

Contenido de aceite en accesos de *Jatropha curcas* L. no tóxica en Veracruz, México*

Oil content in *Jatropha curcas* L. non-toxic accesses in Veracruz, Mexico

Florencia García Alonso¹, Eliseo García Pérez^{1§}, Arturo Pérez Vázquez¹ y Octavio Ruiz-Rosado¹

¹Campus Veracruz-Colegio de Postgraduados. Carretera Federal Xalapa-Veracruz, km 88.5. Predio Tepetates, Municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz, México. CP. 91690. Tel. (229) 201 0770. Fax. (229) 9207285. (florencia.alonso@colpos.mx; geliseo@colpos.mx; parturo@colpos.mx; octavior@colpos.mx).[§]Autor para correspondencia: geliseo@colpos.mx

Resumen

Las semillas de *Jatropha curcas* L., presentan alto contenido de aceite, y por tanto posee un alto potencial como materia prima para la producción de biodiesel. Sin embargo, se desconoce el nivel de producción y contenido de aceite en accesos no tóxicos de Veracruz. El objetivo de este estudio fue determinar el contenido y rendimiento de aceite de diferentes accesos de *J. curcas* no tóxicos, recolectados en diferentes regiones del estado de Veracruz, propagados de forma sexual y asexual, y establecidos en la región centro de Veracruz. El material vegetal fueron 16 accesos no tóxicos, propagados por semilla y vareta. En plantas de tres años de edad se hicieron las determinaciones morfo-productivas, y se colectaron semillas durante el ciclo 2014. Para la extracción de aceite, se utilizó el equipo Goldfish[®], empleando hexano como solvente. No se encontraron diferencias estadísticas entre accesos para el contenido de aceite. En general todos los accesos presentaron valores altos en contenido de aceite. En plantas propagadas por semilla fluctuó entre 54.13 a 60.98%, y en las originadas por vareta fue de 51.75 a 58.48%. Se encontraron correlaciones positivas significativas entre el número de frutos y contenido de aceite ($r=0.74$) y peso de semilla y contenido de aceite ($r=0.79$) en plantas propagadas por semilla. El mayor rendimiento de aceite por hectárea, con base al número de frutos (157)

Abstract

The seeds of *Jatropha curcas* L., present high oil content, and therefore have a high potential as a raw material for biodiesel productio. However, the production level and oil content in non-toxic seeds from Veracruz is unknown. The objective of this paper was to determine the oil content and yield of different accessions of non-toxic *J. curcas* collected in different regions of the state of Veracruz, sexually and asexually propagated, and established in the central region of Veracruz. The plant material consisted on 16 nontoxic accesses, propagated by seed and stakes. In three-year-old plants morpho-productive determinations were made, and seeds were collected during the 2014 cycle. For the extraction of oil, the Goldfish[®] equipment was used, using hexane as solvent. No statistical differences were found between accesses for oil content. In general, all accesses had high values in oil content. In plants propagated by seed fluctuated between 54.13 to 60.98%, and in those originated by stake was from 51.75 to 58.48%. Significant positive correlations were found between fruit number and oil content ($r=0.74$) and seed weight and oil content ($r=0.79$) in seed propagated plants. The highest oil yield per hectare, based on the number of fruits (157) (184) and seed weight (641.1 g plant⁻¹) (817.8 g plant⁻¹) corresponded to accesses I-32 and

* Recibido: febrero de 2017
Aceptado: mayo de 2017

(184) y peso de semillas ($641.1 \text{ g planta}^{-1}$) ($817.8 \text{ g planta}^{-1}$), correspondió a los accesos I-32 e I-34, con 590.55 y 761.68 L ha^{-1} , respectivamente en plantas propagadas por semilla. Se concluye que plantas propagadas por semilla tuvieron un mejor desempeño que sus similares propagadas por varetas.

Palabras clave: aceite no tóxico, biocombustible, propagación, semillas.

Introducción

Jatropha curcas L., es considerada una planta importante para la producción de biodiesel por el contenido y calidad de aceite en sus semillas (Achten *et al.*, 2008). Es un arbusto que pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, (CATIE, 2003; Muñoz y Jiménez, 2009), originaria de México y Centroamérica, crece preferentemente en los trópicos y sub-trópicos, y susceptible a inundaciones (Berger, 2010). Se desarrolla en distintos suelos y condiciones agroclimáticas (Heller, 1996; Srivastava *et al.*, 2011); aunque normalmente crece en suelos pedregosos o arenosos con bajo contenido en nutrientes y humedad en el suelo (Li *et al.*, 2008; Wiebe *et al.*, 2008). Esta planta se puede emplear para recuperar áreas degradadas y poco fértiles y es relativamente resistente a plagas y enfermedades (Francis *et al.*, 2005; Zahawi 2005). El género *Jatropha* es morfológicamente diverso y comprende unas 188 especies, 48 de ellas se encuentran en México, de las cuales 81% son endémicas (Steinmann, 2002; Martínez *et al.*, 2006). De éstas, se destaca *J. curcas*, por el alto contenido de aceite en sus semillas y por ello ha sido considerada como fuente bioenergética promisoría por la Secretaría de Energía (SENER), en su plan de “introducción de fuentes bioenergéticas” (SENER, 2009).

El interés mundial por *J. curcas*, surge debido a la necesidad de encontrar una planta con alto contenido en aceite y que no sea comestible (King *et al.*, 2009; Lafargue *et al.*, 2012). La conversión de aceite vegetal en biodiesel, es un proceso desarrollado desde el siglo XX, por Rudolf Diesel, al extraer aceite de maní para hacer funcionar un motor. Recientemente con el incremento de los precios del petróleo, asociado a la posible disminución de las reservas de combustibles fósiles, surge la necesidad de buscar fuentes alternas de energía (Salaet y Roca, 2009; SENER, 2012), para reducir el uso de combustibles fósiles y con esto reducir las emisiones de CO_2 , y de esta forma contribuir a la mitigación del cambio climático (Mergier, 2007).

I-34, with 590.55 and 761.68 L ha^{-1} , respectively, in seed-propagated plants. It is concluded that seed propagated plants had a better performance than those propagated by stake.

Keywords: biofuel, non-toxic oil, propagation, seeds.

Introduction

Jatropha curcas L., is considered an important plant for the biodiesel production by the content and quality of oil in its seeds (Achten *et al.*, 2008). It is a shrub that belongs to the *Euphorbiaceae* family (CATIE, 2003; Muñoz and Jiménez, 2009), originally from Mexico and Central America, grows preferentially in tropics and subtropics, and it is susceptible to flooding (Berger, 2010). It grows in different soils and agroclimatic conditions (Heller, 1996; Srivastava *et al.*, 2011); although it usually grows on stony or sandy soils with low nutrient content and soil moisture (Li *et al.*, 2008; Wiebe *et al.*, 2008). This plant can be used to recover degraded and poorly fertile areas and is relatively resistant to pests and diseases (Francis *et al.*, 2005; Zahawi 2005). The genus *Jatropha* is morphologically diverse and comprises about 188 species, 48 of which are found in Mexico, of which 81% are endemic (Steinmann, 2002; Martínez *et al.*, 2006). Of these, *J. curcas* stands out because of the high oil content in its seeds and for this reason it has been considered as a promising bioenergetic source by the Ministry of Energy (SENER) in its plan to “introduce bioenergy sources” (SENER, 2009).

The global interest in *J. curcas* arises because of the need to find a plant with a high oil content that is not edible (King *et al.*, 2009; Lafargue *et al.*, 2012). The conversion of vegetable oil into biodiesel, is a process developed since the twentieth century, by Rudolf Diesel, when extracting peanut oil to run an engine. Recently, with the increase in oil prices associated with the possible decrease of fossil fuel reserves, there is a need to seek alternative energy sources (Salaet and Roca, 2009, SENER, 2012), in order to reduce the use of fossil fuels and thereby reduce CO_2 emissions, and thus contribute to the mitigation of climate change (Mergier, 2007).

Worldwide, there are different oil plants used for oil extraction and biodiesel production, such as sunflower, soybean, oil palm and oilseed rape. However, these oils

A nivel mundial, existen diferentes plantas oleaginosas utilizadas para extracción de aceite y la producción de biodiesel, como son el girasol, soya, palma de aceite y colza. Sin embargo, son para consumo humano, que generó grandes críticas y discusiones a nivel mundial, ya que se puede afectar la oferta de alimentos e impactar en el precio de los mismos (Martínez *et al.*, 2006; Achten *et al.*, 2008; Muñoz y Jiménez, 2009). Por tanto, se han buscado nuevas fuentes de materia primas, entre ellas *J. curcas*, que tiene un alto contenido de aceite en sus semillas (Arruda *et al.*, 2004; Nunes, 2007). Además, la torta después de la extracción de aceite se usa como fertilizante; las ramas como energía y la glicerina para la elaboración de jabón (Achten *et al.*, 2009). *J. curcas*, tiene grandes propiedades para uso industrial (Johannes e Hirata, 2007), en la medicina (Mujumdar y Misar, 2004), como coagulante o anticoagulante de la sangre (Osoniyi y Onajobi, 2003), para tratamiento de infecciones y enfermedades de transmisión sexual en el ser humano (Aiyelaagbe *et al.*, 2007). En México existen genotipos de *J. curcas* no tóxicas, cuyas semillas pueden ser comestibles (Schmook y Sánchez, 2000; Martínez *et al.*, 2010). En la región del Totonacapan en el estado de Veracruz, las semillas de *J. curcas* no tóxica se consumen en platillos típicos (Martínez *et al.*, 2006).

Para la extracción de aceite existen dos métodos, uno de es mediante prensado y el otro es la utilización de solventes (Forson *et al.*, 2004). La extracción con solventes es mejor, ya que presenta una recuperación de 95% del aceite con alta calidad y pureza (Achten *et al.*, 2008).

La extracción por el método de solvente, se originó en Europa en 1870 con el proceso de Batch. Los procesos basados en este método, utilizan solventes como el hexano, acetona o éter. La semilla de *J. curcas*, puede tener un contenido de aceite entre 21% y 40%, que dependerá de las condiciones ambientales y manejo del cultivo (Gübitz *et al.*, 1999; Shah *et al.*, 2005; Henning, 2009). Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido y rendimiento de aceite de diferentes accesos de *J. curcas* no tóxicos, recolectados en diferentes regiones del estado de Veracruz, propagados de forma sexual y asexual, y establecidos en la región centro de Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio. Se trabajó con plantas de *J. curcas* del Banco de Germoplasma, ubicado en el campo experimental del *Campus* Veracruz del Colegio de Postgraduados situado en

are essentially for human consumption, which generated great criticism and discussions at a global level, since it can affect the food supply and impact on its price (Martínez *et al.*, 2006; Achten *et al.*, 2008; Muñoz y Jiménez, 2009). Therefore, new sources of raw materials have been sought, including *J. curcas*, an option that is not a food product, and which has a high oil content in its seeds (Arruda *et al.*, 2004; Nunes, 2007). In addition, the remains after the extraction of oil can be used as fertilizer; the branches as energy and glycerin for soap making (Achten *et al.*, 2009). *J. curcas*, is a plant that has great properties for industrial use (Johannes and Hirata, 2007), in medicine (Mujumdar and Misar, 2004), as a coagulant or blood anticoagulant (Osoniyi and Onajobi, 2003), for treating infections and sexually transmitted diseases in humans (Aiyelaagbe *et al.*, 2007). In Mexico there are genotypes of non-toxic *J. curcas*, whose seeds can be edible (Schmook and Sánchez, 2000; Martínez *et al.*, 2010). In the Totonacapan region in the state of Veracruz, the seeds of non-toxic *J. curcas* are consumed in typical dishes (Martínez *et al.*, 2006).

For the extraction of oil there are two methods, one of them is by pressing and the other with the use of solvents (Forson *et al.*, 2004). The extraction with solvents is better, since it presents a recovery of 95% of the oil with high quality and purity (Achten *et al.*, 2008).

The extraction by the solvent method, originated in Europe in the year 1870 with the Batch process. Processes based on this method, use solvents such as hexane, acetone or ether. The seed of *J. curcas* can have an oil content between 21% and 40%, depending on the environmental conditions and crop management (Gübitz *et al.*, 1999; Shah *et al.*, 2005; Henning, 2009). Therefore, the objective of this paper was to determine the oil content and yield of different accessions of non-toxic *J. curcas* collected in different regions of the state of Veracruz, sexually and asexually propagated, and established in the central region of Veracruz.

Materials and methods

Study area. Plants of *J. curcas* were used from the Germplasm Bank, located in the *Campus* Veracruz of the College of Postgraduates located at the coordinates 19° 11'38.62" north latitude and 96° 20'31.26" west longitude, an altitude of 24 m. The climate is Aw (w) (i') g, which corresponds

las coordenadas 19° 11' 38.62" latitud norte y 96° 20' 31.26" longitud oeste, a una altitud de 24 m. El clima es de tipo Aw (w) (i) g, que corresponde cálido subhúmedo con lluvias en verano, una precipitación media anual de 1 100 mm y con una temperatura media de 26 °C y una fluctuación de temperatura de 5-7 °C con 5% de precipitación en invierno (García, 1988).

Material vegetativo. En el año 2011 se colectaron frutos y material vegetativo de *J. curcas* de diferentes localidades del estado de Veracruz, estos se propagaron en semilla y varetta, para integrar el Banco de Germoplasma del Campus Veracruz (Cuadro 1). El criterio de selección de los accesos a establecer, fue por el contenido de aceite igual o superior a 40%.

El diseño experimental es en bloques completos al azar, con tres repeticiones, en plantas de tres años de edad. Cada tipo de propagación se estableció en parcelas separadas y las plantas se trasplantaron a una distancia de 3 m entre surco por 2 m entre plantas. La cosecha de frutos se realizó durante los meses de mayo a octubre de 2014. Se extrajeron las semillas y se secaron a temperatura ambiente, las determinaciones de contenido de aceite se realizaron de noviembre 2014 a febrero 2015 en el Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

to warm sub-humid with summer rains, an average annual precipitation of 1 100 mm and an average temperature of 26 °C and a temperature fluctuation of 5-7 °C with 5% precipitation in winter (García, 1988).

Vegetative material. In 2011, fruits and vegetative material of *J. curcas* from different localities of the state of Veracruz were collected. These were propagated in seed and stake, to integrate the germplasm bank of Campus Veracruz (Table 1). The criterion for selecting the accesses to be established was for the oil content to be equal to or greater than 40%.

The experimental design is in randomized complete blocks, with three replicates, in three-year-old plants. Each type of propagation was established in separate plots and the plants were transplanted at a distance of 3 m between groove for 2 m between plants. The fruit harvest was carried out during the months of May to October of 2014. The seeds were extracted and dried at room temperature, the oil content determinations were performed from November 2014 to February 2015 in the Laboratory of Water, Soil and Plant from the School of Postgraduate Campus Veracruz.

Cuadro 1. Ubicación geográfica original de 16 accesos de *J. curcas* L., que forman parte del Banco de Germoplasma del Campus Veracruz.

Table 1. Original geographical location of the 16 accesses of *J. curcas* L., which are part of the Germoplasm Bank, Veracruz Campus.

Accesos	Localidad	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
I-04	Santa Mónica	Tantoyuca	21°18' 32.8"	98°20' 29.3"	130
I-08	Tzitlan	Ixcatepex	21°11' 50.8"	97°59' 18.9"	228
I-13	Papantla	Papantla	20°27' 28.9"	97°19' 16.2"	173
I-14	Papantla	Papantla	20°27' 26.8"	97°19' 11.6"	170
I-25	Costa Esmeralda	Tecolutla	20°15' 22.8"	96°48' 00.6"	5
I-26A	Cementereres	San Rafael	20°10' 38.9"	96°53' 37.0"	9
I-27	Progreso	Martínez de la Torre	20°06' 57.0"	96°00' 51.1"	70
I-30	Reforma km 9	Misantla	19°53' 19.6"	96°48' 33.8"	631
I-31	Yecuatla	Yecuatla	19°50' 35.0"	96°48' 29.1"	1054
I-32	Tuzamapan	Coatepec	19°24' 00.7"	96°52' 05.9"	892

Cuadro 1. Ubicación geográfica original de 16 accesos de *J. curcas* L., que forman parte del Banco de Germoplasma del Campus Veracruz. (Continuación).

Table 1. Original geographical location of the 16 accesses of *J. curcas* L., which are part of the Germoplasm Bank, Veracruz Campus. (Continuation).

Accesos	Localidad	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
I-34	Alvarado	Alvarado	18°47' 26.1"	95°45' 31.7"	22
I-41	Revolución de Abajo	San Andrés Tuxtla	18°38' 53.9"	95°06' 50.0"	8
I-47	El Chichón	Las Choapas	17°45' 10.2"	94°06' 32.6"	50
I-62	Cuatlapan	Ixtaczoquitlan	18°53' 05.4"	97°01' 02.0"	1006
I-64	Colegio de Postgraduados	Manlio Fabio Altamirano	19°11' 39.7"	96°20' 38.0"	16
I-80	Buenos Aires	Misantla	19°56' 09.0"	95°50' 00.0"	321

Toma de muestras. Se tomó al azar una muestra de 20 semillas de *J. curcas*, de tres plantas por acceso. Se registró el peso inicial y se procedió al secado en una estufa Riossa (modelo H-33) a una temperatura de 55 °C durante cinco horas, dejando reposar por 20 min en un desecador con sílica.

Sampling. A sample of 20 seeds of *J. curcas*, of three plants per access, was taken randomly. The initial weight of the sample was recorded, then dried in a Riossa stove (model H-33) at a temperature of 55 °C for five hours, allowing to stand for 20 min in a desiccator with silica.

Preparación de muestras. La eliminación de la testa se hizo manualmente. El molido de la almendra se realizó con un mortero, posteriormente en una balanza analítica se pesaron 8 g de muestra en un dedal (alundum) de extracción, se selló con algodón y se colocó dentro del tubo (muestra).

Preparation of sample. Removal of the forehead was done manually. Almond grinding was performed with a mortar, then on an analytical balance 8 g of sample was weighed in an extraction thimble (alundum), sealed with cotton and placed inside the tube (sample).

Extracción de Aceite. Para la extracción de aceite, se utilizó el equipo Goldfish®. La muestra se colocó en el equipo de extracción, se cerró con un anillo y empaque, se colocaron 30 ml de hexano en vasos de extracción previamente estabilizados a peso constante y secados en la estufa Riossa (modelo H-33), a una temperatura de 100 °C durante una hora. El proceso de extracción tuvo una duración de cinco horas, después se retiraron los tubos (muestra) y se insertaron al equipo los tubos de recuperación de solvente, una vez recuperado el solvente se retiraron los vasos con el aceite obtenido, se metieron a la estufa de secado durante cuatro horas, para eliminar totalmente el solvente. Para finalizar, se filtró el aceite con papel filtro (Wattman) de número 44, en tubos de ensayo de 16 ml. El contenido de aceite se obtuvo de acuerdo a la siguiente fórmula: contenido de aceite (%) = rendimiento de aceite (g)/peso de la muestra (g)*100.

Oil extraction. For the extraction of oil, the Goldfish® equipment was used. The sample was placed in the extraction equipment, closed with a ring and packing, 30 ml of hexane were placed in extraction vessels previously stabilized at constant weight and dried in the Riossa stove (model H-33), at a temperature of 100 °C for 1 hour. The extraction process lasted five hours, then the tubes were removed (sample) and the solvent recovery tubes were inserted into the equipment, once the solvent was recovered the glasses with the obtained oil were removed, they were put in the drying oven for four hours to completely remove the solvent. Finally, the oil was filtered with filter paper (Wattman) number 44, in 16 ml test tubes. The oil content was obtained according to the following formula: oil content (%) = oil yield (g)/sample weight (g)*100.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se capturaron en una hoja de cálculo Excel Versión 2010®, el análisis estadístico se realizó usando el programa Statistical Analysis System

Statistic analysis. The obtained data were captured in an Excel Version 2010® spreadsheet, statistical analysis was performed using the Statistical Analysis System (SAS)

(SAS), v. 9.4, con Anova y prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el procedimiento PROC GLM. Además se realizó un análisis de correlación Pearson, para determinar la relación de las variables morfo-productivas y el contenido de aceite.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran las medias de las variables morfo-productivas, asociadas a la producción y rendimiento final de frutos, semillas y contenido de aceite en plantas de *J. curcas* de tres años de edad, establecidas en la propagación por semilla.

Cuadro 2. Características morfológicas de 16 accesos de *J. curcas* propagadas por semilla, provenientes del estado de Veracruz.

Table 2. Morphological characteristics of 16 accessions of *J. curcas* propagated by seed, coming from the state of Veracruz.

ACC	APL(m)	NR1	NR2	NR	NF	PS (g)
I-04	2.5 ±0.2	4.7 ±1.5	36.7 ±6.7	181.3 ±41.4	107 ±28.9 ab	260.6 ±43.3 bc
I-08	2.4 ±0.3	5.7 ±3.2	29 ±3.5	206.3 ±4.4	77.7 ±22.5 ab	131.8 ±33.7 bc
I-13	2.4 ±0.3	4.3 ±2.3	41 ±5.2	160.7 ±43.9	144.7 ±47.5 ab	338.2 ±60.8 ab
I-14	2.5 ±0.3	3.7 ±2.3	33 ±21	121 ±58.1	69 ±14.4 ab	203.3 ± 4.2 bc
I-25	2.3 ±0.5	5 ±1	22.7 ±6.8	153.3 ±8	121.3 ±37.5 ab	273.8 ±118.2 bc
I-26A	2.6 ±0.3	5 ±2.7	24.3 ±3.1	126.7 ±24.1	98.7 ±17 ab	294.8 ±146.8 bc
I-27	2.7 ±0.2	3.7 ±1.6	33 ±8.7	193.7 ±47.1	117.7 ±31.2 ab	248.2 ±53.3 bc
I-30	2.9 ±0.1	4.7 ±1.5	23.3 ±2.3	167.7 ±35.4	125.3 ±62.1 ab	273.8 ±73.3 bc
I-31	2.7 ±0	5.5 ±0.7	27 ±1.4	166.5 ±6.4	75.5 ±28.1 ab	80.9 ±20.1 c
I-32	2.7 ±0.3	5 ±2.7	27.3 ±2.3	221.7 ±57.3	157.3 ±38.8 ab	641.1 ±49.2 ab
I-34	2.7 ±0.3	5.7 ±0.6	26.7 ±13.3	215.3 ±66.2	184 ±64.1 a	817.8 ±548.3 a
I-41	2.8 ±0.1	3.3 ±2.1	25.3 ±3.8	184.3 ±56.6	110.3 ±6.51 ab	348.7 ±260 ab
I-47	2.7 ±0.2	4.7 ±2.1	26 ±5.6	152.3 ±49.5	110.7 ±36.2 ab	412.4 ±194.9 ab
I-62	2.4 ±0.3	2.7 ±1.5	23.7 ±10.3	121.0 ±30.5	84.7 ±20.8 ab	275.7 ±39.8 bc
I-64	2.5 ±0.2	4.3 ±0.6	27 ±6.1	115.3 ±21.5	95.7 ±15.9 ab	357.8 ±99.4 ab
I-80	2.8 ±0.4	3.7 ±0.6	18.7 ±2	181.3 ±20.3	60.3 ±25.3 ab	163.8 ±21.2 bc

Medias Tukey $p \leq 0.05$. ACC= acceso; APL= altura de planta; NR1= número de ramas primarias; NR2= número de ramas secundarias; NR= número de racimos; NF= número de frutos; PS= peso de semillas.

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas para el número de frutos ($p = 0.021$) y el peso en producción de semilla ($p = 0.007$). De acuerdo con la prueba de medias Tukey ($p \leq 0.05$), el acceso I-34 fue la más sobresaliente en el número de frutos (693) y peso de semillas (817.8 g planta⁻¹). En contraste con el acceso I-14, que presentó menor número de frutos (69) y el acceso I-31 tuvo menor peso de semillas (80.9 g planta⁻¹). Estos resultados son

program, v. 9.4, with Anova and Tukey test of means ($p \leq 0.05$) by the procedure PROC GLM. In addition, a Pearson correlation analysis was performed to determine the relationship between the morpho-productive variables and the oil content.

Results and discussion

Table 2 shows the averages of the main morpho-productive variables, associated to the production and final yield of fruits, seeds and oil content in plants of three-year-old *J. curcas* established in seed propagation.

The analysis of variance detected significant statistical differences for the number of fruits ($p = 0.021$) and the weight in seed production ($p = 0.007$). According to the Tukey test ($p \leq 0.05$), I-34 access was the most outstanding in number of fruits (693) and seed weight (817.8 g plant⁻¹). In contrast to the I-14 access, which presented lower number of fruits (69) and I-31 access had lower seed weight (80.9 g plant⁻¹). These results are superior to what

superiores a lo encontrado por Machado (2011) en la variedad cabo verde de un año de edad, quién reporta una producción de 102 frutos. Sin embargo, Srivastava *et al.* (2011) reporta, 210 frutos en plantas de tres años propagadas por semilla. Sosa-Segura *et al.* (2012), reporta de 30 a 36 frutos como número máximo por planta, en germoplasma procedente de los estados de Puebla y Morelos y una producción de semilla de 39 a 50 g planta⁻¹ de un año de edad. Lo reportado en este estudio es superior a lo encontrado por Sosa-Segura *et al.* (2012).

Al respecto, Francis *et al.* (2005), reportan que empleando insumos mínimos en el cultivo, en tierras baldías de la India, obtuvieron en el primer año una producción de 0.370 kg planta⁻¹, en el segundo año 0.925 kg planta⁻¹, lo cual podría ser sin duda la edad y el manejo agronómico, que favorecieron en el aumento en la producción. Asimismo, Wani *et al.* (2012), reportaron que de siete accesos establecidos en diferentes localidades, evaluadas en 2007-2008 el acceso J001 alcanzó una producción de 0.635 kg planta⁻¹.

Para el contenido de aceite en las semillas, no hubo diferencias estadísticas, en los accesos evaluados (Figura 1). El contenido de aceite estuvo en un intervalo de 54.15% a 60.98% con una media general de 56.71%, por tanto, todos los accesos presentan un buen contenido de aceite, haciendo hincapié en que se partió de accesos con contenidos de aceite superior a 40%, sin hacer ninguna agregación de insumos a las plantas y esta respuesta se encuentra en el extremo superior de lo reportado por Martínez *et al.* (2011), quienes reportan variaciones en el contenido de aceite de 18% a 60%, en accesos colectados en México. Por otra parte Naresh *et al.* (2012), reportan que plantas de tres años de edad en la India, el acceso KM presentó un contenido de aceite de 50% y Cheng-Yuan *et al.* (2012), en plantas procedentes de China reportan contenidos de hasta 61%.

Lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio. Silip *et al.* (2011), reportan contenidos de 59% a 63% y Chen *et al.* (2012) reportan valores de 55.6%, que se ubican dentro de los intervalos reportados en este estudio. Ovando-Medina *et al.* (2009), encuentran que es posible que exista una relación en la variación del contenido de aceite (entre 12.09% a 44.28%), en *J. curcas*, con el nivel de precipitación, siendo mayor en zonas más secas. Es decir, que las condiciones del ambiente determinan en gran medida variables como peso de la semilla, contenido de proteína, y contenido de aceite (Heller, 1996; Sakaguchi y Somabhi, 1987).

Machado (2011) found in the one-year-old Cabo Verde variety, which reports a production of 102 fruits. However, Srivastava *et al.* (2011) reports, 210 fruits in three-year seed-propagated plants. Sosa-Segura *et al.* (2012), reports from 30 to 36 fruits as a maximum number per plant, in germplasm from the states of Puebla and Morelos and a seed production of 39 to 50 g plant⁻¹ year old. What is reported in this paper is superior to that found by Sosa-Segura *et al.* (2012).

In this regard, Francis *et al.* (2005) report that using minimum inputs in the cultivation of uncultivated land in India a production of 0.370 kg plant⁻¹ in the first year was obtained, in the second year 0.925 kg plant⁻¹, without a doubt the age and the agronomic management favored the increase in the production. Also, Wani *et al.* (2012), reported that of the seven accesses established in different localities, evaluated in 2007-2008, the J001 access reached a production of 0.635 kg plant⁻¹.

Regarding to the oil content in the seeds, there were no statistical differences in the evaluated accesses (Figure 1). The oil content was in the range of 54.15% to 60.98% with an overall average of 56.71%, therefore, all accesses present a good oil content, emphasizing that it was based on accesses with superior to 40% oil contents, without making any aggregation of inputs to the plants and this response is at the upper end of what was reported by Martínez *et al.* (2011), who report variations in oil content from 18% to 60% in accesses collected in Mexico. On the other hand Naresh *et al.* (2012) reported that three-year-old plants in India, KM access had an oil content of 50% and Cheng-Yuan *et al.* (2012), in plants from China report contents of up to 61%.

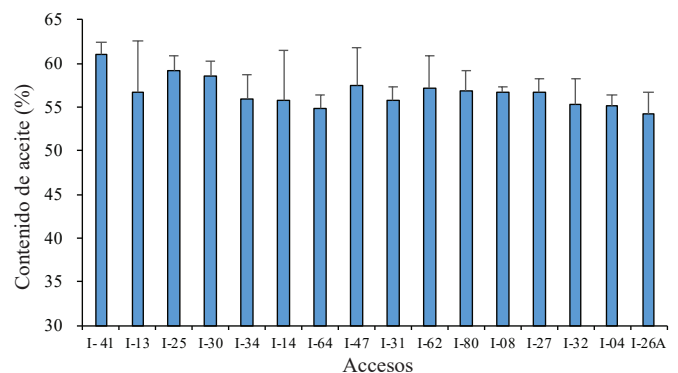


Figura 1. Contenido de aceite (%), en accesos de *J. curcas* no tóxica, en plantas de 3 años propagadas por semilla.
Figure 1. Oil content (%), in non-toxic *J. curcas* accesses in 3 year old seed propagated plants.

Al hacer las correlaciones entre las variables morfo-productivas y el contenido de aceite (Cuadro 3), para plantas propagadas por semilla. Se encontró correlación significativa entre número de frutos con el peso de semillas ($r= 0.79$) y contenido de aceite ($r= 0.74$), así como también el peso de semillas y contenido de aceite ($r= 0.79$). Sosa-Segura *et al.* (2012) encuentra que el peso de semillas presenta una alta correlación con el número de inflorescencias, ($r= 0.935$) y con el número de frutos por planta ($r= 0.991$).

Con respecto a la propagación por vareta hubo diferencias significativas para el número de ramas secundarias ($p= 0.003$). Con la prueba de medias Tukey ($p\leq 0.05$), el acceso I-08 sobresalió con promedio de 41.3 ramas secundarias (Cuadro 4). En contraste el acceso I-31, presentó menor número de ramas secundarias (12.7). Sonnenholzner (2008), indica que las plantas propagadas por vareta tienen un sistema radicular escaso con relación al follaje, y genera estrés en la planta y hace lento el desarrollo en la etapa inicial.

This coincides with the results obtained in this study. Silip *et al.* (2011), report contents from 59% to 63% and Chen *et al.* (2012) report values of 55.6%, which are within the ranges reported in this study. Ovando-Medina *et al.* (2009), found that it is possible that there is a relationship in the variation of oil content (between 12.09% and 44.28%) in *J. curcas*, with the level of precipitation being higher in drier areas. That is, environmental conditions largely determine variables such as seed weight, protein content, and oil content (Heller, 1996; Sakaguchi and Somabhi, 1987).

When making the correlations between the morpho-productive variables and the oil content (Table 3), for plants propagated by seed. A significant correlation was found between fruit numbers with seed weight ($r= 0.79$) and oil content ($r= 0.74$), as well as seed weight and oil content ($r= 0.79$). Sosa-Segura *et al.* ($R= 0.935$) and with the number of fruits per plant ($r= 0.991$).

Cuadro 3. Análisis de correlación entre las variables morfo-productivas de *J. curcas* L., propagadas por semilla.
Table 3. Correlation analysis between morpho-productive variables in *J. curcas* L. plants propagated by seed.

Variabes	ALP	NR1	NR2	NR	NF	PS	CA
ALP	1	-0.09	0.18	0.38	0.15	0.24	0.23
RP		1	0.17	0.15	0.28	0.14	0.02
RS			1	0.27	0.32	0.35	0.2
NR				1	0.33	0.47	0.24
NF					1	0.79*	0.74*
PS						1	0.79*
CA							1

*= Todas las correlaciones marcadas son significativas $p\leq 0.05$; APL= altura de planta; NR1= número de ramas primarias; NR2= número de ramas secundarias; NR= número de racimos; NF= número de frutos; PS= peso de semillas; CA= contenido de aceite.

En este sentido Laviola *et al.* (2009), mencionan que el número de ramas secundarias es un componente de producción más interesante para un programa de mejoramiento genético, ya que las inflorescencias se producen en los brotes terminales de las ramas, así mismo la producción de frutos dependerá del mayor número de ramas.

El contenido de aceite en plantas propagadas por vareta no presentó diferencias significativas (Figura 2). El contenido de aceite se encontró en un intervalo de 50.29% a 59.38%, estos resultados mostrados son muy superiores a lo reportado por Machado (2011), quien encontró en Cuba

Regarding to propagation by stakes, there were significant differences only for the number of secondary branches ($p= 0.003$). According to Tukey's test of means ($p\leq 0.05$), I-08 access excelled with an average of 41.3 secondary branches (Table 4). In contrast, the I-31 access showed the least number of secondary branches (12.7). Sonnenholzner (2008) mentions that stake-propagated plants have a poor root system in relation to foliage, which causes plant stress and slows development in the initial stage.

In this regard, Laviola *et al.* (2009), mention that the number of secondary branches is a more interesting production component for a breeding program, since

contenidos de 32.8% a 35%, en plantas propagados por vareta, de un año de edad de las procedencias de SSCE-10 y Cabo Verde.

the inflorescences occur in the terminal sprouts of the branches, and also the production of fruits will depend on the greater number of branches.

Cuadro 4. Características morfológicas de 16 accesos de *J. curcas* propagadas por vareta, provenientes del estado de Veracruz.
Table 4. Morphological characteristics of 16 accesses of *J. curcas* propagated by stake, coming from the state of Veracruz.

ACC	APL(m)	NR1	NR2	NR	NF	PS (g)
I-04	2.3 ±0.2	3.3 ±0.6	24.7 ±2.5 ab	73.3 ±8.1	204 ±42.2	175.1 ±136.1
I-08	2.1 ±0.1	3 ±1.7	41.3 ±6.4 a	114 ±10.4	249 ±53.1	85.3 ±61.7
I-13	2.6 ±0.3	4.3 ±0.6	31.7 ±10.3 ab	121.7 ±65.7	377.7 ±257.5	246.5 ±199.1
I-14	2.5 ±0.3	3 ±0	19.3 ±4.9 b	89.3 ±56.6	254 ±213.6	207.9 ±97.1
I-25	2.6 ±0.2	3.3 ±0.6	23.3 ±2.1 ab	103 ±23.5	268 ±61.5	187.3 ±68.1
I-26A	2.1 ±0.2	2.3 ±1.5	19.7 ±8.6 b	63.3 ±38.5	171 ±126.8	59.1 ±55.9
I-27	2.7 ±0.4	4.3 ±0.6	28.7 ±9 ab	123 ±57.5	346.3 ±142.7	329.3 ±220.3
I-30	2.3 ±0.4	2.3 ±0.6	15 ±1 b	54 ±17.4	147.3 ±74.3	67.6 ±19.1
I-31	2.2 ±0.3	2.3 ±1.5	12.7 ±7.4 b	32.7 ±16.0	74.3 ±22.7	56.8 ±59.9
I-32	2.2 ±0.2	2.3 ±0.6	13.3 ±0.5 b	35 ±32.5	84 ±72.1	55.5 ±69.9
I-34	2.5 ±0.4	2 ±0	18.7 ±10.2 b	41 ±22.9	110.7 ±79	123.7 ±57.4
I-41	2.5 ±0.2	3.3 ±0.6	19.7 ±9.3 b	94.3 ±15.6	268.3 ±73.2	227.1 ±74.1
I-47	2.2 ±0.2	2.7 ±0.6	16 ±8.5 b	77 ±34.2	265.3 ±110.3	247 ±114.5
I-62	2.2 ±0.2	4.6 ±2.3	24.3 ±7.7 ab	79 ±21.8	250 ±42	164.4 ±47.6
I-64	2.2 ±0.4	2.7 ±0.6	13 ±1.7 b	60 ±66.7	153 ±169.2	142.1 ±96.6
I-80	2.4 ±0.3	3.3 ±0.6	21.7 ±3.2 ab	46.3 ±32.7	112.7 ±75.7	140.8 ±93.9

Medias Tukey $p \leq 0.05$. ACC= acceso; APL= altura de planta; NR1= número de ramas primarias; NR2= número de ramas secundarias; NR= número de racimos; NF= número de frutos; PS= peso de semilla.

La correlación entre las variables morfo-productivas y el contenido de aceite, para plantas propagadas por vareta (Cuadro 5). Se encontró correlación significativa entre la altura y el número de frutos ($r=0.56$). El número de racimos tuvo muy alta correlación con el número de frutos ($r=0.94$) y peso de semillas ($r=0.67$) y finalmente el número de frutos se correlaciono con el peso de semillas ($r=0.69$). No se encontró correlación significativa entre las variables morfo-productivas y contenido de aceite, posiblemente por la influencia del tamaño de las plantas y baja producción de semilla. Avelar (2005) señala que la productividad de las plantas está relacionada al número de frutos, número de semillas y peso de frutos.

Con base en la producción de semilla por planta, la densidad de plantación (1 666 plantas ha⁻¹) y el contenido de aceite, se estimó la producción de semilla y los litros de aceite por ha. Para las plantas propagadas por semilla la producción máxima, la tuvo el acceso I-34, en condiciones de temporal y sin insumos y fue de 1 361.12 kg ha⁻¹, si el contenido promedio de aceite de este acceso es de 55.96%,

The oil content in plants propagated by stake did not present statistical differences in the accesses evaluated (Figure 2). The oil content was in a range of 50.29% to 59.38%, which is much higher than was reported by Machado (2011), who found in Cuba contents of 32.8% to 35%, in plants propagated by stakes, of one year old from SSCE-10 and Cabo Verde.

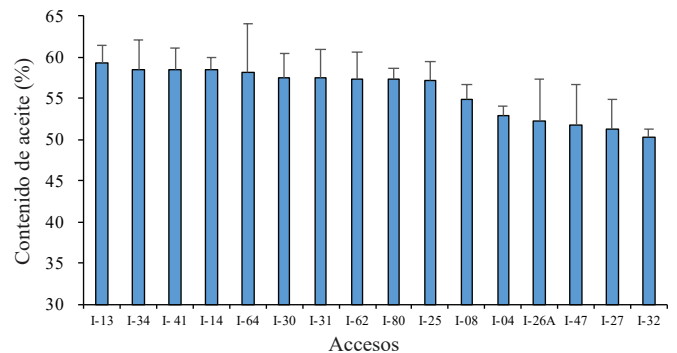


Figura 2. Contenido de aceite (%), en accesos de *J. curcas* no tóxica, en plantas de 3 años propagadas por vareta.
Figure 2. Oil content (%), in accesses of non-toxic *J. curcas* in 3 year old plants propagated by stake.

entonces la cantidad de aceite factible de obtener es de aproximadamente 761.68 L ha⁻¹, para el acceso I-32 la producción fue de 1 067.91 kg ha⁻¹, con un contenido promedio de aceite es de 55.3%, la cantidad de aceite a obtener es de 590 L ha⁻¹, el resto de accesos presentan producciones menores (Cuadro 6).

Estos rendimientos de semilla, quedan dentro de lo reportado por Jones-Miller (1992), Openshaw (2000) y Parsons (2005), quienes señalan rendimientos de 0.4 a 12 t ha⁻¹ en plantas de cinco años. Por otro lado Zamarripa (2011), menciona que deben ser consideradas las tres primeras cosechas para determinar el mejor genotipo.

The correlation between the morpho-productive variables and the oil content, for plants propagated by stake (Table 5). A significant correlation was found between height and number of fruits ($r= 0.56$). The number of clusters had a very high correlation with the number of fruits ($r= 0.94$) and seed weight ($r= 0.67$) and finally the number of fruits correlated with seed weight ($r= 0.69$). No significant correlation was found between morpho-productive variables and oil content, possibly due to the influence of plant size and low seed production. Avelar (2005) indicates that the productivity of the plants is related to the number of fruits, number of seeds and weight of fruits.

Cuadro 5. Análisis de correlación entre las variables morfo-productivas, en plantas de *J. curcas* L., propagadas por vareta.
Table 5. Correlation analysis between morpho-productive variables in plants of *J. curcas* L., propagated by stake.

Variabes	ALP	NR1	NR2	NR	NF	PS	CA
ALP	1	0.27	0.17	0.54	0.56*	0.43	0.31
NR1		1	0.55	0.53	0.51	0.54	0.21
NR2			1	0.52	0.4	0.3	0.04
NR				1	0.94*	0.67*	0.16
NF					1	0.69*	0.18
PS						1	0.31
CA							1

*= Todas las correlaciones marcadas son significativas $p \leq 0.05$. ALP= altura de planta; NR1= número de ramas primarias; NR2= número de ramas secundarias; NR= número de racimos; NF= número de frutos; PS= peso de semilla; CA= contenido de aceite.

Cuadro 6. Rendimiento estimado de semilla y aceite por hectárea, en plantas de *J. curcas*, de tres años de edad, propagadas por semilla.

Table 6. Estimated yield of seed and oil per hectare in three-year-old plants of *J. curcas* propagated by seed.

ACC	ALP (m)	PS (kg)	REN (kg ha ⁻¹)	CA (%)	PA (L ha ⁻¹)
I-04	2.5	0.26	433.16	55.1	238.67
I-08	2.4	0.131	218.25	56.76	123.88
I-13	2.4	0.338	563.11	56.7	319.28
I-14	2.5	0.203	338.2	55.79	188.68
I-25	2.3	0.273	454.82	59.23	269.39
I-26A	2.6	0.294	489.8	54.15	265.23
I-27	2.7	0.248	413.17	56.74	234.43
I-30	2.9	0.273	454.82	58.62	266.61
I-31	2.7	0.08	133.28	55.74	74.29

ACC= acceso; ALP= altura de planta; PS= peso de semillas; REN= rendimiento; CA= contenido de aceite; PA= producción de aceite.

Cuadro 6. Rendimiento estimado de semilla y aceite por hectárea, en plantas de *J. curcas*, de tres años de edad, propagadas por semilla. (Continuación).

Table 6. Estimated yield of seed and oil per hectare in three-year-old plants of *J. curcas* propagated by seed. (Continuation).

ACC	ALP (m)	PS (kg)	REN (kg ha ⁻¹)	CA (%)	PA (L ha ⁻¹)
I-32	2.7	0.641	1067.91	55.3	590.55
I-34	2.7	0.817	1361.12	55.96	761.68
I-41	2.8	0.348	579.77	60.98	353.54
I-47	2.7	0.412	686.39	57.53	394.88
I-62	2.4	0.275	458.15	57.14	261.79
I-64	2.5	0.357	594.76	54.88	326.41
I-80	2.8	0.163	271.56	56.8	154.24

ACC= acceso; ALP= altura de planta; PS= peso de semillas; REN= rendimiento; CA= contenido de aceite; PA= producción de aceite.

En plantas propagadas por semilla, se obtienen mejores resultados en el número de frutos, peso de semillas y contenidos de aceite, debido que en la propagación por estaca estos rendimientos son inferiores (Octagon, 2006). Sin embargo, la propagación por varetta es más rápida, barata y fácil de establecer, además conserva la misma información genética de la planta madre (Sonnenholzner, 2008).

En las plantas propagadas por varetta la producción máxima de semilla, se obtuvo en el acceso I-27 con 548.114 kg ha⁻¹, con un contenido de aceite 51.22%, se estima una producción de aceite de 280.74 L ha⁻¹ (Cuadro 7). Cabe señalar, que los accesos sobresalientes en la propagación por semilla, no son de mayor producción en la propagación por varetta y viceversa.

Machado (2011), en un estudio realizado con plantas propagadas por varetta de un año de edad, sembradas a una densidad de 2 500 plantas ha⁻¹, reporta rendimiento de semillas de 325.6 g planta⁻¹, para la procedencia de Cabo Verde, con lo que estima un rendimiento de 814 kg ha⁻¹, muy superior a lo que se obtuvo en este estudio para la propagación por varetta, pero inferior a la producción de las plantas sobresalientes propagadas por semilla, aun con la diferencia en densidad.

La importancia de estudiar los materiales no tóxicos de *J. curcas*, radica en su posible uso comercial en la alimentación humana, independientemente de que se emplee para la producción de biodiesel. Makkar *et al.* (1997) y Martínez-Herrera *et al.* (2012), señalan el potencial alimenticio que puede tener *J. curcas*, para humanos y animales, por la calidad de su aceite, contenido de lípidos y valor proteico. El aceite está compuesto por ácido oleico (41.5- 48.8%), linoleico (34.6-44.4%), palmítico (10.5-13%) y esteárico (2.3- 2.8%), según reporta Martínez *et al.* (2006). Otro aspecto importante, de la caracterización morfológica y productiva de *J. curcas*, es la identificación de material promisorio con potencial para su cultivo comercial o para integrarse a un programa de mejoramiento genético (Becker y Makkar, 2008).

Finalmente, señalar que los genotipos elite deseados, deben tener un alto rendimiento de semilla, alto contenido de aceite y proteína, sincronización en la madurez del fruto, planta de porte bajo, tolerancia a plagas y enfermedades y a crecer bien aún en condiciones de sequía y baja fertilidad del suelo.

Cuadro 7. Rendimiento estimado de semilla y de aceite por hectárea, en plantas de *J. curcas*, de tres años de edad, propagadas por varetta.

Table 7. Estimated yield of seed and oil per hectare in three-year-old plants of *J. curcas*, propagated by stake.

ACC	APL (m)	PS (kg)	REN (kg ha ⁻¹)	CA (%)	PA (L ha ⁻¹)
I-04	2.3	0.175	291.55	52.87	154.14
I-08	2.1	0.085	141.61	54.91	77.76
I-13	2.6	0.246	409.84	59.27	242.91
I-14	2.5	0.207	344.86	58.47	201.64
I-25	2.6	0.187	311.54	57.09	177.86
I-26A	2.1	0.059	98.294	52.21	51.32
I-27	2.7	0.329	548.11	51.22	280.74
I-30	2.3	0.067	111.62	57.51	64.19
I-31	2.2	0.056	93.3	57.49	53.64
I-32	2.2	0.055	91.63	50.29	46.08
I-34	2.5	0.123	204.92	58.48	119.84
I-41	2.5	0.227	378.18	58.47	221.12
I-47	2.2	0.247	411.5	51.75	212.95
I-62	2.2	0.164	273.22	57.39	156.8
I-64	2.2	0.142	236.57	58.12	137.5
I-80	2.4	0.14	233.24	57.36	133.79

ACC= acceso; APL= altura de planta; PS= peso de semillas; REN= rendimiento; CA= contenido de aceite; PA= producción de aceite.

Based on the average seed yield per plant, planting density (1 666 plants ha⁻¹) and oil content, seed production and liters of oil per hectare were estimated. For seed-propagated plants, the maximum yield was the I-34, under temporary conditions and without inputs and was 1 361.12 kg ha⁻¹, if the average oil content of this access is 55.96%, then the amount of oil obtainable is approximately 761.68 L ha⁻¹, for the I-32 access the production was 1 067.91 kg ha⁻¹, with an average oil content of 55.3%, the amount of oil to be obtained is 590 L ha⁻¹, the other accesses showed smaller productions (Table 6).

These seed yields are within the range reported by Jones-Miller (1992), Openshaw (2000) and Parsons (2005), who report yields of 0.4 to 12 t ha⁻¹ in five-year plants. On the other hand Zamarripa (2011), mentions that the first three harvests must be considered to determine the best genotype.

In plants propagated by seed, better results are obtained in the number of fruits, seed weight and oil contents, because in the propagation by cuttings these yields are inferior (Octagon,

Conclusiones

Los accesos evaluados presentaron valores altos en contenido de aceite, las plantas propagadas por semilla variaron de 54.13 a 60.98% y las originadas por vareta de 51.75 a 58.48%.

Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre las variables morfo-productivas y el contenido de aceite en plantas propagadas por semilla, destacan el número de frutos y contenido de aceite ($r=0.74$) y peso de semilla y contenido de aceite ($r=0.79$).

La estimación de rendimiento de aceite en litros por hectárea, con base en el número de frutos (157) (184) y peso de semillas (641.1 g planta⁻¹) (817.8 g planta⁻¹) y contenido de aceite, sobresalieron los accesos I-32 e I-34 con 590.55 y 761.68 L ha⁻¹ respectivamente, en plantas propagadas por semilla.

Recomendación

Se sugiere seguir evaluando estas plantas, tomando en cuenta las mismas variables para los próximos tres años y para registrar el contenido y rendimiento de aceite. Así mismo, hacer un estudio para determinar si se mantiene la no toxicidad de los accesos.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por el apoyo de la beca de Postgrado número 300974. Además, al proyecto FOMIX 127702 y a la LP3 (energía alterna y biomateriales) del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento de la presente investigación.

Literatura citada

- Achten, W. M. J.; Verchot, L.; Franken, Y. J.; Mathijs, E.; Singh, V. P.; Aerts, A. and Muys, B. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Bio. Bioen.* 32(12):1063-1084.
- Achten, W.; Maes, W.; Aerts, R.; Verchot, L.; Trabucco, A.; Mathijs, E.; Singh, V. and Muys, B. 2009. *Jatropha*: From global hype to local opportunity. *J. Arid Environ.* 74:164-165.

2006). However, stake propagation is faster, cheaper, and easier to establish, and it retains the same genetic information as the parent plant (Sonnenholzner, 2008).

In the stake propagated plants the maximum production of seed was obtained in the access I-27 with 548.114 kg ha⁻¹, with a 51.22% oil content, an oil production of 280.74 L ha⁻¹ was estimated (Table 7). It should be noted that the outstanding accesses in propagation by seed, are not those of greater production in propagation by stake and vice versa.

Machado (2011), in a study with plants propagated by stake of one year of age, planted at a density of 2 500 plants ha⁻¹, reports a yield of 325.6 g plant⁻¹, for Cabo Verde origin, with which estimates a yield of 814 kg ha⁻¹, much higher than that obtained in this paper for propagation by stake, but lower than the production of seed propagated seedlings, even with the difference in density.

The importance of studying the non-toxic materials of *J. curcas* lies in its possible commercial use in human food, regardless of whether it is used for the production of biodiesel. Makkar *et al.* (1997) and Martínez-Herrera *et al.* (2012), indicate the nutritional potential that *J. curcas* can have for humans and animals, for the quality of its oil, lipid content and protein value. The oil is composed of oleic acid (41.5-48.8%), linoleic (34.6-44.4%), palmitic (10.5-13%) and stearic acid (2.3-2.8%), according to Martínez *et al.* (2006). Another important aspect of the morphological and productive characterization of *J. curcas* is the identification of promising material with potential for commercial cultivation or to integrate into a breeding program (Becker and Makkar, 2008).

Finally, it should be pointed out that the desired elite genotypes must have a high seed yield, high oil and protein content, synchronization in fruit maturity, low plant size, tolerance to pests and diseases and to grow well even in drought conditions and low soil fertility.

Conclusions

The accesses evaluated had high values in oil content, the plants propagated by seed ranged from 54.13 to 60.98%, and those originated by stake from 51.75 to 58.48%.

- Aiyelaagbe, O.; Adeniyi, B.; Fatunsin, O. and Arimah, B. 2007. *In vitro* antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Jatropha curcas* roots. *Int. J. Pharmacol.* 3(1):106-110.
- Avelar, R. C.; Deperon J. M. A.; Carvalho, J. P. F.; Dourado, D. C.; Danfa, S.; Quintilliano, A. A.; Fraga, A. C. y Castro N. P. 2005. Producción de plántulas de Piñón manso (*Jatropha curcas* L.) en bolsa. *In: Memoria de Congreso: Congresso da Rede Brasileira de Tecnología de Biodiesel.* 137-139 p.
- Arruda, F. P.; Beltrão, N. E. M.; Andrade de A. P.; Pereira, W. E. e Severino, L. S. 2004. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), como alternativa para o semi-árido nordestino. *Rev. Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas.* 8(1):789-799.
- Becker, K. and Makkar H. P. S. 2008. *Jatropha curcas*: a potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technology.* 20(5):104-107.
- Berger, N. 2010. Manual para el manejo del cultivo de *Jatropha curcas*. Valle del Yegüare, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 14 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2003. Árboles de centroamérica: un manual para extensionistas. Cordero, J. y Boshier, D. Turrialba, CR. 1079 p.
- Cheng-Yuan, Y.; Zhen, F.; Bo, L. and Yun-Feng, L. 2012. Review and prospects of *Jatropha* biodiesel industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 16(4):2178-2190.
- Chen, C. R.; C. Yang, J.; C. Yern, Ch; D. Hsiang and J. C. and Chieh-Ming. 2012. Green production of energetic *Jatropha* oil from de-shelled *Jatropha curcas* L. seeds using supercritical carbon dioxide extraction. *The J. of Supercritical Fluids.* 66:137-143.
- Francis, G.; Edinger, R. and Becker, K. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum.* 29:12-24.
- Forson, F. K.; Oduro, E. K. and Hammond, D. E. 2004. Performance of *Jatropha* oil blends in a diesel engine. *Renewable and Sustainable Energy.* 29:1135-1145.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana 4^{ta}. (Ed.) Offset Larios, México. 246 p.
- Gübitz, G. M.; Mittelbach, M. and Trabi, M. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bio. Technol.* 67:73-82.
- Heller, J. 1996. *Physic Nut. Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. I. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 66 p.
- Henning, K. 2009. The *Jatropha* system. An integrated approach of rural development. <http://www.jatropha.de/>.
- Johannes, H. and Hirata, S. 2007. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L., seed oil with a high content of free fatty acids. *Science Direct. Bio. Technol.* 99:1716-1721.
- Jones, N. and Miller, J. H. 1992. *Jatropha curcas*: a multipurpose species for problematic sites. Washington DC: The World Bank. Land Resources Ser. 1:1-12.
- King, A.; He, W.; Cuevas, J.; Freudenberger, M.; Ramiaramana, D. and Graham, I. 2009. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. *J. Exp. Bot.* 60:2897-2905.
- Lafargue P. F.; Barrera V. N.; Assuncao N. J. C.; Díaz V. M. y Rodríguez M. C. 2012. Caracterización físico-química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. *Tecnología química.* 32(2):162-165.
- Significant and positive correlations were found between the morpho-productive variables and the oil content in seed-propagated plants. The number of fruits and oil content ($r=0.74$) and seed weight and oil content ($r=0.79$).
- The estimated yield of oil in liters per hectare, based on the number of fruits (157) (184) and seed weight (641.1 g plant) (817.8 g plant) and oil content, I-32 and I-34 were outstanding with 590.55 and 761.68 L ha⁻¹, respectively, in seed-propagated plants.

Recommendation

It is suggested to continue evaluating these plants, taking into account the same variables for the next three years and to record oil content and yield. Also, a research to determine if the non-toxicity of the accesses is maintained, has to be performed.

End of the English version



- Laviola, B. G.; Bhering L. L.; Albrecht, J. C.; Marques, S. S. e Rosado, L. T. B. 2009. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso. Montes Claros. Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Oléas, Gorduras e Biodiesel. Lavras: UFLA. 1-2 p.
- Li, J.; Li, M. R.; Wu, P. Z.; Tian, C. E.; Jiang, H. W. and Wu, G. J. 2008. Molecular cloning and expression analysis of a gene encoding a putative B-ketoacyl-acyl carrier protein (ACP) synthase III (KAS III) from *Jatropha curcas*. *Tree Physiology.* 28:921-927.
- Machado, R. 2011. Caracterización morfológica y productiva de procedencias de *Jatropha curcas* L., Cuba. *Pastos y Forrajes.* 34(3):267-280.
- Martínez, J.; Siddhuraju, P.; Francis, G.; Dávila, G. and 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. *Food Chemistry Elsevier.* 96:80-89.
- Martínez, H. J.; Martínez, A. A. L.; Makkar, H.; Francis, G. and Becker, K. 2010. Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *European Journal Science Research.* 39(3):396-407.
- Martínez, V. B. B.; Zamarripa, C. Ay Solis, B. J. L. 2011. Caracterización química del aceite de semillas de piñón Mexicano (*Jatropha curcas* L.). *In: VI reunión nacional de investigación agrícola.* León Guanajuato, México. 225 p.

- Martínez H. J.; Jiménez M.C. and Guemes V. N. 2012. Use of *Jatropha curcas* L. (non-toxic variety) as traditional food and generation of new products in México. *In*: Carels, N. (Eds.), *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Farming, Economics and Biofuel*. 1:333-341 p.
- Mergier, A. M. 2007. El destino nos alcanza. Proceso semanario de información y análisis. México. 1580:51-56.
- Mujumdar, A. and Misar, A. 2004. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. *J. Ethnopharmacol.* 90:11-15.
- Muñoz, M. y Jiménez, E. 2009. Caracterización morfométrica de cuatro ecotipos de piñón (*Jatropha curcas*) asociados con teca (*Tectona grandis*). Guayaquil, EC. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). 102 p.
- Naresh, B.; Srikanth, M. R.; Vijayalakshmi, P.; Reddy, P. and Devi, P. 2012. Physico-chemical screening of accessions of *Jatropha curcas* for biodiesel production. *Bio. Bioen.* 40:155-161.
- Nunes, L. 2007. Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil, 78 p.
- Octagon, S. A. 2006. Biocombustibles. *Jatropha curcas* L., su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energético. Guatemala. 25 p.
- Openshaw, K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Bio. Bioen.* 19:1-15.
- Osoniyi, O. and Onajobi, F. 2003. Coagulant and anticoagulant activities in *Jatropha curcas* latex. *J. Ethnopharmacol.* 89(1):101-105.
- Ovando, M. I.; Adriano, A. L.; Salvador, F. M.; Ruiz S. y Vázquez A. 2009. Piñón (*Jatropha curcas*): Bioenergía para el desarrollo de Chiapas. *Biocombustibles Agropecuario Biodiversidad en Chiapas*. 2:1-24.
- Parsons, K. 2005. *Jatropha* in Africa fighting the desert and creating wealth. *EcoWorld*. <http://www.ecoworld.org/home/Articles2.cfm?TID=367>.
- Sakaguchi, S. and Somabhi, M. 1987. Exploitation of promising crops Northeast Thailand. *Agricultural Development Research Center*. 61 p.
- Salaet, S. y Roca J. 2009. Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Rev. Galega Econ.* 19(1):1-19.
- SENER (Secretaría de Energía). 2009. Programa de introducción de bioenergéticos. México, 2009. 33 p.
- SENER (Secretaría de Energía). 2009-2012. Perspectivas de energías renovables. 2012-2016. 151 p.
- Shah, S.; Sharma, A. and Gupta, M. N. 2005. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L., seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bio. Technol.* 96:121-123.
- Silip, J. J.; Tambunan, A. H.; Hambali, H.; Surahman, M. and Mardjan, S. 2011. High accumulation of lipids during off-tree ripening and senescence in *Jatropha curcas* Luanti accession kernels. *Am. J. Sci. Ind. Res.* 2(2):246-250.
- Schmook B. y Sánchez, S. O. 2000. Usos y potencial de *Jatropha curcas* L. en la península de Yucatán, México. *Rev. Forestal Veracruzana*. 2(2):7-11.
- Sonnenholzner, D. R. 2008. A review on the potentials of the *Jatropha curcas* L., for power generation and sustainable development of rural areas. Case study: Ecuador and the Isabela Island Galapagos. Diploma Thesis. 211 p.
- Sosa, S. M. P.; Angulo, E. M. A.; Valdez, T. J. B.; Heredia J.B.; Osuna, E. T.; Allende, M. R. and Oomah, B. D. 2012. Phenology, productivity, and chemical characterization of *Jatropha curcas* L., as tool for selecting non-toxic elite germplasm. *Afr. J. Biotechnol.* 11(93):15988-15993.
- Srivastava, P.; Behera, K. S.; Gupta, J.; Jamil, S.; Singh, N. and Sharma, Y. K. 2011. Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site. *Bio. Bioen.* 35(9):3936-3942.
- Steinmann, V. W. 2002. Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Bot. Mex.* 61:61-93.
- Wani, T. A.; Kitchlu, S. and Ram, G. 2012. Genetic variability studies for morphological and qualitative attributes among *Jatropha curcas* L. accessions grown under subtropical conditions of North India. *South Afr. J. Bot.* 79:102-105.
- Wiebe, K.; Croppenstedt, A.; Raney, T.; Skoet, J.; Zurek, M.; Tschirley, J. and Cluff, M. 2008. The state of food agriculture 2008. *Biofuels: prospect, risks and opportunities*. FAO. Roma. 138 p.
- Zhawi, R. A. 2005. Establishment and growth of living fence species: an over-looked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration Ecol.* 13(1):92-102.