



Jatropha curcas
© ROLANDO PÉREZ

Tomado de: <http://biogeodb.stri.si.edu/bioinformatics/dfm/metas/view/29460>

Jatropha sotoi-nunyezii y *Jatropha curcas*, especies de Tamaulipas: una comparación desde la perspectiva de los biocombustibles

Jatropha sotoi-nunyezii and *Jatropha curcas*, species from Tamaulipas: a comparison from a biofuels perspective

Patricia Guevara-Feferl^{1*}

Nohemí Niño-García²

Yanely Araceli De-Jesús-Romero¹

Gerardo Sánchez-Ramos²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, D.F., México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo núm. 356, col. Libertad, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87019.

*Autor para correspondencia:
patriciaguevara@ciencias.unam.mx

Fecha de recepción:
14 de octubre de 2015

Fecha de aceptación:
3 de junio de 2016

RESUMEN

Las especies del género *Jatropha* se consideran una alternativa viable para la producción comercial de biodiésel, particularmente *J. curcas*. Recientemente se describió la especie *J. sotoi-nunyezii*, con distribución en el estado de Tamaulipas, pero se desconoce si es factible aprovecharla industrialmente. El objetivo del presente trabajo fue obtener y caracterizar la calidad y rendimiento del biodiésel obtenido a partir de *J. sotoi-nunyezii*, comparándolo con las variedades comerciales de *J. curcas* tóxica y no tóxica. El aceite de semillas de *J. curcas* tóxica, *J. curcas* no tóxica y *J. sotoi-nunyezii* fue transesterificado para producir biodiésel, y se determinó su composición

química (ésteres metílicos de ácidos grasos) por CG-EM. Las semillas de *J. sotoi-nunyezii* tuvieron mayor contenido de aceite con respecto a las de *J. curcas* tóxica y no tóxica (43.5 %, 32.5 % y 33.3 % respectivamente). La eficiencia de conversión a biodiésel fue mayor en *J. sotoi-nunyezii* con un 87.2 %. La composición química del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* con respecto al de *J. curcas* (tóxica y no tóxica) mostró mayor concentración de ésteres metílico insaturados, particularmente linoleato de metilo. Esta característica influyó en los valores calculados de los parámetros de calidad, índice de yodo y número de cetano que comparado con normas de calidad como la EN 14214, indican que

el biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* es más susceptible a la oxidación con respecto al biodiésel de *J. curcas* (tóxica y no tóxica). Por otro lado, el valor calculado de la entalpía de combustión del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas* (tóxica y no tóxica) es similar al del diésel, por lo que ambos valores indican que son biocombustibles con alto contenido energético. Esta comparación permitió considerar a *J. sotoi-nunyezii* como posible especie promisoría para la producción de biocombustibles de segunda generación.

PALABRAS CLAVE: *Jatropha sotoi-nunyezii*, ésteres metílicos de ácidos grasos, biocombustible, Tamaulipas.

ABSTRACT

Species of the genus *Jatropha* are considered a viable alternative for commercial production of biodiesel, particularly *J. curcas*. Recently *J. sotoi-nunyezii* species was described, with distribution in Tamaulipas state, but the feasibility for its industrial use remains unknown. The objective of this work was to characterize the quality and yield of the biodiesel obtained from *J. sotoi-nunyezii* as compared with the toxic and non-toxic commercial varieties of *J. curcas*. The oil from both toxic and non-toxic *J. curcas* as well as *J. sotoi-nunyezii* seeds was transesterified to produce biodiesel and its chemical composition (fatty acid methyl esters) by GC-MS was determined. The seeds from *J. sotoi-nunyezii* had a higher oil yield than those from the toxic and non-toxic *J. curcas* varieties (43.5 %, 32.5 % and 33.3 % respectively). The biodiesel conversion efficiency was higher in *J. sotoi-nunyezii* with 87.2 %. The biodiesel obtained from *J. sotoi-nunyezii* showed a higher amount of unsaturated methyl esters, particularly methyl linoleate. This feature influenced the calculated values of iodine value and cetane number that compared with quality standards such as EN 14214, indicate that the *J. sotoi-nunyezii* biodiesel is more susceptible to oxidation with respect to that of toxic and non-toxic *J. curcas*. On the other hand, the calculated heating value of biodiesel from *J. sotoi-nunyezii* and toxic and non-toxic *J. curcas* is similar to that of diesel.

Therefore, both values indicate that they are high-energy biofuels. This comparison allowed considering *J. sotoi-nunyezii* as a possible promising species for the production of second-generation biofuels.

KEYWORDS: *Jatropha sotoi-nunyezii*, fatty acids methyl esters, biofuel, Tamaulipas.

INTRODUCCIÓN

El sector energético mundial atraviesa una crisis derivada del uso indiscriminado de combustibles fósiles. Ante tal panorama, en los años setenta, en Estados Unidos y Brasil se propuso el uso de biocombustibles (Reijnders y Huijbregts, 2009). Entre sus ventajas están el aprovechamiento de fuentes renovables de energía con mejor distribución geográfica que los combustibles fósiles y la reducción de las emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂). Los biocombustibles pueden clasificarse en tres generaciones de acuerdo con el origen de su materia prima: en la primera generación están incluidos los cultivos comestibles como azúcares, granos y semillas, por ejemplo, el maíz, soya, palma y girasol (Kumar y Sharma, 2015). La segunda generación abarca a los cultivos no comestibles como *Jatropha*, neem y karanja (Kumary Sharma, 2015). La tercera generación agrupa a las algas y bacterias fotosintéticas (Abideen y col., 2014).

Los biocombustibles líquidos más usados son: bioetanol, biometanol, biobutanol y biodiésel (Singh y Singh, 2010). El biodiésel puede obtenerse por la transesterificación de aceites o grasas, que es una reacción entre sus triglicéridos y metanol produciéndose glicerina y ésteres metílicos (Ramos y col., 2009). Debido al alto costo y demanda de aceites comestibles, la producción de biodiésel a partir de oleaginosas no comestibles ha sido ampliamente investigada en los últimos años, optándose por especies de fácil crecimiento y altos rendimientos de aceite (Martínez-Herrera, 2007; Singh y Singh, 2010). Algunas ofrecen alta producción pero contienen compuestos tóxicos, unos ejemplos son piñón (*Jatropha*

curcas), karanja (*Pongamia pinnata*), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), mahua (*Madhuca indica*), neem (*Azadirachta indica*), goma vegetal (*Hevea brasiliensis*), ricino (*Ricinus communis*) y microalgas (Banković-Ilić y col., 2012).

El género *Jatropha* pertenece a la familia Euphorbiaceae y México es un centro de diversificación y endemismo, contando con aproximadamente 21 % de sus especies (Fresnedo-Ramírez y Orozco-Ramírez, 2013). La especie *J. curcas* posee variedades tóxicas y no tóxicas y es conocida en México como piñón, piñoncillo o pistache mexicano. Muchos estudios la consideran una especie con gran potencial para la producción de biodiésel debido a su contenido de aceite (30 % a 40 %) y a la composición química de éste, que se aproxima a 21 % de ácidos grasos saturados y a 77 % de ácidos grasos insaturados (Balat, 2011). Los ésteres metílicos de ácidos grasos determinan las características fisicoquímicas del biodiésel de acuerdo a su proporción, longitud de cadena de carbonos, y grado de insaturación. Algunas de las características fisicoquímicas evaluadas para determinar la calidad de biodiésel, en normas como la ASTM D6751 en Estados Unidos y la EN 14214 en Europa, son: viscosidad cinemática, densidad, número de cetano, índice de yodo, índice de acidez y entalpía de combustión (Hoekman y col., 2012). El biodiésel obtenido de aceites ricos en ácidos grasos insaturados (por ejemplo oleico y linoleico) ofrece características adecuadas para el funcionamiento en los motores como una densidad y viscosidad similares al diésel (Shahid y Jamal, 2011). Se ha encontrado que la calidad de ignición del biodiésel y su flujo en el motor, se favorecen con la presencia de ésteres metílicos de ácidos grasos monoinsaturados. La correcta fluidez del biocombustible en los motores se relaciona con valores bajos de viscosidad y densidad (Ramos y col., 2009; Ghazali y col., 2015). Por otro lado, proporciones muy altas de ésteres de ácidos grasos saturados provocarían la solidificación del biodiésel en climas fríos (Dos-Santos y col., 2011).

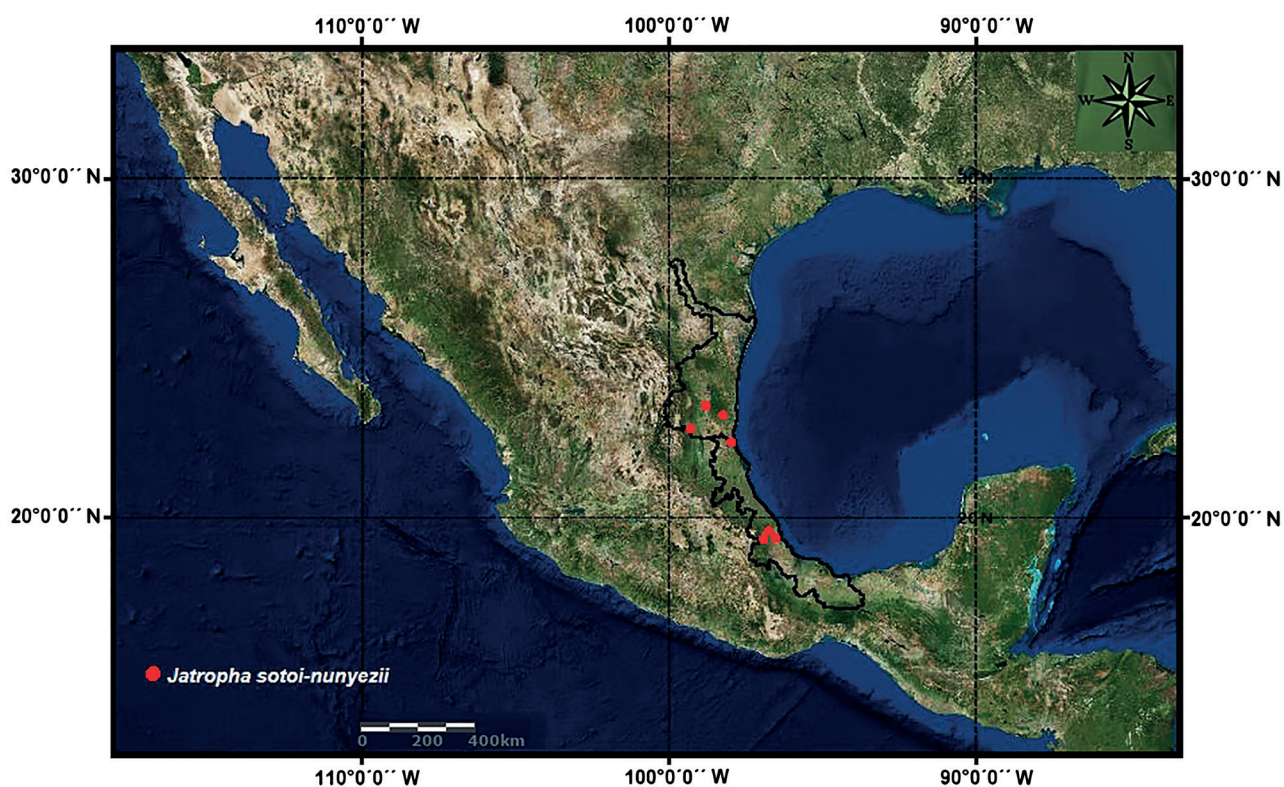
En México, capitales gubernamentales y privados han financiado la siembra de *J. curcas* en varios estados, y se ha recurrido a semillas de la India, Tailandia y del Caribe para incrementar el rendimiento. Esto ha causado problemas de adaptación, plagas, enfermedades y baja producción (Espinosa y Riegelhaupt, 2010). Adicionalmente, existen algunos problemas técnicos y económicos generados por su uso para la producción de biodiésel (Niño-García y col., 2012).

Jatropha sotoi-nunyezii (Euphorbiaceae), recientemente descrita, es una especie tropical probablemente endémica de la selva baja caducifolia de los estados de Veracruz y Tamaulipas (Figura 1). Se trata de un árbol o arbusto con una altura de 3 m a 5 m, hojas delgadas, papiráceas, pubescentes, de color verde brillante con 4 a 5 lóbulos, de hasta 13 cm x 10.5 cm, cordadas o triangulares subtrilobas, dispuestas a lo largo de las ramas o en brotes cortos (Fernández-Casas y Martínez-Salas, 2008). En Tamaulipas, esta especie había sido equívocamente considerada como *Jatropha curcas* (Valiente-Banuet y col., 1995). La especie carece de estudios genéticos, ecológicos y evolutivos que pudieran reforzar en un futuro la producción sostenible de aceite para biodiésel (Niño-García y col., 2012). Considerando esta carencia y la importancia del género *Jatropha* en el contexto de los biocombustibles, el objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad técnica y comercial de obtener biodiésel de buena calidad a partir de la variedad tamaulipeca de *J. sotoi-nunyezii*, comparándola con las variedades comerciales de *Jatropha curcas* tóxica y no tóxica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las semillas de *J. curcas* tóxica y no tóxica fueron proporcionadas por el Dr. Juan Vega Pérez, y son originarias de plantaciones comerciales localizadas en el municipio de González, Tamaulipas, México y la carretera Victoria-Mante respectivamente. Por su parte, las muestras de *J. sotoi-nunyezii* son originarias de poblaciones silvestres en Gómez Farías, Tamaulipas, México.



■ Figura 1. Distribución geográfica de *J. sotoi-nunyezii* en México (Fernández-Casas y Martínez-Salas, 2008).

Figure 1. Geographical distribution of *J. sotoi-nunyezii* in Mexico (Fernández-Casas and Martínez-Salas, 2008).

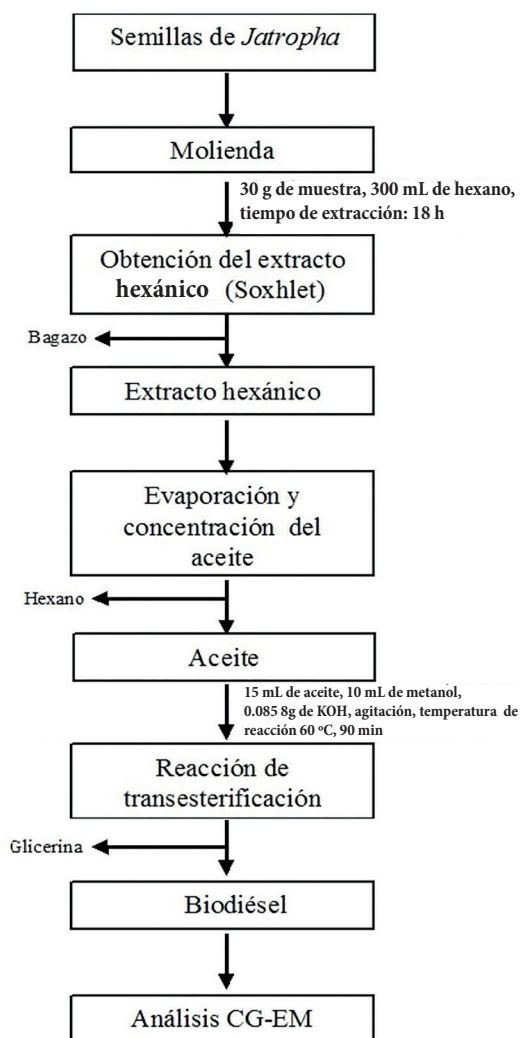
Extracción del aceite de las semillas y su conversión a biodiésel

La extracción del aceite y su conversión a biodiésel se realizó en el Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Ciencias, UNAM, con el apoyo técnico de los M. en C. Beatriz Zúñiga Ruiz y Enrique Llanos Romero. Para extraer el aceite de las muestras (30 g) de *J. curcas* tóxica y no tóxica y de *J. sotoi-nunyezii*, se utilizó un aparato Soxhlet (Corning, NY, USA), usando hexano como disolvente a temperatura de ebullición durante 18 h (Figura 2). El extracto hexánico se secó con sulfato de sodio anhidro y se filtró. El disolvente fue separado por medio de un evaporador rotatorio Büchi R-205 (Essen, Alemania); el volumen del aceite extraído fue medido y pesado para calcular su rendimiento. Una porción del aceite obtenido de cada muestra (15 mL) se sometió a transesterificación para su conversión en biodiésel, mezclándolo con 10 mL de metanol

y 0.085 8 g de hidróxido de potasio como catalizador, a 60 °C durante 90 min, lo que permitió la formación de dos fases inmiscibles, resultado de una baja solubilidad de los triglicéridos en metanol. La agitación durante la reacción, favoreció la conversión de los triglicéridos en ésteres metílicos y glicerina, esta última se depositó en la parte inferior del matraz debido a su mayor densidad. Las fases se separaron y se determinó el volumen de biodiésel purificado (ésteres metílicos de ácidos grasos) para establecer el rendimiento en cada muestra.

Análisis cromatográfico

El tipo y porcentaje de ésteres metílicos contenidos en el biodiésel de las tres muestras se analizó con un cromatógrafo de gases (5890 Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA) acoplado a un espectrómetro de masas (CG-EM), Jeol GC Mate II en modo EI (ionización de electrones).



■ **Figura 2.** Metodología general de la extracción del aceite de las semillas de *Jatropha* y su conversión a biodiésel.

Figure 2. Method overview of the oil extraction from *Jatropha* seeds and its transformation into biodiesel.

Se utilizó una columna HP-5 (30 m, 0.32 mm de diámetro interno y 0.25µm de espesor de película), helio como gas portador, con un flujo de 1 mL/min, la temperatura del inyector fue de 310 °C. El programa de temperatura fue: inicio 40 °C, final 310 °C, a una tasa de 8 °C/min. El volumen de inyección fue 3 µL. Se usó la base de datos de espectros de masas NIST (National Institute of Standards and Technology, ver. 2.0) para la identificación inicial de los componentes y se calculó el porcentaje (%) de ésteres metílicos a partir del área de los picos.

Caracterización fisicoquímica del biodiésel

Para determinar un valor aproximado del índice de yodo (IV) e índice de saponificación (SV), se utilizaron los valores del porcentaje de los ésteres metílicos de los ácidos grasos identificados por CG-EM, en las siguientes ecuaciones (Kalayasiri y col., 1996; Sokoto y col., 2011; Lamaisri y col., 2015):

$$SV = \sum \frac{(560 * Ai)}{MWi} \quad IV = \sum \frac{(254 * D * Ai)}{MWi}$$

Donde *D* es el número de dobles enlaces, *Ai* y *MWi* es el porcentaje de la composición y la masa molecular de cada éster metílico, respectivamente.

A partir de los valores calculados de *IV* y *SV*, se obtuvo el valor aproximado del número de cetano (*SN*) y de entalpía de combustión (*HHV*), con las siguientes ecuaciones (Demirbas, 1998; Lamaisri y col., 2015):

$$CN = 46.3 + \frac{5458}{SV} - 0.225 * IV$$

$$HHV(MJ/kg) = 49.43 - 0.004(SV) - 0.015(IV)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de aceite

El porcentaje de aceite en *J. curcas* tóxica y no tóxica fue similar (32.5 %, 33.3 % respectivamente), mientras que en *J. sotoi-nunyezii* el contenido es más alto (43.5 %) (Tabla 1). Estos valores comparados con los de soya y girasol, especies que son muy utilizadas para la producción de biodiésel, indican que tienen mayor contenido de aceite que la primera, y similar a la segunda (Karmakar y col., 2010). Se ha reportado que *J. curcas* es una excelente fuente de aceite, por su contenido que es superior al 30 % (Karmakar y col., 2010; Koh y Ghazi, 2011). Este aspecto es de gran relevancia, si se considera que para la producción de biodiésel, los porcentajes altos de aceite reducen los costos de producción, ya que la materia prima representa del 70 % al 80 % de la inversión total (Ghazali y col., 2015).

Obtención de biodiésel y perfil de ésteres metílicos de ácidos grasos

El porcentaje de conversión del aceite en biodiésel fue mayor en *J. sotoi-nunyezii* (87.2 %),

■ Tabla 1. Perfil y porcentaje (%) de ésteres metílicos de ácidos grasos del biodiésel obtenido de especies de *Jatropha* de Tamaulipas, México y su comparación con otras especies.
Table 1. Profile and percentage (%) of fatty acid methyl esters of biodiesel obtained from *Jatropha* species of Tamaulipas, Mexico and its comparison with other species.

Especie	Contenido de aceite (%)	Porcentaje de conversión a biodiésel (%)	Ésteres metílicos de ácidos grasos (%)			
			Palmitato C16:0	Estearato C18:0	Oleato C18:1	Linoleato C18:2
<i>J. sotoi-nunyezii</i> *	43.5	87.2	8.08	6.05	18.92	65.23
<i>J. curcas</i> (tóxica)*	32.5	86.5	12.13	5.64	42.41	39.13
<i>J. curcas</i> (no tóxica)*	33.3	86.0	8.79	6.98	47.94	36.28
<i>J. curcas</i> **	30.0 a 40.0	90.0	12.0 a 17.0	5.0 a 9.5	37.0 a 63.0	19.0 a 41.0
Soya**	15.0 a 20.0	94.0	7.0 a 11.0	2.0 a 6.0	19.0 a 34.0	43.0 a 56.0
Girasol**	25.0 a 35.0	96.0	3.0 a 6.0	1.0 a 3.0	14.0 a 35.0	44.0 a 75.0
Palma**	30.0 a 60.0	82.0	32.0 a 45.0	2.0 a 7.0	38.0 a 52.0	5.0 a 11.0

*Resultados del presente estudio.

**Resultados reportados por Karmakar y col. (2010).

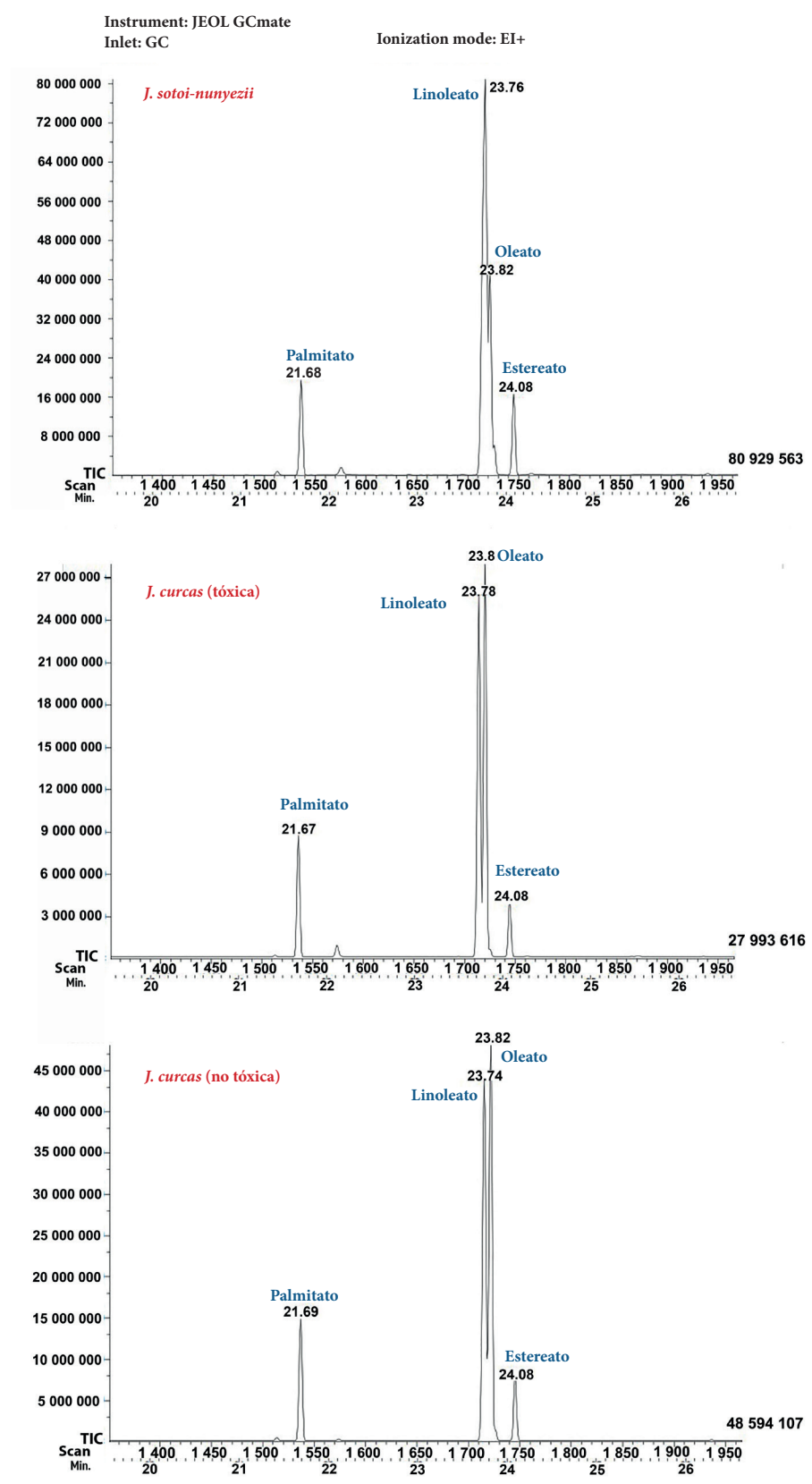
seguido por *J. curcas* tóxica (86.5 %) y *J. curcas* no tóxica (86.0 %) (Tabla 1). Este rendimiento podría aumentar al modificar las condiciones de transesterificación, como el tipo de disolvente, catalizador o la temperatura (Kumar y Sharma, 2015). La producción de biodiésel de *J. curcas* se ha comparado utilizando diferentes catalizadores ácidos (HCl y H₂SO₄) y alcalinos homogéneos (KOH, CH₃ONa, CH₃OK y NaOH), obteniendo eficiencias de conversión mayores al 90 % (Silitonga y col., 2013).

En la Figura 3 se observa el perfil cromatográfico de las tres muestras de biodiésel analizadas, señalando los tiempos de retención de cada uno de los ésteres metílicos de ácidos grasos obtenidos. En la Tabla 1 puede identificarse que más del 80 % de los ésteres metílicos fueron insaturados. La principal diferencia encontrada en la composición del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii*, comparada con respecto a *J. curcas* tóxica y no tóxica, fue su mayor proporción de linoleato de metilo. La importancia de la determinación de este perfil de ésteres metílicos, en el biodiésel, radica en la información que aporta acerca de su composición química y su posible comportamiento como bio-combustible en los motores (Ghazali y col., 2015).

Propiedades fisicoquímicas calculadas a partir del perfil de ésteres metílicos de ácidos grasos del biodiésel

En la Tabla 2 se señalan los valores calculados del índice de yodo, número de cetano y entalpía de combustión. Las ecuaciones utilizadas permitieron relacionar el porcentaje de ésteres metílicos de ácidos grasos, número de enlaces dobles y masa molecular; los valores obtenidos para *J. curcas* (tóxica y no tóxica) se compararon con los datos recopilados del estudio de Atabani y col. (2012), y se observó que eran similares (Tabla 1), por lo que se tomaron como referencia para determinar los valores del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii*.

El valor de índice de yodo fue mayor en las muestras de *J. sotoi-nunyezii* que en las muestras de *J. curcas*, y a diferencia de esta última, rebasó el límite máximo de la norma europea EN 14214 que es de 120 g I₂/100 g (Atabani y col., 2012). El índice de yodo está relacionado con la insaturación de los ésteres metílicos, por lo que este valor alto indica mayor número de insaturaciones, lo que significa una menor estabilidad a la oxidación y se reflejaría en la formación de compuestos no deseados, como los hidroperóxidos,



■ Figura 3. Cromatograma CG-EM del perfil de ésteres metílicos de ácidos grasos del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas* (tóxica y no tóxica).
Figure 3. GC-MS chromatogram of fatty acid methyl esters of *J. sotoi-nunyezii* and *J. curcas* (toxic and non-toxic).

■ **Tabla 2.** Parámetros calculados para el biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas* (tóxica y no tóxica) de Tamaulipas, México y su comparación con otras especies y normas de calidad.
 Table 2. Calculated parameters for the biodiesel from *J. sotoi-nunyezii* and *J. curcas* (toxic and non-toxic) of Tamaulipas, México and its comparison with other species and quality standards.

Especie	Parámetros calculados		
	Índice de yodo (g I ₂ /100 g)	Número de cetano	Entalpía de combustión (MJ/kg)
<i>J. sotoi-nunyezii</i> *	128.74	46.39	39.98
<i>J. curcas</i> (tóxica)*	103.83	51.63	40.26
<i>J. curcas</i> (no tóxica)*	103.64	51.58	40.24
<i>J. curcas</i> **	104.0	51.6	39.23
Soya**	128.0 a 143.0	37.9	39.76
Girasol**	125.0 a 140.0	49.0	39.6
Palma**	54.0	54.6	-
Diésel**	38.3	40.0 a 55.0	42.0 a 46.0
Norma ASTM D6751	No establecido	Mín. 47	No establecido
Norma EN 14214	Máx. 120	Mín. 51	(EN 14213) Mín. 35

*Resultados del presente estudio.

**Resultados reportados por Atabani y col. (2012).

cuya polimerización y sedimentación afectaría a los inyectores de los motores (Hoekman y col., 2012; Kumar y Sharma, 2015). Sin embargo, en la norma estadounidense ASTM D6751 no se establece este parámetro (Atabani y col., 2012), ya que es menos restrictiva en relación al uso de materias primas que la norma europea EN 14214, por lo que este proceso de oxidación puede controlarse mediante condiciones adecuadas de almacenaje y uso de antioxidantes en el biodiésel o con la hidrogenación del aceite para disminuir la proporción de ácidos grasos insaturados (Hoekman y col., 2012; Alexandrino y col., 2013; Kumar y Sharma, 2015).

El número de cetano indica la calidad de la ignición del biocombustible al ser suministrado en un motor. Se relaciona con el tiempo de retardo de la ignición que experimenta un combustible al momento de la inyección, valores altos indican una adecuada combustión, valores bajos se asocian con una proporción alta de ésteres insaturados (Ramos y col., 2009). El alto contenido de linoleato de metilo en *J. sotoi-nunyezii*

se vio reflejado en un valor bajo del número de cetano en comparación con *J. curcas*. La norma EN 14214 establece un valor mínimo de 51 y la norma ASTM D6751 un valor mínimo de 47 (Atabani y col., 2012), por lo que el número de cetano calculado del biodiésel de *J. curcas* (tóxica y no tóxica) cumple con estas especificaciones y el valor de *J. sotoi-nunyezii* se aproxima al valor establecido por la norma ASTM D6751. El biodiésel de especies con valor bajo de número de cetano (como la soya) es usado en mezclas con diésel para tener una adecuada combustión (Shehata y col., 2015). Es importante mencionar, que los valores calculados de índice de yodo y número de cetano del biodiésel de *J. curcas* (tóxica y no tóxica), fueron muy similares a los establecidos en las normas de calidad EN 14214 y ASTM D6751, debido a una proporción de ésteres metílicos insaturados más equilibrada, que es muy diferente a la de *J. sotoi-nunyezii*.

La proporción de ácidos grasos insaturados puede modificarse por medio de un proceso llamado hidrogenación parcial, una reacción química

donde se adiciona hidrógeno a los enlaces dobles de un ácido graso. Alexandrino y col. (2013), utilizaron ésta técnica en el aceite de soya para disminuir el porcentaje de ácidos grasos insaturados, particularmente el del ácido linoleico. Al determinar el valor de índice de yodo observaron que este disminuyó con respecto al biodiésel producido de aceite no hidrogenado (de 127.53 g I₂/100g a 91.04 g I₂/100g), por lo que su estabilidad a la oxidación mejoró. Si se utilizara la misma técnica para disminuir la proporción de ácido linoleico en el aceite de *J. sotoi-nunyezii*, el valor de índice de yodo del biodiésel, sería menor y se mejoraría la estabilidad a la oxidación; el número de cetano que también se relaciona con las insaturaciones de los ácidos grasos aumentaría, y la combustión sería más eficiente.

La entalpía de combustión es una propiedad que permite estimar la energía disponible en el combustible, valores altos se relacionan con un alta eficiencia energética (Atabani y col., 2012). Las entalpías de combustión calculadas para las especies de *Jatropha* tienen un valor cercano a 40 MJ/kg que se aproxima al diésel petroquímico, cuyo rango es de 42 MJ/kg a 46 MJ/kg (Tabla 2). La norma europea EN 14213 define

que el valor de entalpía de combustión debe ser mínimo 35 MJ/kg, por lo que el biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas* (tóxica y no tóxica) cumplen con la especificación, indicando que éste tendrá una adecuada eficiencia en el motor.

CONCLUSIONES

J. sotoi-nunyezii puede considerarse como especie promisoría para la producción de biocombustibles de segunda generación, ya que el contenido de aceite de las semillas y el rendimiento después de su conversión a biodiésel fue alto. El perfil de ésteres metílicos del biodiésel de *J. sotoi-nunyezii* sugiere su posible empleo como biocombustible, por medio del cálculo de valores aproximados de parámetros establecidos en normas de calidad como el índice de yodo, número de cetano y entalpía de combustión. La información generada por este trabajo puede complementar a estudios integrales de las especies mexicanas de *Jatropha*, en el contexto de los biocombustibles, donde sean evaluadas con la metodología correspondiente los parámetros de las normas ASTM D6751 (E.U.A) y EN 14214 (Europea), que darán mayor certeza sobre las propiedades fisicoquímicas de éstas importantes especies.

REFERENCIAS

- Abideen, Z., Hameed, A., Koyro, H.W., Gul, B., Ansari, R., and Khan, M. A. (2014). Sustainable biofuel production from non-food sources—An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 26(12): 1057-1066.
- Alexandrino, C. D., Morais, S. M., Oliveira, M. S., Machado, L. K., Martins, C. G., Craveiro, A. A., and Jorge, F. A. (2013). Influence of hydrogenation and antioxidants on the stability of soybean oil biodiesels. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115(6): 709-715.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., and Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(4): 2070-2093.
- Balat, M. (2011). Potential alternatives to edible oils for biodiesel production. A Review of current work. *Energy Conversion and Management*. 52(2): 1479-1492.
- Banković-Ilić, I. B., Stamenković, O. S., and Veljković, V. B. (2012). Biodiesel production from non-edible plant oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(6): 3621-3647.
- Demirbas, A. (1998). Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. *Fuel*. 77(9): 1117-1120.
- Dos-Santos, V., Da Silva J. A. B., Stragevitch, L., and Longo, R. L. (2011). Thermochemistry of biodiesel oxidation reactions: A DFT study. *Fuel*. 90(2): 811-817.
- Espinosa, F. J. y Riegelhaupt, E. (2010). “La fiebre de plantaciones para biodiésel de *Jatropha*”,

en *La Jornada*, 16 de marzo de 2010. [En línea]. Disponible en: <http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/la-fiebre-de-plantaciones-para-biodiesel-de-jatropha/>. Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2015.

Fernández-Casas, F. J. and Martínez-Salas, E. M. (2008). *Jatropha* notulæ (Euphorbiaceæ), 5. *Fontqueria*. 55(62): 471-480.

Fresnedo-Ramírez, J. and Orozco-Ramírez, Q. (2013). Diversity and distribution of genus *Jatropha* in México. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 60(3): 1087-1104.

Ghazali, W. N. M. W., Mamat, R., Masjuki, H. H., and Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 51: 585-602.

Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., and Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1): 143-169.

Kalayasiri, P., Jayashoke, N., and Krisnangkura, K. (1996). Survey of seed oils for use as diesel fuels. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 73(4): 471-474.

Karmakar, A., Karmakar, S., and Mukherjee, S. (2010). Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource technology*. 101(19): 7201-7210.

Koh, M. Y. and Ghazi, T. I. M. (2011). A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(5): 2240-2251.

Kumar, M. and Sharma, M. P. (2015). Assessment of potential of oils for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 44: 814-823.

Lamaisri, C., Punsuvon, V., Chanprame, S., Arunyanark, A., Srinives, P., and Liangsakul, P. (2015). Relationship between fatty acid composition and biodiesel quality for nine commercial palm oils. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 37(4): 389-395.

Martínez-Herrera, J. (2007). El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México, en *Revista Digital Universitaria*. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art88/int88.htm>. Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2015.

Niño-García, N., Sánchez-Ramos G., Mora-Olivo, A. y Pérez-Quilantán, L. M. (2012). Controversia en la producción de biodiésel. Caso: *Jatropha* en Tamaulipas. *CienciaUAT*. 7(1): 6-13.

Ramos, M., Fernández, C., Casas, A., Rodríguez, L., and Pérez, A. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource technology*. 100(1): 261-268.

Reijnders, L. and Huijbregts, M. (2009). Transport Biofuels: Their Characteristics, Production and Costs. En *Biofuels for Road Transport. A Seed to Wheel Perspective*. [En línea]. Disponible en: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-84882-138-5>. Fecha de consulta: 4 de junio de 2016.

Shahid, E. M. and Jamal, Y. (2011). Production of biodiesel: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(9): 4732-4745.

Shehata, M. S., Attia, A. M., and Razeq, S. A. (2015). Corn and soybean biodiesel blends as alternative fuels for diesel engine at different injection pressures. *Fuel*. 161: 49-58.

Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Atabani, A. E., and Chong, W. T. (2013). 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*. 24: 514-533.

Singh, S. P. and Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(1): 200-216.

Sokoto, M. A., Hassan, L.G., Dangoggo, S. M., Ahmad, H. G., and Uba, A. (2011). Influence of fatty acid methyl esters on fuel properties of biodiesel produced from the seeds oil of *Curcubita pepo*. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. 19(1): 81-86.

Valiente-Banuet, A., Medrano-González, F. y Piñero-Dalmau, D. (1995). La vegetación selvática de la región de Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Acta Botánica Mexicana*. (33): 1-36.