

Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas L.* en la provincia de Manabí, Ecuador

Physicochemical properties of oil and biodiesel produced from Jatropha curcas L. in the province of Manabí, Ecuador

MSc. Segundo Alcides García-Muentes^I; Dr. C. Francisco Lafargue-Pérez^{II};
Dr. C. Benigno Labrada-Vázquez^{II}; Dr. C. Manuel Díaz-Velázquez^{II};
Dra. C. Ana Estela Sánchez del Campo-Lafita^{II}

sagarcia@utm.edu.ec; lafargue@uo.edu.cu; benigno@uo.edu.cu; mano@uo.edu.cu;
any@uo.edu.cu

^I Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador,

^{II} Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Recibido: 24 de Abril de 2017

Aceptado: 4 de julio de 2017

Resumen

En este trabajo se determinan las propiedades fisicoquímicas del aceite y del biodiesel, de la semilla de *Jatropha curcas L.* oriunda de la provincia de Manabí, República del Ecuador. La reacción de transesterificación se realizó con relación molar metanol-aceite 6:1 y 1 % en peso de hidróxido de sodio (NaOH), como catalizador. La determinación de las propiedades del aceite y del biodiesel obtenido fue realizada según las normas ASTM. La evaluación fisicoquímica del aceite de *Jatropha curcas L.* incluye viscosidad cinemática a 40 °C, (30,85 mm²/s), densidad a 15 °C, (938 kg/m³), el índice de acidez, (2,73 mg KOH/g), temperatura de inflamación (160 °C) e índice de yodo, (99 g I₂/100 g) y permite concluir que el aceite es característico de cada región y posee buenas características fisicoquímicas para obtener biodiesel.

Palabras clave: aceite, biodiesel, transesterificación, *Jatropha curcas L.*

Abstract

In this work the physicochemical properties of oil and biodiesel are determined, from the seed of *Jatropha curcas L.* originating in the province of Manabí, Republic of Ecuador. The transesterification reaction was carried out with a molar ratio methanol-oil 6: 1 and 1 % by weight of sodium hydroxide (NaOH), as a catalyst. The determination of the properties of the oil and biodiesel obtained included ASTM standards. The physical-chemical evaluation performed of *Jatropha curcas L.* oil, including kinematic viscosity at 40 °C, (30,85 mm²/s), density at 15 °C, (938 kg/m³), acid number, (2,73 mg KOH/g), inflammation temperature (160 °C) and iodine number, (99 g I₂/100 g) concludes that the oil of each region has its own special characteristics. An oil with good physicochemical characteristics will have the potential to be a source of biodiesel. *Jatropha curcas L.* oil from the province of Manabí, Ecuador, has these characteristics.

Keywords: oil, biodiesel, transesterification, *Jatropha curcas L.*

Introducción

El Biodiesel, combustible derivado de aceites vegetales o grasas de animales, el cual se usa como sustituto del petróleo convencional en motores diesel, recibe mucha atención en la actualidad. Este interés se fundamenta en el número de propiedades del biodiesel, incluidas su biodegradabilidad, la no toxicidad y el hecho de producirse de fuentes renovables. Mientras que elevados valores de densidad y viscosidad de los aceites vegetales y las grasas de animales tienden a causar problemas cuando son usados directamente en motores diesel, si aceites y grasas son transesterificados usando alcoholes de cadenas cortas, el biodiesel resultante tiene valores de viscosidad que están cercanos a los del combustible diesel de base petróleo. El conocimiento de sus propiedades físicas así como su comportamiento es de gran interés práctico para la ingeniería de procesos [1, 2].

La idea de usar aceites vegetales como combustible data de fecha tan lejana como 1853, donde E. y J. Patrick Duffy's tuvieron la idea de someter a los aceites vegetales a un proceso de transesterificación, que permitió a los científicos obtener una sustancia muy semejante a la que hoy se conoce como biodiesel. Posteriormente, se realizaron ensayos con diferentes aceites vegetales crudos, pero perdió interés debido al fuerte desarrollo de la petroquímica [3].

Sin embargo, debido a la alta contaminación ambiental de los gases que se generan de la combustión del diesel y considerando la explotación acelerada de este recurso y su posible extinción, desde algún tiempo en el mundo, se ha comenzado a sustituirlo parcialmente por el biodiesel. Para ello se mezclan en diferentes concentraciones, que oscilan entre 5 a 20 partes del biodiesel y 95 a 80 partes de diesel [4, 5] Muchos han sido los aceites vegetales estudiados y convertidos en biodiesel, sin embargo el aceite vegetal de *Jatropha curcas L.* tiene una singular importancia, debido a que es un aceite no comestible.

En un contexto de creciente interés por las fuentes de energía renovable, la producción de bioenergía líquida a partir de aceites vegetales se propone como una de las posibles opciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, la producción de biodiesel de *Jatropha curcas L.* se ha convertido en un negocio en auge. El aceite producido por este cultivo puede convertirse fácilmente en biocombustible líquido que cumple con los estándares americanos y europeos [6].

En la provincia de Manabí, República del Ecuador, la planta *Jatropha curcas L.* se conoce en esa zona como piñón y se cultiva en terrenos marginales, pocos utilizados en la agricultura. Se desarrolla en un clima cálido, húmedo y con pocas precipitaciones, con una temperatura ambiente entre 20 °C y 30 °C, lo que favorece su reproducción, siendo su función principal delimitar las fincas y los potreros.

Este trabajo tiene como objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite y del biodiesel producido de la *Jatropha curcas L.* en la provincia de Manabí, Ecuador.

Actualmente la mayor parte de la energía consumida en el mundo proviene de recursos no renovables como el gas natural, petróleo y carbón [7]. Los problemas ambientales asociados al consumo de los combustibles fósiles, especialmente en el sector transporte han incrementado el interés general hacia el desarrollo de fuentes de energía limpias y renovables [8]. Los biocombustibles como el etanol y el biodiesel se consideran como una alternativa viable para sustituir el consumo del diesel en el futuro cercano [9].

Las energías renovables cuyo aprovechamiento en la actualidad se considera necesario promover mundialmente son: hidráulica, solar, eólica y energía de biomasa. En esta última categoría se encuentra al biodiesel, el cual se obtiene mediante una reacción química (catalizada o no) entre un aceite vegetal o una grasa animal y un alcohol de cadena corta [10].

El biodiesel según las especificaciones de la norma ASTM (American Society for Testing and Material Standard), son ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos naturales, tales como aceites vegetales o grasas de animales que se emplean en motores de ignición por compresión, entre otras aplicaciones [3].

La transesterificación, es la reacción entre un aceite vegetal o grasa animal y un alcohol en un medio catalizado, para producir ésteres alquílicos y glicerina. La figura 1 muestra la reacción que transforma las moléculas de triglicéridos grandes y ramificados, en moléculas de ésteres alquílicos, lineales de menor tamaño y muy similares a las del petrodiesel [11, 12].

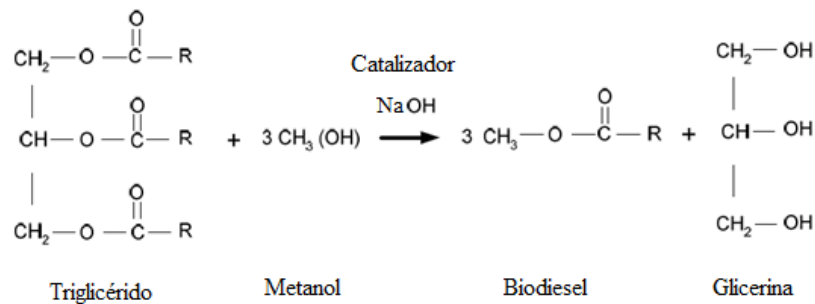


Fig. 1. Reacción de transesterificación entre un triglicérido y el metanol

Los alcoholes empleados en la reacción de transesterificación deben ser de bajo peso molecular, entre estos el más utilizado es el metanol, seguido por el etanol. Para que esta reacción sea completa, generalmente se necesita una temperatura promedio de 60 °C, un catalizador básico como el hidróxido de sodio y un tiempo de reacción cercano a los 90 min [13]. Finalmente, el triglicérido se convertirá en biodiesel, reteniendo moléculas de oxígeno en su constitución, lo que le otorgará interesantes propiedades en el proceso de combustión.

En [14] se plantea que en la literatura, los datos sobre la cinética de transesterificación de aceite de *Jatropha curcas* L. son variados. En adición, la composición de los ácidos grasos cambia de variedad en variedad y depende de la localización geográfica, altitud y otros factores ambientales [15]. Varios investigadores reportan diferentes mecanismos y cinéticas de transesterificación [16, 17]. Muchas de estas cinéticas son de primer orden, muchas son de pseudo primer orden y otras son de segundo orden para la misma reacción de aceites vegetales. Estos variados mecanismos y cinéticas no hacen claros los métodos de diseño a seguir y por esto, reactores de conversión son modelados en muchos casos para realizar estos estudios [14].

El aumento de la producción y consumo de biodiesel generó la necesidad de estudiar de manera más detallada y completa sus propiedades físicas, ya que estas son importantes para la base de cálculos de ingeniería [18].

La viscosidad cinemática se define como la resistencia del líquido a fluir y es la más importante característica del combustible. Ella afecta la operación de inyección del combustible, formación de mezclas y procesos de combustión. La alta viscosidad interfiere con el proceso de inyección e induce a una insuficiente atomización del combustible [2].

La estructura presente en la composición de los ácidos grasos tales como cadenas largas, grados de insaturación, orientación del doble enlaces y tipo de grupo funcional del éster pueden influenciar la viscosidad cinemática del biodiesel. La viscosidad se incrementa con el aumento en la longitud de la cadena y decrece con el número de dobles enlaces (nivel de insaturación en la cadena). En el biodiesel, acorde con los estándares ASTM D6751 y EN14214, la viscosidad podría estar entre 1,9-6,0 mm²/s y 3,5-5,0 mm²/s respectivamente [2].

Se sabe que esta propiedad es altamente influenciada por la composición en biodiesel y por la temperatura. Por esta razón, la viscosidad cinemática (ν) es utilizada como patrón regulador para biodiesel y está relacionada con la viscosidad dinámica (η) a través de la densidad (ρ), de acuerdo con la ecuación 1 [19, 20, 21, 2]:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \dots \dots \dots (1)$$

La densidad es otra importante propiedad del biodiesel. Ella también influye en la eficiencia de la atomización del combustible por mala ventilación del sistema de combustión. Ella tiene muchos efectos sobre la desintegración del combustible inyectado dentro del cilindro. En adición, más combustible es inyectado si se incrementa la densidad del combustible. Todos los combustibles biodiesel independiente de producirse de aceites vegetales o grasas son densos y menos compresibles que el combustible diesel. Según los estándares ASTM D6751 y EN14214, la densidad puede ser entre 860 kg/m³-900 kg/m³ para biodiesel estándar [2].

El punto de inflamación (flash point) es la temperatura a la cual el combustible iniciará a quemarse cuando se pone en contacto con fuego. Este es un parámetro importante desde el punto de vista de seguridad tal como seguridad para el transporte, manipulación, almacenamiento y seguridad en general de cualquier combustible. Según las normas ASTM D6751 y EN14214, el biodiesel tiene un punto de inflamación no menor que 120 °C. Este es mayor que el del diesel de petróleo el cual tiene un punto de inflamación de 71 °C. El mayor punto de inflamación del primero es probablemente porque el biodiesel de *Jatropha curcas L.* tiene menos impurezas volátiles lo cual es un importante rasgo de combustible para puesta en marcha y el calentamiento de motores. Sin embargo, un combustible con alto punto de inflamación podría causar depósitos de carbón en la cámara de combustión [2].

El Índice de acidez o número de neutralización se expresa como la cantidad de KOH en mg requeridos para neutralizar 1 g de ácidos grasos de metil éteres. Este refleja la presencia de ácidos grasos libres o ácidos usados en la confección de biodiesel y también la degradación del biodiesel debido a efectos térmicos [19]. Los ácidos libres son ácidos monocarboxílicos saturados o no saturados que están naturalmente en grasas, aceites o cebos pero no están ligados a la cadena del glicerol. Mayor cantidad de ácidos libres encamina a mayor índice de acidez y este puede proveer una indicación del nivel de degradación del lubricante mientras el combustible está en servicio [21]. El índice de acidez se expresa como mg KOH requeridos para neutralizar 1 g de biodiesel. Alto índice de acidez puede causar severa corrosión en los sistemas que alimentan combustible en un motor. El límite especificado por normas ASTM D6751 y EN14214 para el índice de acidez en biodiesel es por debajo de 0,5 mg KOH/g biodiesel.

El índice de Iodo es influenciado grandemente por la oxidación del combustible y depósitos formados en inyectores de motores diésel. [19, 20, 21]. Un elevado valor podría implicar pobre estabilidad. Sin embargo, el índice de Iodo es un factor influenciado por el incremento o decremento de emisiones de NOx. Se reporta que disminuciones de la longitud de la cadena o incremento del número de dobles enlaces puede encaminar a mayor índice de Iodo.[22] Además, el límite máximo del índice de Iodo es 120 g I₂/100 g en las normas de biodiesel [22, 8, 21]

Materiales y métodos

El aceite vegetal crudo estudiado fue el obtenido de *Jatropha curcas L.*, oriundo de la provincia de Manabí, de la República del Ecuador. Este aceite se extrae mecánicamente por medio de una prensa tipo tornillo sin fin, clarificado mediante el filtrado o decantación, luego se seca en una estufa por un tiempo de 2 h a la temperatura de 120 °C.

Las propiedades fisicoquímicas determinadas al aceite vegetal crudo de *Jatropha curcas L.* fueron la viscosidad cinemática a 40 °C, la densidad a 15 °C, el índice de acidez, la temperatura de inflamación y el índice de yodo. Las normas para la determinación de estas propiedades, se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1. NORMAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL
ACEITE VEGETAL CRUDO**

No	Propiedades	Unidades	Normas	Exactitud
1	Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445-09	±0,01
2	Densidad a 15 °C	kg/m ³	ASTM D 1298-99	±0,1
3	Índice de acidez	mg KOH/g	ASTM D 664	±0,000 1
4	Temperatura de inflamación	°C	ASTM D93	±0,1
5	Índice de Yodo	mg I ₂ /g	EN 41111	±0,1

Otro parámetro determinado en el aceite natural estudiado fue el tipo y porcentaje de los ácidos grasos presentes, para lo cual se empleó un cromatógrafo de gases con sistema de detección FID-MS, marca Thermo Scientific. Las condiciones del análisis fueron: temperatura del inyector: 250 °C, temperatura del detector FID: 250 °C, rampa de la columna: 150-200 °C, flujo columna: 1 mL/min, tamaño de columna: 100 m, split ratio: 100:1.

Por su parte, la reacción de transesterificación para la obtención del biodiesel, se realizó en un balón de tres bocas de 250 mL, en el cual se colocó un condensador para el reflujo y de esta forma reducir las pérdidas del metanol por evaporación, un termómetro para el control de la temperatura y un tapón por donde se adiciona la mezcla de metanol e hidróxido de sodio. Para que se efectúe la reacción, se calentó y se agita el producto en una plancha eléctrica de calentamiento con agitador magnético marca IKA®C-MAGHP 7.

La muestra de aceite crudo obtenido de las semillas es de 150 g. La relación molar metanol - aceite fue igual a 6:1 y el catalizador empleado es el hidróxido de sodio (NaOH) al 1 % en peso. Inicialmente se calienta de aceite en el reactor a una temperatura de 60 °C, luego se agrega la mezcla de metanol e hidróxido de sodio y se agita a una velocidad de rotación de 500 rpm, manteniendo la reacción por un tiempo de 90 min. Luego se extrae la mezcla del reactor y se deja reposando en un embudo separador por un tiempo de 24 h, para separar las fases; una rica en biodiesel y la otra rica en glicerina. Posteriormente la muestra rica en biodiesel se lava con una disolución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 2 % (v/v) en agua destilada y luego se continúa lavando con agua destilada, hasta que el agua en la salida del embudo separador sea transparente. A continuación, se seca la muestra con sulfato de sodio anhidro (Na₂SO₄) y se procede a decantar los restos de sulfato de sodio y por último se continúa con el

secado, esta vez en una estufa modelo DHG-9146A a la temperatura de 105 °C por un tiempo de dos horas y se obtiene el biodiesel de *Jatropha curcas L.*. El pesado de las muestras se realiza en una balanza técnica marca Sartorius modelo B2202S. Las Normas para la determinación de las propiedades y la calidad del biodiesel se presentan en la tabla 2.

TABLA 2. NORMAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES Y LA CALIDAD DEL BODIESEL

No	Propiedades	Unidades	Método estándar	Precisión	Norma ASTM 6751[23]
1	Viscosidad Cinemática a 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	±0.01	1,9-6,0
2	Densidad a 15 °C	kg/m ³	ASTM D127	±0,1	870-890
3	Índice de cetano	Cetanos	ASTM D 6890	±0,1	mín 47
4	Índice de acidez	mg KOH/g	ASTM D 664 y EN 14111	±0,001	máx 0,8
5	Contenido de Fósforo	mg/kg	ASTM D 4951		máx 10
6	Punto de inflamación	°C	ASTM D 93	±0,1	mín 130
7	Punto de nube	°C	ASTM D 2500	±0,1	(-3)-(12)
8	Contenido de metanol	% masa	EN 14110	±0,008	máx 0,2
9	Glicerina libre	% masa	ASTM D 6584		máx 0,02

Resultados y discusión

Las propiedades del aceite de *Jatropha curcas L.* y reportadas se presentan en la tabla 3.

TABLA 3. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DEL ACEITE DE *Jatropha curcas L.*

Viscosidad Cinemática (mm ² /s)	Densidad (kg/m ³)	Temperatura inflamación (°C)	Acidez (mg KOH/g)	Índice de Iodo (g I ₂ /100 g)	Referencia
30.85	938,00	160,0	2,73	99,0	Resultados*
28.30	915,00	190,5	12,70	80,8	[2]
34.84	918,60	-	-	-	[8]
35.40	-	459,0	-	101,0	[9]
49.93	918,60	240,0	-	-	[24]
51.00	932,00	242,0	-	-	[24]
40.06	916,00	235,0	3,71	101,7	[25]
36.90	917,70	99,0	-	-	[11]
52.76	932,92	210,0	-	94,0	[18]

*Resultados experimentales

La magnitud de la viscosidad de este aceite (30,85 mm²/s) lo clasifica con grado de viscosidad ISO VG 32, cuyo valor puede oscilar entre (28-35 mm²/s), además esta magnitud se encuentra dentro del rango reportado por otros investigadores [12] para la misma fuente de materia prima como se observa en la figura 2. También es importante señalar que al comparar el aceite objeto de estudio, procedente del Ecuador, con otro de la misma fuente de materia prima pero oriundo de la provincia Guantánamo, Cuba (33,89 mm²/s) es inferior lo que facilita obtener un biodiesel de mejor calidad [26].

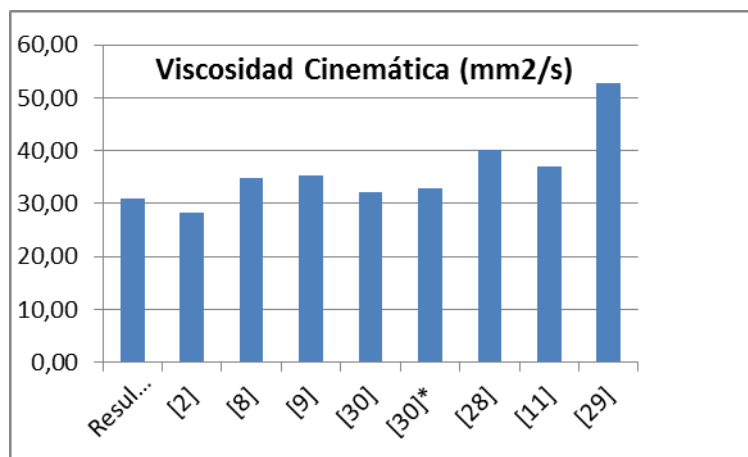


Fig. 2. Comparación de la viscosidad cinemática del aceite estudiado con reportadas por otras fuentes de información

La densidad medida (938 kg/m³) resultó ser característica de los aceites vegetales, cuya magnitud para el aceite de *Jatropha curcas* L. puede llegar hasta 940 Kg/m³. En la literatura se reporta que esta propiedad varía muy poco. Se compararon aceites de nueve zonas geográficas diferentes y se tomaron 24 muestras en total [27]. La figura 3 muestra el similar comportamiento, con relación a la densidad reportada por otros investigadores.

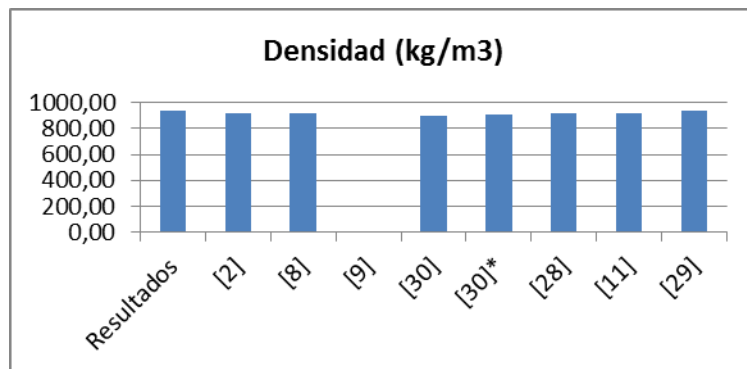


Fig. 3. Comparación de la densidad del aceite estudiado con las de otras fuentes de información

El índice de acidez del aceite (2,73 mg KOH/g) corresponde a un porcentaje de acidez igual a 1,37 %, se considera una magnitud adecuada para realizar la reacción de transesterificación sin tratamiento previo, pues es menor del 3 % [28] y coincide con lo reportado por otros autores, según se muestra en la figura 4. El aceite de Borneo tiene el mayor contenido (4,6 (mg NaOH/g), mientras que el de África del Sur el menor valor (0,9 (mg NaOH/g) [27].

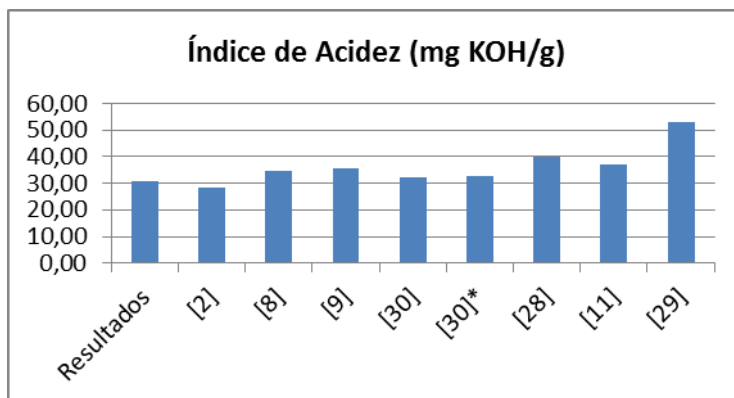


Fig. 4. Comparación del índice de acidez del aceite estudiado con las de otras fuentes de información

El índice de yodo, según se muestra en la figura 5, al comparar su valor (99,0 g I₂/100 g) con los reportados por la literatura consultada, su comportamiento es semejante. El aceite de la semilla de *Jatropha curcas L.* con origen en Filipina tiene el mayor valor del índice de Iodo (187,3 mg/g) y que tiene el menor valor es el de Borneo (83,5 mg/g) [27].

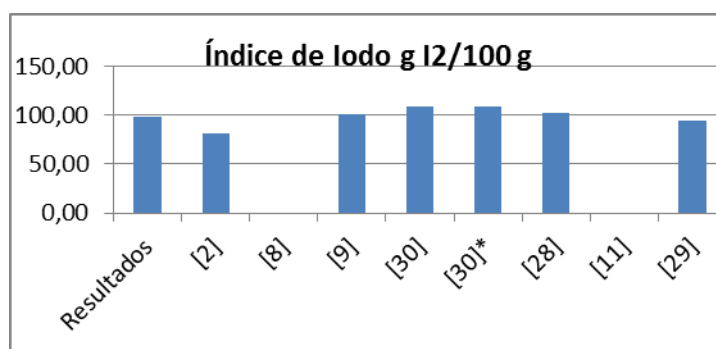


Fig. 5. Comparación del índice de Iodo del aceite estudiado con los de otras fuentes de información

El resultado de los tipos y porcentaje de los ácidos grasos presentes en el aceite de *Jatropha curcas L.* y lo reportado por otros investigadores se muestran en la tabla 4.

En el aceite investigado predominan los ácidos grasos: linoleico, oleico y palmítico con un porcentaje de 42,92; 35,69 y 13,4 respectivamente, concordando con los reportados por otros investigadores, como se muestra en la tabla 4.

TABLA 4. COMPARACIÓN DE TIPOS Y PORCIENTO DE ÁCIDOS GRASOS EN EL ACEITE DE *Jatropha curcas L.*

C14:0 (1)	C16:0 (2)	C16:1 (3)	C18:0 (4)	C18:1 (5)	C18:2 (6)	C18:3 (7)	C20:0 (8)	C22:0 (9)	Refer. (10)
.06	13,4	0,71	5,96	35,69	42,92	0,1	0,2	0,54	Result.
0.1	13,0	0,7	5,8	44,5	35,4	0,3	0,2	-	[8]
-	11,3	-	17	12,8	47,3	-	4,7	0,6	[29]
1.4	15,6	-	-	40,8	32,1	-	0,4	-	[30, 31]
0-0.1	14,1- 15,3	0-1,3	3,7-9,8	34,3- 45,8			0-0,3	0-0,2	[32]
0.1	13,6	0,8	7,4	34,3	43,2	0,2	0,3	-	[33]
0.1	14,2- 15,1	0,7-0,9	7,1	44,7	31,4-32,8	0,2	0,2	-	[21]
-	13,38	0,88	5,44	45,79	32,27	-	-	-	[34]
0.17	14,82	0,81	4,15	40,98	38,61	0,27	0,06	-	[35]
0.91	3,45	2,72	8,79	42,28	37,62	0,56	-	-	[36]

(1) Mirístico; (2) Palmítico; (3) Palmitoleico; (4) Estearico; (5) Oleico; (6) Linoleico; (7) Linolénico; (8) Araquídico; (9) Behénico; (10) Referencia

Las propiedades del biodiesel obtenido a través de la reacción de transesterificación del aceite vegetal de *Jatropha curcas L.*; así como el reporte de estas propiedades según otros investigadores se señalan en la tabla 5.

Se observa que, con la excepción de las propiedades; Contenido de metanol y Glicerina libre, que presentan valores ligeramente inferiores, aspecto que es favorable para ambas propiedades que representan contenidos de sustancias a eliminar en el proceso de purificación del biodiesel, todas las propiedades fisicoquímicas determinadas están dentro del rango que exige la norma de calidad del biodiesel ASTM 6751-02 y coinciden con lo reportado por otros investigadores.

Es de destacar que la viscosidad cinemática (3,55 mm²/s) está muy cercano al límite inferior de la norma de calidad EN14214 (3,50 mm²/s) y menor que el valor medio del rango reportado por la norma de calidad ASTM 6751-02 (1,9-6,0 mm²/s) y por otros investigadores, lo que es importante, ya que todo aumento de esta magnitud favorece el surgimiento de dificultades en la circulación del combustible a lo largo de los conductos del sistema de alimentación en un motor diesel, provocando mayor consumo de combustible y una combustión incompleta, con el consiguiente aumento de emisiones de humos en el escape [27].

**TABLA 5. PROPIEDADES DEL BIODIESEL OBTENIDO Y TEST
PARA SU MEDIDA ASTM 6751**

No	Propiedad	Resultados	Límite	Test	Reporte [6, 2]	Técnica
1	Densidad a 15 °C	875 kg/m ³	870-890	ASTM D127	620-886	Picnometría
2	Viscosidad a 40 °C	3,55 mm ² /s	1,9-6,0	ASTM 445	2,35-6,7	Viscosimetría
3	Punto de inflamación	160 °C	mín 130	EN ISO 3679	126-192	Equipo normalizado
4	Índice de cetano	57	mín 47	ASTM D6890	50,0-63,27	Equipo normalizado
5	Índice de acidez	0,40 mg KOH/g	máx 0,8	ASTM D664 y EN 14111	0,04-0,50	Valoración ácido-base
6	Contenido de Fósforo	4,70 mg/kg	máx 10	ASTM D 4951	-	ICP-OES
7	Punto de inflamación	160 °C	mín 130	ASTM D 93	126-192	Equipo normalizado
8	Punto de nube	5 °C	(-3)-(-12)	ASTM D 2500	1-10	Equipo normalizado
9	Contenido de metanol	0,01 % (m/m)	máx 0,2	EN 14110	0,02-0,09	Cromatografía Gaseosa
10	Glicerina libre	0,009 % (m/m)	máx 0,02	ASTM D 6584	0,015-0,030	Cromatografía Gaseosa

El índice o número de cetano es uno de los indicadores más comúnmente citados para calificar la calidad del combustible diesel, especialmente en la ignición. Mide la disponibilidad del combustible para la autoignición cuando se inyecta dentro de motor. El índice de cetano del biodiesel es considerablemente influenciado por su composición en ésteres metílicos de ácidos grasos. El mayor valor (56,0) fue obtenido para la muestra de aceite de Borneo seguido por la de Cabo Verde (51,9) y el de más pequeño valor (25,4) fue para la muestra proveniente del aceite de Indonesia [27].

La magnitud del índice de cetano (57) obtenida en este trabajo, se puede considerar como elevada, lo que estará asociado con gran combustibilidad, buena ignición, y ayuda para facilitar el arranque del motor, baja temperatura de arranque, baja presión de ignición, y operación con bajas característica de detonación [27].

El valor del índice de acidez (0,4 mg KOH/g) es un indicador de la calidad de la reacción de transesterificación, ya que cuanto menor sea la acidez del biodiesel, más eficaz habrá sido la reacción de transesterificación. Si la magnitud de este parámetro fuera elevada, podría ocasionar ataque químico a los elementos metálicos del motor, provocando corrosión, oxidación, decapado y ataque a los inyectores, de ahí que el

resultado obtenido es muy favorable indicando una transesterificación exitosa, eliminando gran parte de los ácidos grasos libres [14, 37].

El contenido de fósforo de 4,7 mg/Kg en el biodiesel, garantiza la calidad de este por ser un valor inferior a 10 mg/Kg, lo que resulta sumamente importante para que no exista obstrucción y oxidación del filtro de combustible y de la cámara de combustión respectivamente.

La temperatura o punto de inflamación del biodiesel obtenido (160 °C), supera la temperatura de inflamación mínima, según la norma ASTM, esto es un aspecto beneficioso, pues indica que en el mismo no hay restos de metanol empleado en la transesterificación y por tanto existirá una baja tendencia a evaporarse fácilmente; además su manejo, transporte y almacenamiento serán más seguros [38].

Conclusiones

*Sobre la base de la evaluación realizada al aceite natural de *Jatropha curcas* L. se concluye que tiene buenas características fisicoquímicas. El biodiesel obtenido a partir de él también posee propiedades fisicoquímicas que corresponden con las normas y los estándares internacionales, constituyendo un gran potencial como biocombustible de calidad, para emplearse en el transporte y en la industria.*

Referencias bibliográficas

1. SALES CRUZ, M. *et al.* "Predicting critical properties, density and viscosity of fatty acids, triacylglycerols and methyl esters by group contribution methods", *20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering-(ESCAPE20)*, 2010.
2. SILITONGA, A. *et al.* "A global comparative review of biodiesel production from *Jatropha curcas* using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, **24**, 514-533. ISSN:1364-0321.
3. SALGUEIRO, J. L.; PÉREZ, L.; CANCELA, Á. *Simulación y diseño de una planta versátil para la obtención de biodiesel*. España: Meubook, S.L, Meubook, S.L, 2014, ISBN: 978-84-943003-1-8.
4. ECKERLE, W. A. *et al.* "Effects of Methyl Ester Biodiesel Blends on NOx Emissions". *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 2008, **1** (1), 102-118. DOI:10.4271/2008-01-0078.

5. KOH, M. Y.; GHAZI, T. I. M. "A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, **15**, 2240–2251. ISSN:1364-0321, DOI:10.1016/j.rser.2011.02.013.
6. ACHTEN, W. *et al.* "*Jatropha* bio-diesel production and use". *Biomass and bioenergy*. 2008, **32** (12), 1063-1084. ISSN:0961-9534, DOI:10.1016/j.biombioe.2008.03.003.
7. FLORIDO, P. *et al.* "PROPRIEDADES FÍSICAS DE BIODIESEL DE PINHÃO MANSO: AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PREDITIVOS PARA CÁLCULOS DE VISCOSIDADE E DENSIDADE". *Blucher Chemical Engineering Proceedings*. 2015, **1** (2), 15331-15338. ISSN:2359-1757.
8. SILITONGA, A. *et al.* "A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, **15** (8), 3733-3756. ISSN:1364-0321.
9. BALAT, M. "Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work". *Energy Conversion and Management*. 2011, **52** (2), 1479-1492. ISSN:0196-8904.
10. ACA-ACA, M. *et al.* "Estimación de propiedades termodinámicas de los compuestos involucrados en la producción de biodiesel". *Superficies y vacío*. 2009, **22** (3), 15-19. ISSN:1665-3521.
11. FORSON, F.; ODURO, E.; HAMMOND DONKOH, E. "Performance of *jatropha* oil blends in a diesel engine". *RENEWABLE ENERGY*. 2004, **29** (7), 1135-1145. ISSN:0960-1481.
12. TURINAYO, Y. K. *et al.* "Physicochemical Characterization of *Jatropha curcas* Linn Oil for Biodiesel Production in Nebbi and Mokono Districts in Uganda". *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2015, **5**, 104-113. DOI:10.4236/jsbs.2015.53010.
13. BOONMEE, K. *et al.* "Optimization of Biodiesel Production from *Jatropha* Oil (*Jatropha curcas* L.) using Response Surface Methodology". *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 2010, **44**, 290-299. ISSN:2452-316X.
14. OKULLO, A.; NOAH, T. "Process Simulation of Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Seed Oil". *American Journal of Chemical Engineering*. 2017, **5** (4), 56-63. ISSN:2330-8613. DOI:10.11648/j.ajche.20170504.12.

15. OLABODE, Y. R. *et al.* "Modelling and Optimization of Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU) Using Hysys". *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development*. 2012, **3** (2). ISSN:2249-6149.
16. CARRILLO, L. *Energía de biomasa*. 1^{ra} Edición. SS Jujuy, 2004. ISBN 987-43-8679-7.
17. KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. *The Biodiesel Handbook*. United States of America: AOCS Press, Champaign, Illinois, 2005. ISBN: 61604-3250.
18. PRAMANIK, K. "Properties and use of Jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renew Energy*". *RENEWABLE ENERGY*. 2003, **28** (2), 239-248. ISSN:0960-1481.
19. KAYA, C. *et al.* "Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production". *Renewable Energy* 2009. 2009, **34** (5), 1257–1260. ISSN:0960-1481.
20. SALOUA, F.; SABER, C.; HEDI, Z. "Methyl ester of (*Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider) seed oil: biodiesel production and characterization". *Bioresource Technology*. 2010, **101** (9), 3091–3096. ISSN:0960-8524.
21. ATABANI, A. E. *et al.* "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, **16** (4), 2070-2093. ISSN:1364-0321.
22. ONG, H. *et al.* "Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, **15** (8), 3501-3515. ISSN:1364-0321.
23. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) STANDARD D6751 "Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. ASTM, West Conshohocken, PA."
24. JAIN, S.; SHARMA, M. "Prospects of biodiesel from *Jatropha* in India: a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, **14** (2), 763-771. ISSN:1364-0321.
25. DIVAKARA, B. *et al.* "Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review". *Applied Energy*. 2010, **87** (3), 732-742. ISSN:0306-2619.

26. LAFARGUE PEREZ, F. *et al.* "Caracterización físico-química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L". *Tecnología Química*. 2016, **32** (2), 162-165. ISSN:2224-6185.
27. ISLAM, A. A. *et al.* "Physiochemical properties of *Jatropha curcas* seed oil from different origins and candidate plus plants (CPPs)". *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2012, **89** (2), 293-300. ISSN:0003-021X.
28. ATABANI, A. E. *et al.* "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, **16** (4), 2070-2093.
29. RASHID, U. *et al.* "*Jatropha curcas* seed oil as a viable source for biodiesel". *Pakistan Journal of Botany*. 2010, **42** (1), 575-582. ISSN:1991-8632.
30. AZAM, M. M.; WARIS, A.; NAHAR, N. "Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India". *Biomass and bioenergy*. 2005, **29** (4), 293-302. ISSN:0961-9534.
31. KUMAR, A.; SHARMA, S. "Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: an Indian perspective". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, **15** (4), 1791-1800. ISSN:1364-0321.
32. JUAN, J. C. *et al.* "Biodiesel production from *Jatropha* oil by catalytic and non-catalytic approaches: an overview". *Bioresource Technology*. 2011, **102** (2), 452-460. ISSN:0960-8524.
33. FOIDL, N. *et al.* "*Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua". *Bioresource Technology*. 1996, **58** (1), 77-82. ISSN:0960-8524.
34. CHHETRI, A. B. *et al.* "Non-edible plant oils as new sources for biodiesel production". *International Journal of Molecular Sciences*. 2008, **9** (2), 169-180. ISSN:1422-0067.
35. WINAYANUWATTIKUN, P. *et al.* "Potential plant oil feedstock for lipase-catalyzed biodiesel production in Thailand". *Biomass and bioenergy*. 2008, **32** (12), 1279-1286. ISSN:0961-9534.
36. BUDIMAN, A.; KUSUMANINGTYAS, R. D.; PURWONO, S. "Second generation of biodiesel production from Indonesian *Jatropha* oil by continuous reactive distillation process". *Asean Journal of Chemical Engineering*. 2010, **2**, 35-48. ISSN:1655-4418.

37. BOBADE, S.; KUMBHAR, R.; KHYADE, V. "Preparation of methyl ester (Biodiesel) from *Jatropha curcas* Linn oil". *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. 2013, **1** (2), 12-19. ISSN: 2320-6063.

38. BRUNETTA, R. *et al.* "Reducing the cost, environmental impact and energy consumption of biofuel processes through heat integration". *Chemical Engineering Research and Design*. 2015, **93**, 203–212. ISSN:0263-8762.