

Caracterización de un biodiesel obtenido por transesterificación del tártago (*Ricinus communis*)

**Lorena Fuentes, Arturo García, Ysmayelin Bracho
e Iván Mendoza**

Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Núcleo LUZ-COL.
Programa de Ingeniería. lfuentesp@hotmail.com

Resumen

La explotación del petróleo y el mal uso de los combustibles fósiles han contribuido con la crisis ambiental. Por ello, surge la necesidad de buscar fuentes de energía alternativa que permitan sustituir parcial o totalmente los derivados del petróleo por productos que sean menos contaminantes. Una alternativa es la producción de biodiesel, un combustible compuesto por ésteres monoalquílicos de cadena larga derivado de lípidos de origen vegetal o animal. El objetivo de este estudio fue determinar algunas propiedades como combustible y como éster de un biodiesel obtenido a partir del tártago (*Ricinus communis*). Para la producción de este biodiesel a escala laboratorio se diseñaron ocho tratamientos variando concentraciones de catalizador (NaOH): 0,6% y 1,0%, concentraciones de alcohol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$): 30% y 40% y tiempos de decantación (24 horas y una semana). El procedimiento contempló las siguientes etapas: preparación de etóxido, reacción de transesterificación, separación de las fases correspondientes a biodiesel y glicerina, lavado y secado del biodiesel. Las condiciones más adecuadas se obtuvieron cuando se usó 0,6% de NaOH, 40% de $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ y decantación de una semana, lo cual permitió obtener un biodiesel cuyas propiedades como combustible fueron: viscosidad (14,91cSt), punto de inflamación (173°C), punto de ignición (190°C), gravedad API (23,5°API) y densidad (0,9035 g/cm³); y como éster: índice de acidez (0,77 mg KOH/g) e índice de saponificación (184,6 mg KOH/g). Después de la segunda extracción con lavado, el biodiesel obtenido a partir de *R. communis* cumplió con la mayoría de las especificaciones estipuladas en las normas internacionales para biocombustibles.

Palabras clave: biodiesel, *Ricinus communis*, transesterificación.

Characterization of a Biodiesel Obtained from the Transesterification of Castor (*Ricinus communis*)

Abstract

Oil exploitation and the misuse of fossil fuels have contributed to the environmental crisis. Thus, the need arises to seek alternative energy sources that permit partial or total replacement of petroleum derivatives with products that are less polluting. One alternative is the production of biodiesel, a fuel composed of long-chain mono alkyl esters derived from plant or animal lipids. The aim of this study was to determine some properties of a biodiesel obtained from castor (*Ricinus communis*), both as a fuel and as an ester. To produce this biodiesel on a laboratory scale, eight treatments were designed with varying concentrations of catalyst (NaOH: 0.6% and 1.0%), alcohol concentrations (CH₃CH₂OH: 30% and 40%) and settling times (24 hours and a week). The procedure included the following stages: preparation of ethoxide, transesterification reaction, phase separation corresponding to biodiesel and glycerol, and the washing and drying of biodiesel. The most appropriate conditions were obtained using 0.6% NaOH, 40% CH₃CH₂OH and decanting for a week, which yielded a biodiesel fuel whose properties were viscosity (14.91 cSt), flash point (173°C), flash point (190°C), API gravity (23.5°API) and density (0.9035 g/cm³); and as an ester, acid value (0.77 mg KOH/g) and saponification value (184.6 mg KOH/g). After the second extraction with washing, biodiesel obtained from *R. communis* met most of the specifications stipulated in international biofuel standards.

Keywords: biodiesel, *Ricinus communis*, transesterification.

Introducción

El biodiesel es una alternativa de gran ayuda para promover cambios en torno al modo como se utilizan diversos productos en la industria petrolera: tal es el caso de la gasolina, el gasoil u otros, los cuales pudieran ser empleados en proporciones menores a las actuales, facilitando a nivel macro el equilibrio de tres aspectos fundamentales: energía, ecología y economía social; que es la vía de Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA) para reducir el impacto ambiental.

En la búsqueda de combustibles menos contaminantes, el uso del aceite de ricino (*Ricinus communis*) tiene beneficios ambientales y técnicos; además, representa una gran oportunidad de desarrollo para zonas áridas y empobrecidas. El aceite que se extrae de las semillas de esta planta ya tiene un mercado internacional creciente, asegurado por 700 aplicaciones que incluyen usos medicinales y cosméticos, así como la sustitución del petróleo en la elaboración de plásticos y lubricantes. El producto también se utiliza en la producción de fibra óptica, vidrio a prueba de balas y prótesis óseas. Además, es indispensable para impedir la congelación de combustibles y lubricantes de aviones y cohetes espaciales, a bajísimas temperaturas (Falasca y Ulberich, 2006).

El gran mercado de *R. comunis* se está abriendo en el campo energético debido al incremento del uso de biocombustibles, pues el aceite de ricino se considera

como uno de los mejores para producir biodiesel, por ser el único soluble en alcohol, y no requerir calor y el consecuente gasto de energía que exigen otros aceites vegetales en su transformación a combustible.

El biodiesel obtenido del tártago (*R. communis*) podría convertirse en una opción energética que iguale o supere a la actual, contribuyendo en alguna medida a resolver la inquietud que la industria petrolera tanto nacional como mundial ha planteado en torno al uso racional de los recursos naturales, entre los cuales el principal es el petróleo.

La producción de biodiesel se realiza por transesterificación de aceites vegetales o grasas animales. Esta reacción química consiste en reemplazar el glicerol (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente (más ligero) usualmente metanol o etanol, formando moléculas de etiléster o metiléster con una viscosidad similar a la del combustible diesel derivado del petróleo. Asimismo, se produce glicerina, sustancia que tiene numerosos usos en diversas industrias (Castro y col., 2007).

En este estudio se obtuvo un biodiesel partiendo de la especie vegetal *Ricinus communis*, distribuida ampliamente en Venezuela. El objetivo de este estudio fue caracterizar un biodiesel obtenido por transesterificación del tártago (*Ricinus communis*) considerando sus propiedades como combustible y como éster.

Metodología

En esta investigación se consideraron como variables las concentraciones de alcohol etílico, las cantidades de catalizador a utilizar (NaOH) y los tiempos de decantación en cada muestra evaluada para la elaboración de biodiesel mediante el proceso de transesterificación de tártago (*Ricinus communis*). Se aplicaron ocho tratamientos para la producción y caracterización del biodiesel (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño de experimentos

Tratamientos	% Catalizador	Concentración de alcohol %	Tiempo de decantación
1	0,6	30	24 horas
2	0,6	30	1 semana
3	0,6	40	24 horas
4	0,6	40	1 semana
5	1	30	24 horas
6	1	30	1 semana
7	1	40	24 horas
8	1	40	1 semana

Fuente: Los autores (2012).

Procedimiento

Preparación del etóxido. Se vertió el etanol (30 y 40%) en una licuadora poniéndose en marcha a su mínima velocidad, se agregó el catalizador NaOH (0,6% y 1%) y se subió la velocidad de ésta al máximo durante dos minutos con el propósito de que el catalizador se disolviera en el etanol para formar etóxido de sodio.

Reacción de transesterificación. Para llevar a cabo la reacción de transesterificación se precalentó el aceite de tártago en una plancha de agitación y calentamiento a una temperatura de 50°C con el fin de ayudar a que se alcanzara rápidamente la temperatura de reacción. Se adicionó el etóxido de sodio al aceite cuando éste alcanzó la temperatura de 50°C. Se agitó con una batidora a velocidad máxima durante 40 minutos.

Separación del biodiesel y glicerina. Una vez cumplido el tiempo de agitación, se vertió la mezcla en un embudo de decantación y se dejó reposar por 24 horas o una semana, según los tratamientos diseñados en esta investigación. Al separarse las dos fases, éstas fueron extraídas y pesadas. Las condiciones de operación fueron: temperatura (25°C), presión (0 psi) y tiempo de agitación (40 minutos).

Lavado. Para el lavado del biodiesel se utilizó un embudo de separación con capacidad de 1 litro. Una vez que el biodiesel se separa de la glicerina debe ser lavado porque puede contener catalizador, etanol, jabones y glicéridos sin reaccionar. Es indispensable hacer el lavado después de completarse la segunda extracción porque con ésta se asegura que el aceite reaccione completamente evitando así la formación de emulsiones al realizar el lavado.

Para el lavado se agregó una cantidad de agua destilada correspondiente a la tercera parte del biodiesel obtenido. En cada lavado, el agua se agregó lentamente para arrastrar las impurezas del biodiesel, luego se separó del biodiesel. Este procedimiento se repitió cuatro veces. En el primer lavado el agua presentó mucha turbidez (Figura 1), pero en el último lavado, el agua disminuyó considerablemente su turbidez (Figura 2).

Secado. En esta etapa el biodiesel se sometió a una temperatura de 110°C en una plancha de calentamiento con el fin de eliminar el contenido de agua que queda del lavado; se dejó secar hasta que no se observó burbujeo. El tiempo de secado varió en las diferentes muestras de acuerdo a cada etiléster (Figura 3). Condiciones de operación: temperatura (110°C), presión (0 psi) y tiempo de secado (depende de cada etiléster).

En cada una de las muestras, antes y después de llevar a cabo el lavado se midieron algunas propiedades del biodiesel como combustible y como éster.

La viscosidad cinemática se determinó aplicando la norma ASTM D 445 y utilizando un viscosímetro cinemático Precision Scientific (Figura 4). La gravedad API se midió aplicando el procedimiento experimental de la Norma ASTM 287. Para la densidad se aplicó la Norma ASTM D 4052, la cual establece un intervalo de 0,8600 hasta



Figura 1. Primer lavado.

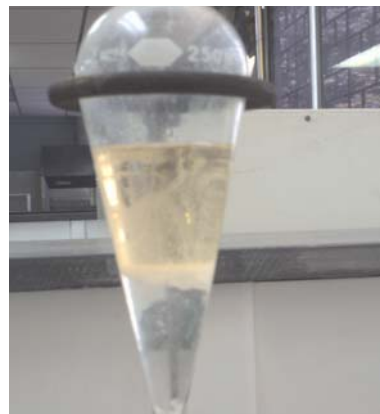


Figura 2. Cuarto lavado.



Figura 3. Secado del biodiesel.



Figura 4. Viscosímetro cinemático Precision Scientific.

0,9000 g/cm³ (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007). La densidad se obtuvo al relacionar la densidad API con la gravedad específica por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad API (grados)} = \frac{141,5 - 131,5}{\text{Gravedad específica}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Se sustituyó el valor de la densidad API o densidad relativa en la fórmula:

$$\rho_r \text{ (relativa)} = \frac{\rho_l \text{ (líquido) g/cc}^3}{\rho_w \text{ (agua) g/cc}^3}$$

donde:

ρ_l (líquido) g/cc³: representa la incógnita (densidad del biodiesel)

ρ_w (agua) g/cc³: densidad del agua equivalente a 1 g/cc³

ρ_r (relativa) : densidad API obtenida de la ecuación 1

Despejando la densidad del líquido (ρ_l), queda la ecuación de la siguiente forma:

$$\rho_l = \rho_r \cdot \rho_w$$

El punto de inflamación y el de ignición se midieron según el procedimiento ASTM D 92 (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007), denominado Método de Copa Abierta Cleveland (Figura 5). En la determinación del índice de acidez se utilizó el método ASTM D 1980 (Normas ASTM citadas por Benavides y col., 2007).



Figura 5. Montaje copa abierta de Cleveland.

Para medir el índice de saponificación se aplicó la norma ASTM D 558 (Normas ASTM citadas por Benavides y col., 2007), conforme a la cual se realizó una reacción de saponificación adicionando 25 mL de KOH a 2,5 mL de la muestra de biodiesel y se tituló con HCl 0,5 N, utilizando fenolftaleína como indicador. Adicionalmente se realizó un ensayo en blanco.

El índice de saponificación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(Vb - Vm) * N * 56,1}{\text{Peso de la muestra}} \quad (\text{ec. 2})$$

donde Vb : volumen de HCl 0,5 N gastado para titular el blanco y Vm : volumen de HCl 0,5 N gastado para titular la muestra

El índice de saponificación se expresó en mg de KOH/ g de la muestra de biodiesel y según la normativa mencionada debe ser superior a 170 mg de KOH/g.

Resultados y discusión

El biodiesel obtenido por transesterificación del aceite de tártago (*Ricinus communis*) fue caracterizado en cuanto a algunas de sus propiedades como combustible (viscosidad cinemática, densidad, punto de inflamación y punto de ignición) y como éster (índice de acidez, índice de saponificación).

Propiedades como combustible del biodiesel obtenido por transesterificación de *Ricinus communis*

- Viscosidad cinemática

En la primera extracción, la viscosidad fluctuó entre 13,49 y 45,47 cSt al aplicar tratamientos con etanol (30 y 40%) e NaOH (0,6%) como catalizador. Se obtuvo mayor eficiencia con un tiempo de decantación de una semana, resultando más efectivo el tratamiento en el cual se aplicó etanol al 40%. Los porcentajes de reducción de viscosidad se ubicaron entre 81,01 y 94,36% al calcularlos a partir de la viscosidad reportada por Conceição y col. (2007) para el aceite crudo de *R. communis* (239,39 cSt).

En la segunda extracción, la viscosidad varió entre 13,26 y 28,52 cSt, con porcentajes de reducción de viscosidad entre 88,09 y 94,46%. Se observó mayor eficiencia al aplicar el tratamiento con 40% de etanol y 0,6% de NaOH, sin presentarse diferencias con respecto al tiempo de decantación.

Con la segunda extracción, después de aplicar el lavado con agua destilada a las muestras, se observó que la viscosidad registró valores entre 14,91 y 20,94 cSt, con porcentajes de reducción de viscosidad que fluctuaron entre 91,25 y 93,77% (Tabla 2). Los resultados no se ajustaron a lo establecido en la Norma ASTM D 445, la cual refiere valores de 1,9 a 6,0 cSt (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007);

Tabla 2. Viscosidad del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Viscosidad (cSt)	% de reducción de viscosidad
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	45,47	81,01
		2	21,32	91,09
		Lavado	20,94	91,25
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	34,69	85,51
		2	28,52	88,09
		Lavado	19,30	91,94
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	28,05	88,28
		2	13,26	94,46
		Lavado	15,00	93,73
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	13,49	94,36
		2	13,26	94,46
		Lavado	14,91	93,77

Fuente: Los autores (2012).

sin embargo, son similares a los reportados por Conceição y col. (2007), quienes obtuvieron un biodiesel a partir de *R. communis* con una viscosidad de 13,75 cSt.

- Densidad

En la primera extracción el parámetro densidad osciló entre 0,9200 y 0,9370 g/cm³, resultando más eficiente el tratamiento con 40% de etanol y tiempo de decantación de una semana.

En la segunda extracción, la densidad fluctuó entre 0,9035 y 0,9389 g/cm³, obteniéndose mejores resultados con el tratamiento de 40% de etanol y tiempo de decantación de una semana. En la mayoría de los casos la densidad disminuyó con respecto a la primera extracción, exceptuando el tratamiento de 30% de etanol con una semana de decantación con el cual se obtuvieron valores superiores de densidad.

Luego del lavado, la densidad varió en un rango de 0,9087 a 0,9266 g/cm³. Los mejores resultados se observaron al aplicar 40% de etanol y 24 h de decantación (Tabla 3). Este parámetro no se ajustó a la Norma ASTM D 4052 (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007), la cual establece que la densidad debe estar entre 860 y 900 kg/m³ (0,8600 y 0,9000 g/cm³); pero los valores resultantes están en concordancia con lo expuesto por Benavides y col. (2007) y Conceição y col. (2007), quienes reportaron densidades de 865,97 a 926,05 kg/m³ y de 0,9279 g/cm³, respectivamente.

- Punto de inflamación

En la primera extracción, el punto de inflamación osciló entre 40,38 y 50°C, resultando más eficiente el tratamiento con 40% de etanol y un tiempo de decantación de 24 horas.

Tabla 3. Densidad del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Densidad (g/cm ³)
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	0,9370
		2	0,9266
		Lavado	0,9212
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	0,9303
		2	0,9389
		Lavado	0,9266
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	0,9383
		2	0,9129
		Lavado	0,9087
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	0,9200
		2	0,9035
		Lavado	0,9129

Fuente: Los autores (2012).

En la segunda extracción, los valores del punto de inflamación disminuyeron (35-38°C) con respecto a la primera extracción.

En la segunda extracción, previo lavado con agua destilada, el punto de inflamación estuvo comprendido entre 166 y 173°C, mejorando en comparación con los resultados antes mencionados. Los tratamientos más efectivos fueron con 40% de etanol y tiempos de decantación de 24 horas y de una semana, siendo este último el más efectivo (Tabla 4). Estos valores se ajustaron a lo especificado por la Norma ASTM D93 (mínimo 120°C) (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007) y son similares a los reportados por Kalam y Masjukin (2002) y Encinar y col. (2007), quienes obtuvieron puntos de inflamación de 174°C y 188°C, respectivamente.

- Punto de ignición

En la primera extracción, el punto de ignición varió entre 43 y 70°C, observándose el mejor valor de temperatura (70°C) en el tratamiento realizado con 40% de etanol y tiempo de decantación de 24 horas.

En la segunda extracción, el punto de ignición presentó un descenso en todas las muestras con respecto a la primera extracción, fluctuando entre 38 y 45°C. Esto pudiera atribuirse a la adición de etanol en la segunda extracción, del cual queda un remanente que disminuye el punto de ignición. La temperatura de ignición mayor corresponde al tratamiento con 40% de etanol y tiempo de decantación de una semana.

En la segunda extracción con lavado, el punto de ignición presentó valores altos en las muestras (170-190°C), si se compara con la segunda extracción sin lavado. Se obtuvieron las mejores temperaturas de ignición en los tratamientos con 40% de

Tabla 4. Punto de inflamación del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Punto de inflamación (°C)
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	42
		2	37
		Lavado	168
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	44,23
		2	36,15
		Lavado	166
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	50
		2	35
		Lavado	170
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	40,38
		2	38
		Lavado	173

Fuente: Los autores (2012).

etanol, siendo mejor el tiempo de decantación de una semana (Tabla 5). Estos valores de puntos de ignición se ajustaron a lo establecido en la Norma ASTM D93 exigida para el control de calidad de un biodiesel ($\geq 100^{\circ}\text{C}$) (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007) y fueron semejantes a los reportados por Encinar y col. (2007), quienes obtuvieron un punto de ignición promedio de 206°C .

Tabla 5. Punto de ignición del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Punto de ignición (°C)
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	55
		2	41
		Lavado	185
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	48
		2	38
		Lavado	170
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	70
		2	40
		Lavado	188
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	43
		2	45
		Lavado	190

Fuente: Los autores (2012).

- Gravedad API

Los resultados obtenidos para la primera extracción estuvieron comprendidos entre 19,3 y 22,3°API para los tratamientos con etanol (30 y 40%) y con NaOH (0,6%), pero se obtuvo mayor eficiencia con tiempos de decantación de 1 semana, resultando mejor el tratamiento con 40% de etanol.

En la segunda extracción, la gravedad API varió entre 19,2 y 25,1°API, observándose un aumento en la mayoría de los casos con respecto a los reportados en la primera extracción. Resultaron más eficientes los tratamientos con 40% de etanol, específicamente el tratamiento realizado con un tiempo de decantación de una semana.

En la segunda extracción con lavado, la gravedad API osciló entre 21,2 y 24,2°API, resultando mejores los tratamientos con 40% de etanol, siendo más eficiente el tratamiento con tiempo de decantación de 24 horas. Los valores obtenidos son cercanos a los reportados en la investigación realizada por Arbeláez y Rivera (2007), quienes obtuvieron un valor de 29,2 °API (Tabla 6).

Tabla 6. Gravedad API del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Gravedad API
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	19,5
		2	21,2
		Lavado	22,1
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	20,6
		2	19,2
		Lavado	21,2
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	19,3
		2	23,5
		Lavado	24,2
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	22,3
		2	25,1
		Lavado	23,5

Fuente: Los autores (2012).

Propiedades como éster del biodiesel obtenido por transesterificación de *Ricinus communis*

- Índice de acidez

En la primera extracción, el índice de acidez osciló entre 0,89 y 1,30 mg de KOH/g al aplicar los tratamientos de 30% y 40% de etanol y el catalizador NaOH (0,6%). Se observó más eficiencia aplicando el tratamiento con 30% de etanol y tiempo de decantación de 24 horas.

En la segunda extracción, el índice de acidez se ubicó entre 0,94 y 2,24 mg de KOH/g. Los valores más bajos se obtuvieron para los tratamientos con 40% de etanol, siendo más eficiente el tratamiento con 40% de etanol y tiempo de decantación de 24 horas.

Con la segunda extracción, luego de aplicar el lavado con agua destilada a las muestras, se determinaron valores de índice de acidez entre 0,48 y 0,77 mg de KOH/g. Los valores mínimos se obtuvieron con 30% de etanol y 24 horas de reposo (Tabla 7). Los resultados tienen similitud con los reportados por Encinar y col. (2007) quienes refirieron valores de 0,46 mg de KOH/g y resultaron mejores que los indicados por Loaiza (2003) (1,8877 mg de KOH/g). En general, los resultados para este parámetro cumplieron con lo establecido en la norma ASTM D 1980 (Normas ASTM citadas por Benavides y col, 2007), la cual especifica un valor máximo de 0,5 mg de KOH/g.

Tabla 7. Índice de acidez del biodiesel obtenido por transesterificación de *R.communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Índice de acidez (mg de KOH/g)
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	0,89
		2	2,14
		Lavado	0,48
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	1,20
		2	2,24
		Lavado	0,56
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	1,30
		2	0,94
		Lavado	0,55
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem		1,05
		1	1,01
		2	0,77
		Lavado	

Fuente: Los autores (2012).

- Índice de saponificación

El índice de saponificación en la primera extracción produjo valores entre 131,4 y 154,15 mg de KOH/g; en la segunda extracción se ubicó entre 109,8 y 136,4 mg de KOH/g.

Después de aplicar el lavado a las muestras de la segunda extracción, se observó que el índice de saponificación aumentó (165,6-184,6 mg de KOH/g), ubicándose la mayoría de éstas dentro de la norma ASTM D 558 (Normas ASTM citadas por Benavides y col, 2007) (> 170 mg de KOH/g) para los tratamientos con 30% y 40 % de

etanol y tiempo de decantación de una semana (Tabla 8). Estos resultados fueron superiores a los reportados por Encinar y col. (2007) quienes obtuvieron valores de 156,9 mg de KOH/g.

Tabla 8. Índice de saponificación del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*

Muestra	Tiempo de Decantación	Extracción	Índice de saponificación (mg de KOH/g)
30% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	145,20
		2	126,25
		Lavado	165,60
30% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	154,15
		2	136,40
		Lavado	178,50
40% de etanol y 0,6% de NaOH	24 h	1	131,40
		2	109,80
		Lavado	168,00
40% de etanol y 0,6% de NaOH	1 Sem	1	140,30
		2	117,70
		Lavado	184,60

Fuente: Los autores (2012).

Conclusiones

Al evaluar las propiedades como combustible del biodiesel obtenido por transesterificación de *R. communis*, el más efectivo de los tratamientos aplicados fue el de 40% de etanol con un tiempo de decantación de una semana, ya que se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a viscosidad, densidad, gravedad API, punto de inflamación y punto de ignición, cumpliendo en la mayoría de los casos con las normas internacionales de especificación para el biodiesel, a excepción de la densidad y viscosidad que estuvieron cerca de los valores requeridos.

En cuanto a las propiedades como éster, el índice de acidez resultó mejor con el tratamiento de 30% de etanol y tiempo de decantación de 24 horas, mientras que para el índice de saponificación, el tratamiento que reflejó mejores valores fue el de 40% de etanol y tiempo de decantación de una semana.

En forma general se pudo apreciar que mientras mayor tiempo de reposo tuvo el biodiesel mejor fue su calidad.

En cuanto al catalizador, se pudo observar que un 0,6% de NaOH es suficiente para obtener un biodiesel que cumpla con algunas de las normas como ocurrió en este estudio, ya que al realizar la reacción de transesterificación con 1% de hidróxido

de sodio (NaOH), se formó jabón debido al exceso de catalizador, convirtiendo la mezcla en una pasta inservible.

En la obtención del biodiesel es indispensable la aplicación del lavado, ya que así se logra eliminar la mayoría de impurezas presentes como restos de catalizador, exceso de alcohol, diglicéridos y monoglicéridos presentes en la mezcla; lo cual se comprobó al observar que los mejores resultados se obtuvieron en las muestras a las cuales se le aplicó el lavado.

Agradecimiento

Al personal del Instituto de Investigaciones Petroleras de la Universidad del Zulia (INPELUZ).

Referencias bibliográficas

- Arbeláez A. y Rivera M. (2007). Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceites vegetales. Tesis de Grado para optar al Título de Ingenieras de Procesos, Departamento de Ingeniería de Procesos, Escuela de Ingeniería, Universidad EAFIT. Medellín.
- Benavides A., Benjumea P. y Pashova V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. **Dyna**. 74: 141-150.
- Castro P., Coello J., Castillo L. (2007). **Opciones para la producción de biodiesel en el Perú**. Lima: Soluciones Prácticas-ITDG. 173 pp.
- Conceição M., Candeia R., Silva F., Becerra A., Fernández J., Sousa A. (2007). Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 11: 964-975.
- Encinar J., González J., Rodríguez A. (2007). Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. **Fuel Processing Technology**. 88: 513-522.
- Falasca S. y Ulberich A. (2006). Delimitación del área de cultivo del tártago (*Ricinus communis*) como fuente de biodiesel. X Congreso Nacional de Cartografía. Argentina.
- Kalam M. y Masjuki H. (2002). Biodiesel from palmoil an analysis of its properties and potential. **Biomass and Bioenergy**. 23: 471-479.
- Loaiza F. (2003). Cinética de la reacción de transesterificación del aceite de higuera en la obtención de biodiesel. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 118 pp.
- Reglamento Técnico Centroamericano (2007) 75.02.43:07. Biocombustibles. Biodiesel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Adaptación de las especificaciones que aparecen en las normas ASTM D 6751-07 y EN 14214:2003. http://www.mific.gob.ni/LinkClick.aspx?fileticket=YQv_B-3OwRo%3D&tabid=437&language=en-US.