricating oils and additives. (ASTM D874-13a-18)
- ASTM International. (2018). Standard test methods for flash point by pensky-martens closed cup tester. (ASTM D93-18).
- Becerra, M.; López, J. E.; Centeno, A.; Giraldo, S. A. (2008). Producción de biodiésel y glicerina limpia empleando catálisis básica heterogénea. *Revista ION*, 21(1), 31–38.
- Bhatti, H. N.; Hanif, M. A.; Qasim, M.; Rehman, A. (2008). Biodiésel production from waste tallow. *Fuel*, 87(13-14), 2961–2966. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.016>
- Cámara de Comercio de Pasto. (2018). *Sector avícola*. (Boletín Económico No. 004-08-2018). Recuperado de: http://www.ccpasto.org.co/wp-content/uploads/2018/09/BoletinEconomico_No_004-08-2018_Sector-av%C3%ADcola.pdf
- Castro, P.; Castillo, L.; Nazario, M.; Coello, J.; Guevara, J. (2008). Producción de biodiésel a pequeña escala a partir de aceites usados en la ciudad de Lima. Consejo Nacional del Ambiente de Perú (CONAM). Recuperado de: <http://www.solucionespracticas.org.pe/produccion-de-biodiesel-a-pequena-escala-a-partir-de-aceites-usados-en-la-ciudad-de-lima>
- Geller, D. P.; Adams, T. T.; Goodrum, J. W.; Pendergrass, J. (2008). Storage stability of poultry fat and diesel fuel. *Fuel*, 87(1), 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.03.043>
- Gürü, M.; Artukoglu, B. D.; Keskin, A.; Koca, A. (2009). Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive. *Energy Conversion and Management*, 50, 498–502. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.11.001>
- Gürü, M.; Koca, A.; Can, O.; Cınar, C.; Sahin, F. (2010). Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. *Renewable Energy*, 35(3), 637–643. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.011>
- Hincapié, G.; Mondragón, F.; López D. (2011). Conventional and in situ transesterification of castor seed oil for biodiesel production. *Fuel*, 90(4), 1618–1623. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.01.027>

- Hoseini, S. S.; Najafi, G.; Ghobadian, B.; Mamat, R.; Ebadi, M. T.; Yusaf, T. (2019). Characterization of biodiesel production (Ultrasonic-assisted) from Evening-primroses (*Oenothera lamarckiana*) as novel feedstock and its effect on CI engine parameters. *Renewable Energy*, 130, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.042>
- ICONTEC. (2002). Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del Índice de refracción. (NTC 289:2002).
- ICONTEC. (2011). Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del Índice de peróxido. (NTC 236:2011).
- ICONTEC. (2016). Grasas y aceites animales y vegetales comestibles. Aceite comestible de soya. (NTC 254:2016).
- ICONTEC. (2018). Biodiesel para uso en motores diésel. Especificaciones. (NTC 5444:2018).
- ICONTEC. (2018). Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil. (NTC 287:2018).
- Kaplan, C.; Arslan, R.; Sürmen, A. (2006). Performance characteristics of sunflower methyl ester as biodiesel. *Energy Source*, 28(8), 751–755. <https://doi.org/10.1080/009083190523415>
- Khan, A. M.; Shaikh, A. Khan, I.; Kanwal, S. (2014). Comparative Production of Biodiesel from Waste Chicken Fats and Cooking Oil. *Journal of Biofuels*, 5 (1), 32-40. <https://doi.org/10.5958/j.fuel.2014.00005.1>
- Kirubakaran, M.; Arul, M. S. (2018). A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 390–401. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.039>
- Kyung, K. E.; Gandemer, G. (1987). Lipid and PUFA contents of muscle and skin of chicken. Influence of anatomical location. *Proceedings of 33th International Congress of Meat Science and Technology*. Helsinki, Finland.
- López, D.; Goodwin, J.; Bruce, D.; Lotero, E. (2005). Transesterification of triacetin with metanol on solid acid and base catalyts. *Applied Catalysis A*, 295(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.07.055>
- Mendonça, I. M.; Paes, O. A.; Maia, P. J.; Souza, M. P.; Almeida, R. A.; Silva, C.C.; de Freitas, F. A. (2019). New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study. *Renewable Energy*, 130, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.059>
- Montenegro Mier, M.; Sierra Vargas, F.; Guerrero Fajardo, C. (2012). Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo. *Informador Técnico*, 76, 62–71. <https://doi.org/10.23850/22565035.29>
- Muniyappa, P. R.; Brammer, S. C.; Noureddini, H. (1996). Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product. *Bioresource Technology*, 56(1), 19–24. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00178-6](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00178-6)
- Norma Europea EN. (2003). Derivados de aceites y grasas. Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Determinación del contenido de metanol. (UNE-EN 14110).
- Novillo, S. M. B.; Velarde, J. I. A.; Cascante, G. E. M. (2017). Análisis de los factores que influyen en el proceso de transesterificación para la producción de biodiésel a partir de aceites de

- cocina usados. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Ecuador*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-biodiesel.html>
- Pehan, S.; Jerman, M. S.; Kegl, M.; Kegl, B. (2009). Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 88(6), 970–979.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027>
- Purandaradas, A.; Silambarasan, T.; Kadarkarai, M.; Ranganathan, B.; Arumugam, D. G.; Kayal, V. D.; Devipriya, A.; Kavitha, P. (2018). Development and quantification of biodiesel production from chicken feather meal as a cost-effective feedstock by using green technology. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 14, 133–139.
<https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2018.04.012>
- Rakopoulos, D. C.; Rakopoulos, C. D.; Papagiannakis R. G.; Kyritsis D. C. (2011). Combustion release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine. *Fuel*, 90(5), 1855–1867.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.12.003>
- Ramos, M. J.; Fernández, C. M.; Casas, A.; Rodríguez, L.; Pérez, A. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1), 261–268.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>
- Reyes, J. F.; Sepúlveda, M. A. (2006). PM-10 emissions and power of a Diesel engine fueled with crude and refined Biodiesel from salmon oil. *Fuel*, 85(12-13), 1714–1719.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.02.001>
- Saka, S.; Kusdiana, D. (2001). Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. *Fuel*, 80(2), 225–231.
[https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00083-1)
- Saleh, H. E. (2011). The preparation and shock tube investigation of comparative ignition delays. *Fuel*, 90(1), 421–429.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.08.019>
- Sánchez-Cantú, M.; Morales, M.; Pérez-Díaz, L. M.; Zeferino, R.; Hilario-Martínez, J. C.; Sandoval-Ramírez, J. (2019). Biodiesel production under mild reaction conditions assisted by high shear mixing. *Renewable Energy*, 130, 174–181.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.035>
- Šimáček, P.; Kubicka, D.; Kubicková, I.; Homola, F.; Pospíšil, M.; Chudoba J. (2011). Premium quality renewable diesel fuel by hydroprocessing of sunflower oil. *Fuel*, 90(7), 2473–2479.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.013>
- Torres-Jiménez, E.; Svoljšak Jerman, M.; Gregorc, A.; Lisec, I.; Dorado, M. P.; Kegl, B. (2011). Physical and chemical properties of ethanol–diesel fuel blends. *Fuel*, 90, 795–802.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.09.045>
- Zhang, J.; Chen, S.; Yang, R.; Yan, Y. (2010). Biodiesel production from vegetable oil using heterogeneous acid and alkali catalyst. *Fuel*, 89(10), 2939–2944.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.05.009>