

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN DURANGO, MÉXICO*

IDENTIFICATION OF PLANT SPECIES WITH POTENTIAL USE IN LIQUID BIOFUELS PRODUCTION IN DURANGO, MEXICO

Fanny Olivia Reveles Saucedo¹, Rigoberto Rosales Serna^{2§}, Cynthia Adriana Nava Berúmen², Efrén Delgado Licón³, Evenor Idilio Cuéllar Robles², Francisco Oscar Carrete Carreón¹ y Julio César Ríos Saucedo²

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. UJED. Carretera Durango-El Mezquital, km 11.5. C. P. 34170. Durango, México. Tel. 01 618 8189932 y 8100703. (fannyors@yahoo.com.mx), (focce1928mx@yahoo.com.mx). ²Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Carretera Durango-El Mezquital, km 4.5 C. P. 34170. Durango, México. Tel. y Fax. 01 618 8260433 y 8260433. Ext. 204 y 121. (cynthia1905@yahoo.com.mx), (eicr_dgo@prodigy.net.mx), (j_riossaucedo@hotmail.com). ³Posgrado en Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Durango. Boulevard Felipe Pescador 1830 Ote. C. P. 34000. Durango, México. Tel. 01 618 8186936. Ext. 105. (edelgad@itdposgrado-bioquimica.com.mx). [§]Autor para correspondencia: rigoberto_serna@yahoo.com.mx.

RESUMEN

En México se requieren materias primas para producir biocombustibles sin competir con la producción de alimentos. El objetivo fue identificar especies vegetales con potencial para producir biocombustibles líquidos en el estado de Durango, México. Se colectaron 56 muestras aleatorias de tubérculos, tallos, frutos, semillas, exudados y jugo de plantas silvestres y cultivadas. Se obtuvo el análisis químico proximal para evaluar contenido de grasa, extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) y proteínas. En las especies, mezquite (*Prosopis laevigata*) y sorgo dulce (*Sorghum bicolor*), seleccionadas para producir etanol, se determinaron los azúcares reductores totales y °Bx. Para elaborar etanol, se disolvió harina de mezquite y se obtuvo jugo de sorgo dulce para fermentarlos con *Saccharomyces cerevisiae*. Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre especies para el contenido de grasa, extracto libre de nitrógeno y proteína. Las especies seleccionadas para la producción de biodiesel por su alto contenido de grasa fueron chicalote (*Argemone* spp.) ($39.8\% \pm 0.02$) e higuierilla (*Ricinus communis*) M2 ($38.2\% \pm 2.9$). El extracto libre de nitrógeno más alto se observó en la goma de mezquite ($92.4\% \pm 0.3$) y tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) M1 ($86.0\% \pm 0.3$) y M2

($84.8\% \pm 0.1$) y calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*) ($80.5\% \pm 0.2$). Para la producción de etanol se seleccionaron las especies de mayor disponibilidad y que mostraron el rendimiento de alcohol más alto, que fueron sorgo dulce ($42\% \pm 4$) y vainas de mezquite ($20\% \pm 0.5$). El contenido de proteína más alto se observó en semillas de calabaza (*Cucurbita* spp.) M2 ($32.6\% \pm 0.3$) y M1 ($30.4\% \pm 0.2$), calabacilla loca ($28.7\% \pm 0.2$) y frutos de trueno (*Ligustrum* spp.) ($24.5\% \pm 0.3$). Existen materias primas que pueden utilizarse para producir biocombustibles sin comprometer cultivos básicos para la alimentación.

Palabras clave: agroindustria, biocombustibles, insumos.

ABSTRACT

In Mexico alternative plant material is needed for the biofuels industry in order to avoid the use of human food crops. The objective was to identify plant species with potential use in liquid biofuels production in the state of Durango, Mexico. Fifty six random samples were taken for tubercles, stalks, fruits, seeds, exudates and juice of wild and cultivated

* Recibido: enero de 2009
Aceptado: febrero de 2010

plants. Proximate analysis were performed to evaluate fat, nitrogen-free extract (water soluble carbohydrates) and protein content. Total reducing sugars content and °Bx were also determined in species intended for ethanol production such as mesquite (*Prosopis laevigata*) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). For ethanol production water dissolved mesquite pod-flour and sweet sorghum juice were fermented using *Saccharomyces cerevisiae*. Highly significant ($p < 0.01$) differences were observed among species for fat, nitrogen-free extract and protein. Species selected for biodiesel production using higher fat content as selection criterion were mexican prickly poppy (*Argemone* spp.) ($39.8\% \pm 0.02$) and castor bean (*Ricinus communis*) M2 ($38.2\% \pm 2.9$). Highest nitrogen-free extracts were observed in mesquite gum ($92.4\% \pm 0.3$) and tubercles of sweet potato (*Ipomoea batatas*) M1 ($86.0\% \pm 0.3$) y M2 ($84.8\% \pm 0.1$) and buffalo gourd (*Cucurbita foetidissima*) ($80.5\% \pm 0.2$). For ethanol production plant species were selected according to its availability and higher alcohol yield, such as sweet sorghum ($42\% \pm 4$) and mesquite ($20\% \pm 0.5$). Highest protein content was observed in pumpkin seeds (*Cucurbita* spp.) M2 ($32.6\% \pm 0.3$) and M1 ($30.4\% \pm 0.2$), buffalo gourd ($28.7\% \pm 0.2$) and privet fruits (*Ligustrum* spp.) ($24.5\% \pm 0.3$). There are alternative plants that can be used for biofuels production avoiding the utilization of food crops.

Key words: agro-industry, biofuels, inputs.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe la tendencia para producir biocombustibles líquidos, como etanol y biodiesel, que complementen el uso de combustibles fósiles. También se busca reducir la contaminación ambiental y el calentamiento global, provocados principalmente por el incremento en la concentración atmosférica de los gases con efecto invernadero como son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Reay, 2007). Los valores actuales y tasa de crecimiento para los gases de efecto invernadero son: CO_2 335 ppm y 0.5%; metano 1.72 ppm y 0.9% y N_2O 310 ppm y 0.8%. Se considera que de continuar la acumulación de gases de efecto invernadero la temperatura global se incrementará a un ritmo de 0.004 a 0.008 °C anuales, por lo que en 2 100 se acumulará un aumento entre 1 y 6 °C; el cambio en la temperatura global provocará cambios en la frecuencia, cantidad y distribución de la lluvia; incrementos en la evaporación y

la sequía; derretimiento de nieve, hielo marino y capas de hielo; cambios de las corrientes oceánicas e inundaciones provocadas por el aumento en el nivel del mar de 15 a 95 cm (Vargas y Leo, 2003).

En México, el gobierno federal promueve la elaboración de biocombustibles sin descuidar la seguridad alimentaria y el aprovechamiento eficiente de la materia prima derivada de las actividades agrícolas, forestales y pecuarias; así como aquella derivada de algas y procesos enzimáticos y biotecnológicos (DOF, 2008). La conservación de la biodiversidad y el uso eficiente del agua y suelo también deben considerarse en la obtención de materia prima para la producción de biocombustibles (Ganduglia, 2008; Keeney y Nanninga, 2008). Es necesario identificar especies vegetales que muestren potencial para producir biodiesel y etanol, con lo cual se evitará el uso de cultivos básicos para la alimentación humana en la industria de los biocombustibles, tal como se estipula en la ley de bioenergéticos (DOF, 2008).

México es un país muy diverso, donde es posible encontrar especies vegetales endémicas e introducidas que pueden utilizarse en la producción de biocombustibles. En la actualidad varias especies ruderales, arvenses, ornamentales y cultivadas son subutilizadas debido al desconocimiento de los componentes químicos de sus órganos. El uso integral y sustentable de las plantas puede incrementar los ingresos obtenidos por los agricultores en áreas marginales del Altiplano Semiárido de México. Varias especies de plantas arvenses y ruderales como el chicalote (*Argemone* spp.), lampote (*Tithonia* spp.), calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*) y cuernitos (*Proboscidea louisianica*) producen semillas y tubérculos (calabacilla loca) que pueden utilizarse en la industria de los biocombustibles.

Las plantas arvenses y ruderales representan una fuente importante de grasas vegetales y carbohidratos solubles que pueden ser utilizados en la producción de biodiesel y etanol. El mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.] es una planta prominente en amplias áreas del Altiplano de México (INE, 1994; Rodríguez y Maldonado, 1996; López *et al.*, 2006), la cual cumple con una importante función ecológica y tiene usos múltiples (Rodríguez y Maldonado, 1996; Golubov *et al.*, 2001; Bakewell-Stone, 2006). Las poblaciones naturales de mezquite también pueden ser utilizadas como alimento de animales domésticos, extracción de proteína y producción de etanol (Merlín *et al.*, 2007; Rosales *et al.*, 2008b; Rosales *et al.*, 2008c).

La selección individual practicada por los agricultores con base en la dulzura ha incrementado el contenido de carbohidratos solubles en las vainas de mezquite (Merlín *et al.*, 2007) y tallos de algunas poblaciones criollas de sorgo dulce del estado de Durango [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] conocidas localmente como “cañas” (Rosales *et al.*, 2008a). Los individuos y poblaciones seleccionadas para estas especies muestran adaptación en condiciones de sequía y pueden reproducirse para incrementar el área cultivada y la calidad de los órganos de la planta que serán utilizados como materia prima en la producción de biocombustibles. El exudado del mezquite (goma) debe ser analizado para evaluar su utilidad como materia prima en la elaboración de etanol. Algunas plantas ornamentales como la lila (*Melia azedarach*) y trueno (*Ligustrum* spp.), producen

frutos que son comúnmente desperdiciados; por lo tanto, el objetivo fue identificar especies vegetales que muestren potencial para producir biocombustibles en Durango, sin utilizar productos agrícolas importantes en el consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se colectaron de manera aleatoria 56 muestras vegetales en el estado de Durango, México, de acuerdo con los órganos y subproductos de interés como son tubérculos, tallos, frutos, semillas, goma y jugo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Muestras incluidas en la identificación de materias primas, para la producción de biocombustibles en Durango.

Nombre local	Nombre científico	Nombre local	Nombre científico
Aceitilla 1	<i>Bidens</i> spp.	Chicalote	<i>Argemone</i> spp.
Aceitilla 2	<i>Bidens</i> spp.	Mezquite vaina 1	<i>Prosopis laevigata</i>
Lampote 1	<i>Tithonia</i> spp.	Mezquite vaina 2	<i>Prosopis laevigata</i>
Lampote 2	<i>Tithonia</i> spp.	Mezquite vaina 3	<i>Prosopis laevigata</i>
Lampote 3	<i>Tithonia</i> spp.	Mezquite vaina 4	<i>Prosopis laevigata</i>
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	Trigo cv. Saturno	<i>Triticum aestivum</i>
Girasol cv. M91	<i>Helianthus annuus</i>	Avena cv. Avemex	<i>Avena sativa</i>
Canola cv. Monty 1	<i>Brassica napus</i>	Cacahuete	<i>Arachis hypogaea</i>
Maíz cv. Cafime	<i>Zea mays</i> L.	Canola cv. Monty 2	<i>Brassica napus</i>
Higuerilla 1	<i>Ricinus communis</i>	Lampote 4	<i>Tithonia</i> spp.
Higuerilla 2	<i>Ricinus communis</i>	Aceitilla 3	<i>Bidens</i> spp.
Calabaza 2	<i>Cucurbita</i> spp.	Cebada 1 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Sorgo Escobero	<i>Sorghum vulgare</i> var. <i>Technicum</i>	Cebada 2 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Cártamo	<i>Carthamus tinctorius</i>	Cebada 3 cv. Esmeralda	<i>Hordeum vulgare</i>
Mijo	<i>Pennisetum glaucum</i>	Cebada 4 cv. Esmeralda	<i>Hordeum vulgare</i>
Chía	<i>Salvia hispanica</i>	Cebada 5 cv. Esmeralda	<i>Hordeum vulgare</i>
Lila 1	<i>Melia azedarach</i>	Cebada 6 cv. Esmeralda	<i>Hordeum vulgare</i>
Cuernitos	<i>Proboscidea louisianica</i>	Cebada 7 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Calabaza 1	<i>Cucurbita</i> spp.	Cebada 8 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Amaranto 1	<i>Amaranthus</i> spp.	Cebada 9 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Amaranto 2	<i>Amaranthus</i> spp.	Cebada 10 cv. Adabella	<i>Hordeum vulgare</i>
Calabacilla loca, tubérculo	<i>cucurbita foetidissima</i>	Lila 2	<i>Melia azedarach</i>
Calabacilla loca, semilla	<i>cucurbita foetidissima</i>	Camote rojo	<i>Ipomoea batatas</i>
Jicama tubérculo	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Camote amarillo	<i>Ipomoea batatas</i>
Huizache 1	<i>Acacia</i> spp.	Palo verde	<i>Parkinsonia aculeata</i>
Huizache 2	<i>Acacia</i> spp.	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Mezquite (goma)	<i>Prosopis laevigata</i>	Trueno	<i>Ligustrum</i> spp.
Frijol cv. Pinto Saltillo	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.		

El tamaño de la muestra varió entre 1 kg para semillas y goma, hasta 30 kg para vainas de mezquite; en el muestreo se incluyeron especies arvenses como son aceitilla (*Bidens* spp.), lampote (*Tithonia* spp.), chicalote (*Argemone* spp.), frutos de plantas semi-domesticadas como el mezquite (*Prosopis laevigata*) y ornamentales como la lila (*Melia azedarach*) y trueno (*Ligustrum* spp.). Se incluyeron también semillas de plantas cultivadas como el girasol (*Helianthus annuus* cv. M91), maíz (*Zea mays* cv. Cafime) y frijol (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto Saltillo). Se evaluaron subproductos vegetales como la goma del mezquite, jugo de sorgo dulce y tubérculos de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*), jícama (*Pachyrhizus erosus*) y camote (*Ipomoea batatas*). Las muestras fueron colectadas durante la maduración de los frutos y semillas durante 2007 y 2008.

Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal para determinar el contenido de cenizas, grasa cruda, fibra cruda, proteína cruda y extracto libre de nitrógeno. La cantidad de cenizas se cuantificó mediante la incineración de una submuestra a 550 °C. El contenido de grasa se midió por el método de extracción continua en el aparato Soxhlet con éter de petróleo (AOAC, 1990). La fibra cruda fue determinada después de digerir las submuestras, libres de grasa, en soluciones de ácido sulfúrico concentrado (97.2%) e hidróxido de sodio (40%) y luego de la calcinación de los residuos (AOAC, 1990). El contenido de proteína fue determinado mediante el método microKjeldahl, multiplicando el valor de nitrógeno total por el factor de 6.25 (AOAC, 1990). El extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) se determinó mediante la sustracción, con respecto al 100%, de las fracciones: proteína, cenizas, extracto etéreo y fibra cruda, expresadas en base seca. La fibra detergente neutro fue determinada mediante el método descrito por Goering y van Soest (1991).

Perfil de ácidos grasos

En cuatro de las especies seleccionadas para la extracción de grasa (chicalote, higuera, calabacilla loca y girasol) se evaluó el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases de alta resolución (Erwin *et al.*, 1961). Se utilizó un aparato Hewlett Packard 3890, con una columna capilar HP-Inowax de 30 m, 0.32 mm de diámetro interno, 25 µm de espesor en la película interna, detector de ionización de flama (FID) y con un flujo de 40 mL min⁻¹ para el hidrógeno y 400 mL min⁻¹ para el aire. El gas de acarreo fue nitrógeno con un flujo constante de 1.8 mL min⁻¹, en la proporción de

muestra útil a descarte 1:90. La temperatura del inyector fue de 240 °C, para el detector 250 °C y en el horno rampa se inició el proceso con una temperatura de 50 °C sostenida durante un minuto y luego se incrementó la temperatura 25 °C min⁻¹ hasta alcanzar 200 °C. Como estándares se utilizaron esteres metílicos de aceite de soya (Sigma Chemical Co., St Louis MO).

Preparación del mosto

Se determinó el contenido de azúcares reductores totales y °Bx en las especies propuestas para la producción de etanol, como fueron las vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*) y el jugo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor*). En el caso del mezquite, se colectaron varias muestras tomando en cuenta el conocimiento de los agricultores locales sobre la dulzura de las vainas de ciertos árboles del municipio de Cuencamé, Durango. Se seleccionó el árbol con la concentración mayor de azúcares reductores totales y °Bx y las vainas fueron colectadas manualmente del suelo después de su maduración y caída. Se aplicó un proceso de secado adicional a las vainas colectadas en una temperatura constante de 60 °C durante un periodo de 96 h, hasta que se registró peso constante. La humedad inicial de las vainas fue 11% y después del secado el valor se redujo hasta 6%. Después del secado se obtuvo harina de las vainas moliéndolas en un molino eléctrico (Wiley) con malla de 1 mm. El jugo del sorgo dulce se extrajo de tallos libres de epidermis de una variedad criolla TOM2, colectada en Otilio Montaña, Durango.

El mosto de mezquite se preparó disolviendo 500 g de harina de vainas en 1 L de agua destilada (50% v/v) a 65 °C. El mosto de sorgo se preparó usando 5 L de jugo obtenido de tallos de la variedad criolla TOM2 cultivada en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Durango, durante 2008. Después de la extracción del jugo, éste se mantuvo a una temperatura de 4 °C hasta el inicio del proceso de fermentación. Antes de iniciar y al término del proceso de fermentación se midieron los °Bx en ambos mostos usando el refractómetro Vee Gee y se determinó el contenido de azúcares reductores totales mediante la prueba de Fehling (Onwukaeme *et al.*, 2007).

Proceso de fermentación y destilación

El proceso de fermentación se inició en ambos mostos agregando 2 g L⁻¹ de una cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (TradiPan®), se agitó durante un periodo de 3 min y se incubó a 32 °C hasta que el contenido de azúcares

reductores totales llegó a 2%. Se destilaron dos muestras de 1 L obtenidas del líquido resultante del proceso de fermentación. El equipo de destilación consistió de un matraz esférico y un condensador enfriado por agua reciclada con una bomba eléctrica. El proceso de destilación se desarrolló hasta que se obtuvieron dos muestras de 100 mL y después se registraron las lecturas de alcohol (% v/v) a una temperatura de 20 °C usando una probeta graduada y alcoholímetro.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza en bloques completos al azar con 56 especies y dos repeticiones; la prueba de comparación de medias se obtuvo con la diferencia mínima significativa ($DMS_{0.05}$). En la elaboración de gráficas se calculó el error estándar de la media para las evaluaciones de todas las muestras usando las lecturas por duplicado obtenidas en el análisis proximal (grasa, extracto libre de nitrógeno y proteína), azúcares reductores totales, °Bx y contenido de alcohol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre especies para el contenido de grasa, proteína y extracto libre de nitrógeno (Cuadro 2). El contenido más alto de grasa fue observado en el chicalote ($39.8\% \pm 0.02$), que resultó significativamente superior al de girasol cv. M91 ($28.4\% \pm 0.5$) que se usó como testigo (Figura 1, Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con reportes anteriores en los que se demostró el contenido alto de aceite en chicalote (400 g kg^{-1}) de la especie *Argemone mexicana* (Mayworm *et al.*, 1998). La higuierilla colectada en Las Mercedes, Cuencamé, Durango. M1 registró un contenido de grasa de $38.2\% \pm 2.9$ y la obtenida en Durango M2 $38\% \pm 1.9$. Estos valores fueron inferiores a los reportados por otros autores que obtuvieron semilla de higuierilla con contenidos de grasa entre 45-55% (Ocrospoma, 2008). Otras especies silvestres con contenido alto de grasa fueron los cuernitos ($37.5\% \pm 0.4$), calabacilla loca ($27.6\% \pm 0.4$) y lampote 3 ($22.5\% \pm 0.5$).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de características evaluadas en diferentes especies vegetales recolectadas en el estado de Durango.

Fuente de variación	G. L.	Proteína (%)	Grasa (%)	Extracto libre de nitrógeno (%)*
Especie	55	81.5**	341.4**	1482**
Repetición	1	0.2	1.5	2.8
Error	55	1.2	0.3	0.9
\bar{X}		14.3	11.9	42.6
CV (%)		7.6	4.6	2.2

*carbohidratos solubles; CV= coeficiente de variación; **diferencias altamente significativas ($p<0.01$).

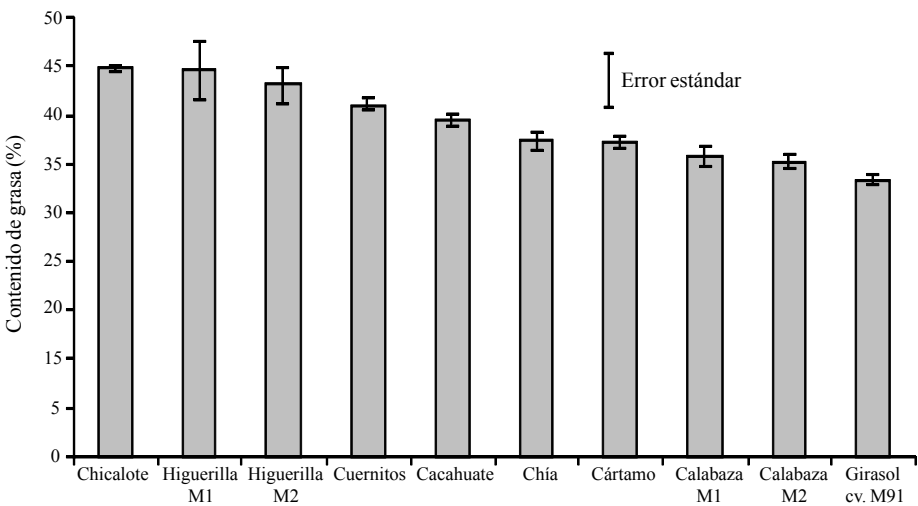


Figura 1. Contenido de grasa en semillas de diferentes especies de plantas colectadas en Durango, México.

Cuadro 3. Resultados de las variables consideradas en el análisis químico proximal de diferentes especies vegetales, recolectadas en varias localidades del estado de Durango.

Especie	Estado de la colecta	Localidad de colecta	Grasa (%)	Extracto libre de nitrógeno (%) [*]	Proteína (%)
Aceitilla 1	Silvestre	Durango	11.7	16.3	20.5
Aceitilla 2	Silvestre	Durango	11	18.1	18.5
Lampote 1	Silvestre	Durango	19	6.6	17.4
Lampote 2	Silvestre	Durango	19.4	5.9	18.1
Lampote 3	Silvestre	Las Mercedes	22.5	5.2	17.3
Algodón	Cultivado	Gómez Palacio	22.8	13.2	16.5
Girasol cv. M91 (T1)	Cultivado	Durango	28.4	15.6	23
Canola cv. Monty 1	Cultivado	Durango	26.2	27.1	20.4
Maíz cv. Cafime (T2)	Cultivado	Durango	4.6	70.8	10.4
Higuerilla 1	Silvestre	Durango	38	5.7	16.7
Higuerilla 2	Silvestre	Las Mercedes	38.2	14.2	18.6
Calabaza 2	Cultivada	Veinte Amigos	30.2	3.1	32.6
Sorgo Escobero	Cultivado	Las Mercedes	3.6	57	11.6
Cártamo	Cultivado	Durango (comercial)	32.2	3.6	13.4
Mijo	Cultivado	Durango (comercial)	5.4	66.8	10.4
Chía	Cultivado	Durango (comercial)	33.1	8.3	20.8
Lila 1	Ornamental	Durango	5.2	44.5	7.7
Cuernitos	Silvestre	Las Mercedes	37.5	3.8	18.3
Calabaza 1	Cultivada	Las Mercedes	31.4	3.2	30.4
Amaranto 1	Cultivado	Durango (comercial)	6.6	66.8	14.2
Amaranto 2	Cultivado	Durango (comercial)	6.1	68.4	14.8
Calabacilla loca tubérculo	Silvestre	Durango	1	80.5	7.9
Calabacilla loca semilla	Silvestre	Durango	27.6	7.6	28.7
Jícama tubérculo	Cultivada	Durango (comercial)	0.9	73.4	10.1
Huevo de venado	Silvestre	Veinte Amigos	2.7	55.3	9.1
Huizache 1	Silvestre	Francisco I. Madero	2	68	9.7
Huizache 2	Silvestre	Gerónimo Hernández	1.5	62.5	12.4
Mezquite (goma)	Silvestre	Las Mercedes	0.3	92.4	3.9
Frijol cv. Pinto Saltillo (T3)	Cultivado	Guadalupe Victoria	1.1	61.4	17.5
Chicalote	Silvestre	Francisco I. Madero	39.8	1.8	15.4
Mezquite vaina 1	Silvestre	Las Mercedes	2.6	56.8	11.2
Mezquite vaina 2	Silvestre	Las Mercedes	2.9	50.5	14
Mezquite vaina 3	Silvestre	Las Mercedes	3.2	52.7	11.3
Mezquite vaina 4	Silvestre	Las Mercedes	2.8	55.9	10.2
Trigo cv. Saturno	Cultivado	Durango	1.6	72	13.9
Avena cv. Avemex	Cultivada	Durango	5.5	56.1	15.6
Cacahuete	Cultivado	Rodeo	34.5	22.6	24.2
Canola cv. Monty 2	Cultivada	Durango	27.7	15.4	19.8
Lampote 4	Silvestre	Durango	23.5	6.3	16.5
Aceitilla 3	Silvestre	Durango	14.6	17.6	16.2
Cebada 1 cv. Adabella	Cultivada	Ignacio López Rayón	1.5	61.3	8.7
Cebada 2 cv. Adabella	Cultivada	Ignacio López Rayón	1.7	64.8	8.7

^{*}carbohidratos solubles; T1= testigo para grasa; T2= testigo para carbohidratos; T3= testigo para proteína; DMS_{0.05}= diferencia mínima significativa ($\alpha = 0.05$); CV= coeficiente de variación.

Cuadro 3. Resultados de las variables consideradas en el análisis químico proximal de diferentes especies vegetales, recolectadas en varias localidades del estado de Durango (continuación).

Especie	Estado de la colecta	Localidad de colecta	Grasa (%)	Extracto libre de nitrógeno (%) [*]	Proteína (%)
Cebada 3 cv. Esmeralda	Cultivada	Ignacio López Rayón	1.4	66.7	7.6
Cebada 4 cv. Esmeralda	Cultivada	Ignacio López Rayón	2.2	61.2	9.8
Cebada 5 cv. Esmeralda	Cultivada	Ignacio López Rayón	2.5	59.0	9.4
Cebada 6 cv. Esmeralda	Cultivada	Ignacio López Rayón	1.2	60.2	9.4
Cebada 7 cv. Adabella	Cultivada	Durango	1.6	57.3	11.1
Cebada 8 cv. Adabella	Cultivada	Durango	1.8	49.9	11.0
Cebada 9 cv. Adabella	Cultivada	Durango	1.4	63.7	10.1
Cebada 10 cv. Adabella	Cultivada	Durango	1.8	60.3	10.9
Lila 2	Ornamental	Durango	4.9	39.3	5.9
Camote rojo	Cultivada	Durango	1.2	86.0	4.1
Camote amarillo	Cultivada	Durango (comercial)	0.4	84.8	5.0
Palo verde	Ornamental	Gómez Palacio	2.0	47.2	18.2
Leucaena	Ornamental	Gómez Palacio	7.2	55.7	6.5
Trueno	Ornamental	Durango	4.6	37.4	24.5
Promedio			11.9	42.6	14.3
DMS _{0.05}			1.1	1.9	2.2
CV (%)			4.6	2.2	7.6

^{*}carbohidratos solubles; T1= testigo para grasa; T2= testigo para carbohidratos; T3= testigo para proteína; DMS_{0.05}= diferencia mínima significativa ($\alpha=0.05$); CV= coeficiente de variación.

Con base en el contenido alto de aceite se seleccionaron las especies chicalote, higuierilla, cuernitos y calabacilla loca, para la producción de biodiesel. El chicalote es una especie arvense adaptada a la sequía y temperaturas bajas del invierno, la cual crece en terrenos en descanso después de la cosecha de frijol y otros cultivos en Durango (González *et al.*, 2004). La higuierilla es una especie introducida que muestra adaptación en canales permanentes de riego y jardines. Los cuernitos es otra planta arvense que crece en áreas perturbadas de la vegetación en Durango, aunque su disponibilidad baja hace que sea poco recomendable para producir biodiesel. La calabacilla loca es una planta ruderal, que crece en las orillas de los caminos y canales de riego y produce numerosos frutos que son considerados como un desperdicio por el olor desagradable que emiten.

El perfil de ácidos grasos observado en las semillas de chicalote, higuierilla, calabacilla loca y girasol mostró contenidos más altos para los ácidos linoleico, oleico, palmítico y esteárico (Cuadro 4). Los resultados sugieren que la higuierilla, chicalote y calabacilla loca pueden

utilizarse en la extracción de aceite para la producción de biodiesel y los residuos pueden utilizarse como componentes importantes en alimentos balanceados para animales domésticos. Esto último es importante en Durango, donde se observa déficit de alimentos para animales domésticos durante los meses secos del año, lo cual es especialmente importante en la producción bovina.

La calidad nutrimental de los productos de bovinos puede mejorarse con los residuos de las especies seleccionadas para la extracción de aceite para biodiesel, si se considera el ácido linoleico conjugado que se genera en el rumen a partir de alimentos ricos en este compuesto. El ácido linoleico conjugado se obtiene para la nutrición humana durante la digestión de la carne y productos lácticos, se considera como un componente dietético importante para el control del cáncer, diabetes y obesidad (Khanal y Olson, 2004). A pesar de los resultados obtenidos, es necesario evaluar la presencia y métodos de eliminación de los compuestos tóxicos y antinutrientes contenidos en chicalote, higuierilla y calabacilla loca.

Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos, observado en semillas de cuatro especies de plantas colectadas en Durango, México.

Ácido graso	Chicalote (%)	Higuerilla (%)	Calabacilla loca (%)	Girasol cv. M91 (%)
Linoleico	61.5	44.0	74.0	66.1
Oleico	22.8	32.2	13.7	19.2
Palmítico	12.0	8.1	8.0	6.8
Esteárico	3.4	10.2	4.0	7.4
Linolénico	0.3	5.5	0.4	0.5

El extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) más alto se observó en la goma de mezquite ($92.4\% \pm 0.3$) (Figura 2; Cuadro 3), seguida del tubérculo de camote rojo (M1) ($86\% \pm 0.3$) y amarillo (M2) ($84.8\% \pm 0.1$), calabacilla loca ($80.5\% \pm 0.2$) y jícama ($73.4\% \pm 0.1$). La mayoría de estas especies superaron significativamente al maíz, incluido como testigo ($70.8\% \pm 0.5$). Aunque la goma de mezquite mostró un contenido alto para el extracto libre de nitrógeno, registró también un nivel bajo de azúcares reductores totales (5%), por lo cual se omitió su fermentación para la producción de biocombustibles (etanol). Las vainas de

mezquite y sorgo dulce fueron utilizadas para establecer el rendimiento de etanol, debido a su disponibilidad de materia prima y contenido alto de azúcar. La muestra 1 de vainas de mezquite utilizada en la fermentación, mostró valores altos para el extracto libre de nitrógeno ($56.8\% \pm 0.3$), 7.5°Bx y azúcares reductores totales de 7.4%. El sorgo dulce cv. TOM2 mostró 13°Bx y 10.6% para los azúcares reductores totales. Después de la fermentación y destilación se observó que el rendimiento de etanol alcanzó el $42\% \pm 4 \text{ v/v}$ para sorgo dulce y $20\% \pm 0.5 \text{ v/v}$ en el mezquite.

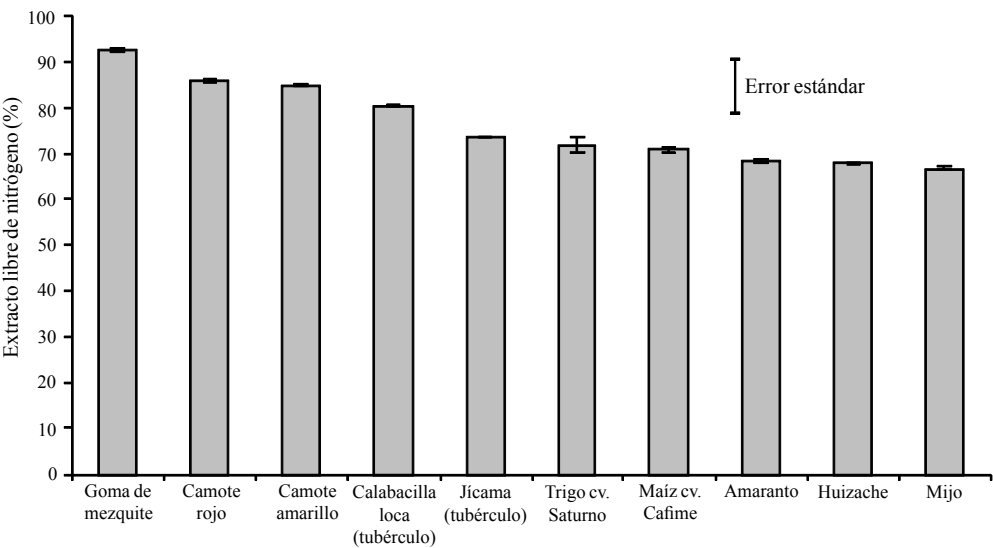


Figura 3. Contenido de proteína registrado en especies de plantas colectadas en Durango, México.

El contenido más alto de proteína fue observado en las semillas de calabaza (*Cucurbita* spp.) “de Castilla” M2 ($32.6\% \pm 0.3$) y M1 ($30.4\% \pm 0.2$) (Figura 3). Otras especies con alto contenido de proteína en las semillas fueron la calabacilla loca ($28.7\% \pm 0.2$) y trueno ($24.5\% \pm 0.3$) que superaron significativamente al frijol (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto Saltillo) usado como testigo ($17.5\% \pm 0.1$). Los resultados demostraron

que existen o pciones múltiples en Durango que pueden utilizarse en la obtención de materia prima para biocombustibles y obtener beneficios adicionales utilizando los residuos de la extracción de grasas y carbohidratos solubles, los cuales pueden servir como ingredientes proteicos en la elaboración de alimentos procesados para animales domésticos eliminando sus factores antinutricionales.

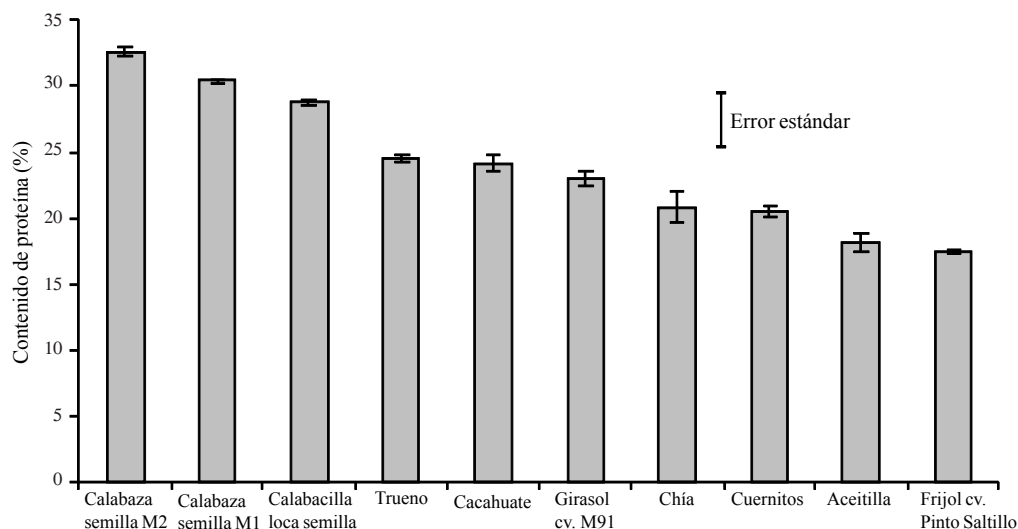


Figura 2. Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) registrado en especies de plantas colectadas en Durango, México.

CONCLUSIONES

Se identificaron poblaciones, variedades e individuos de diferentes especies de plantas adaptadas en Durango, para la obtención de materia prima suficiente en la producción de biocombustibles líquidos, como etanol y biodiesel. Se observó variabilidad para el contenido de grasa, extracto libre de nitrógeno y proteínas.

La higuera y chicalote pueden ser utilizadas en la producción de biodiesel. Las vainas de mezquite y el sorgo dulce fueron utilizadas con éxito para producir etanol usando levadura comercial. La calabacilla loca puede utilizarse para la extracción de grasa, carbohidratos y proteína.

AGRADECIMIENTOS

Los autores(as) agradecen el apoyo económico otorgado por el Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-gobierno del estado de Durango, Durango-2008-C01-87449.

LITERATURA CITADA

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis. 15 th. ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA. 245 p.

Bakewell-Stone, P. 2006. Marketing of *Prosopis* products in the UK: feasibility report. HDRA, Coventy, UK. 39 p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2008. Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. México. 385 p.

Erwin, E. S.; Marco, G. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. J. Dairy Sci. 44:1768-1776.

Ganduglia, F. 2008. Diagnóstico y estrategias para el desarrollo de los biocombustibles en la Argentina. In: Regúnaga, M. Baez, G. Ganduglia, F. Massot, J. M. (eds). Diagnóstico y estrategias para la mejora de la competitividad de la agricultura Argentina. CARI- FAO-IICA. 449-595 pp.

Goering, K. and van Soest, J. 1991. Forage fiber analysis (apparatus reagents, procedures and some applications). Agriculture Hand Book. No. 379. Department of Agriculture. Washington D. C. 20 p.

Golubov, J.; Mandujano, M. and. Eguiarte, L. E. 2001. The paradox of mesquites (*Prosopis* spp): Invading species of biodiversity enhancers? Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana. 69:21-28.

González, E. M.; López, E. I. L.; González, E. M. S. y Tena, F. J. A. 2004. Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas. IPN-CIIDIR. Durango. 210 p.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 1994. Mezquite *Prosopis* spp. cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 30 p.

- Keeney, D. and Nanninga, C. 2008. Biofuel and global biodiversity. Institute for Agriculture and Trade Policy. Minneapolis, MN. USA. 44 p.
- Khanal, R. C. and Olson, K. C. 2004. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: A Review. *Pakistan J. Nutr.* 3:82-98.
- López, F. Y. L.; Goycoolea, F. M.; Valdéz, M. A. y Calderón de la Barca, A. M. 2006. Goma de mezquite: Una alternativa de uso industrial. *Venezuela. Interciencia.* 31:183-189.
- Mayworm, S. M. A.; Serra do Nascimento, A. and Salatino, A. 1998. Seeds of species from the 'caatinga': proteins, oils and fatty acid contents. *Rev. Brasileira Bot. São Paulo Brasil.* Núm. 21.
- Merlín, B. E.; Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Jiménez, O. R. y Soto, C. O. 2007. Concentración de azúcares en vainas de mezquite colectadas en Durango, México. *Memorias in extenso del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales.* Morelia, Michoacán, México. 7 p.
- Ocrospoma, R. D. L. 2008. Situación y perspectivas de los biocombustibles en el Perú. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Lima, Perú. 79 p.
- Reay, D. 2007. Carbon dioxide: importance, sources and sinks. *In: Reay, D.; Hewitt, N.; Smith, K. and Grace, J. (eds). Greenhouse gas sinks.* C.A. B. I. University of Edinburgh, U. K. 448 p.
- Rodríguez, F. C. and Maldonado, A. L. J. 1996. Overview of past, current and potential uses of mesquite in Mexico. *In: Felker, R. and Moss, J. (eds). Prosopis spp: semiarid fuel wood and forage tree building. Consensus for the disenfranchised.* Center for Semi-arid. Forest Resources, Texas A & M University. Washington, D. C. EUA. 641-652 pp.
- Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Herrera, L. M. D.; Delgado, L. E.; Reveles, S. F. O.; Cuéllar, R. E. I. y Merlín, B. E. 2008a. Contenido de azúcares en una población de sorgo dulce cultivado en Cuencamé, Durango. *Memoria de la XX Semana Internacional de Agronomía Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ)-Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).* 118-120 pp.
- Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Jiménez, O. R.; Merlín, B. E.; Delgado, L. E. y Reveles, S. F. O. 2008b. Propiedades industriales de especies silvestres y cultivadas del semidesierto duranguense. *Memoria de resúmenes del XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética.* Chapingo, México 439 p.
- Rosales, S. R.; Merlín, B. E.; Nava, B. C. A.; Jiménez, O. R.; Alvarado, N. M. D. y Delgado, L. E. 2008c. Producción de etanol con frutos de especies silvestres del norte de México. *VI Simposio Internacional Sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas.* La Paz, BCS, México. Artículos in extenso. 1019-1034 pp.
- Vargas, G. y Leo, J. 2003. Calentamiento global de la tierra un ejercicio econométrico. *Momento Económico.* 125:30-38.