

## **Propiedades fisicoquímicas del aceite de semillas de *Jatropha curcas* de poblaciones silvestres en México**

### **Physicochemical properties of oil seeds of *Jatropha curcas* from wild populations, in Mexico**

Nidia Araiza Lizarde <sup>1</sup>, Lilia Alcaraz-Meléndez <sup>2</sup>, Miguel Ángel Angulo Escalante <sup>3</sup>, Teodoro Reynoso-Granados <sup>2</sup>, Pedro Cruz-Hernández <sup>2</sup>, Magdalena Ortega-Nieblas <sup>4</sup>

Originales: *Recepción*: 14/02/2014 - *Aceptación*: 02/12/2014

#### **RESUMEN**

Existe la necesidad de estudiar fuentes renovables de energía a partir de plantas oleaginosas con este potencial. La semilla de *Jatropha curca* se caracteriza por su alto contenido de aceite. En México solo existen estudios enfocados en evaluar las propiedades fisicoquímicas del aceite de *J. curcas* silvestre y cultivada en la región sur. El objetivo de este trabajo, fue evaluar las propiedades fisicoquímicas del aceite de *J. curcas* silvestre en tres ecotipos del estado de Sinaloa (noroeste de México) y su aplicación en la elaboración de biodiesel. Los resultados obtenidos fueron que el contenido de aceite del germen fue de 52 a 56%. La viscosidad, densidad específica, índice de acidez, peróxido, yodo y refracción no mostraron diferencias significativas en las semillas colectadas en los tres ecotipos en estudio. Los ácidos grasos saturados más abundantes fueron el palmítico (4 a 6%) y esteárico (3 a 4%). Los ácidos grasos insaturados más abundantes fueron el oleico (44 a 46%) y linoleico (42 a 44%). Las características fisicoquímicas del aceite de *J. curcas* de Sinaloa son similares a las del sur de México y otros países, esto sugiere que el germoplasma del noroeste del país podría ser considerado para su conservación, aprovechamiento racional y producción de biodiesel.

#### **Palabras clave**

ácidos grasos • biodiesel • ecotipos • análisis fisicoquímicos • *Jatropha*

- 
- 1 Universidad Politécnica de Sinaloa. Mazatlán-Higueras Km 3. Col. Genaro Estrada. C. P. 82199, Mazatlán, Sinaloa. México.
  - 2 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. México, C. P. 23096. Autora de correspondencia: lalcaraz04@cibnor.mx
  - 3 Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Carretera Culiacán-Eldorado Km. 5.5. C. P. 80110, Culiacán, Sinaloa. México.
  - 4 Universidad de Sonora. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, Hermosillo, Sonora. C. P. 8300. México.

## ABSTRACT

The need for studying sources of renewable energy is important starting from potential oleaginous plants. *Jatropha curcas* seed is characterized by its high oil content. In Mexico studies are focused on evaluating the physicochemical properties of *J. curcas* oil in wild plants cultivated in the southern region. The objective of this study was to evaluate these properties in three ecotypes of wild *J. curcas* of Sinaloa and their oil application in biodiesel production. The oil content of the germ was found to be 52 to 56%. Viscosity, density, acidity index, peroxide, iodine, and refraction showed no significant differences in the seeds collected from the three ecotypes in our study. The most abundant saturated fatty acids were palmitic (4 to 6%) and stearic (3 to 4%). The most abundant unsaturated fatty acids were oleic (44 to 46%) and linoleic (42 to 44%). Physicochemical characteristics of *J. curcas* oil of Sinaloa specimens are similar to those of southern Mexico and other countries, which suggest that the germplasm of the north-western part of the country could be considered for conservation, rational utilization, and biodiesel production.

### Keywords

fatty acid • biodiesel • ecotype • fatty acid • physicochemical analysis • *Jatropha*

## INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales son una fuente de energía renovable para la elaboración de biodiesel. Se ha analizado la posibilidad de emplear plantas con alto contenido de aceite como aditivos o sustitutos de hidrocarburos derivados del petróleo (31).

*Jatropha curcas* es una planta que pertenece a la familia Euphorbiaceae, es nativa de México y Centro América (3). Se han reportado dos tipos de *J. curcas*, la tóxica y la no tóxica, esta última solo en México (19). Esta planta representa un potencial para la producción de biodiesel (25) debido a su alto contenido de aceite (50 a 60%) en el germen (23).

Gopale y Zunjarrao (2011), señalaron que es importante analizar las características fisicoquímicas de la semilla de *J. curcas* para conocer la composición de ácidos grasos de diferentes ecotipos y poder seleccionar plantas con un alto porcentaje de ácido oleico y linoleico que puedan utilizarse para la elaboración de biodiesel (4).

Por otra parte Aminul *et al.* (2012) mencionan que los parámetros como el índice de yodo, índice de peróxido y acidez del aceite son importantes y repercuten en las propiedades del biodiesel, por lo cual deben ser consideradas en los procesos de transesterificación y almacenamiento adecuado del aceite.

En la India se analizó la composición de ácidos grasos de *J. curcas* en diferentes regiones agroclimáticas y se observó que existe variación entre las regiones y que los ácidos grasos más abundantes fueron el oleico, seguido por linoleico, palmítico y esteárico (13).

En México, Martínez-Herrera *et al.* (2006) analizaron el germen de *J. curcas* proveniente de los estados de Veracruz y Morelos y encontraron un contenido lipídico de 55 a 58%.

En la región sur de México se han realizado investigaciones sobre el potencial del aceite de *J. curcas* silvestre para la producción de biodiesel, en el

estado de Chiapas existe la posibilidad de que el cultivo de esta especie puedan sembrarse (230.000 ha) (24).

Sin embargo en la región noroeste del país no existen reportes de estudios de plantas silvestres de *J. curcas*.

En este estudio se presentan los resultados del primer análisis sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de *J. curcas* proveniente de germoplasmas silvestres del sur, centro y norte del estado de Sinaloa, México. Estas investigaciones permiten considerar su aplicación en la producción de biodiesel, promover el aprovechamiento del germoplasma de la región, fomentar su conservación y uso en programas de mejoramiento genético.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Se colectaron frutos de plantas silvestres de *J. curcas* en tres sitios del estado de Sinaloa, México: El Quelite (22°48'42,5" N y 105°43'39,8" W) zona Sur; Estación Dimas (23°46'49,38" N y 106°46'49,38" W) zona centro y La Campana (24°59'16,15" N y 107°34'25,64" W) zona norte.

Se colocaron en bolsas y se trasladaron al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Selimpiaron en forma manual, se secaron a la sombra, se separaron las semillas del fruto y se conservaron en frascos de vidrio a 5°C para su posterior análisis. Se obtuvo información climática (tabla 1) en la red de estaciones agroclimáticas de México (16) para analizar su relación con las características fisicoquímicas del aceite.

### Análisis de suelos

Con la finalidad de evaluar la relación de las propiedades del suelo con el contenido y composición de ácidos grasos, se realizó un muestreo de cada sitio de estudio, con la siguiente metodología, se trazó un cuadrante seleccionando nueve sitios, se tomó suelo a 30 cm de profundidad, se mezclaron las muestras y se analizó el pH, conductividad eléctrica, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y textura de acuerdo con la NOM-021- SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (22).

**Tabla 1.** Promedio anual de las condiciones climáticas registradas en el 2011 en las tres regiones en estudio de *J. curcas* en Sinaloa, México.

**Table 1.** Annual average of weather conditions in the three study regions of *J. curcas* in Sinaloa recorded in 2011.

Ecotipos	T. Máxima (°C)	T. Media (°C)	T. Mínima (°C)	Hr (%)	Precipitación (mm)	Rad. G. W/m <sup>2</sup>	Vv Km/h
Estación Dimas	32,43	17,54	11,88	79,18	554,2	407,16	2,2
El Quelite	33,56	31,05	18,93	81,15	556,2	432,74	2,14
La Campana	36,68	17,94	10,06	59,93	342,2	476,5	5,88

Temperatura (T); humedad relativa (Hr); precipitación pluvial (Prec); velocidad del viento (Vv) y radiación global (Rad.G). INIFAP (2011).

Temperature (T); Relative humidity (Hr); pluvial precipitation (Prec); wind speed (Vv), and global radiation (Rad. G). INIFAP (2011).

### Contenido de aceite

Para evaluar el contenido de aceite se empleó el método 960,39 (4). Las semillas se trituraron con una licuadora (Osterizer, modelo 4108). Se colocaron diez gramos de la muestra en un dedal de extracción previamente pesado y se colocó en el extractor Soxhlet, durante 16 h empleando n-hexano. El solvente se separó por destilación al vacío en un rotovapor (Buchi, ModeloR-205). El dedal se colocó en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 h para eliminar los residuos del solvente, se enfrió en un desecador y se pesó en una balanza analítica (Sartorius AX124). El resultado fue expresado como el porcentaje de aceite en materia seca. El aceite se almacenó a  $5^\circ\text{C}$  en frascos ámbar para su posterior análisis fisicoquímico.

### Parámetros fisicoquímicos del aceite

El índice de refracción se determinó con un refractómetro RE40D Mettler-Toledo a  $25^\circ\text{C}$ , la viscosidad se midió utilizando un viscosímetro Cannon-Fenske a  $40^\circ\text{C}$  y empleando el método ASTM D445-06 (5), el índice de acidez por el método 940,28 (4), el índice de yodo por el método 993,20 (4) y el índice de peróxido por el método 965,33 (4). La densidad específica se determinó con un picnómetro de 5 mL de capacidad (BRAND, Alemania, Modelo 43205).

### Composición de ácidos grasos

La extracción del aceite y la metilación se realizaron siguiendo el método 969,33 (4) y se analizó por cromatografía de gases (Varian, EUA), acoplado a un espectrofotómetro de masas (Titán 4,000, EUA) empleando una columna capilar CP-SIL 43CB (25 m x 0,32 mm x 0,2  $\mu\text{m}$ ). Se programó la temperatura de la columna a  $120^\circ\text{C}$  (rampa 0.0 cm/min y se mantuvo por 10 min),  $210^\circ\text{C}$  (rampa  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  y se mantuvo por 4 min),  $215^\circ\text{C}$  (rampa 1,0 y se mantuvo por 1 min) y  $220^\circ\text{C}$  (rampa  $0,5^\circ\text{C}/\text{min}$  y se mantuvo por 1 min). La

temperatura del inyector fue de  $250^\circ\text{C}$ . El split de rampa fue de aproximadamente 50:1. El gas acarreador (Helio) tuvo un flujo constante de 1,0 mL/min.

La separación de los ácidos grasos metil éster fue identificada por impacto electrónico. El análisis cuantitativo de ácidos grasos se determinó usando estándares internos (F. A. M. E. Mix-C4-C24, Supelco, Cat. 18919-AMP). El porcentaje de los ácidos grasos individuales se calculó por comparación de las áreas de los picos con estándares internos y fue expresada como la proporción total de ácidos grasos en cada fracción de lípidos.

### Procesamiento de datos

Todas las muestras se analizaron por triplicado. Se realizaron pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homocedasticidad (Prueba de Levene). Estadística descriptiva (media y desviación estándar). Análisis de correlación de Pearson. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para observar diferencias significativas entre los ecotipos en estudio. Las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de suelos

El análisis de suelo (tabla 2, pág. 131) muestra que los tres ecotipos presentaron un suelo ligeramente ácido (6,7 a 7,03) de acuerdo a la clasificación de Hausenbuiller (15). Gush (2008) señaló que en el rendimiento máximo de la semilla y por consiguiente de aceite, el pH oscila en un intervalo de 6 a 8. La conductividad eléctrica de los suelos de los tres ecotipos fue entre 3,2 y 8,6 dS/m (tabla 2, pág. 131) y de acuerdo con la NOM-021- SEMARNAT (22) se clasifican como suelos de ligeramente salinos a altamente salinos.

**Tabla 2.** Análisis y correlación de las características del suelo de los diferentes ecotipos de *J. curcas* en Sinaloa.

**Table 2.** Analysis and correlation of soil characteristics from different *J. curcas* ecotypes of Sinaloa.

Parámetros	Estación Dimas	El Quelite	La Campana	r <sup>2</sup>
pH de saturación	7,96	7,03	7,53	0,21
Conductividad eléctrica (dS/m)	6,9	3,2	8,6	0,50
Bicarbonatos (meq/L)	5,48	3,12	6	0,02
Carbonatos (meq/L)	0,42	0	0,4	0,01
Cloruros (meq/L)	2,8	1,26	5,6	0,4
Sulfatos (meq/L)	0,59	0,06	0,26	0,38
Fosfatos (ppm)	38,68	4,9	23,59	0,19
Textura	Areno arcilloso	Areno limo arcilloso	Franco arcillo arenoso	

r<sup>2</sup>= Coeficiente de correlación de Pearson. Valor de la media. Número de muestras (n = 3).

r<sup>2</sup> = Pearson's correlation coefficient. Average value. Number of samples (n = 3).

Por otra parte se observó baja correlación en el contenido de bicarbonatos (r<sup>2</sup>= 0,02), carbonatos (r<sup>2</sup>= 0,01), cloruros (r<sup>2</sup>= 0,4), sulfatos (r<sup>2</sup>= 0,38), y fosfatos (r<sup>2</sup>= 0,19) entre los diferentes ecotipos.

Los suelos de La Campana presentaron

más contenido de bicarbonatos (6 meq/L) y cloruros (5,6 meq/L) que los otros ecotipos en estudio. Estos resultados podrían incidir en las diferencias encontradas en el contenido de aceite (tabla 3) en el presente estudio (7).

**Tabla 3.** Características fisicoquímicas de los aceites de *J. curcas* de tres regiones de Sinaloa. México.

**Table 3.** Physicochemical characteristics of *J. curcas* oil from three regions of Sinaloa. México.

Parámetros	Estación Dimas	El Quelite	La Campana
Contenido de aceite (%)	52,8 ± 0,3 a	52,05 ± 0,2 a	56,48 ± 0,4 b
Índice de refracción (40°C)	1,47 ± 0,0	1,47 ± 0,0	1,47 ± 0,0
Viscosidad (cSt) a 40 °C	28,80 ± 0,0 a	28,80 ± 0,0 a	24,50 ± 0,0 b
Densidad Especifica (g/cm <sup>3</sup> )	0,91 ± 0,0	0,91 ± 0,0	0,91 ± 0,0
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,79 ± 0,0	0,70 ± 0,05	0,79 ± 0,02
Índice de peróxido (meq/Kg de muestra)	2,00 ± 0,0	2,7 ± 1,15	2,7 ± 1,15
Índice de yodo (g/ 100g)	98,82 ± 2,19	100,51 ± 1,46	102,61 ± 0,73

El valor de la media es ± DE. Diferentes superíndices en la misma línea indican diferencia significativa entre regiones (prueba de Tukey, p < 0,05). Número de muestras (n = 3).

The value of the mean is ± ES. Different superscripts in the same row indicate significant differences among ecotypes (Test Tukey, p < 0. 05). Number of samples (n = 3).

La concentración de carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos se encuentran dentro de los parámetros de suelos normales, permitiendo que las plantas se desarrollen favorablemente (2). Estación Dimas presentó mayor contenido de fosfato, Sawan *et al.* (2007) señalaron que el fosfato tiene impacto en la síntesis de lípidos en semillas de algodón, cuando es mayor la cantidad de fosfato en el suelo, mayor es el contenido de aceite, en *J. curcas* no se observó esto. La textura del suelo fue diferente en los tres ecosistemas de Sinaloa, en Estación Dimas fue arenoso arcilloso, en El Quelite arenoso limoso arcilloso y en la Campana franco arenoso arcilloso. Inurreta (2012) analizó mediante un proceso de simulación, el rendimiento de semilla con base en la textura del suelo y encontró que no existe una relación entre ellos y que *J. curcas* puede desarrollarse en suelos con texturas diferentes. Estudios realizados por otros autores (17) plantean que el estado de Sinaloa tiene potencial para el desarrollo de la planta en varias localidades.

### Contenido de aceite

El contenido de aceite proveniente de los diferentes ecotipos fue de 52,05 a 56,48% (tabla 3, pág. 131). El mayor contenido de aceite se encontró en la región de La Campana. No se observaron diferencias significativas entre Estación Dimas y El Quelite ( $F= 147,8$ ,  $P \geq 0,05$ ). El contenido de aceite en las plantas está relacionado con la temperatura y la velocidad del viento, Garay *et al.* (2012) mencionaron que en regiones donde la temperatura es más elevada el contenido de aceite es mayor debido a que en la semilla se almacena la energía en forma de ácidos grasos para impulsar el inicio del desarrollo de la planta.

Por otra parte la velocidad del viento baja la temperatura de las hojas,

ocasionando un cambio térmico que disminuye el contenido de agua y por consecuencia aumenta el contenido del aceite (8). Esto coincide con los resultados obtenidos en La Campana donde la temperatura máxima y velocidad del viento (tabla 1, pág. 129) fueron más elevadas que en los otros ecotipos. Salisbury y Ross (2000) observaron que a mayor altitud la radiación global es más intensa y las plantas absorben longitudes de onda luminosas transformándolas en energía (ATP Y NADPH) para la producción de ácidos grasos. El ecotipo de Estación Dimas se localiza a una altitud de 14 m s. n. m., El Quelite a 35m s. n. m. y La Campana a 129 m s. n. m., estos resultados confirman lo reportado por Salisbury y Ross, ya que en La Campana se encuentra a mayor altitud y el contenido de aceite fue superior.

En estados del sur de México como Morelos y Veracruz donde las precipitaciones pluviales fluctúan entre 1200 a 2500 mm y 902 mm a 2229 mm respectivamente, se han reportado contenidos de aceite de *J. curcas* silvestre en un rango de 55 a 57% (20). Comparando estos resultados con los de Sinaloa donde la precipitación es entre 342 a 554 mm, el contenido de aceite (52 a 56%) es similar a lo reportado en el sur del país, estos resultados muestran que no existe una diferencia significativa del contenido de aceite de las plantas que crecen en precipitaciones mayores a las del presente estudio, por lo que este parámetro no influye en el contenido de aceite de *Jatropha curcas*.

### Parámetros fisicoquímicos del aceite

El índice de refracción promedio del aceite de *J. curcas* en los ecotipos de Sinaloa fue de 1,47 (tabla 3, pág. 131).

El índice de refracción está relacionado con el grado de saturación del aceite

e indica la presencia de ácidos grasos insaturados de cadena larga. Purabi *et al.* (2012) observaron un índice de refracción de 1,46 en muestras de aceite de *J. curcas* de diferentes regiones del noroeste de la India. Estos resultados son equivalentes a los encontrados en el aceite de *J. curcas* en Sinaloa.

La viscosidad del aceite de los tres ecotipos fue de 24,50 a 28,80 cSt. No se observaron diferencias significativas entre estos ( $F= 1,0$ ,  $P \geq 0,05$ ) (tabla 3, pág. 131). Los estándares de la ASTM D6751 (5) indican que la viscosidad del biodiesel debe estar en un rango de 1,9 a 6 cSt. Aceites con viscosidad superior a este rango no pueden ser empleados directamente en los motores porque acumulan impurezas en el inyector ocasionando problemas de operación.

La viscosidad del aceite de *J. curcas* de las diferentes regiones de Sinaloa es mayor a este rango pero puede ser reducida mediante un proceso de transesterificación (30). Prasad *et al.* (2012) reportaron viscosidad de 34,3 cSt en muestras provenientes de Chattishgarh, India, mayor a los análisis de este estudio.

La densidad específica del aceite fue de  $0,91 \text{ g/cm}^3$ . No hubo diferencia significativa en los tres ecotipos ( $F= 0,07$ ,  $P \geq 0,05$ ) (tabla 3, pág. 131).

Los estándares de ASTM D6751 (5) establecen que la densidad específica del biodiesel debe estar en un rango de 0,860 a  $0,900 \text{ g/cm}^3$ . El aceite de *J. curcas* del presente estudio se encuentra dentro del rango aceptable.

El índice de acidez fue de 0,70 a 0,79 mg KOH/g (tabla 3, pág. 131). No se observó diferencias significativas en los tres ecotipos de Sinaloa ( $F= 1,00$ ,  $P \geq 0,05$ ).

Los ácidos grasos libres que producen el índice de acidez son una de las propiedades más importantes de la calidad del aceite. Un alto contenido de ácidos grasos

libres causa problemas en los procesos de transesterificación debido a que en aceites con acidez mayor al 4% requieren de una esterificación ácida para disminuir el porcentaje de ácidos grasos libres, seguida de una transesterificación alcalina, mientras que valores menores al 1% se consideran como óptimos y se realiza directamente la transesterificación (9).

El aceite de las regiones de Sinaloa mostró ácidos grasos libres menores a 1% lo cual indica que no requieren un tratamiento previo y que los costos en producción se reducen.

Se ha reportado que muestras de semillas provenientes de Indonesia presentaron un valor de acidez de 0,7 mg NaOH/g (3) y no se observaron diferencias con los valores reportados en las regiones de Sinaloa.

El índice de yodo fue de 98,82 a  $102,61 \text{ g/100g}$  (tabla 3, pág. 131). No se presentaron diferencias significativas en las muestras analizadas ( $F= 5,42$ ,  $P \geq 0,05$ ).

El índice de yodo es una media de los ácidos grasos insaturados en el aceite (4). Cuando el índice de yodo es bajo (26 a  $48 \text{ g/100g}$ ), el aceite está saturado y tiende a solidificarse, pero cuando el índice de yodo aumenta (94 a  $135 \text{ g/100g}$ ), el nivel de insaturaciones en las cadenas de carbono aumenta, el aceite permanece líquido y esto repercute en la viscosidad.

El aceite de *J. curcas* de los tres ecotipos estudiados mostró mayor contenido de ácidos grasos insaturados, propiedad que le da mejor estabilidad para evitar la oxidación (10) y menor punto de fusión, lo que contribuiría a que el biodiesel elaborado a partir de estos aceites presentaran mejores características de flujo en ambientes fríos.

Akbar *et al.* (2009) reportaron un valor de yodo de  $103,62 \text{ g/100g}$  en muestras de aceite del germen de *J. curcas* en regiones de Malasia.

Los valores de yodo encontrados en los aceites de *J. curcas* de las regiones de Sinaloa fueron similares a estos y se encuentra dentro del rango ( $\leq 120$  g/100g) de la ASTM D6751 (5) que establece los límites permisibles de aceptabilidad del biodiesel.

El índice de peróxido fue de  $2,0 \pm 0,0$  a  $2,7 \pm 1,1$  meq/kg de muestra (tabla 3, pág. 131). No hubo diferencias significativas en los tres ecotipos ( $F = 0,82, P \geq 0,05$ ).

El índice de peróxido mide el grado de oxidación del aceite (11) y si éste es elevado (mayor de 5 meq/ Kg) (3, 12) repercutirá en la formación de polímeros de alto peso molecular (gomas) en el biodiesel, ocasionando problemas en el funcionamiento del motor.

Dado lo anterior, el aceite de *J. curcas* de las diferentes regiones de Sinaloa se encontró con grado de oxidación adecuado para reacciones de transesterificación (tabla 3, pág. 131).

### Composición de ácidos grasos

Los ácidos grasos saturados obtenidos (tabla 4) fueron láurico (C12:0), mirístico (C14:0), pentadecanoico (C15:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), y araquídico (C20:0), estos representaron aproximadamente el 8,17% del contenido total.

El ácido mirístico ( $F = 4,7, P \leq 0,05$ ) y palmítico, ( $F = 0,84, P \leq 0,05$ ) fueron significativamente diferentes, siendo más abundantes en Estación Dimas (0,38 ácido mirístico y 6,83 palmítico%) con respecto a los del Quelite (0,19 ácido mirístico y 5,38 palmítico%) y La Campana (0,17 ácido mirístico y 4,38 palmítico%).

Por otra parte, los ácidos grasos insaturados obtenidos fueron el palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), y eicosenoico (C20:1), de los cuales el ácido oleico y linoleico conformaron aproximadamente el 90,74%, el resto de los ácidos grasos insaturados constituyeron el 1,09%.

**Tabla 4.** Composición de ácidos grasos del aceite de *J. curcas* en tres regiones de Sinaloa.

**Table 4.** Fatty acid composition of *J. curcas* oil from three regions of Sinaloa.

Ácidos grasos (%)	Estación Dimas	El Quelite	La Campana
Láurico C12:0	$0,01 \pm 0,00$	$0,01 \pm 0,00$	$0,03 \pm 0,00$
Mirístico C14:0	$0,38 \pm 0,02^b$	$0,19 \pm 0,14^a$	$0,17 \pm 0,07^a$
Pentadecanoico C15:0	$0,03 \pm 0,00$	$0,02 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,00$
Palmítico C16:0	$6,83 \pm 0,00^b$	$5,38 \pm 0,01^a$	$4,04 \pm 0,00^a$
Palmitoleico C16:1	$1,01 \pm 0,09^b$	$0,65 \pm 0,48^a$	$0,63 \pm 0,33^a$
Esteárico C18:0	$4,04 \pm 2,80$	$3,69 \pm 2,45$	$3,80 \pm 2,58$
Oleico C18:1	$44,13 \pm 0,09^a$	$46,72 \pm 0,48^b$	$46,2 \pm 0,33^b$
Linoleico C18:2	$42,63 \pm 1,06^a$	$42,34 \pm 4,50^a$	$44,54 \pm 4,7^b$
Linolénico C18:3	$0,70 \pm 0,06^b$	$0,69 \pm 0,51^b$	$0,31 \pm 0,29^a$
Araquídico C20:0	$0,15 \pm 0,11$	$0,22 \pm 0,21$	$0,12 \pm 0,04$
Eicosanoico C20:1	$0,08 \pm 0,0$	$0,08 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,10$

El valor de la media es  $\pm$  DE. Diferentes superíndices en la misma línea indican diferencia significativa entre ecotipos (Test Tukey,  $p < 0,05$ ). Número de muestras (n = 3).

Value of the mean is  $\pm$  DE. Different superscripts in the same line indicate significant differences among ecotypes (Test Tukey,  $p < 0.05$ ). Number of samples (n = 3).

El análisis de varianza no muestra diferencias significativas ( $F= 0,24$ ,  $P \geq 0,05$ ) en el contenido de ácido eicosanoico de los tres ecotipos en estudio, pero se observó diferencia significativa en el contenido ácido oleico ( $F= 0,01$ ,  $P \leq 0,05$ ), linolénico ( $F= 0,02$ ,  $P \leq 0,05$ ), linoleico ( $F= 0,24$ ,  $P \leq 0,05$ ) y palmitoleico ( $F= 1,14$ ,  $P \leq 0,05$ ).

En el ecotipo de Estación Dimas se observó mayor contenido de ácido palmitoleico ( $1,01 \pm 0,09$ ) y linolénico ( $0,70 \pm 0,06$ ) (tabla 4, pág. 134), mientras que el ácido oleico fue más abundante en El Quelite ( $46,72 \pm 0,48\%$ ) y La Campana ( $46,2 \pm 0,33\%$ ). El ácido linoleico ( $44,54 \pm 4,7\%$ ) resultó más abundante en La Campana. Salisbury (2009) señaló que el contenido de ácidos grasos insaturados (linoleico, linolénico y oleico) en las plantas es mayor que los saturados cuando las temperaturas son más elevadas, esto coincide con los resultados obtenidos en Sinaloa dado que el ecotipo de la Campana fue donde se registraron temperaturas más altas (tabla 1, pág. 129).

Los ecotipos de La Campana y Estación Dimas son una alternativa para el aprovechamiento adecuado de germoplasma silvestre con potencial para la producción de biodiesel (6).

Gopale y Zunjarrao (2011) observaron en regiones de la India que los ácidos grasos mostraron mayor contenido de ácido oleico (41 a 49%) y linoleico (26 a 31%).

Martínez Herrera (2007), reportó de un 41 a 42% de ácido oleico, 42 a 44% de linolénico, 9 a 11% de palmítico, 2 a 3% de esteárico, 0,3 a 0,4% de mirístico y 0,3 a 0,4% de palmitoleico en muestras provenientes del estado de Veracruz situado al sur del país, estos resultados son semejantes a los encontrados en el ácido oleico (44 a 46%), esteárico (3 a 4%) y mirístico (0,2 a 0,4%) del presente

estudio, esto indica que la composición de ácidos grasos proveniente de semillas del noroeste de México son similares a las de la región sur. Estudios realizados mostraron que existe variación en la composición de ácidos grasos de semillas de *J. curcas* de diferentes regiones y esto se atribuye principalmente a la selección de ecotipos, la variabilidad genética de las plantas y las poblaciones de origen silvestre (27,32).

## CONCLUSIÓN

El ecotipo La Campana presentó mayor contenido de aceite, propiedad que resulta atractiva para emplearlo en programas de mejoramiento genético.

Las diferentes condiciones ambientales de los ecotipos de Sinaloa influyeron en el contenido de aceite pero no en las propiedades fisicoquímicas del aceite.

El pH y textura del suelo, así como precipitación pluvial son adecuados para el desarrollo de la planta.

El contenido de aceite y las propiedades fisicoquímicas son equivalentes a los reportados en el sur de México, el contenido de ácidos grasos insaturados fue mayor que los ácidos grasos saturados, por tal motivo el aceite de *J. curcas* de los ecotipos estudiados procedentes del estado de Sinaloa son una alternativa para emplearse en la elaboración de biodiesel.

Por otro lado, uno de los factores más importantes para el éxito de un cultivo de *J. curcas* es la selección de plantas elite.

El estudio sobre los parámetros genéticos y las características fisicoquímicas de las semillas serán un aporte fundamental para la selección de genotipos apropiados con fines de cultivo y aprovechamiento industrial.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Akbar, E. ; Yaakob, Z. ; Kartom, S.; Ismail, M.; Salimon, J. 2009. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. *European Journal of Scientific Research*. 29: 396-403.
2. Allison, L; Brown, J; Hayward, H; Richards, L; Bernstein, L; Fireman, M; Pearson, G; Wilcox, L; Bower, A; Hatcher, J; Reeve, R. 1977. Suelos salinos y sódicos. México. Limusa. 171 p.
3. Aminul, K. M.; Yaakob, Z.; Anuar, N.; Primandari, P.; Osmand, M. 2012. Physicochemical properties of *Jatropha curcas* seed oil from different origins and candidate plus plants (CPPs). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89: 293-300.
4. AOAC, Association Society of Official Agricultural Chemists. 2001. Official Methods of Analysis of AOAC. 16<sup>th</sup> edition.
5. ASTM D6751-11 a. Standar specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels.
6. Becker, K.; Makkar, H. 2008. *Jatropha curcas*: a potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technology*. 20: 104-107.
7. Beheare, S.; Srivastava, P.; Tripathi, R.; Singh, J.; Singh, N. 2010. Evaluation of plant performance of *J. curcas* L under different agro-practices for optimizing biomass a case study. *Biomass and Bioenergy*. 34: 30-41.
8. Bidwell, R.1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor, S. A. 784 p.
9. Canakci, M. 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstock's. *Bioresource Technology Journal*. 98: 183-190.
10. Castro, P. 2007. Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. *Soluciones prácticas-ITDG*, 176 p.
11. Dorsa, R. 2004. Vegetable oil technology. Campiñas, Brasil: Magazine Westfalia Separator do Brasil. 58 p.
12. Garay, R.; Hidalgo, E.; Alegría, J.; Mendieta, O. 2012. Determinación de períodos fisiológicos en la maduración y calidad del aceite de piñón blanco (*J. curcas* L.). *Información Tecnológica*. 23(4): 53-64.
13. Gopale, K. D.; Zunjarrao R. 2011. Variations in biochemical content of *Jatropha curcas* seeds collected from agro climatic zones of Maharashtra state of India. *IUP Journal of Life Science*. 3: 27-36.
14. Gush, M. 2008. Measurement of water-use by *J. curcas* L. using the heat-pulse velocity technique. *Water SA*. 34:579-584.
15. Hausenbuiller, R. 1972. Soil science: principles and practices. McGraw-Hill. 246 p.
16. INIFAP. 2011. Agroclima. Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx> (fecha de consulta: 10/2/2013).
17. INIFAP. 2012. Potenciales productivos de piñón mexicano (*Jatropha curcas*) por municipio. Disponible en: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/images/stories/mapas-potencial/121121-jatropha-guerrero-costa.png> (fecha de consulta: 16/12/13).
18. Inurreta, D. 2012. Potencial para producir *J. curcas* L. como materia prima para biodiesel en el estado de Veracruz. Tesis de para obtener el grado de maestría. Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Veracruz. 116p.
19. Makkar, H.; Becker, K; Schmook, B 1998. Edible provenances of *J. curcas* from Quintana Roo state of México and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Food for Human Nutrition*. 52, 31-36.
20. Martínez, H.; Siddhuraju, P.; Francis, G.; Dávila, O.; Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *FoodChemistry*. 96: 80-89.
21. Martínez, H. 2007. El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México. *Revista Digital Universitaria*. 8: 1067-6079.
22. NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 2da. Ed. 85p.

23. Ofori, B.; Keat, L.; Jitkang, L. 2012. Comparative energy analyses of *Jatropha curcas* oil extraction method: solvent and mechanical extraction processes. *Energy Conversion and Management*. 55: 164-171.
24. Ovando, M.; Espinosa, G.; Núñez, F.; Salvador, M. 2009. Does biodiesel from *Jatropha curcas* represent a sustainable alternative energy source?. *Sustainability*. 1: 1035-1041.
25. Prasad, L.; Pradhan, L.; Das, M.; Naik, S. N. 2012. Experimental assessment of toxic phorbol ester in oil, biodiesel and seed cake of *Jatropha curcas* and use of biodiesel in diesel engine. *Applied Energy*. 93: 245-250.
26. Purabi, M.; Banu, V.; Vaibha, V.; Lingaraj, S. 2012. Physicochemical characteristics of *Jatropha curcas* L. of north east India for exploration of biodiesel. *Biomass and Bioenergy*. 46: 546-554.
27. Ranade, S.; Srivastava, A. P.; Rana, T. A. 2008. Assay assessment of diversity in *Jatropha curcas* L. plant using two single-primer amplification reactions (SPAR) Methods. *Biomass and Bioenergy*. 10-16.
28. Salisbury, F.; Ross, C. 2000. *Fisiología de plantas 2*. Editorial Thomsom learning. 523 p.
29. Sawan, Z.; Hafez, S.; Basyony, A.; Alkassas, A. 2007. Cottonseed: protein, oil yields, and oil properties as influenced by potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus. *Grasas y Aceites*. 58: 40-48.
30. Tippayawong, N.; Wongsiriamnuay, T.; Jompakdee, W. 2002. Performance and emissions of a small agricultural diesel engine fueled with 100% vegetable oil: effects of fuel type and elevated inlet temperature. *Asian Journal on Energy and Environment*. 3: 139-58.
31. Ustra, M.; Silva, J.; Ansolin, M.; Balen, M.; Camtelli, K. 2013. Effect of temperature and composition on density, viscosity and thermal conductivity of fatty acid methyl esters from soybean, castor and *Jatropha curcas* oils. *Journal Chemistry Thermodynamics*. 58: 460-466.
32. Vaknin, Y.; Chanim, M.; Samra, S.; Dvash, L.; Hendelsman, E.; Eisikowitch, D.; Samocha, Y. 2011. Predicting *Jatropha curcas* seed-oil content, oil composition and protein content using near-infrared spectroscopy- a quick and non destructive method. *Industrial Crops and Products*. 34: 1029-1034.

#### AGRADECIMIENTOS

A CONACyT, CIAD, A. C., CIBNOR, S. C.

A Margarito Rodríguez, Sergio Real, Pedro Bastidas, Federico Soto, Evelia Araiza, Werner Rubio, Edith Salazar, Wendy Salas y Elvía Pérez por su participación en el desarrollo de la investigación.

A Diana Dorantes por su apoyo en la edición en inglés.