

Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina

Characterization of Biodiesel obtained from waste cooking oil

Betselene Murcia Ordoñez^{,*****}, Luis Carlos Chaves^{**,*}, Wilson Rodríguez-Pérez^{***,*****}, Miguel Andredy Murcia^{****,*****}, Edna Rocío Alvarado^{****,*****}*

Resumen

Se realizó un análisis físico y químico a cada uno de los siguientes tipos de aceite: desechado proveniente de asaderos de pollo, usado de hogares y fresco adquirido en el mercado local de la ciudad de Florencia, Caquetá (Colombia). Se evaluaron los siguientes parámetros: Peso específico, índice de yodo, índice de saponificación, índice de refracción, humedad y materia volátil, punto de fusión, impurezas insolubles, índice de acidez, coeficiente específico de extinción valores K232 y K270, color y prueba de Kreiss. Igualmente se evaluaron los espectros UV-VIS de los tres tipos de aceite estudiados. Se ensayaron siete diferentes tipos de catalizadores para la reacción de transesterificación manteniendo en todos los casos la proporción de catalizador: aceite 38:190 (v/v), tiempo de reacción (2h) y temperatura de reacción (60°C). Se lograron rendimientos de biodiesel de 75.8% de aceite desechado usando KOH 1,269%_{p/v}/MeOH 99%; 87.50% de aceite usado con KOH 0,537%_{p/v}/MeOH 99% y 86.60% de aceite fresco usando KOH 0,457%_{p/v}/MeOH 99%. Al biodiesel obtenido en cada caso se le determinó peso específico, índice de refracción, humedad y materia volátil, cenizas sulfatadas, carbón residual, corrosión a la lámina de cobre y perfil de ácidos grasos. En todos los casos hubo predominio de ácido palmítico, ácido oléico y ácido esteárico en los aceites usados y desechados. Del análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas se pudo establecer que el contenido total de ésteres metílicos de ácidos grasos es del 98,38% para el biodiesel de aceite desechado; 99,53% para el biodiesel de aceite usado y 97,69% para el biodiesel de aceite fresco.

Palabras claves: aceite residual de cocina, biodiesel, ácidos grasos, transesterificación

Abstract

There was performed a physical and chemical analysis to the following types of oils: waste oil taken from chicken steakhouses, waste oil from houses and clean oil taken from the local market at Florencia, Caquetá (Colombia). There were evaluated the following parameters: specific weight, iodine value, saponification value, refractive index, moisture and volatile matter, melting point insoluble impurities acid, specific extinction coefficient K232 and K270 values, color and Kreiss test. Also, there were evaluated the UV-VIS spectra for the three types of oil studied. There were tested seven different types of catalysts for the transesterification reaction, maintaining the same ratio of catalyst for all cases: oil 38:190(v/v), reaction time (2 h) and reaction temperature (60 °C). There was achieved biodiesel yields of 75.8% discarded oil using KOH 1.269%_{w/v}/99%MeOH; 87.50% wasted oil with KOH 0.537% w/v/99%MeOH and 86.60% fresh oil using KOH 0.457% w/v/MeOH99%. For the biodiesel obtained, in each case, was determined specific gravity, refractive index, moisture and volatile matter, sulfated ash, carbon residue, corrosion to the copper foil and fatty acid profile. In all cases, there was a pre-

* Bióloga, MSc en Ciencias, Docente Facultad Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia. Correspondencia: b.murcia@udla.edu.co

** Zootecnista, MSc Estudios Amazónicos, Docente Facultad Ingenierías, Universidad de la Amazonia.

*** Químico Farmacéutico, MSc en Ciencias-Química, Docente Facultad Ciencias Básicas, Universidad de la Amazonia.

**** Ingeniero de alimento, Universidad de la Amazonia.

***** Grupo de investigación en Biodiversidad y Desarrollo Amazónico. Universidad de la Amazonia. Florencia (Caquetá). Colombia.

***** Grupo de Investigación en Biotecnología y control de calidad de alimentos. Universidad de la Amazonia. Florencia (Caquetá). Colombia.

dominance of palmitic, stearic and oleic acids in the waited and discarded oils. From the chromatography gases analysis with the mass spectrometry was established that the total content of fatty acid methyl esters was 98.38 % for biodiesel taken from waste oil; 99.53% for biodiesel taken from wasted oil and 97,69% for biodiesel taken from clean oil.

Key words: biodiesel, fatty acid, transesterification, wasted oils.

Recibido: marzo 20 de 2013.

Aprobado: junio 22 de 2013.

Introducción

El biodiesel se define como la mezcla de éster monoalquílico de ácido graso obtenido de aceites vegetales o grasas animales y constituye un combustible alternativo y ambientalmente más amigable respecto del diesel, ya que es biodegradable, renovable y no es tóxico. Los aceites usados para la fabricación de biodiesel pueden ser comestibles y no comestibles (Rashid *et al.*, 2009). El desarrollo de metodologías para la obtención de biodiesel puede reducir la dependencia sobre combustibles derivados de petróleo importado, el cual cada vez tiene menos disponibilidad y mayor costo en el mercado mundial (Kafuku & Mbarawa, 2010). Dado que los aceites vegetales no se pueden usar directamente como combustibles, se han realizado algunas modificaciones tales como dilución con solvente adecuado (Rashid&Anwar, 2008), transesterificación (ácida, básica y enzimática), pirólisis y emulsificación (Saloua *et al.*, 2010).

La transesterificación es la reacción química más comúnmente utilizada para obtener biodiesel, en la cual un alcohol (metanol o etanol) reacciona reversiblemente con los triacilgliceroles de ácidos grasos (aceite vegetal o grasa animal) en presencia de un catalizador para formar ésteres alquílicos de ácidos grasos y glicerina (Sinha *et al.*, 2008; Atadashi *et al.*, 2010). Los parámetros usados para definir la calidad del biodiesel se dividen en dos grupos: El primero incluye determinaciones de densidad, viscosidad, punto de inflamación, contenido de azufre, residuo carbonoso, cenizas sulfatadas, número de cetano y número ácido, similares a las realizadas al diesel; el segundo grupo corresponde básicamente a determinaciones de metanol, glicerol libre, glicerol total, fósforo, agua y ésteres (Monteiro, *et al.*, 2008).

La utilización de reactores ultrasónicos continuos de baja frecuencia en el proceso de transesterificación de ARC dió un rendimiento de 99% de ésteres metílicos de ácidos grasos (EMAG) en un tiempo de 15 h, a temperatura ambiente. El biodiesel obtenido cumplió con

los estándares dados por JIS K2390 y EN 14214 para combustibles tipo biodiesel (Thanh *et al.*, 2010).

De otra parte, en estudio con ARC provenientes de restaurantes y hogares se determinó el contenido y distribución de compuestos polares totales (Ruiz-Méndez *et al.*, 2008), donde la producción de biodiesel a partir de sebo (grasa animal) ha registrado unos valores de 93-99% de EMAG, obtenido de grasa residual de pollo, luego de 24h en presencia de ácido sulfúrico; la grasa analizada fue adecuada para producir biodiesel según la normatividad vigente para este tipo de combustible (Bhatti *et al.*, 2008). Se han usado mezclas de biodiesel de grasa residual de res o aceite vegetal residual con diesel y biodiesel de aceites vegetales residuales, para mejorar propiedades fisicoquímicas del combustible obtenido solo a partir de sebo de res (Teixeira *et al.*, 2010; Usta *et al.*, 2005; Janaun & Ellis, 2010).

Dentro del macro proyecto Evaluación de materias primas (Frutos amazónicos y subproductos de origen animal) para la extracción de aceites como alternativas en la producción de biodiesel en la Amazonia Colombiana del grupo de investigación BYDA, se formuló esta investigación con el propósito de realizar a) la caracterización fisicoquímica de ARC desechado de asaderos de pollo y venta de comidas rápidas; ARC usado de hogares y aceite comercial comestible fresco de cocina como control b) ensayos preliminares de preparación de mezclas de catalizador para obtener biodiesel y c) la caracterización fisicoquímica de biodiesel obtenido a partir de ARC desechado, usado y aceite comercial fresco de cocina.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en los laboratorios de la Universidad de la Amazonia ubicada en el municipio de Florencia-Caquetá (Colombia), entre los 01° 37'03"N y 75°37'03"W, a 242 msnm (Corpoamazonia y Universidad de la Amazonia, 2006).

Muestra

Las muestras de aceite analizadas se colectaron en restaurantes y hogares de la ciudad de Florencia (Caquetá), se decantaron y filtraron para eliminar restos de comida en suspensión (Dorado, 2001), luego se clasificaron en las siguientes categorías: aceite desechado (reutilizado con más de diez frituras) proveniente de asaderos de pollo, aceite usado (con tres a seis frituras) proveniente de hogares y aceite fresco comestible (cero frituras) adquirido en el mercado local, según metodología propuesta por Innawong *et al.*, 2004. La figura 1 presenta el diagrama de flujo para la producción de biodiesel a partir de aceite desechado, usado y fresco.

Caracterización fisicoquímica de aceite desechado, usado y fresco

Se evaluó peso específico (NTC 336 de 2002), humedad y materia volátil (NTC 287 de 2002), impurezas insolubles (NTC 240 de 2002), punto de fusión (NTC 213 de 2002), índice de refracción (NTC 289 de 2002), k_{232} y k_{270} (espectrofotómetro Genesys 5), análisis UV-VIS (espectrofotómetro Genesys 5; Paz & Molero, 2000), índice de yodo (NTC 283 de 1998), índice de saponificación (NTC 335 de 1998), índice de acidez (NTC 213 de 1999) y rancidez (Kreiss) (Bernal, 1993). Es de notar el uso de aceite virgen de ajonjolí para monitorear los valores obtenidos en los índices de yodo, saponificación y acidez de los aceites evaluados.

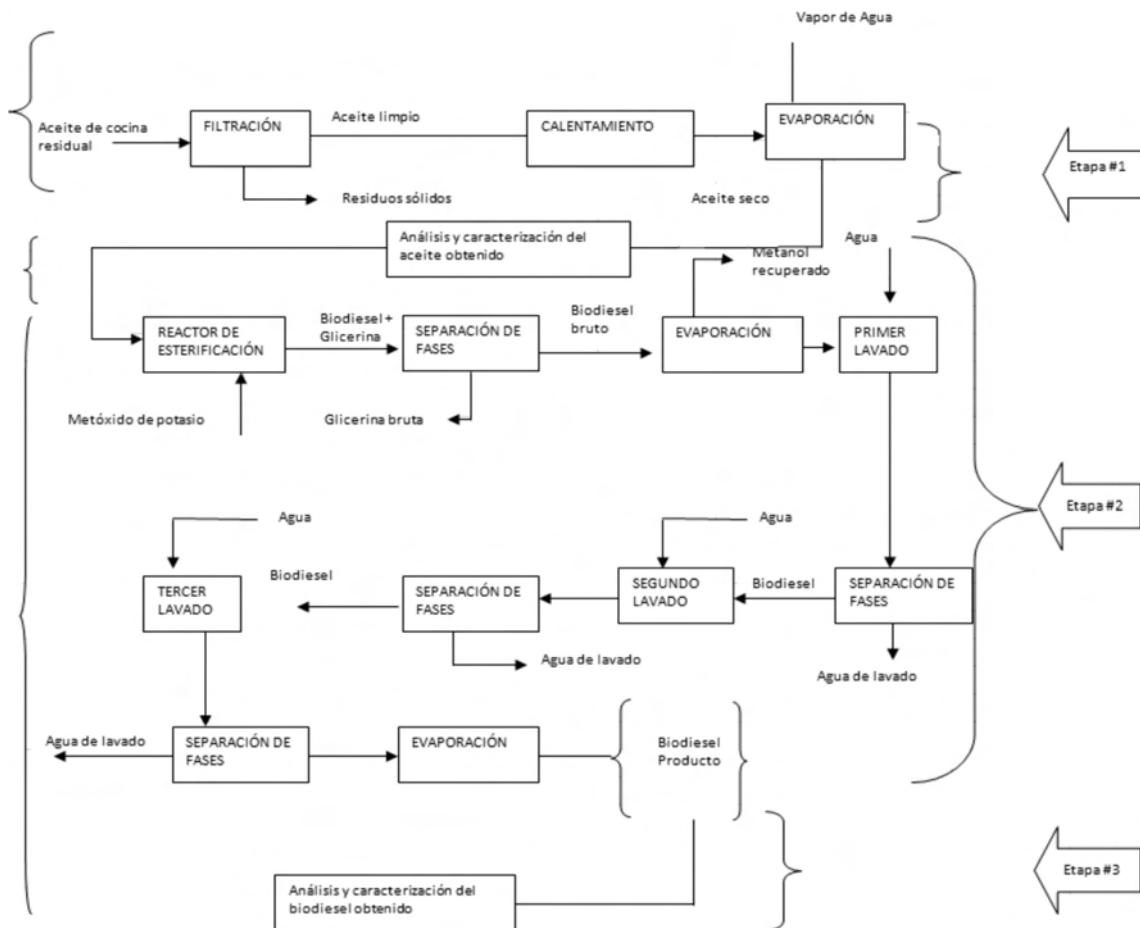


Figura 1. Producción de biodiesel a partir de aceite desechado, usado y fresco (Adaptado de Universidad Mayor de San Andrés, 2007).

Transesterificación de aceite desechado, usado y fresco

Se realizaron ensayos preliminares para establecer la proporción adecuada de catalizador alcalino para la obtención de biodiesel a partir de aceite desechado, usado y fresco, mediante reflujo (tabla 1) teniendo en cuenta que los porcentajes de hidróxido de sodio (NaOH) o potasio (KOH) están dados con relación al volumen del aceite de partida, según lo recomendado por Zuleta y colaboradores (2008). En todos los ensayos el tiempo de reacción fue 2 h, la temperatura de 60°C y la proporción en volumen de catalizador: aceite fue 38:190.

Tabla 1. Ensayos para la obtención de biodiesel a partir de aceite desechado, usado y fresco. El porcentaje del álcali (KOH, NaOH) está dado en masa (g)/volumen (ml).

Aceite	Catalizador
Desechado	KOH 0,59% en MeOH 99%
	NaOH 0,59% en MeOH 99%
	KOH 1,35% en EtOH 95%
	NaOH 0,45% en EtOH 95%
Usado	NaOH 0,43% en MeOH 99%
	KOH 0,57% en MeOH 99%
Fresco	KOH 0,57% en MeOH 99%

Determinación del Rendimiento de biodiesel

Se obtuvo a partir de la medición del volumen total de la mezcla de reacción (catalizador + aceite) respecto del volumen obtenido de fase liviana (superior), luego del proceso de transesterificación, purificación y decantación.

Caracterización del biodiesel

Parámetros fisicoquímicos: se evaluó peso específico (NTC 336), índice de refracción (NTC 289), humedad y materia volátil (NTC 287), cenizas sulfatadas (ASTM D874), corrosión a lámina de cobre (ASTM D130) y carbón residual (ASTM 4530), cromatografía de gases de alta resolución con detector selectivo de masa (CGAR-EM) del biodiesel (ésteres metílicos de ácidos grasos) de aceite desechado, usado y fresco. Las condiciones del cromatógrafo de gases fueron horno: temperatura inicial 150 °C, temperatura final 300 °C; velocidad: 3 °C/min; inyector: 200°C; flujo 1ml/min; columna ca-

pilar Zebron ZB-35 (30m x 250micras x 0.25micras); detector 300 °C

Análisis estadístico

Se reporta la media de dos determinaciones.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de aceite desechado, usado y fresco

Con respecto a las características físicas y químicas encontradas de los aceites de cocina (desechado, usado y fresco) empleados para la producción de biodiesel y aquí evaluados (tabla 2), los valores de peso específico e índice de yodo son similares al trabajo con ARC de Thanh *et al.*, 2010 donde se reporta 0.918 y 112.5, respectivamente. También se observaron valores similares con el trabajo de Enweremadu & Mbarawa (2009), los cuales reportan valores de 0.921-0.937 como peso específico y 193.9-204.3 para índice de saponificación. Sin embargo, estos autores registraron valores de humedad entre 0.4-1.1%, mayores a los aquí reportados y valores de índice de yodo ligeramente superiores (103.7-117.2). El valor de índice de refracción del aceite fresco fue similar a lo reportado en otros trabajos Marcano *et al.*, 2010 y no varió comparado con los valores obtenidos para aceite desechado y reusado. Se ha reportado valor similar de índice de refracción para ARC (1.4578 corregido a 50 °C) respecto de los ARC aquí estudiados por Urbano y Rios 2012.

Como se observa el aceite desechado presentó el mayor valor de acidez, debido a que la presencia de calor y agua acelera la hidrólisis de triacilgliceroles y por tanto aumenta el contenido de ácidos grasos libres (Enweremadu & Mbarawa, 2009). En cuanto a la estabilidad del aceite, luego de la fritura, se observó mayor valor de coeficiente específico de extinción K232 y K270 en el aceite desechado, seguido por el usado y el fresco. Estos resultados son similares a los reportados por Sánchez-Gimeno *et al.*, 2008 con aceite de oliva y Paz & Molero, 2000. La Absorbancia a 232 nm y 270 nm se debe a la formación de dienos y trienos conjugados, respectivamente, que se forman cuando el ácido linoléico es oxidado para formar hidroperóxidos (Suliman *et al.*, 2006). Los resultados anteriores son concordantes con la coloración obtenida en la prueba de Kreiss, donde el aceite desechado presentó la coloración más intensa, dado que era el más degradado. Igualmente el aceite desechado presentó el valor más bajo de transmitancia (mayor absorbancia) respecto de los otros dos aceites evaluados.

Se evaluó el color de los aceites (tabla 2) mediante espectrofotometría UV-VIS a través de su espectro (transmisión o absorción) (Pohle & Tierney, 1957) siendo evidentes las diferencias en la región ultravioleta, en la cual al aumentar la degradación del aceite disminuye el porcentaje de transmitancia (figura 2). Sin embargo, se observa que el aceite desechado presentó mayor absorción tanto en la región ultravioleta como visible (figura 3).

Análisis UV-VIS

Determinación del Rendimiento de biodiesel

En cuanto al rendimiento obtenido de biodiesel a partir de los aceites desechado, usado y fresco, luego de la purificación se obtuvo un rendimiento entre 72,80 - 81.50% (tabla 3) inferior a muestras y condiciones similares donde se registran valores de 90% (Tomasevic & Siler-Marinkovic, 2003); 89-92% (Predojevic, 2008); 97-98% (Ma&Hanna, 1999) y 85.5% (Enweremadu & Mbarawa2009).

Caracterización del biodiesel

Se ha observado que la calidad del aceite usado no tiene un efecto sustancial sobre la calidad de los ésteres metílicos producidos Tomasevic y Siler-Marinkovic, 2003. Los resultados encontrados para biodiesel de ARC (tabla 4) son similares a Thanh y colaboradores en 2010 y Enweremadu y Mbarawa, 2009 respecto del valor de peso específico, cenizas sulfatadas, humedad y materia volátil, carbón residual y corrosión a la lámina de cobre. En nuestro trabajo los valores de índice de refracción, humedad y materia volátil fueron mayores comparados con los valores de Bhatti y colaboradores en 2008, mientras que el valor de peso específico fue menor.

Cromatografía de gases-espectrometría de masas de ésteres metílicos de ácidos grasos

Observando la composición de ésteres metílicos de ácidos grasos del biodiesel obtenido de ARC (tabla 5), se nota que en el biodiesel de aceite desechado hay predominio de ácido palmítico (16:0), ácido oléi-

Tabla 2. Características físicas y químicas de los aceites de cocina (desechado, usado y fresco).

Parámetros	Desechado	Usado	Fresco
Peso específico	0,911	0,9593	0,858
(20°C)			
(34°C)			
Índice de yodo (%m/m)	107,76	99,585	93,95
Índice de saponificación (mgKOH/g)	201,5	185,6	160,1
Índice de refracción (50°C)	1,4605	1,459	1,456
Humedad y materia volátil (%m/m)	0,1046	0,0899	0,1526
Punto de fusión (°C)	32.6	32	26
Impurezas insolubles(%m/m)	0,012	0,052	0,066
Índice de acidez(%m/m ácido oleico)	9,193	1,87	1,07
K ₂₃₂	0,126	0,075	0,015
K ₂₇₀	0,156	0,076	0,03
Color (%T _{550nm})	95	99	100
Kreis (interfase)	Rojo intenso	Rojo claro	Amarillo claro

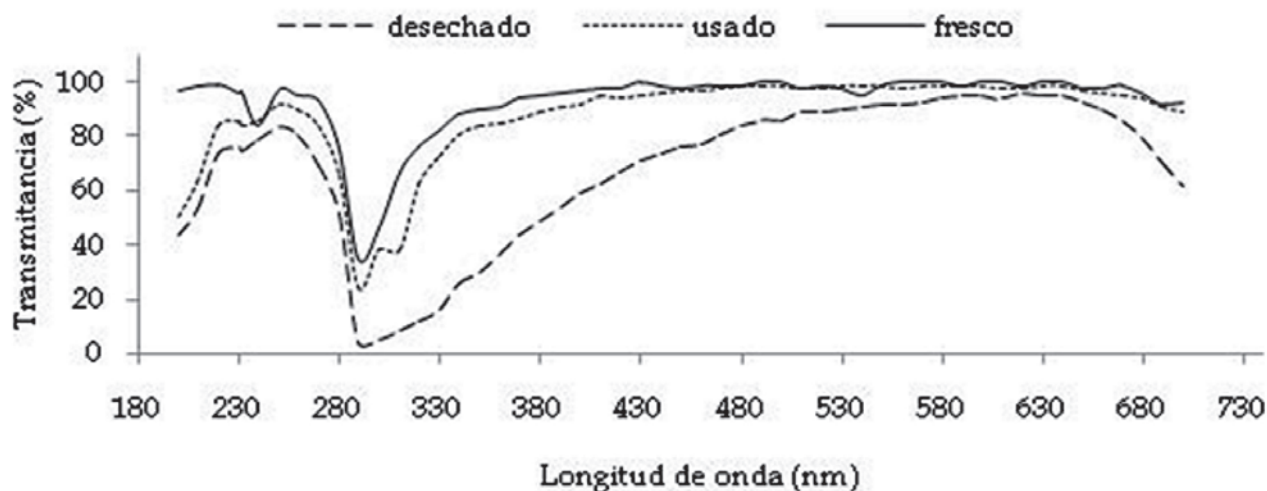


Figura 2. Espectros de transmisión en la región UV-VIS de aceite fresco, usado y desechado (180-730 nm).

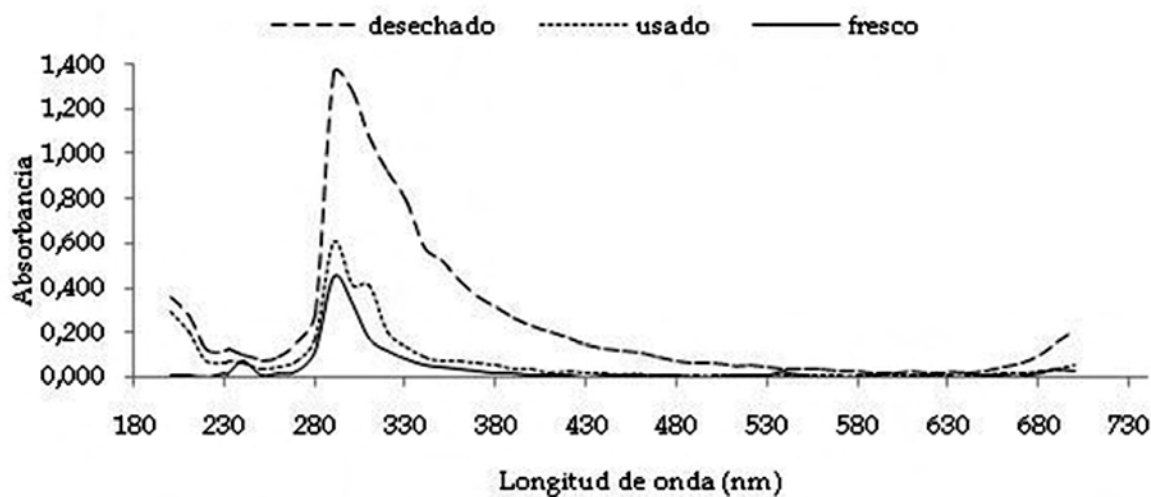


Figura 3. Espectros de absorción en la región UV-VIS de aceite fresco, usado y desechado (180-730 nm).

Tabla 3. Rendimiento de biodiesel a partir de aceite desechado, usado y fresco. En todos los ensayos el tiempo de reacción fue 2h; la temperatura de reacción de 60°C y la proporción en volumen de catalizador: aceite fue 38:190.

Muestra	Catalizador	Biodiesel crudo (% v/v)	Biodiesel purificado (% v/v)
Desechado	KOH 1,269%p/v/MeOH 99%	75.80	72.80
Usado	KOH 0,537%p/v/MeOH 99%	87.50	81.50
Fresco	KOH 0,457%p/v/MeOH 99%	86.60	75.00

Tabla 4. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite desechado, usado y fresco.

Parámetro	Desechado	Usado	Fresco
Peso específico (15°C)	0,8885	0,8522	0,8828
Índice de refracción (20°C)	1,4565	1,455	1,454
Humedad y materia volátil (%m/v)	0,516	0,507	0,503
Cenizas sulfatadas (% m/m)	0,046	0,043	0,018
Carbón residual (% m/m)	0,048	0,038	0,036
Corrosión a lámina de cobre	1	1	1

co (18:1) y ácido esteárico (18:0) que componen el 90% de la mezcla. En el biodiesel obtenido de aceite usado de ácido palmítico, ácido oléico (18:2), ácido esteárico conformando el 85% del total. Finalmente en el biodiesel de aceite fresco, predominan los ácidos palmítico y oléico, conformando el 86% de la muestra.

El biodiesel de grasas de pollo (Bhatti *et al.*, 2008) y de aceite residual de fritura (Predojevic, 2008; Kalligeros y colaboradores, 2003) presentaron similitud, con los resultados anteriores, en cuanto al predominio de ácido palmítico y oléico. El calentamiento, la humedad y la oxidación propios del proceso de fritura del

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos de biodiesel obtenido a partir de aceite desechado, usado y fresco.

Ácido graso	Desechado	Usado	Fresco
	Abundancia relativa (%)		
		Biodiesel	
Ácido caprílico	0,22		
Ácido láurico	0,39	0,39	0,68
Ácido mirístico	1,54	2,49	2,01
Ácido pentadecanóico		0,39	
Ácido palmítico	32,24	26,61	36,02
Ácido 14-metilhexadecanóico		0,39	
Ácido heptadecanóico		0,43	
Ácido heptadecanóico(margárico)		1,08	
Ácido 11-octadecanóico (oléico)	48,56	49,57	51,62
Ácido octadecanóico (esteárico)	10,03	10,1	
Ácido 9,12-octadecadienóico (linoléico)	0,259		0,64
Ácido 9,12,15-octadecatrienóico (linolénico)	2,78	3,42	3,97
Ácido 8,11-octadecadienóico		0,36	
Ácido 11-eicosenóico	1,39	1,72	0,6
Ácido eicosanóico	0,98	1,62	1,22
Ácido docosanóico		0,62	0,6
Ácido tetracosanóico		0,34	0,33

aceite provocan una drástica disminución del grado de insaturación en el biodiesel obtenido (tabla 6), lo cual está en concordancia con el análisis UV-VIS del aceite de partida; respecto de los valores del coeficiente específico de K_{232} y K_{270} (tabla 2) y el índice de yodo el cual fue ligeramente superior (103.7 – 117.2). Del análisis de cromatografía de gases con detector de masas se pudo establecer que el contenido total de ésteres metílicos de ácidos grasos es del 98,38% para el biodiesel de aceite desechado; 99,53% para el biodiesel de aceite usado y 97, 69% para el biodiesel de aceite fresco.

Con respecto al rendimiento de biodiesel purificado de los tres tipos de aceite evaluados (tabla 3) se observó que cada biodiesel obtenido tiene un alto contenido de ésteres metílicos de ácidos grasos, como lo indicó el análisis de cromatografía de gases con detector de masas (tabla 5).

Se concluye que la caracterización de aceite usado y desechado evidenció valores que según las NTC se encuentran dentro de los parámetros establecidos como: Los índices de yodo (99.5-107.8); saponificación (185.6-201.5); refracción (1.4605-1.4590); humedad y materia volátil (0.1046-0.0899); índice de acidez (9.193-1.87); impurezas insolubles (0.012-0.052); color (95-99%T); k_{232} (0.126-0.075); k_{270} (0.156-0.076) y

coloraciones entre rojo intenso- rojo claro con la prueba de Kreiss.

Así mismo, que el catalizador que proporcionó un mayor rendimiento (87.50%), para la obtención del biodiesel bajo las condiciones de la Amazonia colombiana, es KOH 0,537%p/v/MeOH a una temperatura de 60°C por dos horas y con una proporción catalizador- aceite de 38:190.

Con base en el análisis de cromatografía de gases realizado al biodiesel (fases livianas) de aceite desechado, el mayor porcentaje en FAME encontrado, corresponde a los ácidos esteárico, palmítico y oléico, mientras que para el aceite usado, corresponde a los ácidos esteárico, palmítico y linoléico.

La caracterización del biodiesel obtenido de aceite desechado y usado presentó similitud en los valores de peso específico, índice de refracción, humedad y materia volátil (% m/v), cenizas sulfatadas (% masa), carbón residual (% masa).

Agradecimientos

Vicerrectoria de Investigaciones de la Universidad de la Amazonia a cargo de PhD Cesar Augusto Estrada Gonzales (Q.P.D) por la colaboración, a los auxiliares del laboratorio de química de la Uniamazonia.

Tabla 6. Porcentaje total de ácidos grasos insaturados presentes en biodiesel obtenido de aceite desechado, usado y fresco.

Ácido graso insaturado	Biodiesel		
	Desechado	Usado	Fresco
Mono-insaturados	1,39	51,68	52,22
Di-insaturados	0,26	0,36	0,64
Tri-insaturados	2,78	3,42	3,97
% de insaturación total	4,43	55,46	56,83

Referencias bibliográficas

- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A. 2010. High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1999–2008.
- Bernal, I. D. R. 1993. Sustancias grasas, Análisis de alimentos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Julio Carrizosa Valenzuela, No. 2. Santa Fé de Bogotá.
- Bhatti, H. N., Hanif, M. A., Qasim, M., Rehman, A-U. 2008. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*. 87: 2961–2966.
- Corpoamazonia y Universidad de la Amazonia. 2006. Plan de Ordenamiento y manejo de la Cuenca del Río Hacha “POMCA”. Florencia Caquetá. Convenio 051 de 2006.
- Dorado, M del P. 2001. Desarrollo y ensayo de nuevos biocombustibles para motores diesel procedentes de diversas semillas oleaginosas y de grasas vegetales usadas. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería rural. Universidad de Córdoba. Andalucía España. 275p.
- Enweremadu, C.C. y Mbarawa, M.M. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13: 2205–2224.

- Innawong, B., Parameswarakumar, M., Joseph E. M. 2004. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 37: 35-41.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Grasas y Aceites Animales y Vegetales. Método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional). NTC 336. Bogotá D.C. 11p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Grasas y Aceites Animales y Vegetales. Determinación del contenido de impurezas insolubles NTC 240. Bogotá D.C. 7p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Grasas y Aceites Animales y Vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil NTC 287. Bogotá D.C. 8p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del punto de fusión (punto de deslizamiento) NTC 213. Bogotá D.C. 8p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002. Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del índice de refracción NTC 289. Bogotá D.C. 8p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 1998. Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del índice de yodo NTC 283. Bogotá D.C. 4p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 1998. Grasas y Aceites Animales y Vegetales. Determinación del índice desaponificación NTC 335. Bogotá D.C. 5p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 1999. Grasas y Aceites Vegetales y Animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez NTC 213. Bogotá D. C. 12p.
- Janaun, J., Ellis, N. 2010. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 14: 1312-1320.
- Kafuku, G., Mbarawa, M. 2010. Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringaoleifera* oil with optimized production parameters. *Applied Energy.* 87: 2561-2565.
- Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, Ch., Sakellaropoulos, F. 2003. An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine. *Biomass and Bioenergy.* 24: 141-149 .
- Ma F. Hanna H.A. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresour Technol.* 79, 1-15.
- Marcano, J., La Rosaa, Y., Salinas, N. 2010. Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo "french", empleando oleina de palma. *Grasas y aceites.* 61: 24-29.
- Monteiro, M. R., Ambrozin, A. R., P. Lião, L. M., Ferreira, A. G. 2008. Critical review on analytical methods for biodiesel characterization. *Talanta.* 77: 593-605.
- Paz, A. I., Molero, M. M. 2000. Aplicación de la espectrofotometría UV-visible al estudio de la estabilidad térmica de aceites vegetales comestibles. *Grasas y aceites.* 51: 424-428.
- Pohle, W. D., Tierney, S. E. 1957. A spectrophotometric method for the evaluation of vegetable oil colors. *The Journal of the American oil chemist's society.* 34: 485 - 489.
- Predojevic, Z. J. 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. *Fuel.* 87: 3522-3528.
- Rashid, U., Anwar, F. 2008. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel.* 87: 265-273.
- Rashid, U., Anwar, F., Knothe, G. 2009. Evaluation of biodiesel obtained from cottonseed oil. *Fuel Processing Technology.* 90: 1157-1163.
- Ruiz-Méndez, M.V., Marmesat, S., Liotta, A., Dobarganes, M.C. 2008. Analysis of used frying fats for the production of biodiesel. *Grasas y aceites.* 59: 45-50.
- Saloua, F., Saber, C.I., Hedi, Z. 2010. Methyl ester of [*Maclurapomifera* (Rafin.) Schneider] seed oil: Biodiesel production and characterization. *Bioresource Technology.* 101: 3091-3096.
- Sinha, S., Agarwal, A.K., Garg, S. 2008. Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management.* 49: 1248-1257.
- Sánchez-Gimeno, A.C., Benito, M., Vercet, A., Oria, R. 2008. Aceite de oliva virgen extra del Somontano: evaluación de las modificaciones físico-químicas tras la fritura doméstica de patatas prefritas congeladas. *Grasas y aceites.* 59: 57-61.
- Standard test method for corrosiveness to copper from petroleum products by copper strip test. in: ASTM international. *Paint technology standard.* D130-10. 9 p.
- Standard Test Method for Sulfated Ash from Lubricating Oils and Additives in: ASTM international. D874 - 07. 5 p.
- Standard test method for Determination of carbon residue (micro method) in: ASTM international. D4530 - 07. 7 p.
- Suliman, A E-R M., El-makhzangy, A., Ramadan, M.F. 2006. Antiradical performance and physicochemical characteristics of vegetable oils upon frying of French fries: a preliminary comparative. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry.* 5: 1429-1441.
- Teixeira, L. S.G., Couto, M. B., Souza, G. S., Filho, M.A., Assis, J.C.R., Guimaraes, P.R.B., Pontes, L. A.M., Almeida, S. Q., Teixeira, J. S.R. 2010. Characterization of beef tallow biodiesel and their mixtures with soybean biodiesel and mineral diesel fuel. *Biomass and Bioenergy.* 34: 438-441.
- Thanh, L.T., Okitsu, K., Sadanaga, Y., Takenaka, N., Maeda, Y., Bandow, H. 2010. A two-step continuous ultrasound assisted production of biodiesel fuel from waste cooking oils: A practical and economical approach to produce high quality biodiesel fuel. *Bioresource Technology.* 101: 5394-5401.

Tomasevic, A.V., Siler-Marinkovic, S.S. 2003. Methanolysis of used frying oil. *Fuel Processing Technology*. 81: 1-6.

Universidad Mayor de San Andrés. 2007. Proyecto: "Adecuación Tecnológica de la Obtención de biodiesel". La Paz-Bolivia. Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ). 145 p.

Urbano, R., Rios, J. Aprovechamiento del aceite vegetal usado para la obtención de biocombustible (biodiesel) como fuente de energía en una empresa de frituras.vía online: <http://es.scribd.com/doc/56211173/52421365-Biodiesel-Articulo>. Consultado el 13 febrero 2012.

Usta, N., Ozturk, E., Can, O., Conkur, E.S., Nas, S., Con, A.H., Can, A.C., Topcu, M. 2005. Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine. *Energy Conversion and Management*. 46: 741-755.

Zuleta, E.C., Bonet, J.D., Díaz, L.C., Bastidas, M.J. 2008. Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol, mediante el método de superficie de respuesta. Universidad Popular del Cesar, Valledupar. Centro de Investigación y Desarrollo tecnológico del Cesar. 6(1): 76-80.