



Seed oil *Jatropha dioica* Seseé as a biodiesel potential resource

Aceite de semilla de *Jatropha dioica* Seseé como fuente potencial de biodiesel

Pérez-Pérez, J. U.¹, Reyes-Trejo, B.², Guerra-Ramírez, D.², Cuevas-Sánchez, J. A.³

¹Postgrado en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

²Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

³Banco de Germoplasma, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Pérez-Pérez, J. U., Reyes-Trejo, B., Guerra-Ramírez, D., Cuevas-Sánchez, J. A. (2020). Seed oil *Jatropha dioica* Seseé as a biodiesel potential resource. *Revista Bio Ciencias* 7, e728. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e728>



ABSTRACT

Jatropha dioica Seseé is a species of the Euphorbiaceae family, it belongs to the group of endemic species in Mexico that have not been studied and valued as a phylogenetic resource. Its seeds are rich in oil and its stems contain pharmacological and healing properties. The objective of this work was to evaluate the potential of *Jatropha dioica* Seseé seed oil as a raw material in the production of biodiesel. Seeds of *Jatropha dioica* Seseé were subjected to extraction, by means of Soxhlet and maceration methods. The obtained oil was physico-chemically characterized and a reaction was made with methanol, in the presence of potassium hydroxide as a catalyzer to obtain a mixture of fatty acids methyl esters (FAME), which was analyzed to evaluate its possible use

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 18th 2018.

Accepted/Aceptado: October 10th 2019.

Available on line/Publicado: October 11st 2019.

RESUMEN

Jatropha dioica Seseé es una especie de la familia Euphorbiaceae, pertenece al grupo de especies endémicas en México que no han sido estudiadas y valoradas como recurso fitogenético. Sus semillas son ricas en aceite y sus tallos contienen propiedades farmacológicas y curativas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial del aceite de las semillas de *Jatropha dioica* Seseé como materia prima para la obtención de biodiesel. Las semillas de *Jatropha dioica* Seseé se sometieron a extracción por los métodos Soxhlet y maceración. El aceite obtenido se caracterizó fisicoquímicamente y se hizo reaccionar con metanol, en presencia de hidróxido de potasio como catalizador (Sharma *et al.*, 2008), para la obtención de la mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), dicha mezcla fue analizada para evaluar su posible uso como biodiesel. La extracción exhaustiva de las semillas de *Jatropha dioica* Seseé, por el método Soxhlet, proporcionó un 55.8 % de aceite, mientras que por maceración se extrajo un 43.5 % de aceite. Los índices de acidez (0.63 ± 0.03 mg KOH

*Corresponding Author:

Reyes Trejo, Benito. Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México. Phone: +52(595) 952 1500 ext. 5760, E-mail: benijovi@yahoo.com.mx

as a biodiesel. The exhaustive extraction of *Jatropha dioica* Seseé seeds provided 55.8 % of oil by Soxhlet method, while 43.5 % of oil was extracted by maceration method. Crude oil acid (0.63 ± 0.03 mg KOH g⁻¹) and saponification indexes (44.48 ± 1.27 mg KOH g⁻¹) were considered to carry out biodiesel production by means of alkaline transesterification reaction. The analysis of FAME revealed the presence of a high content of linoleic acid (57.77 %) and oleic acid (23.86 %). According to the obtained results, the extraction of *Jatropha dioica* Seseé seed oil was recommended for its possible use as a biodiesel in the energy industry.

KEY WORDS

Biofuel, biodiesel, *Jatropha dioica*, fatty acids methyl esters.

Introduction

The study of sources of renewable energies like biodiesel is currently a focus of interest for diverse public and private research centers (Pramanik, 2003; Bozbas, 2006). There is a global effort to develop new technologies for generating alternative and clean energies, including solar cells, aerogenerators, geothermic energy (Vera-Castillo *et al.*, 2014) and biomass. Renewable energies are now an integral part of the sustainable development of the ecological environment, improving life quality and economic stability in the population. Worldwide energy demand will double in the next thirty years. China and Asia, which currently represent 30 % of the worldwide demand, will pass to 43 % in 2030. On the other side, the thirty two countries of OCDE led by United States of America, European Union and Japan will pass from 58 % to 47 % (Castro, 2011), therefore the energetic industry is focused on oleaginous species as the best option of raw materials for biodiesel production (Ganesh-Ram *et al.*, 2008; Ye *et al.*, 2013). However, in Mexico, the Law of Promotion and Development of Bioenergetics (Official Journal of the Federation, 2008), fosters bioenergetics production by means of agriculture and livestock activities, forestry, algae, biotechnological and enzymatic processes, without jeopardizing food security and sovereignty of the country. Species as canola (*Brassica napus*), sunflower (*Helianthus annuus*), soy (*Glycine max*), oily palm (*Elaeis guineensis*) and pine nut (*Jatropha curcas*), have currently a great interest, those belonging to this last genus stand out for the

g⁻¹) y saponificación (44.48 ± 1.27 mg KOH g⁻¹) del aceite crudo, se consideraron para llevar a cabo la obtención de biodiesel mediante la reacción de transesterificación alcalina. El análisis de FAME reveló la presencia de un alto contenido de ácido linoleico (57.77 %), y oleico (23.86 %). De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda la extracción de aceite *Jatropha dioica* Seseé para un posible uso como biodiesel en la industria energética.

PALABRAS CLAVE

Biocombustible, biodiesel, *Jatropha dioica*, ésteres metílicos de ácidos grasos.

Introducción

El estudio de fuentes de energía renovables como el biodiesel es actualmente un foco de interés para diversos centros de investigación públicos y privados (Pramanik, 2003; Bozbas, 2008). Existe un esfuerzo global para desarrollar nuevas tecnologías para la generación de energías alternativas y limpias, incluyendo celdas solares, aerogeneradores, energía geotérmica (Vera-Castillo *et al.*, 2014) y biomasa. Las energías renovables son ahora parte integral del desarrollo sustentable del medio ecológico, mejorando la calidad de vida y estabilidad económica en la población. La demanda energética mundial se duplicará en los próximos treinta años. Actualmente China y Asia representan el 30 % de la demanda mundial, pero en el 2030 representarán el 43 %. Por otro lado, los treinta y dos países de la OCDE encabezados por Estados Unidos, la Unión Europea y Japón pasarán del 58 % al 47 % (Castro, 2011), es por ello que la industria energética se está enfocando en las especies oleaginosas como la mejor opción de materias primas para la producción de biodiesel (Ganesh-Ram *et al.*, 2008; Ye *et al.*, 2013). No obstante, en México la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Diario Oficial de la Federación, 2008), promueve la producción de bioenergéticos mediante actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país. Especies como colza (*Brassica napus*), girasol (*Helianthus annuus*), soya (*Glycine max*), palma aceitera (*Elaeis guineensis*) y piñón (*Jatropha curcas*), tienen actualmente un gran interés, de las cuales las pertenecientes a este último género destacan por la cantidad y composición de los aceites

quantity and composition of oils extracted from the seeds, in addition to physiological, agronomic, environmental and production characteristics (Sharma *et al.*, 2013).

The use of biodiesel as fuel presents various advantages, such as: coming from renewable sources, safe for its use in internal combustion engines and adequate octane number (Bozbas, 2006). This fuel is obtained from oils or fats by means of a transesterification reaction, using alcohol in a catalytic environment. Transesterification consists in a consecutive number of irreversible reactions, where triglycerides are transformed in diglycerides, monoglycerides and posteriorly in glycerol and fatty acid methyl esters (FAME) (Reyes-Trejo *et al.*, 2014). However, it is important to analyze physico-chemical characteristics and saturated versus unsaturated fatty acids ratio (monounsaturated and polyunsaturated) of biodiesel to determine how useful it is, as well as the possibility of making mixture with commercial diesel in order not to cause internal damages in engines. (Talebi *et al.*, 2013) reported that a biodiesel with a high content of saturated fatty acids increases resistance of biodiesel to oxidation in warm climates, while a high content in unsaturated fatty acids improves its flow properties in cold climates, meaning that the applicability of the produced biodiesel mainly depends on climatic conditions in which the biodiesel will be used.

J. dioica belongs to the family of Euphorbiaceae, including around 199 species (The Plant List, 2019), of which 48 are endemic from Mexico (Steinmann, 2003); its origin is unknown up to now, however, molecular studies indicate that it is native-born from Mexico and Central America (Achten *et al.*, 2009). *J. dioica* is a shrub with brown-reddish fleshy and flexible stems, it can reach up to 1.5 m height, its leaves measure from 2 to 4 cm in length with rounded tip and are presented as clusters in knots, its sap is colorless, but when it comes into contact with air, it turns into a reddish color, its flowers are pinkish and small. Its fruit (drupe) is globular and only contains a seed presenting a firm and compact pericarp. Leaves appear during the rainy season. *J. dioica* is commonly used in communities of northwestern Mexico, where its roots are used in infusions for hair loss treatment, eliminating scabies or in washings to alleviate infection of blows, wounds, spots (Wong-Paz, 2010) and skin cancer (Villareal *et al.*, 1988). This species spread from northern Querétaro to Chihuahua, but is limited by the two Sierras Madres which divide the area, sharing an ecological environment with xerophytic scrublands. They have been found around 2,000 to 2,800 masl, in semi-warm

extraídos de sus semillas, además de sus características fisiológicas, agronómicas, ambientales y de producción (Sharma *et al.*, 2013).

El uso de biodiesel como combustible tiene varias ventajas como son: proviene de fuentes renovables, seguro para su uso en motores de combustión interna y octanajes adecuados. Además, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Bozbas, 2008). Éste combustible se obtiene de aceites o grasas por medio de una reacción de transesterificación, usando alcohol en un medio catalítico. La transesterificación consiste en un número consecutivo de reacciones irreversibles, donde los triglicéridos se transforman en diglicéridos, monoglicéridos y posteriormente en glicerol y ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) (Reyes-Trejo *et al.*, 2014). Sin embargo, es importante analizar características fisicoquímicas y la relación de ácidos grasos saturados e insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) del biodiesel para determinar que tan útiles es, e incluso la posibilidad de poder hacer mezclas con diésel comercial con el fin de no ocasionar daños internos en los motores. (Talebi *et al.*, 2013) mencionan que un biodiésel con alto contenido de ácidos grasos saturados aumenta la resistencia del biodiésel a la oxidación en climas cálidos, mientras que un alto contenido de ácidos grasos insaturados mejora sus características de flujo en climas fríos, es decir, la aplicabilidad del biodiésel producido depende en gran medida de las condiciones climáticas en las que se utilizará el biodiésel.

J. dioica pertenece a la familia de las Euphorbiaceae, que comprende alrededor de 199 especies (The Plant List, 2019), de las cuales, 48 son endémicas de México (Steinmann, 2003); su origen hasta ahora es desconocido, sin embargo, estudios moleculares indican que es nativa de México y América Central (Achten *et al.*, 2009). *J. dioica* es un arbusto con tallos carnosos y flexibles de color café rojizo, puede alcanzar hasta los 1.5 m de altura, sus hojas miden de 2 a 4 cm de longitud con punta redondeada y se presentan agrupadas en los nudos, su savia es incolora, pero al contacto con el aire vira a color rojizo, sus flores son pequeñas de color rosa pálido. Su fruto (drupe) es globoso y contiene sólo una semilla que presenta un pericarpio firme y compacto. Las hojas aparecen en épocas de lluvia. *J. dioica*, es comúnmente utilizada en comunidades del noroeste de México, donde utilizan sus raíces en infusiones para el tratamiento de caída de cabello y eliminación de sarna, y en lavados para aliviar la infección de golpes, heridas, granos (Wong-Paz, 2010) y cáncer de piel (Villareal *et al.*, 1988). Esta especie se distribuye desde el norte de Querétaro hasta Chihuahua, las cuales están limitadas por las dos Sierras Madres que dividen el área, compartiendo un medio ecológico

climate, annual average temperature of 18 °C, minimal precipitations of 43 mm and maximal of 979 mm (Fresnedo-Ramírez, 2012). Although the important anthropocentric use of *Jatropha dioica* in rural localities and its use as a small-scale source, not enough studies have been currently reported on the oil content and physico-chemical profiles of the oil of the seed of this species originating from the state of Guanajuato.

Based on the previously told, the objective of this work was to bring useful data supporting the use of this phylogenetic source as a potential source of renewable energy.

Material and Methods

Vegetal material

J. dioica seeds, in a state of maturity and without physical damage were collected during the months of June and July of 2017 in the locality of Buenavistilla, Municipality of San José Iturbide, Guanajuato, Mexico, at an elevation of 2,100 m. The specimen was identified and deposited in the Herbario-Hortorio "Jorge Espinoza Salas" of the department of the Preparatoria Agrícola of the Autonomous University of Chapingo. Seeds were let dry in the sun, then cotyledons were obtained and stored at 4 °C for 24 h.

Morphological characterization of *J. dioica* seeds

A total of 30 seeds with pericarp were weighted in a digital weighting scale OHAUS CS200 (precision of 0.0001 g). Geometrical dimensions were determined as: length (L), width (W) and thickness (T) with a digital vernier TRUPER CALDI-6MP (precision 0.01 mm). In addition, statistical methods were used to analyze data of arithmetic diameter, geometrical diameter and sphericity of the seeds using the equations 1, 2 and 3:

$$\text{Arithmetic diameter } (Da) = \frac{L + W + T}{3} \dots\dots(1)$$

$$\text{Geometric diameter } (Dg) = (L + W + T)^{1/3} \dots\dots(2)$$

$$\text{Sphericity } (\emptyset) = \frac{L + W + T^{1/3}}{x} = \frac{Dg}{x} \dots\dots(3)$$

con matorrales xerófilos. Se han encontrado alrededor de los 2,000 a los 2,800 msnm, con clima seco semicálido, temperatura media anual de 18 °C, precipitaciones mínimas de 43 mm y máximas de 979 mm (Fresnedo-Ramírez, 2012). A pesar del importante uso antropocéntrico de *Jatropha dioica* en localidades rurales y su uso como recurso a pequeña escala, en la actualidad no se han reportado suficientes estudios sobre el contenido de aceite y perfiles fisicoquímicos de aceite de semilla de esta especie procedente del estado de Guanajuato.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es aportar datos útiles que soporten el uso de este recurso fitogenético como una fuente potencial de energía renovable

Material y Métodos

Material Vegetal

Las semillas de *J. dioica*, en estado de madurez y sin daño físico, fueron colectadas durante los meses de junio y julio de 2017 en la localidad de Buenavistilla, Municipio de San José Iturbide, Guanajuato, México, a una elevación de 2,100 m. El ejemplar fue identificado y depositado en el Herbario-Hortorio "Jorge Espinoza Salas" del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Las semillas se dejaron secar al sol, después se obtuvieron los cotiledones y se almacenaron bajo refrigeración a 4 °C por 24 h.

Caracterización morfológica de las semillas de *J. dioica*

Un total de 30 semillas con pericarpio fueron pesadas en una balanza digital OHAUS CS200 (precisión de 0.0001 g). Las dimensiones geométricas se determinaron como: largo (L), ancho (W) y espesor (T) con un vernier digital TRUPER CALDI-6MP (precisión 0.01 mm). Adicionalmente, se usaron métodos estadísticos para analizar los datos de diámetro aritmético, diámetro geométrico y esfericidad de las semillas utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$\text{Diámetro aritmético } (Da) = \frac{L + W + T}{3} \dots\dots(1)$$

$$\text{Diámetro geométrico } (Dg) = (L + W + T)^{1/3} \dots\dots(2)$$

$$\text{Esfericidad } (\emptyset) = \frac{L + W + T^{1/3}}{x} = \frac{Dg}{x} \dots\dots(3)$$

Obtaining and characterizing *J. dioica* oil

J. dioica seeds (previously ground, 50 g) were packaged in filter paper cartridges and were submitted to extraction by using 150 mL of hexane by Soxhlet method for 18 h and by maceration method for 48 h. Oil and hexane mixture, previously dried with 20 g of anhydrous Na_2SO_4 , was vacuum evaporated in a rotary evaporator brand Buchi model R-210 at a temperature of 50 °C. The process was performed in triplicate and oil yield was determined. Physico-chemical properties which was determined in oil were: viscosity, dynamic and kinematic (Viscometer Anton Parr SVM 3000) and acid and saponification indexes (AOAC, 1990) and gross heating value was determined in a calorimeter brand Anton Parr model 6400.

Preparation and characterization of Biodiesel and mixtures of biodiesel-diesel

For obtaining biodiesel, firstly, a mixture of methanol with potassium hydroxide was prepared at a concentration of 0.028 g L^{-1} . *J. dioica* oil was added to this mixture in a proportion of 0.25:1 (v/p). The mixture was shaken and heated under reflux with methanol for 1 h. Once passed this time, it was transferred to a separation funnel and was let rest for 12 h, until observing two consistent phases in biodiesel and glycerin. Biodiesel (superior phase) was treated with citric acid at 0.1 % (two washings in proportion 1:1), after it was washed with hot water, finally it was dried with 20 g of anhydrous sodium sulphate and stored protected from the light at 4 °C until analysis. Fatty acids composition was determined by gas chromatography in an Agilent 6890 chromatograph equipped with a flame ionization detector and an AT-FAME column (30 m x 0.25 mm x 0.25 mm). Initial temperature of the oven was 170 °C (1 min), ramp 10 °C min^{-1} , final temperature 240 °C, injector and detector temperature 260 °C. Helium was used as a transporting gas, at a flow velocity of 1.8 mL min^{-1} . A mixture of FAME was used as a standard and retention times were used for the detection of the picks of samples. Fatty acids were estimated as the percentage of the total area of the picks of FAME (Figure 1).

Mixtures of biodiesel-diesel called B05, B10, B20, B30, B40 and B100 were prepared, where the number indicates the percentage of biodiesel in the mixture. Kinematic and dynamic viscosities and biodiesel densities and of each mixture were measured at atmospheric pressure,

Obtención y caracterización del aceite de *J. dioica*

Las semillas de *J. dioica* (previamente molidas, 50 g) se empaquetaron en cartuchos de papel filtro y se sometieron a extracción utilizando 150 mL de hexano por método Soxhlet durante 18 h y por maceración por 48 h. La mezcla de aceite con hexano, previamente secada con 20 g de Na_2SO_4 anhidro, se evaporó al vacío en un rota-evaporador marca Buchi modelo R-210 a una temperatura de 50 °C. El proceso se hizo por triplicado y se determinó el rendimiento de aceite. Las propiedades fisicoquímicas que se determinaron en el aceite fueron: viscosidades, dinámica y cinemática (Viscosímetro Anton Parr SVM 3000) e índices de acidez y saponificación (AOAC, 1990) y su calor de combustión se llevaron a cabo en un calorímetro marca Anton Parr modelo 6400

Preparación y caracterización de Biodiesel y mezclas de biodiesel-diésel

Para la obtención de biodiesel, primero se preparó una mezcla de metanol con hidróxido de potasio a una concentración de 0.028 g mL^{-1} . A esta mezcla se adicionó el aceite de *J. dioica* en una proporción 0.25:1 (v/p). La mezcla se agitó y calentó bajo reflujo con metanol durante 1 h. Transcurrido dicho tiempo se transfirió a un embudo de separación y se dejó reposar durante 12 h, hasta observar dos fases consistentes en biodiesel y glicerina. El biodiesel (Fase superior) fue tratado con ácido cítrico al 0.1 % (dos lavados en proporción 1:1), después se lavó con agua caliente, finalmente se secó con 20 g de sulfato de sodio anhidro y se guardó protegido de la luz a 4 °C hasta su procesamiento. La composición de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases en un cromatógrafo Agilent 6890, equipado con un detector de ionización de flama y una columna AT-FAME (30 m x 0.25 mm x 0.25 mm). La temperatura inicial del horno fue de 170 °C (1 min), rampa 10 °C min^{-1} , temperatura final 240 °C. Temperatura del inyector y detector 260 °C. Se utilizó helio como gas acarreador, a una velocidad de flujo de 1.8 mL min^{-1} . Una mezcla de FAME se utilizó como estándar y los tiempos de retención se utilizaron para la detección de picos de las muestras, Los ácidos grasos fueron estimados como porcentaje del área total de los picos de FAME (Figura 1).

Se prepararon mezclas de biodiesel-diésel denominadas B05, B10, B20, B30, B40 y B100 donde el número indica el porcentaje de biodiesel en la mezcla. Las viscosidades cinemáticas, dinámica y la densidad del biodiesel y de cada una de las mezclas fueron medidas a presión atmosférica a 20 y 40 °C en un Viscosímetro-densímetro Anton Parr rotacional

at 20 and 40 °C in an Anton Parr rotational Viscometer-densimeter Stabinger SVM 3000. Measurements of gross heating values of biodiesel and mixtures B10, B20, B30, B40 and B50 were performed in a calorimeter brand Anton Parr model 6 400, using approximately 0.5 g of sample.

Statistical analysis

Results were expressed as means \pm standard deviation of the analysis, tests were performed in triplicate.

Results and Discussion

Morphological characterization of *J. dioica* seeds

J. dioica seeds were composed by a drupe, with a firm dark brown pericarp. Inside, a white seed could be found, which was divided into two cotyledons with an embryo in the middle. To improve the exploitation for obtaining biodiesel from seeds oil, it was necessary to establish physical (arithmetic diameter, geometrical diameter and sphericity), mechanical and chemical variables, which were useful for a better design and operation of the equipment, as well as for processes of oil extraction (Betancur-Prisco *et al.*, 2014). Physical characteristics of *J. dioica* seeds were presented in Table 1. Measures as length, width and thickness of seeds were significantly similar, resembling a sphere. In addition, the obtained value of sphericity of 91.82 % indicated a more spherical shape compared with *J. curcas*.

Content and characterization of oil and biodiesel of *J. dioica* seeds

The average yield of the extraction of *J. dioica* seed oil by Soxhlet method was of 55.8 ± 1.2 % and by maceration of 43.5 ± 0.7 %. Some physico-chemical parameters of crude oil and biodiesel obtained from *J. dioica* seeds were shown in Table 2. Extracted oil content was observed to be similar to other oleaginous crops; as castor oil plant, 64.84 % (Goytia-Jiménez *et al.*, 2010), Soy bean 35.5 % (Mosquera-Artamonov *et al.*, 2016) and even similar to other species from *Jatropha* genus, 44.4 % and 56.5 % (Pradhan *et al.*, 2012; Prasad *et al.*, 2012).

The high content of extracted oil from the seed indicated that it is a potentially useful source to be transformed in biofuel. However, this could be related to the origin and

Stabinger SVM 3000. La medición de los calores de combustión del biodiesel y las mezclas B10, B20, B30, B40 y B50 se llevaron a cabo en un calorímetro marca Anton Parr modelo 6 400, utilizando aproximadamente 0.5 g de muestra.

Análisis estadístico

Los resultados están expresados como medias \pm desviación estándar de los análisis, los ensayos se efectuaron por triplicado.

Resultados y Discusión

Caracterización morfológica de semilla de *J. dioica*

Las semillas de *J. dioica* están compuestas por una drupa, con un pericarpio firme de color café oscuro. Dentro se encuentra una semilla color blanco la cual se divide en dos cotiledones con un embrión en el medio. Para mejorar el aprovechamiento en la obtención de biodiésel a partir del aceite de semillas, es necesario establecer variables físicas (diámetro aritmético, diámetro geométrico y esfericidad), mecánicas y químicas que sean de utilidad para un mejor diseño y funcionamiento de los equipos, así como de los procesos de extracción de aceites (Betancur-Prisco *et al.*, 2014). En la Tabla 1 se observan las características físicas de las semillas de *J. dioica*. Medidas como largo, ancho y espesor de las semillas, son significativamente similares, lo que asemeja a una esfera. Además, el valor obtenido de la esfericidad del 91.82 %, indica su forma más esférica comparada con *J. curcas*.

Contenido y caracterización de aceite y biodiesel de semilla de *J. dioica*

El rendimiento promedio de la extracción de aceite de semilla de *J. dioica* por método Soxhlet fue de 55.8 ± 1.2 % y por maceración 43.5 ± 0.7 %. En la Tabla 2 se muestran algunos parámetros fisicoquímicos de aceite crudo y biodiesel obtenidos de semillas de *J. dioica*. Se observa que el contenido de aceite extraído es comparable con otros cultivos oleaginosos; como higuera, 64.84 % (Goytia-Jiménez *et al.*, 2010), Soya, 35.5 % (Mosquera *et al.*, 2016) e incluso similares a otras especies del género *Jatropha*, 44.4 % y 56.5 % (Pradhan *et al.*, 2012; Prasad *et al.*, 2012).

El alto contenido de aceite extraído de la semilla, indica que es un recurso potencialmente útil para ser

state of physiological maturity. In this case, seeds obtained after natural dehiscence of the fruits of this plant were used, presenting a dark brown pericarp, corresponding to approximately 60 days of maturity.

The determination of gross heating value of a substance allows to estimate the quantity of energy released when it is burnt (Knothe, 2010). Gross heating values obtained in crude oil and biodiesel presented, in both cases, quantities inferior to 39.500 MJ kg⁻¹, the established limit by International Standard ASTM D240, Method of standard test for gross heating value in hydrocarbons, by means of a calorimetric bomb for the use of biodiesel; so that both the crude oil and biodiesel obtained in this work can be considered suitable for their use in internal combustion engines.

The acid index allows to determine the percentage of fatty acids in an oil sample, in addition to evaluating whether the transesterification reaction will be satisfactorily performed. With the saponification index, an estimation of the length of fatty acid chains was obtained (Nielsen, 2010), in addition, it indicated whether the oil was potentially useful for the elaboration of liquid soaps, as well as in the shampoo industry (Akbar *et al.*, 2009).

The obtained acid index (0.63 mg KOH g⁻¹ ± 0.03) was slightly higher than the established limit in European Union Standard EN 14214 for biodiesel production (0.0-

transformado en biocombustible. Sin embargo, esto puede estar relacionado con el origen y el estado de madurez fisiológica, que en este caso se emplearon semillas obtenidas después de la dehiscencia natural de los frutos de esta planta, presentando un pericarpio café oscuro, que corresponde aproximadamente a 60 días de maduración.

La determinación de calor de combustión de una sustancia permite estimar la cantidad de energía que se libera cuando ésta se quema (Knothe, 2010). El calor de combustión obtenido en aceite crudo y biodiesel registran, en ambos casos, cantidades menores a 39.500 MJ kg⁻¹, límite establecido por la norma internacional ASTM D240 Método de prueba estándar para calor de combustión en hidrocarburos, mediante una bomba calorimétrica para el uso de biodiesel; de modo que, tanto el aceite crudo como el biodiesel obtenido en este trabajo pueden considerarse aptos para su uso en motores de combustión interna.

El índice de acidez permite determinar el porcentaje de ácidos grasos en una muestra de aceite, además de evaluar si la reacción de transesterificación que se llevará a cabo es de manera satisfactoria. Con el índice de saponificación se obtiene una estimación del largo de las cadenas de los ácidos grasos (Nielsen, 2010) además indica si el aceite es potencialmente útil para la elaboración de jabones líquidos, así como en la industria de champú (Akbar *et al.*, 2009).

El índice de acidez obtenido (0.63 mg KOH g⁻¹ ± 0.03) supera ligeramente el límite establecido en la norma de la

Table 1.
Physical characteristics^a of *Jatropha dioica* seeds.

Tabla 1.
Características físicas^a de las semillas de *Jatropha dioica*.

Parameter	Mean
Length (mm)	11.75 ± 1.65
Width (mm)	10.32 ± 1.45
Thickness (mm)	10.21 ± 1.19
Weight (g)	1.30 ± 0.05
Arithmetic diameter (mm)	10.76 ± 1.33
Geometric diameter (mm)	10.66 ± 1.50
Sphericity %	91.82 ± 0.04

^aMean of 30 seeds.

^aPromedio de 30 semillas.

Table 2.
Physicochemical properties of *J. dioica* seed oil.

Tabla 2.
Propiedades fisicoquímicas del aceite de semilla de *J. dioica*.

Property	Oil	Biodiesel
Acid index (mg KOH g ⁻¹)	0.63 ± 0.03	-
Saponification index (mg KOH g ⁻¹)	44.48 ± 1.27	-
Density at 20 °C (g cm ⁻³)	0.8966	0.8843
Viscosity at 40 °C (mm ² s ⁻¹)	16.915	4.5763
Gross heating value (MJ kg ⁻¹)	37.27	38.09

0.5 mg KOH g⁻¹). Results of saponification corresponded to those obtained in other studies in species of *Jatropha* genus (Adebawale *et al.*, 2006), suggesting that the oil was potentially useful for biodiesel elaboration or for its direct use as a biofuel.

Kinematic viscosity is defined as the resistance of a fluid to movement, this characteristic has different behavior according to the molecular weight of the oil and the proportion of unsaturated fatty acid (Akbar *et al.*, 2009). This characteristic has a great impact on engine, causing high dragging in the injection pump, with high fuel pressures and volumes, especially operating at low temperatures (Pinzi *et al.*, 2009).

Comparison of Standards (EN 1424) of diesel and mixtures of biodiesel (ASTM D 6751) for properties of kinematic viscosity and density of mixtures prepared with biodiesel-diesel (B05, B10, B20, B30, B40 and B100) of *Jatropha dioica* were shown in Table 3.

Results indicated that kinematic viscosity not lineally decreases, while temperature increases. High viscosities in fuels do not favor a good performance in engines, therefore specific characteristics are wanted, which do not affect the flow and fuel atomization (Akbar *et al.*, 2009). Kinematic viscosity of *J. dioica* decreases when increasing temperature from 20 °C to 90 °C (7.38 to 2.07 mm² s⁻¹). At 40 °C, biodiesel (B100; 4.57 mm² s⁻¹) was observed to cover requirements for EN 14214 Standard (3.5-5.0 mm² s⁻¹). In addition, mixtures B05, B10, B20, B30 and B40 of biodiesel-diesel are suitable for its use according to Standards established in ASTM D 6751-09 Standard (1.9-6.0 mm² s⁻¹). Data were close to those

Unión Europea EN 14214 para la producción de biodiesel (0.0-0.5 mg KOH g⁻¹). Los resultados de saponificación corresponden a los obtenidos por otras investigaciones en especies del género *Jatropha* (Adebawale *et al.*, 2006), lo que sugiere que el aceite es potencialmente útil para elaboración de biodiesel o bien para su uso directo como biocombustible.

La viscosidad cinemática se define como la resistencia de un fluido al movimiento, esta característica tiene diferentes comportamientos según el peso molecular del aceite y proporción de sus ácidos grasos insaturados (Akbar *et al.*, 2009). Esta característica tiene un gran impacto en el motor ocasionando altos arrastres en la bomba de inyección, causando altas presiones y volúmenes de combustible, especialmente operando a bajas temperaturas (Pinzi *et al.*, 2009).

En la Tabla 3, se muestra la comparación de estándares para biodiesel (EN 1424) y mezclas de biodiesel (ASTM D 6751) de las propiedades de viscosidad cinemática y densidad de mezclas preparadas con biodiesel-diésel (B05, B10, B20, B30, B40 y B100), de *Jatropha dioica*.

Los resultados indican que la viscosidad cinemática decrece de forma no lineal mientras la temperatura aumenta. Las altas viscosidades en los combustibles no favorecen un buen desempeño en motores, por lo que se busca que éstas tengan características específicas, y no afecten en el flujo y la atomización del combustible (Akbar *et al.*, 2009). La viscosidad cinemática de *J. dioica* disminuyó al aumentar la temperatura de los 20 °C a 90 °C (7.38 a 2.07 mm² s⁻¹). Se observa que a 40 °C, el biodiesel (B100; 4.57 mm² s⁻¹) cubre los requerimientos en norma EN 14214 (3.5-5.0 mm² s⁻¹). Además, las mezclas B05, B10, B20, B30 y B40 de biodiesel-diésel son aptas para su uso según los estándares establecidos en la norma ASTM

obtained by Prasad *et al.*, (2012) who reported 5.14 mm² s⁻¹. The density of biodiesel-diesel mixtures had a lineal behaviour, corresponding every time more when increasing progressively diesel mixture and temperature up to 70 °C. Gunstone (2004) reported that the density of an oil decreases according to its molecular weight, but increases according to unsaturated fatty acids content. The density at 15 °C of biodiesel obtained from *J. dioica* (888.8 kg m⁻³) achieved Standards established in EN 14214 Standard (860-900 kg m⁻³) for biodiesel,

D 6751-09 (1.9-6.0 mm² s⁻¹). Los datos se acercan a los resultados obtenidos por Prasad *et al.*, (2012) quienes reportan 5.14 mm² s⁻¹. La densidad de las mezclas de biodiesel-diésel tiene un comportamiento lineal que corresponde cada vez más al aumentar porcentualmente la mezcla de diésel y temperatura hasta los 70 °C. Gunstone (2004) menciona que la densidad de un aceite disminuye de acuerdo con su peso molecular, pero aumenta por el contenido de ácidos grasos insaturados. La densidad a 15 °C de biodiesel obtenido de *J. dioica*

Table 3.
Biodiesel properties of *J. dioica* and biodiesel-diesel mixtures compared to biodiesel Standards.

Tabla 3.
Propiedades del biodiesel de *J. dioica* y mezclas de biodiesel-diesel en comparación con los estándares de biodiesel.

Property	EN 1424	ASTM D6751	B100	B40	B30	B20	B10	B05	Normalized Analytical method
Density at 15°C (Kg m ⁻³)*	860-900		888.8	849.0	843.8	836.2	828.0	826.0	EN-ISO 3675 EN-ISO 12185
Viscosity at 40°C (mm ² s ⁻¹)**	3.5-5.0	1.9-6.0	4.6	2.7	2.6	2.5	2.3	2.3	EN-ISO 3104 ASTM-D-445

*Only pure biodiesel (B100) achieves European Standard EN 14214.

**All mixtures achieve American Standard in viscosity ASTM D6751.

*Solo el biodiésel puro (B100) cumple con la norma europea EN 14214.

**Todas las mezclas cumplen en viscosidad con la norma americana ASTM D6751.

making easier the way of managing different mixtures of biodiesel-diesel.

Fatty acids profile of *J. dioica*

The main percentages obtained in the analysis of gas chromatography and its comparison with others oleaginous species were observed in Table 4. The chromatogram used for obtaining data from the fatty acids composition by means of corresponding FAME retention time was shown in Figure 1.

The main fatty acids in *J. dioica* seeds were the polyunsaturated ones (60 %) and superior to saturated (15.4 %) and monounsaturated (24.36 %), in these last ones, linoleic, oleic and palmitic acids were found. These data were comparable to those determined in *J. curcas* by some other researchers (Akbar *et al.*, 2009; Pradhan *et al.*, 2012). Palmitoleic, stearic and linolenic acids

(888.8 kg m⁻³) cumple con los estándares establecidos en la normal EN 14214 (860-900 kg m⁻³) para biodiesel facilitando así una forma de manejar diferentes mezclas de biodiesel-diésel.

Perfil de ácidos grasos de *J. dioica*

En la Tabla 4 se observan los principales porcentajes obtenidos en el análisis de cromatografía de gases y su comparativa con otras especies oleaginosas. El cromatograma utilizado para la obtención de los datos de la composición de ácidos grasos mediante los tiempos de retención de FAME correspondientes, se muestran en la Figura 1.

Los ácidos grasos predominantes en las semillas de *J. dioica* son los de tipo poliinsaturados (60 %) y superiores a los saturados (15.4 %) y monoinsaturados (24.36 %), en estos últimos se encuentran los ácidos grasos linoleico, oleico y palmitoleico. Estos datos son comparables con los determinados en *J. curcas* por algunos otros investigadores

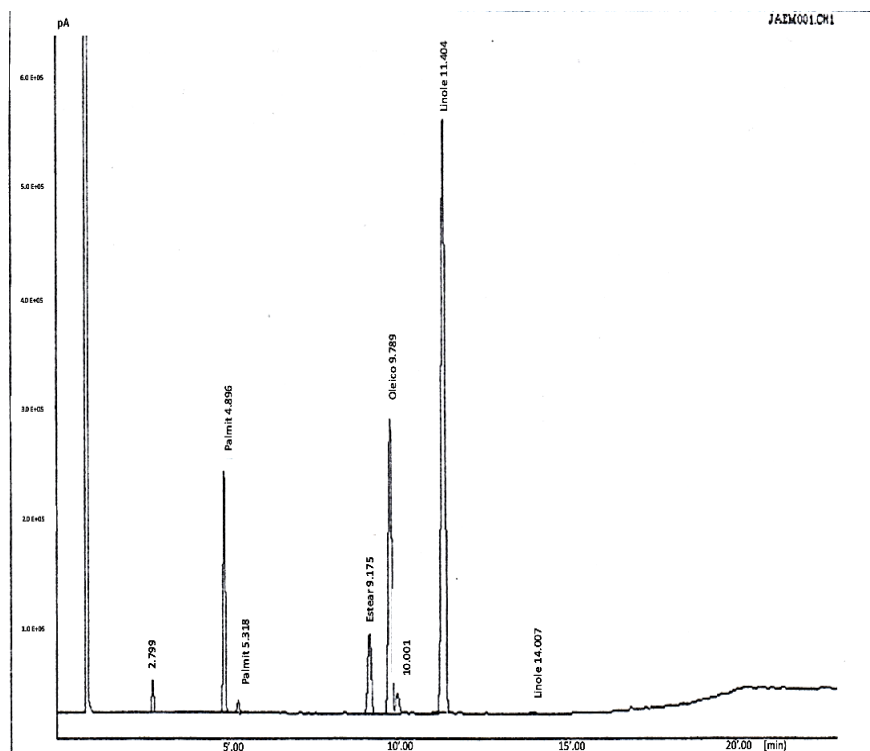


Figure 1. Chromatogram from gas chromatography analysis of *J. dioica* seeds oil.

Figura 1. Cromatograma del análisis de cromatografía de gases del aceite de semillas de *J. dioica*.

were present in small quantities. *J. dioica* contained a higher percentage of linoleic acid (57.80 %) regarding *J. curcas* (32.8 %), both *Jatrophas* were constituted by a lower quantity of palmitic acid regarding those of oil palm (*Elaeis guineensis*) (Syamsuddin *et al.*, 2016).

At an industrial scale, a disadvantage of *J. dioica* biodiesel is that it contained high polyunsaturated fatty acids levels (linoleic acid 57.80 %), which have negative effects when decreasing its stability and reducing cetane number (Pinzi *et al.*, 2009). In addition to be susceptible to the incidence of undesirable odors and flavors caused by the formation of aldehydes and alcohols caused by peroxides and hydroperoxides. However, an advantage is that it presented fluidity at low temperatures for its low content in saturated fatty acids (Bahadur *et al.*, 2013) as palmitic (9.31 %) and stearic (6.09 %) acids. Therefore, the use of biodiesel derived from oils of this species is potentially useful as a renewable energy source in cold climates.

(Akbar *et al.*, 2009; Pradhan *et al.*, 2012). Los ácidos palmítoicos, esteárico y linoléico están presentes en pequeñas cantidades. *J. dioica* contiene un mayor porcentaje de ácido linoleico (57.80 %) respecto a *J. curcas* (32.8 %), ambas *Jatrophas* se componen de una menor cantidad de ácido palmítico con respecto al de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) (Syamsuddin *et al.*, 2016).

A nivel industrial, una desventaja del biodiesel de *J. dioica* es que contiene altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico 57.80 %) el cual tiene efectos negativos al disminuir su estabilidad y reducir el número de cetano (Pinzi *et al.*, 2009). Además de ser susceptible a la aparición de olores y sabores indeseables ocasionados por la formación de aldehídos y alcoholes causados por los peróxidos e hidroperóxidos. Sin embargo, una ventaja es que presenta fluidez a bajas temperaturas por el bajo contenido de ácidos grasos saturados (Bahadur *et al.*, 2013) como ácido palmítico (9.31 %) y esteárico (6.09 %). Por lo tanto, el uso del biodiesel derivado de los aceites de esta especie es potencialmente útil como fuente de energía renovable en climas fríos.

Table 4.
Fatty acid composition (%) of *J. dioica* and other natural sources.

Tabla 4.
Composición de ácidos grasos (%) de *J. dioica* y otras fuentes naturales.

Fatty acid	Molecular formula	Structure	Percentage %		
			<i>Jatropha dioica</i>	<i>Jatropha curcas</i> ^a	<i>Elaeis guineensis</i> ^b
Palmitic	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C16:0	9.30	14.2	44
Stearic	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C18:0	6.10	7.0	4.5
Palmitoleic	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	C16:1	0.50	0.7	
Oleic	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:1	23.86	44.7	39
Linoleic	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	C18:2	57.80	32.8	10.1
Linolenic	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	C18:3	0.20	0.2	
Saturated	-	-	15.40	21.6	48.5
Monounsaturated	-	-	24.36	45.4	39
Polyunsaturated	-	-	60.00	33.0	10.1

^aAkbar et al. (2009).

^bSyamsuddin et al. (2016).

Conclusions

The main fatty acids in *J. dioica* seed oil were linoleic, oleic and palmitic acids. Kinematic viscosity and density of the obtained biodiesel (B100) presented acceptable characteristics considering EN 14214 standards, while biodiesel-diesel mixtures were achieving ASTM D6751 standard for the kinematic viscosity parameter.

Polyunsaturated fatty acids content was a limiting factor for its use in internal combustion engines, except in cold climates. However, crude oil could be used in reverse combustion engines to produce electricity at small scale.

Acknowledgements

Authors thank funding of the National Council of Science and Technology (CONACYT), as well as the Laboratory of Natural Products of the Autonomous University of Chapingo for the support and recommendations realized during the experimental phase.

Conclusiones

Los ácidos grasos predominantes en el aceite de semilla de *J. dioica* son el ácido linoleico, oleico y palmítico. La viscosidad cinemática y densidad del biodiesel obtenido (B100) presenta características aceptables dentro de la norma EN 14214, mientras que las mezclas de biodiésel-diésel si cumplen en el parámetro de viscosidad cinemática para la norma ASTM D6751.

El contenido de ácidos grasos poliinsaturados son una limitante para su uso en motores de combustión interna, no así para su uso en zonas de climas fríos. Sin embargo, el aceite crudo podría ser utilizado en motores de combustión inversa para producir electricidad en pequeña escala.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), así como al Laboratorio de Productos Naturales de la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades y recomendaciones hechas durante la fase experimental.

References

- Achten, W. M. J., Maes, W. H., Aerts, R., Verchot, L., Trabucco, A., Mathijs, E., Singh V.P. and Muys, B. (2009). *Jatropha*: From global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments*, 74: 164–165. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.08.010>
- Adebowale, K.O. & Adedire, C. O. (2006) Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. *African Journal of Biotechnology* 5: 901 – 906. https://www.researchgate.net/publication/27797432_Chemical_composition_and_insecticidal_properties_of_the_underutilized_Jatropha_curcas_seed_oil
- Akbar, E., Yaakob, Z., Kamarudin, S.K., Ismail, M. and Salimon, J. (2009). Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. *European Journal of Scientific Research* 29: 396–403. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Huiles-vegetales-noix/Fiches_plantes/jatropha/Characteristic%20and%20Composition%20of%20Jatropha%20Curcas%20Oil%20Seed_Malaysia.pdf
- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition.
- Bahadur, B., Sujatha, M. and Carels, N. (2013). *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop. Volume 2. *Genetic Improvement and Biotechnology*. New York, Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9781461449140>
- Betancur-Prisco, J. C., Mira-Hernández, C. and París-Londoño, L. S. (2014). Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* seed grown up in Colombia. *Revista de La Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia Nicaragua*, 73: 187–199. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302014000400018&script=sci_arttext&lng=en
- Bozbas, K. (2008). Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 542–552. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.001>
- Castro, J. (2011). Perspectivas de la demanda energética global. *Petrotecnia*, 1: 54-70. <http://www.petrotecnia.com.ar/abril11/sin/Demanda.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. <http://thereddesk.org/sites/default/files/lpdb.pdf> [last checked July 15th 2019]
- Fresnedo-Ramírez, J. & Orozco-Ramírez, Q. (2012). Diversity and distribution of genus *Jatropha* in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(3): 1087–1104. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9906-7>
- Ganesh-Ram, S., Parthiban, K. T., Senthil Kumar, R., Thiruvengadam, V. and Paramathma, M. (2008). Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 803-809. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9285-7>
- Goytia-Jiménez, M. A., Gallegos-Goytia, C. H. and Nuñez-Colín, C. A. (2010). Relationship Among Climatic, Variables with the Morphology and Oil Content of Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.) Seeds from Chiapas. *Revista Chapingo Serie Forestales y del Ambiente*. 17(1): 41-48. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.048>
- Gunstone, F.D. (2004). *The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses*. Blackwell Pub.
- Hammond, E.W. (1993). *Chromatography for the Analysis of Lipids*. CRC Press, Boca Raton, pp. 81 – 85.
- Knothe, G. (2010). Biodiesel and renewable diesel: a comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3): 364-373. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>
- Mosquera, A. J. D.; Vasco, L. J. F.; Acosta, O. A.A.; Hernández, R. I.; Ventura, R. E.; Gutiérrez, C. E. and Rodríguez, G. M. (2016). Optimization of castor seed oil extraction process using response surface methodology. *Ingeniería e Investigación*. 36(3): 82-88. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v36n3.55632>
- Nielsen, S. (2010). *Food Analysis Laboratory Manual*. Third edition. Springer. New York.
- Pinzi, S., Garcia, I. L., Lopez-Gimenez, F. J., Luque De Castro, M. D., Dorado, G. and Dorado, M. P. (2009). The Ideal Vegetable Oil-based Biodiesel Composition: A Review of Social, Economical and Technical Implications. *Energy & Fuels*, 23(5): 2325–2341. <https://doi.org/10.1021/ef801098a>
- Pradhan, S., Naik, S. N., Khan, M. A. I. and Sahoo, P. (2011). Experimental assessment of toxic phytochemicals in *Jatropha curcas*: oil, cake, bio-diesel and glycerol. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 92(3): 511–519. <https://doi.org/10.1002/Jsfa.4599>
- Pramanik, K. (2003). Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Fuel and Energy Abstracts*, 44(3): 170.
- Prasad, L., Pradhan, S., Das, L. M. and Naik, S. N. (2012). Experimental assessment of toxic phorbol ester in oil, biodiesel

- and seed cake of *Jatropha curcas* and use of biodiesel in diesel engine. *Applied Energy*, 93: 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.076>
- Reyes-Trejo, B., Guerra-Ramírez, D., Zuleta-Prada, H., Cuevas-Sánchez, J. A., Reyes, L., Reyes-Chumacero, A. and Rodríguez-Salazar, J. A. (2014). *Annona diversifolia* seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 52: 400–404. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.005>
- Sharma, Y.C., Singh, B. and Upadhyay, S N., (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel: a review. *Fuel* 87(12): 2355-2373. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.014>
- Sharma, H. K., Shukla, A., Kumar, A., Shukla, A., Choudhary, S. B. and Jatothu, J. L. (2013). Variability and genetic diversity assessment in physic nut (*Jatropha curcas* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7: 2380-2391. https://www.researchgate.net/profile/Jawaharlal_Jatothu/publication/303178007_Variability_and_genetic_diversity_assessment_in_physic_nut_Jatropha_curcas_L/links/585a5c9708aeffd7c4fe64ff/Variability-and-genetic-diversity-assessment-in-physic-nut-Jatropha-curcas-L.pdf
- Steinmann, W. V. (2003). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botanica Mexicana*. 61: 61-93. <https://doi.org/10.21829/abm61.2002.909>
- Syamsuddin, Y., Murat, M. N. and Hameed, B. H. (2016). Synthesis of fatty acid methyl ester from the transesterification of high- and low-acid-content crude palm oil (*Elaeis guineensis*) and karanj oil (*Pongamia pinnata*) over a calcium–lanthanum–aluminum mixed-oxides catalyst. *Bioresource Technology*, 214: 248–252. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.083>
- Talebi, A.F., Mohtashami, S.K., Tabatabaei, M., Tohidfar, M., Bagheri, A., Zeinalabedini, M., Hossein Hadavand Mirzaei, H.H., Mirzajanzadeh, M., Saeid Malekzadeh Shafaroudi, S.M., Shiva Bakhtiari, S. (2013). Fatty acids profiling: A selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. *Algal Research* 2 (3): 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2013.04.003>
- The Plant List. (2019). Version 1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/> [Last Checked April 09th 2019].
- Vera-Castillo, Y.B.; H.W. Pritchard; A. Frija; P. Chellattan-Veettil; J.A. Cuevas-Sanchez; P. Van Damme, P. and Van-Huylenbroeck, G. (2014). Production viability and farmers' willingness to adopt *Jatropha curcas* L. as a biofuel source in traditional agroecosystems in Totonacapan, Mexico. *Agricultural Systems* 125: 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.12.003>
- Villarreal, A. M., Dominguez, X. A., Williams, H. J., Scott, A. I. and Reibenspies, J. (1988). *Citralitrone*, a New Diterpene from *Jatropha dioica* var. sessiliflora. *Journal of Natural Products*, 51(4): 749–753. <https://doi.org/10.1021/np50058a014>
- Wong-Paz J.E., Castillo-Inungary, M.L., López-López, L.I., Contreras-Esquivel, J.C., Nevárez-Moorillon, V. and Aguilar, C.N. (2010). *Jatropha dioica*: Fuente potencial de agentes antimicrobianos. *AQM*. 2(4).
- Ye, Jian., Hong, Yan., Qu, Jing. and Wang, Chumming. (2013). Improvement of *J. curcas* Oil by Genetics Transformation. En Bahadur, Bir., et al., (Ed). *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop. Volume 2. *Genetic Improvement and Biotechnology*. pp 547-562, New York, Springer https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4915-7_29