

Plantas silvestres del centro-norte de México con potencial para la producción de aceite

Miguel Ángel Flores-Villamil¹
Santiago de Jesús Méndez-Gallegos^{1§}
Eduwiges Javier García-Herrera¹
Alejandro Amante-Orozco¹
Adrián Gómez-González¹
Francisco Javier Cabral-Arellano²
José Fernando Vasco-Leal³

¹Colegio de Postgraduados-Campus San Luis Potosí. Iturbide núm. 73, Col. Centro, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. CP. 78600. (flores.miguel@colpos.mx; garciae@colpos.mx; aamante@colpos.mx; agomez@colpos.mx). ²Universidad Autónoma de Zacatecas-Unidad Académica de Ciencias Biológicas. Av. Preparatoria s/n, Col. Agronómica, Zacatecas, México. CP. 98060. (fjcabral@cantera.reduaz.com). ³Universidad Autónoma de Querétaro-División de Investigación y Posgrado-Posgrado de Gestión Tecnológica e Innovación-CU. Cerro de las Campanas s/n. Querétaro, México. CP. 76010. (cimer@uaq.mx).

§ Autor para correspondencia: jmendez@colpos.mx.

Resumen

México posee una gran variedad en especies de plantas silvestres que podrían aprovecharse de manera sustentable en la obtención de aceite y productos de alto valor agregado o emplearse como materia prima en el sector industrial, cosmetológico, farmacéutico y/o en la producción de bioenergéticos. El objetivo de este estudio fue determinar el potencial productivo, realizar la caracterización física, química y morfológica de semillas provenientes de plantas silvestres de las regiones de Aguascalientes, San Luis Potosí y Zacatecas con el fin de determinar su potencial en la producción de aceite. Índice de refracción, saponificación, acidez, yodo y peróxido fueron determinados según lo establecido en la Norma Mexicana (NMX). De acuerdo con los resultados obtenidos, *Agave* sp., presentó el mayor rendimiento potencial de semilla de 24305 kg ha⁻¹, sin embargo, presenta un largo periodo de fructificación. Y para el rendimiento de aceite, *A. undulata* mostró el mayor potencial con 1315 kg ha⁻¹. En cuanto a los parámetros morfológicos *C. ficifolia* obtuvo los valores más altos (mm) en dimensiones de largo y ancho y *J. dioica* el mayor valor en espesor (mm) y peso de 100 semillas. Las semillas con altos contenidos de aceite correspondieron a las especies *C. foetidissima* (33.9%) y *P. louisianica* (33.6%) y *J. diodica* (32.86%). La variación entre las características estudiadas permitió la identificación de especies de interés para la producción de aceite de uso industrial y/o bioenergético.

Palabras clave: Aceite, bioenergéticos, plantas silvestres, calidad de aceite, morfología.

Recibido: agosto de 2018

Aceptado: octubre de 2018

Introducción

La detección de especies vegetales con potencial agroindustrial y bioenergético se han convertido en un tema de gran interés socioeconómico a nivel mundial. Países con gran diversidad ecológica desempeñan un rol importante en la búsqueda de dichas especies. En este sentido, México posee una gran variabilidad ecológica: en el norte y parte del centro del país se encuentran las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas caracterizadas por los matorrales xerófilos, pastizales y bosques espinosos; en zonas del Pacífico y del centro del golfo de México están los bosques tropicales secos y semisecos; en zonas más húmedas (> 900 msnm) se ubican los bosques tropicales perennifolios, y a mayores altitudes los bosques de niebla; finalmente, en las sierras habitan los bosques de coníferas y de encinos (CONABIO, 2006).

Las zonas secas ocupan más de la mitad del territorio mexicano con 101.5 millones de hectáreas, de esta superficie, las zonas áridas representan 15.7%, las semiáridas 58% y el restante corresponde a las zonas subhúmedas secas (UACH, 2011). De acuerdo a lo anterior, en las zonas áridas y semiáridas existe una gran variedad de vegetación con características adaptadas a este tipo de hábitat, recursos naturales que podrían aprovecharse de manera sustentable en la generación de productos de alto valor agregado o como materia prima en el sector industrial, medicinal, cosmetológico y/o producción de bioenergéticos. Ante el creciente interés de la producción de la bioenergía, es necesario considerar nuevas estrategias tales como centrar la atención en los cultivos, que incluyan árboles forestales de ciclo corto, hierbas perennes y herbáceas, que sean fuentes alternativas de energía como gas natural, biodiesel o bioetanol (Díaz-Ramírez *et al.*, 2013).

Aunque, México cuenta con una gran variedad de recursos naturales, su incorporación en el campo bioenergético es incipiente y está siendo impulsada por la implementación de programas y proyectos productivos de mediano plazo. De esta manera, la búsqueda e identificación de especies vegetales endémicas e introducidas con altos contenidos de aceite podrían emplearse en la fabricación de biodiesel. Entre las plantas silvestres con potencial para la producción de aceite que se ha estudiado en el país destacan: higuera (Perdomo *et al.*, 2013; Mosquera-Artamonov *et al.*, 2016; Vasco *et al.*, 2018), piñón (García *et al.*, 2017), chicalote y cuernitos (Reveles *et al.*, 2010), gatuña (Ortega-Nieblas y Vázquez-Moreno, 1995), entre otras; sin embargo, aún falta por explorar otras especies, con la finalidad de identificar plantas silvestres adaptadas a las condiciones agroambientales de la zona centro-norte de México que pudiesen producir aceite de uso bioenergético.

Tomando en cuenta que tanto especies nativas como introducidas ya adaptadas a cada región, podrían ser aprovechadas con fines energéticos en aquellos suelos no aptos para la agricultura, sin desplazar la producción de alimentos y además requerir pocos insumos, esta investigación pretende coleccionar especies silvestres del centro-norte de México, determinar su potencial productivo, analizar su contenido de aceite y sus características físico-químicas, e identificar especies vegetales de interés para la producción de aceite.

Materiales y métodos

Selección y colecta de semilla

La colecta de semillas se realizó mediante recorridos de campo entre los meses de junio de 2014 a mayo de 2015, considerando la disponibilidad anual de las plantas silvestres, en 18 sitios pertenecientes a los estados de Aguascalientes (AGS), San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas (ZAC), México. Se utilizaron los siguientes criterios para la selección de las especies en campo: 1) abundancia, 2) disponibilidad de semilla, 3) accesibilidad a los sitios, y 4) antecedentes de uso. Las 19 especies colectadas en el área de estudio fueron: chicalote *Argemone mexicana*, calabacilla loca *Cucurbita foetidissima*, chilacayota *Cucurbita ficifolia*, melón hediondo *Apodanthera undulata*, aceitilla *Bidens odorata*, jara *Leonotis nepetifolia*, toloache *Datura innoxia*, cardo *Datura ferox*, cadillo *Xanthium strumarium*, toritos *Proboscidea louisianica*, mostacilla *Brassica* sp., saramago *Eruca sativa*, sangre de grado *Jatropha dioica*, huizache *Acacia farnesiana*, mezquite *Prosopis glandulosa*, gobernadora *Larrea tridentata*, maguey *Agave* sp., pirúl *Schinus molle* y girasol *Helianthus annuus*. Para cada sitio de colecta se registraron las coordenadas de geoposicionamiento, características de las plantas y condiciones agroambientales; éstas se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características y ubicación de las especies colectadas en el estudio.

Estado	Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Planta silvestre
AGS	Cosío	22°23'39.8"	102°18'23.4"	2008	<i>Datura innoxia</i>
AGS	San José de Gracia	22°08'36.9"	102°21'26.4"	1980	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Apodanthera undulata</i> <i>Xanthium strumarium</i> ,
AGS	Tepezalá	22°13'33.2"	102°14'14.2"	1887	<i>Datura ferox</i> , <i>Bidens odorata</i>
SLP	Ahualulco	22°19'38.8"	101°12'15.3"	1862	<i>Proboscidea louisianica</i>
SLP	Salinas	22°43'56.0"	101°42'40.0"	2096	<i>Bidens odorata</i> , <i>Eruca sativa</i> <i>Proboscidea louisianica</i> ,
SLP	Salinas	22°37'32.6"	101°41'15.0"	2110	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Eruca sativa</i> , <i>Bidens odorata</i> , <i>Xanthium strumarium</i>
SLP	Salinas	22°37'10.3"	101°43'58.9"	2079	<i>Acacia farnesiana</i>
SLP	Salinas	22°35'59.9"	101°42'07.0"	2115	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Jatropha dioica</i> <i>Bidens odorata</i> ,
SLP	Mexquitic	22°19'38.8"	101°12'15.0"	1870	<i>Brassica</i> sp., <i>Proboscidea louisianica</i>
SLP	Mexquitic	22°16'23.4"	101°05'35.0"	1980	<i>Leonotis nepetifolia</i>
SLP	Venado	22°55'54.3"	101°04'25.6"	1755	<i>Bidens odorata</i> , <i>Xanthium strumarium</i>

Cuadro 1. Características y ubicación de las especies colectadas en el estudio. (Continuación).

Estado	Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Planta silvestre
ZAC	Zacatecas	22°45'26.9"	102°33'51.1"	2418	<i>Bidens odorata</i> , <i>Helianthus annuus</i> , <i>Datura inoxia</i>
ZAC	Zacatecas	22°45'51.4"	102°38'21.2"	2325	<i>Jatropha dioica</i>
ZAC	Zacatecas	22°46'00.3"	102°35'03.8"	2444	<i>Argemone mexicana</i>
ZAC	Guadalupe	22°45'04.2"	102°27'10.4"	2193	<i>Cucurbita foetidissima</i>
ZAC	Loreto	22°16'19.3"	101°57'30.4"	2047	<i>Schinus molle</i>
ZAC	Guadalupe	22°40'53.5"	102°33'27.1"	2376	<i>Prosopis glandulosa</i> <i>Agave sp.</i>
ZAC	Genaro Codina	22°29'13.65"	102°27'48.52"	2176	<i>Cucurbita ficifolia</i>

Estimación de la productividad en campo

Para determinar su productividad en campo, una vez localizada la planta, se siguió la metodología propuesta por Mostacedo y Fredericksen (2000), quienes recomiendan el método de muestreo por parcela cuadrada de 1 m x 1 m para plantas herbáceas, de 5 m x 5 m para rastreras y de 10 m x 10 m para arbustivas y arbóreas. En cada una de las parcelas se estimó la cobertura, densidad y frecuencia de plantas, así como el número de semillas por planta, de la totalidad de las plantas contenidas en la parcela respectiva. Se emplearon las variables densidad y número de semillas por planta para estimar el rendimiento potencial de semilla extrapolado a una hectárea en condiciones naturales.

Caracterización morfológica de las semillas

Las semillas limpias se secaron a 60°C por un periodo de 18 h. Posteriormente, se registró el peso (g) de 100 semillas tomadas al azar, de cada una de las especies consideradas en el estudio, mediante una balanza analítica (Vlab V300®). A 100 semillas de cada una las especies colectadas se les midió largo, ancho y espesor (cm) utilizando un vernier, de acuerdo a la metodología propuesta por Pérez *et al.* (2006).

Extracción y caracterización fisicoquímica de los aceites

La extracción química de aceite se realizó utilizando un determinador de grasa y aceite (Soxtec System HT 1043), de acuerdo a la técnica propuesta por Loredó *et al.*, (2012). Una vez extraídos los aceites se procedió a llevar a cabo la determinación de los siguientes parámetros, tomando en consideración las Normas Mexicanas (NMX): índice de refracción (NMX-F-074-S 1981), índice de saponificación (NMX-F-174-S-1981), índice de acidez (NMX-F-101-1987), índice de yodo (NMX-F-408-S-1981) e índice de peróxidos (NMX-F-154-1987).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron expresados como la media de tres experimentos independientes \pm desviación estándar. Para rendimiento potencial de semilla y aceite se realizaron análisis de varianza, el diseño experimental fue completamente al azar y se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Software, V9.1).

Resultados y discusión

Colecta de semilla

Se realizaron recorridos de campo en diferentes sitios del Altiplano centro-norte del país, en busca de especies de plantas, que tuvieran potencial para la producción de aceite. Las especies colectadas se distribuyeron en altitudes de 1755 a 2444 msnm. Se observó que la mayoría de las semillas de las plantas colectadas presentan características ruderales de ciclo anual, las cuales se encontraron a la orilla de la carretera, terrenos baldíos o como invasoras de campos de cultivo.

Rendimiento potencial de semilla y de aceite

El análisis estadístico realizado muestra que existe diferencia estadística para el rendimiento potencial de semilla y rendimiento de aceite, en función de las especies vegetales en estudio ($p \leq 0.05$). *Agave* sp., resultó superior y estadísticamente diferente ($DSH=2457$) al resto de las especies, al registrar un rendimiento potencial de semilla de 24305 kg ha^{-1} . No obstante, ésta representa un caso especial dado que en las especies de porte alto de este tipo de plantas la maduración puede ocurrir entre los 10 y 25 años, mientras que en las de porte bajo de esta especie se puede presentar entre los cuatro y cinco años (García-Mendoza, 2002). En la Figura 1 se destaca que cuatro especies registraron rendimientos potenciales de semilla superiores a 1000 kg ha^{-1} , pero sobresalen, además de *Agave* sp., *A. mexicana*, *A. undulata* y *P. louisianica*.

Por el contrario, siete especies presentaron valores de rendimiento de semilla menores a 100 kg ha^{-1} , destacando entre ellas *L. tridentata* con sólo 0.8 kg ha^{-1} , a pesar de haber registrado una de las densidades más altas. Un importante grupo de especies se ubicaron con rendimientos potenciales de semilla intermedios, con excepción de *P. glandulosa*, todas ellas son de porte medio-bajo, herbáceas y rastreras.

Respecto a *B. odorata*, resalta que a pesar de registrar una densidad alta por unidad de superficie y de contar con un alto número de semillas, no se reflejó en su rendimiento potencial debido al bajo peso de éstas. Similar comportamiento se observó con *L. tridentata* dado que sus semillas son muy livianas. En *X. strumarium* su reducido rendimiento pudo estar asociado a la presencia de un bajo número de semillas (dos semillas por fruto); sin embargo, es una especie a considerar ya que su semilla contiene 20.4% de aceite. En el caso particular de *Brassica* sp., su bajo rendimiento pudo ser resultado de su baja densidad y reducido tamaño de semillas; no obstante, posee un alto porcentaje de aceite (30.3%) lo cual resulta interesante, sobre todo sí se considera pueda cultivarse de manera intensiva a fin de incrementar su

rendimiento en semilla. En otras especies oleaginosas cultivadas se han observado resultados muy contrastantes en cuanto a rendimientos, sobre todo si se considera que muchos de ellos han sido obtenidos en condiciones experimentales.

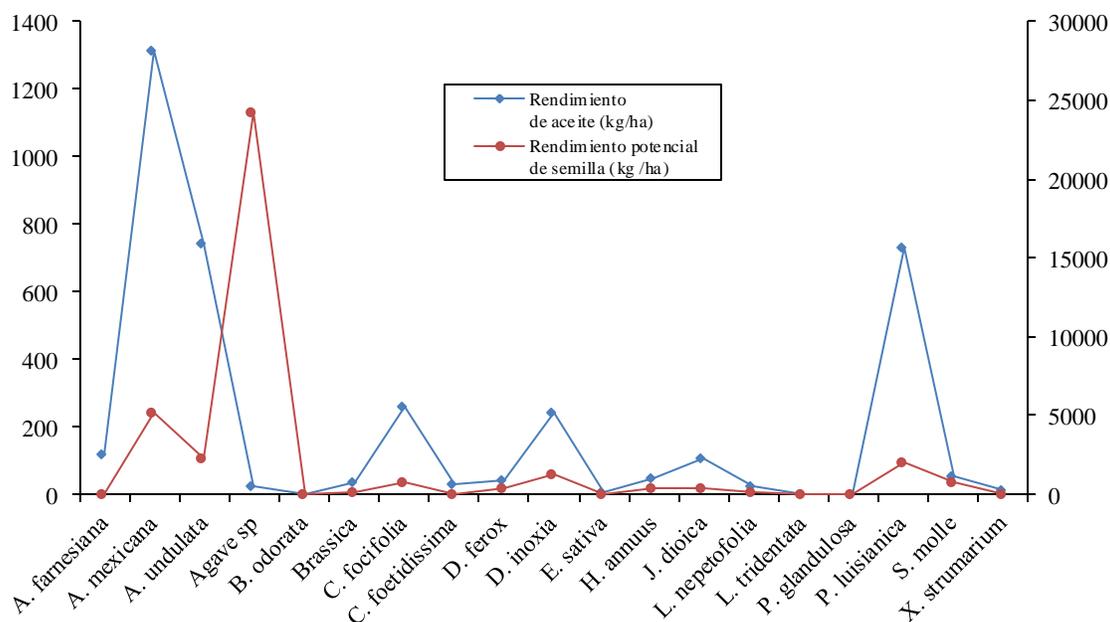


Figura 1. Relación entre rendimiento potencial de semilla y contenido de aceite.

Los resultados obtenidos para rendimiento de aceite de las especies estudiadas se muestran en la Figura 1. *A. mexicana* resultó la especie con el rendimiento más alto de aceite con 1315 kg ha^{-1} , estadísticamente diferente al resto de las especies ($DSH=773.2$), esta especie resultó tan competitiva o mejor que algunos cultivos comerciales empleados actualmente en la producción de biodiesel, tales como soya *Glycine max* (335 kg ha^{-1}), girasol *Helianthus annuus* (568 kg ha^{-1}), cacahuete *Arachis hypogaea* (712 kg ha^{-1}), colza *Brassica napus* (832 kg ha^{-1}), piñón *Jatropha curcas* (950 kg ha^{-1}), higuera *Ricinus communis* (1133 kg ha^{-1}), tung *Aleurites fordii* (1204 kg ha^{-1}) según lo registran Martínez-Valencia *et al.*, (2011). *A. undulata* y *P. lousianica* mostraron rendimientos interesantes de aceite de 743 y 730 kg ha^{-1} , estos son derivados de su gran número de frutos, tamaño y cantidad semillas y sobre todo de sus contenidos de aceite superiores a 30%.

Caracterización física y peso de las semillas

Los resultados obtenidos para la caracterización física y peso de las semillas en estudio son presentados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características físico-químicas de los aceites vegetales.

Semillas	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso 100 semillas (g)
<i>A. mexicana</i>	1.85 ± 0.11	1.73 ± 0.01	1.67 ± 0.10	0.26 ± 0.01
<i>A. undulata</i>	10.72 ± 0.75	8.34 ± 0.59	3.69 ± 0.54	10.60 ± 0.21
<i>A. farnesiana</i>	6.35 ± 0.18	5.86 ± 0.56	4.12 ± 0.23	12.64 ± 1.26
<i>Agave sp.</i>	10.34 ± 0.27	7.30 ± 0.43	0.01 ± 0.03	0.83 ± 0.05
<i>B. odorata</i>	10.22 ± 2.27	0.84 ± 0.15	0.59 ± 0.12	0.14 ± 0.01
<i>Brassica sp.</i>	1.51 ± 0.18	1.36 ± 0.70	1.20 ± 0.30	0.08 ± 0.08
<i>C. ficifolia</i>	17.32 ± 0.30	10.73 ± 0.25	2.65 ± 0.26	3.70 ± 0.04
<i>C. foetidissima</i>	9.62 ± 0.68	2.28 ± 0.36	1.58 ± 0.44	17.31 ± 0.04
<i>D. ferox</i>	3.74 ± 0.31	2.91 ± 0.26	1.49 ± 0.15	0.80 ± 0.03
<i>D. inoxia</i>	4.52 ± 0.63	3.31 ± 0.42	1.31 ± 0.01	0.94 ± 0.02
<i>E. sativa</i>	1.56 ± 0.11	1.24 ± 0.11	0.77 ± 0.14	0.07 ± 0.01
<i>H. annuus</i>	5.64 ± 0.68	2.28 ± 0.36	1.58 ± 0.44	0.63 ± 0.06
<i>J. dioica</i>	11.61 ± 0.92	10.17 ± 0.85	9.66 ± 0.53	154.60 ± 1.95
<i>L. nepetifolia</i>	3.91 ± 0.31	1.48 ± 0.14	1.01 ± 0.18	0.18 ± 0.01
<i>L. tridentata</i>	5.41 ± 0.71	1.59 ± 0.29	2.26 ± 0.33	0.51 ± 0.03
<i>P. louisianica</i>	8.75 ± 0.58	5.10 ± 0.36	2.90 ± 0.37	3.20 ± 0.08
<i>P. glandulosa</i>	5.56 ± 0.30	4.28 ± 0.40	2.40 ± 0.18	3.53 ± 0.06
<i>S. molle</i>	4.51 ± 0.48	4.27 ± 0.45	4.01 ± 0.63	2.65 ± 0.02
<i>X. strumarium</i>	13.75 ± 2.45	4.11 ± 0.61	2.21 ± 0.43	5.61 ± 0.04

Los resultados son expresados como la media de tres réplicas ± desviación estándar.

En cuanto al parámetro “largo” de las semillas evaluadas, los valores (mm) promedio oscilan desde 1.51 ± 0.18 para *Brassica sp.*, hasta 17.32 ± 0.30 para *C. ficifolia*. En relación, al “ancho” de las semillas, se determinó en *B. odorata* el promedio menor (mm) con 0.84 ± 0.15 y *C. ficifolia* el valor mayor (mm) con 10.73 ± 0.25 . En cuanto a la característica “espesor”, *J. dioica* presentó el promedio mayor (9.66 ± 0.53 mm) con respecto a las semillas de las otras especies en estudio tales como *Agave spp* (0.01 ± 0.03), *B. odorata* (0.59 ± 0.12 mm) y *E. sativa* (0.77 ± 0.14). Finalmente, el “peso de 100 semillas” presentó una gran variabilidad entre las especies en estudio, las semillas de *J. dioica* resultaron las más pesadas, al registrar un valor promedio de 154.60 ± 1.95 g, mientras que el resto mostraron valores que oscilaron entre 0.26 y 17.31 g por cada 100 semillas. Para todos los casos, los valores de desviación estándar registrados, resultaron bajos, lo que confirma que en los tres parámetros evaluados (largo, ancho y espesor) no existe variabilidad alta en las dimensiones de las semillas de una misma especie. Sin embargo, sí se aprecia ésta en las dimensiones de las semillas de las diferentes especies.

Contenido de aceite de las semillas en estudio

En la Figura 2, se presentan los porcentajes de aceite obtenidos de las semillas colectadas. Se destaca que seis especies registraron contenidos mayores a 30%, entre las que destacan: *C. foetidissima* (33.9%), *P. louisianica* (33.6%), *J. dioica* (32.86%), *C. ficifolia* (31.8%), *A.*

undulata (31.40%) y *Brassica* sp. (30.33%). Asimismo, se aprecia que seis de las especies colectadas obtuvieron un porcentaje de aceite entre 10 y 30% y siete resultaron con valores de aceite menores al 10%. Estos contenidos, en general, son menores a los registrados por Martínez-Valencia *et al.* (2011) para oleaginosas cultivadas comercialmente tales como: girasol *Helianthus annuus* (45-55%), canola *Brassica napa* (40-44%), palma *Elaeis guineensis* (44-57%), coco *Cocos nucifera* (65-75%), cacahuete *Arachis hypogaea* (48-50%) y cártamo *Carthamus tinctorius* (35-40%); o al contenido de aceite de entre, 41.52 a 51.04% obtenidos por Vasco-Leal *et al.* (2017) en doce accesiones de higuierilla procedentes de los estados de Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí y Zacatecas, México.

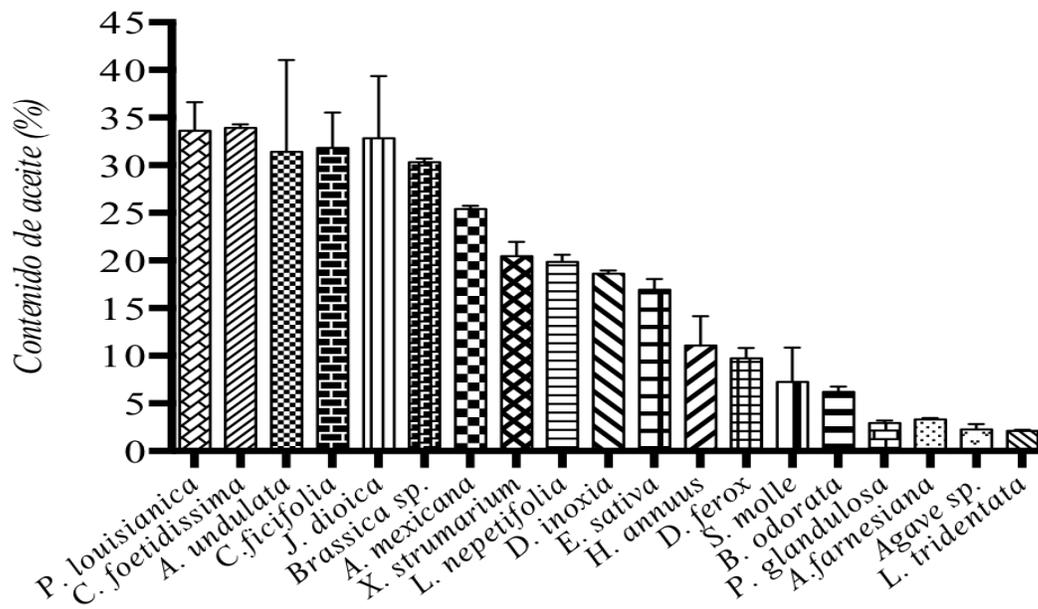


Figura 2. Porcentaje de aceite obtenido de las especies de plantas colectadas.

Caracterización fisicoquímica de aceites

La calidad y la eficiencia del biodiesel dependen del proceso y la calidad del aceite generada por la materia prima; es decir, aceites con baja concentración de ácidos grasos libres, altos en ácidos grasos monoinsaturados y sin gomas e impurezas, entre otras propiedades fisicoquímicas (Martínez-Valencia *et al.*, 2011). Por su parte, Martínez-Sánchez *et al.* (2015) señalan que las características químicas más usadas para la clasificación y determinación de la calidad comercial de los aceites son: índice de yodo, saponificación, peróxidos y acidez; dentro de las características físicas destacan la gravedad específica, el índice de refracción, densidad y el punto de fusión. En el Cuadro 3 se presentan resultados de las características fisicoquímicas de los aceites estudiados.

Cuadro 3. Principales ácidos grasos presentes en los aceites de las especies estudiadas.

Especie	IR	IS (mg KOH g ⁻¹)	IY (g I ₂ 100 g ⁻¹)	IP (meq kg ⁻¹)	IA (% ácido oleico)
<i>A. farnesiana</i>	1.4768	ND	60.68 ± 2.78	ND	ND
<i>A. mexicana</i>	1.4730	119.31 ± 1.42	117.94 ± 1.75	0.39 ± 0.10	11.71 ± 0.02
<i>A. undulata</i>	1.4870	141.48 ± 0.24	123.80 ± 4.54	0.75 ± 0.10	11.25 ± 0.17
<i>Agave sp.</i>	1.4762	ND	ND	0.74 ± 0.05	ND
<i>B. odorata</i>	1.4725	149.81 ± 3.43	96.57 ± 0.86	1.62 ± 1.41	ND
<i>Brassica sp.</i>	1.4715	174.17 ± 0.37	93.82 ± 0.32	0.79 ± 0.04	3.13 ± 0.01
<i>C. ficifolia</i>	1.4748	ND	73.12 ± 1.34	1.08 ± 0.01	0.68 ± 0.22
<i>C. foetidissima</i>	1.4750	180.02 ± 0.05	141.26 ± 22.79	0.47 ± 0.05	11.51 ± 0.03
<i>D. ferox</i>	1.4700	142.31 ± 2.42	ND	ND	29.66 ± 0.19
<i>D. inoxia</i>	1.4720	146.22 ± 0.34	114.95 ± 1.11	1.06 ± 0.01	8.70 ± 0.43
<i>E. sativa</i>	1.4780	129.64 ± 3.37	97.59 ± 0.16	ND	4.24 ± 0.01
<i>H. annuus</i>	1.4723	152.27 ± 3.20	122.29 ± 2.95	0.77 ± 0.05	7.69 ± 0.01
<i>J. dioica</i>	1.4725	ND	113.49 ± 2.58	ND	ND
<i>L. nepetifolia</i>	1.4658	149.93 ± 2.08	88.47 ± 1.20	0.47 ± 0.05	36.17 ± 0.72
<i>P. glandulosa</i>	1.4757	ND	ND	ND	ND
<i>P. louisianica</i>	1.4735	182.83 ± 4.43	116.65 ± 0.32	0.72 ± 0.05	3.50 ± 0.01
<i>S. molle</i>	1.4850	ND	99.40 ± 0.85	0.79 ± 0.05	26.80 ± 0.55
<i>X. strumarium</i>	1.4750	ND	126.63 ± 2.23	0.67 ± 0.05	1.79 ± 0.37

Los resultados son expresados como la media de tres réplicas ± desviación estándar.

IR = Índice de refracción, IS = Índice de saponificación, IY = Índice de yodo,

IA = Índice de acidez, IP = Índice de peróxidos, ND= No determinado.

Índice de refracción (IR)

En el Cuadro 3, se presenta el índice de refracción determinado para los aceites de las especies en estudio, los cuales muestran valores entre 1.4658 y 1.4870; éstos se encuentran dentro del rango de los siguientes resultados obtenidos en aceites provenientes de otras semillas oleaginosas: higuierilla (1,4764 – 1,4778), soya (1,466 – 1,47) y valores promedio mayores comparados con

las siguientes materias primas de aceite: piñón (1,4680), algodón y cacahuete (1,460 – 1,465), girasol (1,467 – 1,469), sésamo (1,465 – 1,469), babasú (1,448 – 1,451) de acuerdo a lo señalado en la literatura (Anvisa, 1999; Pinhão manso, 2005; Proquinor, 2003).

Índice de saponificación (IS)

De acuerdo a los resultados obtenidos, las especies con mayor índice de saponificación presentaron valores de 182.83, 180.02 y 174.17 mg KOH g⁻¹ (*P. louisiana* > *C. foetidissima* > *Brassica sp.*), mientras los valores de las especies con menor índice fueron de 119.31 y 129.64 (*A. mexicana* < *E. Sativa*). Danlami *et al.*, (2015) observaron valores promedio similares para aceite de *R. communis* (174.6 mg KOH g⁻¹). De igual forma, Yong y Salimon (2006) obtuvieron valores para *Elateriospermum tapos* de 150.90 mg KOH g⁻¹. Resultados similares se obtuvieron en este estudio para las especies de *B. odorata*, *H. annuus* y *L. nepetifolia*. Por otra parte, en la industria de los cosméticos, Ruiz y Huesa (1991) observaron valores de IS para el aceite de Karité (*Butyruspermum parki*) de 180-190 mg KOH g⁻¹; dichos valores son similares con los aceites de *C. foetidissima* y *P. louisianica*, lo que posibilita su potencial uso en la industria de los cosméticos. Asimismo, Cruz *et al.* (2015) obtuvieron en *J. curcas*, uno de los aceites más empleados en la obtención de biodiesel con promedios que oscilaron entre 192 y 196 mg KOH g⁻¹, sólo *P. louisianica* registró estos valores en nuestro estudio.

Índice de Yodo

El índice de yodo (IY) evaluado en los aceites de las especies colectadas oscilaron entre 60.68 a 141.26 g I₂ 100 g⁻¹ (Cuadro 3). Al comparar estos promedios con aquellos aceites vegetales provenientes de otras semillas oleaginosas, Freire (2001) determinó promedios en aceite de *R. communis*, entre 81 a 91 g I₂ 100 g⁻¹ y Cecchi (2003) en aceite de *Glycine max* registraron valores entre 120 a 141 g I₂ 100 g⁻¹; de esta manera se evidencia que cada especie posee un valor característico, el cual podría depender de la variedad y del método empleado en su determinación. De acuerdo, a Saraf y Thomas (2007), este parámetro influye directamente en la calidad del biodiesel, debido a que altos valores de este índice en el aceite, pueden traducirse en una mayor tendencia a la oxidación, contribuir a la formación de gomas en el motor y a la disminución de la lubricidad.

Índice de Peróxidos

Los peróxidos son conocidos como compuestos de la descomposición primaria de la oxidación de las grasas y aceites (Gómez, 2010), por lo que aquellos valores de índice de peróxido (IP) cercanos a 0 meq kg⁻¹, se relacionan con un nivel de rancidez bajo; es decir, se oxidan lentamente permitiendo que el aceite conserve por más tiempo su calidad, dándoles una ventaja para su posible utilización posterior. Un valor alto de IP indica la presencia de oxidación; en este estudio, vale la pena resaltar que los aceites de la mayoría de las especies vegetales estudiadas presentaron un IP menor a 1. De acuerdo con Luna-Guevara y Guerrero-Beltrán (2012) el IP y el IA son considerados indicadores de calidad y frescura de los aceites.

Índice de Acidez

En el Cuadro 3, se aprecia que el aceite de las especies con IA menor a 5% de ácido oleico son *C. ficifolia* (0.68%), *X. strumarium* (1.79%), *Brassica* sp. (3.13%), *P. louisianica* (3.50%) y *E. sativa* (4.24%), mientras *S. molle*, *D. ferox*, *L. nepetifolia*, presentan valores de 26.80, 29.66 y 36.17% respectivamente. Esta determinación es indispensable para la elaboración de biodiesel y aceites de uso alimentario o industrial.

Conclusiones

Las especies silvestres estudiadas presentaron características agroproductivas distintivas interesantes en cuanto a productividad de semilla y contenido de aceite. Seis especies (*C. ficifolia*, *C. foetidissima*, *A. undulata*, *J. dioica*, *P. louisianica* y *Brassica* sp) obtuvieron porcentajes superiores al 30%, por lo que se les considera de interés en la producción de aceite. Considerando las características físicas y químicas de los aceites se sugiere su potencial utilización no solo en la industria de biocombustibles, sino su posible empleo en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmetológica, así como en la obtención de productos de mayor valor agregado.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado técnica y financieramente por el Colegio de Postgraduados, *Campus* SLP. Por su parte los autores M. A Flores-Villamil y J. F Vasco-Leal, agradecen al CONACYT por las becas de postgrado otorgadas. A la Universidad Autónoma de Zacatecas por facilitar sus laboratorios para realizar las pruebas de caracterización química de aceites.

Literatura citada

- Anvisa. 1999. Resolução N° 482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 82 – 87 pp.
- Cecchi, H. M. 2003. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2ª ed. Campinas. Editora da UNICAMP. 207 p.
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 71 p. http://www.conabio.gob.mx/2ep/images/3/37/capital_natural_2EP.pdf. Consultado 17 mayo de 2018.
- Cruz R., B. A.; Pérez-Vázquez, A.; García P., E.; Gallardo L., F. y Soto H., R.M. 2015. Análisis químico morfológico comparativo de accesiones de *Jatropha curcas* L. del estado de Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas., 6(3):589-601.
- Danlami, J.; Arsad, A. and Zaini, M. 2015. Characterization and process optimization of castor oil (*Ricinus communis* L.) extracted by the soxhlet method using polar and non-polar solvents. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 47:99–104.
- Díaz-Ramírez, M.; Nogués, F. S.; Royo, J. and Rezeau, A. 2013. Combustion Behavior of Novel Energy Crops in Domestic Boilers: Poplar and Brassica Experiences. In: Alternative

- Energies, *Advanced Structured Materials* 34, Ferreira, G. (ed). Springer, Berlin, Heidelberg 27-45 pp.
- Freire, M. R. M. 2001. Ricinoquímica. In: O agronegócio da mamona no Brasil. Pedrosa de A., M. and Lima F., E. (eds). Embrapa Algodão, Campina Grande. 295-335 pp.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of the genus *Agave* (Agavaceae) and its endemic species in México. *Cactus and Succulent Journal*. 74:177-187.
- García A, F.; García P, E.; Pérez V, A. and Ruiz R, O. 2017. Contenido de aceite en accesos de *Jatropha curcas* L. no tóxica en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(3):635-648.
- Gómez, E. 2010. Índice de peróxido. Informe No. 4. Universidad Agraria de la Selva, Perú. <http://documents.mx/documents/informe-n04-indice-de-peroxido.html>. Consultado 23 junio de 2018.
- Loredo, S.; Espinosa, V.; Goytia, M.; Díaz, L.; Soto, M. and Marrone, G. 2012. Fatty acid methyl ester profile from lupinus in the identification of sweet and bitter species from this gender with oil of *Lupinus uncinatus* Schlecht seeds. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2(8):1-4.
- Luna-Guevara, J. J. y Guerrero-Beltrán, J. A. 2012. Evaluación de algunos índices físicos y químicos de aceites extraídos de nuez pecanera, nuez de castilla y macadamia. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Red Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. 22(2): 33-39.
- Martínez-Valencia, B.B.; Zamarripa-Colmenero, A.; Solís-Bonilla, J. L. y López-Ángel, L. J. 2011. Calidad fisicoquímica de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en México. Folleto Técnico Num.24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. 63 p.
- Martínez-Sánchez, J.; Espinosa-Paz, N.; Fernández-González, I.; Martínez-Valencia, B. B.; De la Cruz-Morales, F. R. y Cadena-Iñiguez, P. 2015. Evaluación fisicoquímica del aceite de variedades criollas de *Arachis hypogaea* L. *Revista Agroproductividad*. 8(8):12-18.
- Mosquera-Artamonov, J. D.; Vasco-Leal, J. F.; Acosta-Osorio, A. A.; Hernández-Ríos, I.; Ventura-Ramos, E.; Gutiérrez-Cortez, E. and Rodríguez-García, M. E. 2016. Optimization of castor seed oil extraction process using response surface methodology. *Ingeniería e Investigación*. 36(3):82-88.
- NMX-F-101-1987. Norma Mexicana. Determinación del índice de acidez.
- NMX-F-154-1987. Norma Mexicana. Determinación del índice de peróxidos.
- NMX-F-074-S-1981. Norma Mexicana. Determinación del índice de refracción.
- NMX-F-174-S-1981. Norma Mexicana. Determinación del índice de saponificación.
- NMX-F-408-S-1981. Norma Mexicana. Determinación del índice de yodo por el método de análisis de Hanus.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Editora El País. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Ortega-Nieblas, M. y Vázquez-Moreno, L. 1995. Caracterización fisicoquímica de los aceites crudos de algunas semillas de leguminosas del desierto sonorense. *Grasas y aceites*. 46 (1):1-5.
- Perdomo, F. A.; Acosta-Osorio, A. A.; Herrera, G.; Vasco-Leal, J. F.; Mosquera-Artamonov, J. D.; Millan-Malo, B.; and Rodríguez-García, M. E. 2013. Physicochemical

- characterization of seven Mexican *Ricinus communis* L. seeds & oil contents. Biomass and Bioenergy. 48:17-24.
- Pérez, C.; Hernández, L.; Valerio, F.; García, G.; Caraballo, A.; Vázquez, T. y Tovar, M. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura Técnica en México. 32(3): 341-352.
- Pinhão Manso 2005. Propiedades físicas. <http://www.pinhaomanso.com.br/propiedades.html>. Consultado 13 de junio de 2018.
- Proquinox. 2003. Produtos Químicos do Nordeste Ltda. Óleo de mamona tipo 1. <http://www.proquinox.com.br/downloads.htm>. Consultado 24 de mayo de 2018.
- Revels S., F. O.; Rosales S., R.; Nava B., C. A.; Delgado L., E.; Cuéllar R., E. I., Carrete C., F. Ó. y Ríos S., J.C. 2010. Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1(1):45-54.
- Ruiz M.,V. y Huesa L.J.; 1991. La manteca de Karité. Grasas y Aceites. 42, (2):151-154.
- Saraf, S. and Thomas, B. 2007. Influence of feedstock and process chemistry on biodiesel quality. Process safety and environmental protection. 85(5):360-364.
- Statistical Analysis Software. (SAS). SAS Institute Inc. Cary, NC; 2011.
- UACH. 2011. Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional. Reporte final de proyecto de investigación. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. México. Reporte técnico SEMARNAT-CONACYT. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_3.html. Consultado 4 abril de 2018.
- Vasco-Leal, J. F.; Hernández-Ríos, I.; Méndez-Gallegos, S. D. J.; Ventura-Ramos, E. Jr.; Cuellar-Núñez, M. L. and Mosquera-Artamonov, J. D. 2017. Relación entre la composición química de la semilla y la calidad de aceite de doce accesiones de *Ricinus communis* L. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(6): 1343-1356.
- Vasco-Leal, J. F.; Mosquera, J. D.; Hernández-Ríos, I.; Méndez-Gallegos, S. D. J.; Perea-Flores, M. J.; Peña-Aguilar, J. M. and Rodríguez-García, M. E. 2018. Physicochemical characteristics of seeds from wild and cultivated castor bean plants (*Ricinus communis* L.). Ingeniería e Investigación. 38(1): 24-30.
- Yong, O. Y. and Salimon, J. 2006. Characteristics of *Elateriospermum tapos* seed oil as a new source of oilseed. Industrial Crops and Products. 24(2):146-151.