

## Relación entre la composición química de la semilla y la calidad de aceite de doce accesiones de *Ricinus communis* L.\*

### Relation between the chemical composition of the seed and oil quality of twelve accessions of *Ricinus communis* L.

José F. Vasco-Leal<sup>1</sup>, Ismael Hernández-Rios<sup>2</sup>, S. de J. Méndez-Gallegos<sup>2</sup>, Eusebio Jr. Ventura-Ramos<sup>1</sup>, M. L. Cuellar-Núñez<sup>1</sup> y José D. Mosquera-Artamonov<sup>3§</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Querétaro. CU Cerro de las Campanas S/N. Querétaro, Querétaro, México CP. 76010. (cimer@uaq.mx; eventura@uaq.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados-Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. CP. 78600. (ismaelhr@colpos.mx; jmendez@colpos.mx; marli902@hotmail.com). <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León-CD Universitaria San Nicolás de los Garza. Monterrey, Nuevo León, México. CP. 66450. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jose.mosqueraar@uanl.edu.mx.

## Resumen

La higuera (*Ricinus communis* L.) es una planta que ha generado gran interés a nivel mundial debido al contenido de aceite extraído de la semilla, éste puede ser utilizado en la producción de biocombustibles, productos farmacéuticos y cosmetológicos, entre otros. No obstante, en México pocos estudios describen las características químicas de la semilla y su aceite. El objetivo de este trabajo, fue determinar la composición química proximal y la calidad del aceite de doce accesiones de *R. communis* provenientes de los estados de Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí y Zacatecas, colectados en el año 2013. Se realizó análisis químico proximal siguiendo las técnicas recomendadas por la AOAC (2002) y se determinó la calidad del aceite mediante parámetros como: viscosidad, densidad, índice de acidez (IA) y porcentaje de ácidos grasos libres (%AGL). Los datos obtenidos evidenciaron que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), en la composición química y calidad de aceite, excepto densidad para las accesiones evaluadas. SLPS11C1 presentó mayor contenido de aceite ( $51.04 \pm 0.44\%$ ) y proteína ( $16.02 \pm 0.36\%$ ), mientras JAL3C1

## Abstract

Castorbean (*Ricinus communis* L.) is a plant that has generated great interest worldwide due to the oil content extracted from the seed, it can be used in biofuel production, pharmaceutical and cosmetic products, among others. However, in México few studies describe the chemical characteristics of the seed and its oil. The aim of this paper was to determine the proximal chemical composition and oil quality of twelve accessions of *R. communis* from the states of Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí and Zacatecas, collected in 2013. A proximal chemical analysis was performed following the techniques recommended by the AOAC (2002) and the quality of the oil was determined by parameters such as viscosity, density, acidity index (IA) and percentage of free fatty acids (%AGL). The data obtained showed that there is significant difference ( $p < 0.05$ ), in the chemical composition and oil quality, except for the accessions density. SLPS11C1 showed higher oil content ( $51.04 \pm 0.44\%$ ) and protein ( $16.02 \pm 0.36\%$ ), while JAL3C1 had a higher crude fiber average ( $21.15 \pm 0.16\%$ ). AGSS2C1 showed higher viscosity ( $265.84 \pm 2.54 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ )

\* Recibido: marzo de 2017  
Aceptado: mayo de 2017

posee promedio mayor de fibra cruda ( $21.15 \pm 0.16\%$ ). AGSS2C1 reportó mayor viscosidad ( $265.84 \pm 2.54 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) y SLPS11C1 un menor IA ( $0.5415 \pm 0.0168 \text{ mgKOH g}^{-1}$ ) y (%)AGL ( $0.0272 \pm 0.0008\%$ ). Los resultados sugieren que SLPS11C1 y AGSS2C1 son accesiones útiles para la producción agroindustrial. Sin embargo, se debe tener en cuenta que factores fenológicos pueden afectar la composición química de la semilla y la calidad del aceite de manera independiente al lugar de procedencia.

**Palabras clave:** *Ricinus communis* L., accesiones, análisis químico proximal, calidad del aceite, higuera.

## Introducción

La ‘higuera’ (*Ricinus communis* L.), pertenece al orden de las *Euphorbiales* y a la familia de la *Euphorbiaceae* (Cronquist, 1981), esta especie oleaginosa se encuentra ampliamente distribuida en México, y posee alto potencial de producción de semilla para la obtención de aceite (Martínez *et al.*, 2012; Solís-Bonilla *et al.*, 2016). A nivel mundial se conoce comúnmente como ‘higuera del infierno’, ‘tártago’, ‘higuereta’, ‘ricino’, ‘palma de cristo’, ‘mamoneira’, ‘mamona’, ‘castor bean’ y ‘castor oil plant’, entre otros (Falasca *et al.*, 2012), es un arbusto cuyo centro de origen es controvertido, aunque se especula que puede ser nativo tanto de Asia como de América, oficialmente se reconoce que proviene de África. Su amplia diversidad genética se traduce en distintas características como altura de planta, color del fruto, tallo y hojas, ausencia o presencia de espinas y dehiscencia en los frutos, así también en tamaño y composición química de la semilla, entre otras características que pueden variar en función del cultivar y de las condiciones agroecológicas donde se encuentren las plantas.

La importancia económica de esta oleaginosa radica en el aceite que contiene su semilla, el cual es empleado como materia prima en diversidad de productos, tales como: pinturas, tintas, lubricantes, poliuretanos, nylon y fluidos funcionales, entre otros (Mutlu y Meier, 2010). Los principales países productores son: India (1.7 millones t), China (40 mil t), Mozambique (69 mil t), Etiopía (11 mil t) y Brasil (37 mil t), aproximadamente (FAO, 2014). Es así y considerando las actuales condiciones de presión sobre la explotación y uso de los hidrocarburos, los aceites vegetales son considerados una fuente alternativa renovable, para

and SLPS11C1 a lower IA ( $0.5415 \pm 0.0168 \text{ mgKOH g}^{-1}$ ) and (%) AGL ( $0.0272 \pm 0.0008\%$ ). The results suggest that SLPS11C1 and AGSS2C1 are useful accessions for agroindustrial production. However, it must be taken into account that phenological factors may affect the chemical composition of the seed and the quality of the oil independently to the place of origin.

**Keywords:** *Ricinus communis* L., accessions, castorbean, proximal chemical analysis, oil quality.

## Introduction

The ‘castorbean’ (*Ricinus communis* L.) belongs to the order of *Euphorbiales* and to the *Euphorbiaceae* family (Cronquist, 1981) this oleaginous species is widely distributed in México, and has high potential for seeds production for obtaining oil (Martínez *et al.*, 2012; Solís-Bonilla *et al.*, 2016). Globally it is commonly known as higuera del infierno, ‘tártago’, ‘higuereta’, ‘ricino’, ‘palma de cristo’, ‘mamoneira’, ‘mamona’, ‘castor bean’ and ‘castor oil plant’ among others (Falasca *et al.*, 2012), it is a shrub whose origin is controversial, although it is speculated that it may be native to both Asia and America, it is officially recognized that it comes from Africa. Its wide genetic diversity translates into different characteristics such as plant height, fruit color, stem and leaves, absence or presence of spines and dehiscence in the fruits, as well as in chemical size and composition of the seed, among other characteristics that may vary depending on the cultivar and the agroecological conditions where the plants are found.

The economic importance of this oilseed lies in the oil contained in its seed, which is used as raw material in diverse products, such as: paints, inks, lubricants, polyurethanes, nylon and functional fluids, among others (Mutlu and Meier, 2010). The main producing countries are India (1.7 million t), China (40 thousand t), Mozambique (69 thousand t), Ethiopia (11 thousand t) and Brazil (37 thousand t), approximately (FAO, 2014). Thus, and considering the actual pressure on the operation and use of hydrocarbons, vegetable oils are considered a renewable alternative source, for the obtaining of compounds able to replace those from fossil origin (Conceição *et al.*, 2007). This is the reason why castor oil has recently aroused great interest as raw material in the production of biodiesel (Berman *et al.*, 2011).

obtener compuestos capaces de sustituir a los provenientes de origen fósil (Conceição *et al.*, 2007). Es por ello, que el aceite de ricino recientemente ha despertado gran interés como materia prima en la producción de biodiesel (Berman *et al.*, 2011).

Además del contenido de aceite, la semilla de higuierilla contiene compuestos nutricionales como proteínas, carbohidratos y minerales diversos; así como compuestos tóxicos y alergénicos, los cuales limitan el consumo tanto humano como animal (Audi *et al.*, 2005), estos fitoquímicos presentes en el tejido de la planta y las semillas de higuierilla tienen posibles usos medicinales (Morris, 2004), es así como esta actividad citotóxica se utiliza en terapias experimentales y ensayos clínicos capaces de dirigir estos anticuerpos a células cancerígenas sin dañar las células normales (Olsnes *et al.*, 1981; Lam *et al.*, 2004). A pesar de los múltiples usos industriales que se le ha conferido a la higuierilla, en México se localiza distribuida de manera silvestre, es común considerarla como una maleza en áreas urbanas y agrícolas, entre tanto que la producción comercial de esta especie se encuentra en fase inicial en estados como Chiapas, Guanajuato, Querétaro, Sonora y Yucatán, entre otros; mientras en el estado de Oaxaca se siembra desde hace varias décadas.

Particularmente, esta investigación se desarrolla en el marco de un proyecto integral de mejoramiento genético y agronómico de higuierilla, requiriéndose generar información de los materiales genéticos silvestres existentes en el país, para seleccionar y propagar accesiones que tengan potencial como materia prima de uso agroindustrial. Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar doce accesiones de *R. communis*, provenientes de colectas realizadas en los estados de Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí y Zacatecas, México con base en su composición química de semilla y calidad de aceite.

## Material y métodos

### Material biológico

Las muestras utilizadas pertenecen al banco de germoplasma del Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí, México (Cuadro 1). Durante el año 2013, se colectaron semillas completamente al azar de doce accesiones de

In addition to the oil content, the castorbean seed contains nutritional compounds like proteins, carbohydrates and diverse minerals; as well as toxic and allergenic compounds, which restrict both human and animal consumption (Audi *et al.*, 2005), these phytochemicals present in the plant tissue and the seeds of castorbean have possible medicinal uses (Morris, 2004), this is how this cytotoxic activity is used in experimental therapies and clinical trials capable of directing these antibodies to cancerous cells without harming normal cells (Olsnes *et al.*, 1981; Lam *et al.*, 2004). In spite of the multiple industrial uses that have been conferred to the castorbean, in México it is distributed wildly, it is common to consider it as a weed in urban and agricultural areas, while the commercial production of this species is in the initial phase in states like Chiapas, Guanajuato, Querétaro, Sonora and Yucatán, among others; while in the state of Oaxaca it has been planted for several decades now.

In particular, this research was carried out within the framework of a comprehensive genetic and agronomic project of castorbean, requiring the generation of information on the wild plants genetic material in the country, in order to select and propagate accesions that have potential as a raw material for agroindustrial use. Considering the above, the aim of this study was to evaluate twelve accesions of *R. communis*, from collections in the states of Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí and Zacatecas, México based on the seed chemical composition and oil quality.

## Materials and methods

### Biological material

The samples used belong to the genebank of the Colegio de Postgraduados, San Luis Potosí *Campus*, México (Table 1). During the 2013 year, seeds of twelve castorbean accesions were completely random collected in the states of San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas and Jalisco, México; the castorbean plants were in zones between 1 400 and 2 400 masl. The twelve accesions were collected following transects in the different regions of influence, from plants without presence of pests and diseases, vigorous, with seed supply and agronomic production characteristics. Geo positioning data, characteristics of the plant and agri-environmental aspects as well as the description and identification of the collected materials were recorded (Isaza *et al.*, 2017).

higuerilla en los estados de San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas y Jalisco, México; las plantas de higuerilla se encontraban en zonas entre 1 400 y 2 400 msnm. Las doce accesiones fueron colectadas siguiendo transectos en las diferentes regiones de influencia, a partir de plantas sin presencia de plagas y enfermedades, vigorosas, con dotación de semilla y características de producción agronómica. Se registraron datos de geo posicionamiento, características de la planta y aspectos agroambientales, así como la descripción e identificación de los materiales colectados (Isaza *et al.*, 2017).

### Análisis químico proximal de las accesiones de *R. communis* L.

Para el análisis químico proximal se utilizaron semillas de higuerilla con cáscara. Las determinaciones fueron realizadas mediante técnicas recomendadas por la AOAC (2002). El contenido de proteína (954.01) se determinó en un sistema Kjeldahl (Labconco, USA) utilizando un factor de conversión a proteína de 6.25. El contenido de fibra cruda (962.09) fue obtenido por digestión con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en un equipo digestor (Ankom, USA). La humedad se determinó por método gravimétrico (7.003), utilizando horno de secado (Felisa, México). Para el contenido de cenizas se empleó la calcinación (923.03) utilizando una mufla de terrígeno (Novatech, México). El contenido de aceite se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Loredó *et al.* (2012), en un sistema de extracción de aceite (Soxtec, USA). Finalmente, los carbohidratos fueron calculados por diferencia de los demás componentes ya determinados (Bello-Pérez *et al.*, 2001).

### Extracción y evaluación de calidad del aceite de *R. communis* L.

El aceite fue extraído por método mecánico a través de un prototipo en acero inoxidable con capacidad máxima de 400 g de semilla, provisto de un cilindro para contener la semilla y un émbolo para ejercer presión acoplados a una prensa hidráulica (Mikel, México) con capacidad máxima de presión de 700 kg F cm<sup>-2</sup>. Para evaluar la calidad del aceite obtenido, se determinaron parámetros como: viscosidad, densidad, índice acidez (IA) y porcentaje de ácidos grasos libres (% AGL). Para la determinación de viscosidad y densidad se utilizó un equipo Stabinger VM 3000 (Anton Paar, Austria), con la metodología reportada en la norma ASTM D445. La densidad fue calculada como la relación entre la masa y el volumen (g

**Cuadro 1. Procedencia de las accesiones de *R. communis* L.**  
**Table 1. Origin of the *R. communis* L. accessions.**

Núm.	Accesión	Origen	Altitud (m)
1	SLPS11C1	Salinas, San Luis Potosí	2 083
2	SLPS6C1	Capulines, San Luis Potosí	1 955
3	SLPS3C1	Moras Mexquitic, San Luis Potosí	2 003
4	AGSS3C1	Tepezalá, Aguascalientes	1 936
5	AGSS2C1	Calvillo, Aguascalientes	2 095
6	AGSS4C1	San J. Gracia, Aguascalientes	2 004
7	ZACS3C1	N. San Marcos, Zacatecas	2 040
8	ZACS2C1	El Orito, Zacatecas	2 399
9	ZACS1C1	Luis Moya, Zacatecas	1 971
10	JALS2C1	Encarnación Díaz, Jalisco	1 811
11	JALS1C1	Villa Hidalgo, Jalisco	1 920
12	JAL3C1	Tecuán, Jalisco	1 450

### Proximal chemical analysis of *R. communis* L. accessions

For the proximal chemical analysis, castorbean seeds with shell were used. The determinations were performed using techniques recommended by AOAC (2002). The protein content (954.01) was determined in a Kjeldahl system (Labconco, USA) using a protein conversion factor of 6.25. The crude fiber content (962.09) was obtained by digestion with sulfuric acid and sodium hydroxide in a digester equipment (Ankom, USA). Moisture was determined by gravimetric method (7.003), using a drying oven (Felisa, México). For the ash content, calcination (923.03) was used using a terrigen muffle (Novatech, Mexico). The oil content was determined according to the methodology described by Loredó *et al.* (2012) in an oil extraction system (Soxtec, USA). Finally, carbohydrates were calculated by difference of other components already determined (Bello-Pérez *et al.*, 2001).

### Extraction and quality assessment of *R. communis* L. oil

The oil was extracted by mechanical method through a prototype of stainless steel with a maximum capacity of 400 g of seed, equipped with a cylinder to contain the seed and a pressure piston coupled to a hydraulic press (Mikel, México) with a maximum pressure capacity of 700 kg F cm<sup>-2</sup>. For the evaluation of the oil quality, parameters such as viscosity, density, acidity index (IA) and percentage of free fatty acids (%AGL) were determined. For the determination of viscosity and density, a Stabinger VM 3000 equipment (Anton Paar,

cm<sup>-3</sup>) a las mismas condiciones de presión y temperatura. El porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) e índice de acidez (IA) fueron determinados de acuerdo a la ISO660:1983 y a la metodología descrita por Firestone (1996), utilizando titulación con hidróxido de potasio 0.1N y fenolftaleína como indicador. El IA fue expresado como la cantidad en miligramos de KOH, que se requiere para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de aceite (mg KOH g<sup>-1</sup>).

### Análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como la media de tres experimentos independientes  $\pm$  desviación estándar (DE). Diferencias entre medias se analizaron mediante la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) por el método de Ward y se graficó en un dendrograma. Los análisis estadísticos se efectuaron con los programas Minitab 17<sup>®</sup> y R<sup>®</sup>.

## Resultados y discusión

### Análisis químico proximal

Los resultados obtenidos para la composición químico proximal de las accesiones son presentados en el Cuadro 2. El contenido para cada uno de los parámetros evaluados en las semillas de higuera presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Dichas diferencias se pueden atribuir a distintos factores entre los que se destacan la variabilidad genética, las condiciones del sitio de colecta, la estacionalidad y otros factores ecológicos y de crecimiento (Hidalgo *et al.*, 2009). Debido a estas diferencias en todas las variables de respuesta, es aliciente la implementación de estrategias multivariadas.

Austria) was used, following the methodology reported in the ASTM D445 standard. The density was calculated as the ratio between the mass and volume (g cm<sup>-3</sup>) at the same pressure and temperature conditions. The percentage of free fatty acids (AGL) and acidity index (IA) were determined according to ISO660: 1983 and to the methodology described by Firestone (1996), using titration with 0.1N potassium hydroxide and phenolphthalein as indicator. IA was expressed as the amount of KOH in milligrams, which is required to neutralize the free fatty acids in one gram of oil (mg KOH g<sup>-1</sup>).

### Statistic analysis

The results were expressed as the mean of three independent experiments  $\pm$  standard deviation (SD). Differences between means were analyzed using the Tukey test ( $p < 0.05$ ). A principal component analysis (ACP) was performed by the Ward method and plotted on a dendrogram. Statistical analyzes were performed using the Minitab 17<sup>®</sup> and R<sup>®</sup> programs.

## Results and discussion

### Proximal chemical analysis

The results obtained for the proximal chemical composition of the accessions are shown in Table 2. The content for each of the parameters evaluated in the castorbean seeds showed statistically significant difference ( $p < 0.05$ ). These differences can be attributed to several factors among which the genetic variability, the conditions of the collection site, seasonality and other environmental and growth factors stands out (Hidalgo *et al.*, 2009). Due to these differences in all response variables, it is encouraging to implement multivariate strategies.

**Cuadro 2. Análisis químico proximal de las accesiones de *R. communis* L.**

**Table 2. Proximal chemical analysis of *R. communis* L accessions.**

Accesión	Aceite (%)	Proteína* (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	CHO (%)
SLPS11C1	51.04 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	16.02 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	17.88 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.96 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	5.13 $\pm$ 0.23 <sup>bcde</sup>	12.1 $\pm$ 0.55 <sup>c</sup>
SLPS6C1	43.66 $\pm$ 2.15 <sup>bc</sup>	13.11 $\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	12.68 $\pm$ 0.01 <sup>h</sup>	3.41 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	5.38 $\pm$ 0.1 <sup>abcde</sup>	27.14 $\pm$ 1.99 <sup>a</sup>
SLPS3C1	41.52 $\pm$ 2.06 <sup>c</sup>	12.8 $\pm$ 0.13 <sup>ef</sup>	12.92 $\pm$ 0.18 <sup>h</sup>	3.13 $\pm$ 0.1 <sup>abc</sup>	4.87 $\pm$ 0.16 <sup>ef</sup>	29.63 $\pm$ 1.97 <sup>a</sup>
AGSS3C1	42.1 $\pm$ .56 <sup>c</sup>	12.61 $\pm$ 0.43 <sup>f</sup>	14.02 $\pm$ 0.3 <sup>g</sup>	3.08 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	5.55 $\pm$ 0.15 <sup>abc</sup>	28.18 $\pm$ 2.17 <sup>a</sup>

Los resultados son expresados como la media de tres réplicas  $\pm$  desviación estándar (expresados en base seca). Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la prueba de Tukey. \* = factor de conversión: 6.25; CHO = carbohidratos obtenido por diferencia.

**Cuadro 2. Análisis químico proximal de las accesiones de *R. communis* L. (continuación).**  
**Table 2. Proximal chemical analysis of *R. communis* L. accessions (continuation).**

Accesión	Aceite (%)	Proteína* (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	CHO (%)
AGSS2C1	48.67 ± 2.44 <sup>ab</sup>	14.81 ± 0.09 <sup>cd</sup>	16.95 ± 0.24 <sup>cd</sup>	2.24 ± 0.11 <sup>e</sup>	5.75 ± 0.27 <sup>a</sup>	17.33 ± 2.46 <sup>bc</sup>
AGSS4C1	42.5 ± 0.89 <sup>c</sup>	14.75 ± 0.12 <sup>cd</sup>	14.62 ± 0.29 <sup>f</sup>	2.89 ± 0.04 <sup>cd</sup>	5.64 ± 0.26 <sup>ab</sup>	25.24 ± 0.64 <sup>a</sup>
ZACS3C1	50.52 ± 1.43 <sup>a</sup>	15.05 ± 0.26 <sup>bc</sup>	17.08 ± 0.32 <sup>c</sup>	3.36 ± 0.16 <sup>ab</sup>	5.74 ± 0.25 <sup>a</sup>	13.99 ± 1.53 <sup>bc</sup>
ZACS2C1	48.84 ± 2.62 <sup>ab</sup>	15.39 ± 0.26 <sup>b</sup>	16.52 ± 0.21 <sup>dc</sup>	2.98 ± 0.09 <sup>c</sup>	4.51 ± 0.17 <sup>f</sup>	16.27 ± 2.53 <sup>bc</sup>
ZACS1C1	46.8 ± 2.31 <sup>abc</sup>	14.4 ± 0.2 <sup>d</sup>	16.9 ± 0.07 <sup>cd</sup>	3.11 ± 0.02 <sup>bc</sup>	5.01 ± 0.15 <sup>cdef</sup>	18.79 ± 2.51 <sup>b</sup>
JALS2C1	50.14 ± 1.01 <sup>a</sup>	15.16 ± 0.02 <sup>bc</sup>	16.67 ± 0.16 <sup>ede</sup>	2.6 ± 0.13 <sup>d</sup>	4.49 ± 0.19 <sup>f</sup>	15.43 ± 1.15 <sup>bc</sup>
JALS1C1	48.31 ± 2.37 <sup>ab</sup>	15.16 ± 0.07 <sup>bc</sup>	16.35 ± 0.03 <sup>e</sup>	3.32 ± 0.13 <sup>ab</sup>	4.96 ± 0.12 <sup>def</sup>	16.87 ± 2.28 <sup>bc</sup>
JAL3C1	46.78 ± 1.18 <sup>abc</sup>	14.79 ± 0.35 <sup>cd</sup>	21.15 ± 0.16 <sup>a</sup>	3 ± 0.11 <sup>c</sup>	5.54 ± 0.24 <sup>abcd</sup>	14.29 ± 1.53 <sup>bc</sup>

Los resultados son expresados como la media de tres réplicas ± desviación estándar (expresados en base seca). Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la prueba de Tukey. \*= factor de conversión: 6.25; CHO= carbohidratos obtenido por diferencia.

### Aceite

La mayoría de las accesiones de higuerrilla presentaron un contenido de aceite promedio de 50%; sin embargo, accesiones como SLPS3C1, AGSS3C1 y AGSS4C1 evidenciaron una disminución hasta de 8%. Contenidos similares, fueron reportados por Armendáriz *et al.* (2015), quienes registraron valores entre 42% y 50.5% para semillas de higuerrilla colectadas en varios estados de México. Por su parte, Goytia-Jiménez *et al.* (2011) registraron valores entre 12.2% y 64.84% en 151 accesiones colectadas en el estado de Chiapas. Autores como Bello-Pérez *et al.* (2001), obtuvieron valores similares a los registrados en este trabajo en semillas oleaginosas como cacahuete (*Arachis hypogaeae*) y girasol (*Helianthus annuus*) (47% y 51%, respectivamente). Asimismo, Martín *et al.* (2010) evidenciaron contenidos semejantes en semillas con potencial bioenergético como piñón mexicano (*Jatropha curcas*) (49.1%), nim (*Azadirachta indica*) (39.7%), moringa (*Moringa oleifera*) (38.1%), trisperma (*Aleurites trisperma*) (62%) y nuez de la India (*Aleurites moluccana*) (56.3%). Por consiguiente, se confirma que la semilla de higuerrilla constituye una materia prima para la producción de aceite, que puede ser utilizado en la industria farmacéutica, cosmetológica, de lubricantes y para la producción de bioenergía (Mosquera *et al.*, 2016)

### Proteína

La accesión SLPS11C1 presentó el mayor contenido de proteína (16.02 ± 0.36%), éste resultado se encuentra acorde con Reveles *et al.* (2010), quienes reportaron valores de 16.7% y 18.6% en semillas silvestres de higuerrilla provenientes

### Oil

Most of the accessions of castorbean had an average oil content of 50%, however accessions such as SLPS3C1, AGSS3C1 and AGSS4C1 showed a decrease up to 8%. Similar contents were reported by Armendáriz *et al.* (2015), who registered values between 42% and 50.5% for castorbean seeds collected in several Mexican states. Meanwhile, Goytia-Jiménez *et al.* (2011) recorded values between 12.2% and 64.84% in 151 accessions collected in the state of Chiapas. Authors such as Bello-Pérez *et al.* (2001), obtained similar values to those reported in this paper in oilseeds such as peanut (*Arachis hypogaeae*) and sunflower (*Helianthus annuus*) (47% and 51%, respectively) values. Also, Martín *et al.* (2010) showed similar content in seeds with bioenergy potential such as Mexican pinion (*Jatropha curcas*) (49.1%), neem (*Azadirachta indica*) (39.7%), moringa (*Moringa oleifera*) (38.1%), trisperma (*Aleurites trisperma*) (62%) and cashews (*Aleurites moluccana*) (56.3%). Accordingly, it is confirmed that castorbean seed is a raw material for the production of oil which can be used in the pharmaceutical, cosmetological, lubricants industries and bioenergy production (Mosquera *et al.*, 2016)

### Protein

The SLPS11C1 accession had the highest protein content (16.02 ± 0.36%), this result is consistent with Reveles *et al.* (2010), who reported values of 16.7% and 18.6% in wild castorbean seeds Durango-México. Onyeike and Acheru (2002), who describe average contents of 14.4%

del estado de Durango-México. Onyeike y Acheru (2002), quienes describen contenidos promedio de 14.4% en semillas de higuierilla de origen Nigeriano. Por su parte, contenidos mayores fueron reportados por Perea *et al.* (2011) quienes encontraron hasta 28.48% en semillas de higuierilla variedad Tiripiteo. No obstante, diferencias en el contenido de proteína pueden depender de la composición genética y de las condiciones ambientales de la planta (Ortega y Rodríguez, 1979). Por otra parte, el contenido de proteína obtenido en las accesiones evaluadas podría ser potencialmente utilizado como un complemento en la dieta de ganado vacuno, ovino, caprino y peces, entre otros. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la presencia de sustancias tóxicas (alcaloides, alérgenos, entre otros) es una limitante para el uso directo de estas semillas en la alimentación animal o humana, debido a lo cual se requiere de una detoxificación previa.

### **Fibra cruda**

Los valores promedio de fibra cruda, oscilaron entre 12.62% y 21.15%, siendo menor para la accesión SLPS6C1 y mayor para JAL3C1. Makkar, (1998) reportó valores semejantes de fibra cruda en semillas de piñón mexicano (14.6% y 16.4%). De igual forma, datos similares son registrados en algunos tipos de forrajes para animales, tales como harina de soya (12%) y harina de girasol (19%), aunque menores al de heno de alfalfa (45%) (Van-Soest *et al.*, 1991). Con base en los datos obtenidos, se recomienda la utilización de la harina detoxificada de higuierilla, en animales rumiantes, pues la ingesta de alimentos con alto contenido de fibra en animales mono gástricos puede ser causante de problemas de digestión.

### **Cenizas**

El contenido de cenizas obtenido para las doce accesiones de higuierilla se encuentra en un intervalo entre 2.24% y 3.41%, siendo mayor para la accesión SLPS6C1 y menor para AGSS2C1. Lucena *et al.* (2010) reportaron valores entre 3.01% y 6.95% en una variedad de *R. communis* brasileña, a diferentes estados de madurez. La cantidad de cenizas presente en las accesiones de higuierilla evidencia el contenido total de minerales, permitiendo conocer de esta forma la presencia de elementos inorgánicos para generar coproductos que generen valor agregado a esta materia prima. Por su parte, Severino *et al.* (2004) destacan el contenido de minerales presentes en las semillas de higuierilla como un excelente acondicionador de suelo.

in Nigerian castorbean seeds. Meanwhile, higher contents were reported by Perea *et al.* (2011) who found up to 28.48% in castorbean seeds of the Tiripiteo variety. However, differences in protein content may depend on the genetic makeup and environmental conditions of the plant (Ortega and Rodríguez, 1979). On the other hand, the protein content obtained in the evaluated accessions could potentially be used as a complement in the diet of cattle, sheep, goats and fish, among others. However, it must be taken into account that the presence of toxic substances (alkaloids, allergens, among others) is a limitation for the direct use of these seeds in animal or human food, which would require a prior detoxification.

### **Raw fiber**

The average crude fiber values ranged from 12.62% to 21.15%, being lower for the SLPS6C1 accession and higher for JAL3C1. Makkar, (1998) reported similar values of crude fiber in Mexican pinion seeds (14.6% and 16.4%). Likewise, similar data are recorded in some fodder types for animals, such as soybean meal (12%) and sunflower meal (19%), although lower to alfalfa hay (45%) (Van Soest *et al.*, 1991). Based on the data obtained, it is recommended the use of detoxified castorbean meal, in ruminant animals, since the intake of food with high fiber content in mono-gastric animals can be a cause of digestion problems.

### **Ashes**

The ash content obtained for the twelve accessions of castorbean ranged between 2.24% and 3.41%, being higher for the SLPS6C1 accession and lower for AGSS2C1. Lucena *et al.* (2010) reported values between 3.01% and 6.95% in a variety of *R. communis* brazilian at different maturity stages. The amount of ash in the castorbean accessions shows the total content of minerals, allowing to know in this way the presence of inorganic elements to generate co-products that could generate added value to this raw material. Meanwhile, Severino *et al.* (2004) emphasize the mineral content in the seeds of castorbean as an excellent conditioner for the soil.

### **Humidity**

Moisture contents between 4.49% and 5.75% were obtained in the different accessions of castorbean. Perdomo *et al.* (2013); Perea *et al.* (2011) reported values of 3.89%

## Humedad

Contenidos de humedad entre 4.49% y 5.75% fueron obtenidos en las diferentes accesiones de higuierilla. Perdomo *et al.* (2013); Perea *et al.* (2011) reportaron valores de 3.89% y 5.64% respectivamente, en colectas de origen mexicano. Variaciones en el contenido de humedad podrían obedecer a condiciones climáticas, desarrollo del cultivo y el tiempo de cosecha de frutos. Sin embargo, los resultados obtenidos para las semillas de higuierilla muestran bajo contenido de humedad (< 6%), característica que las hace menos susceptibles a procesos de deterioro por acciones de microorganismos, pudiendo ser almacenadas y conservadas durante un tiempo determinado sin afectar su viabilidad (Souza *et al.*, 2016).

## Carbohidratos

Cuatro accesiones (SLPS6C1, SLPS3C1, AGSS3C1, AGSS4C1) de doce evaluadas presentaron valores superiores al 20%. Annongu y Joseph (2008) encontraron contenidos del 24.88% para carbohidratos en semillas de higuierilla previamente desgrasadas. De acuerdo con los resultados, las semillas de higuierilla pueden ser una buena fuente de energía y complemento para la nutrición de animales, considerando, su previa detoxificación, como ya ha sido mencionado anteriormente. De comprobarse estos contenidos de carbohidratos en las semillas estudiadas, se podría utilizar este subproducto (pasta resultante de la extracción del aceite) en la producción de etanol (Melo *et al.*, 2008).

## Calidad de aceite

Los resultados obtenidos para la evaluación de calidad de aceite de doce accesiones de higuierilla se presentan en el Cuadro 3.

## Viscosidad

Se determinaron valores de viscosidad en el aceite de *R. communis* desde 250.04 a 265.84 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. Estos resultados se encuentran dentro de lo reportado por autores como Costa y Rossi (2000); Scholz y Silva (2008) quienes reportan valores de 248.8 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> y 296.87 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> para aceites obtenidos de semilla de higuierilla, respectivamente. Se ha reportado que la presencia de un grupo hidroxilo (OH) en el carbono 12, sería el responsable de la alta viscosidad del aceite de ricino (Scholz y Silva, 2008), éstas

and 5.64%, respectively, in collections of Mexican origin. Variations in the moisture content could be due to the climatic conditions and development of the crop, as well as the harvest time of the fruits. Nevertheless, the results obtained for the castorbean seeds show a low content of humidity (<6%), characteristic that makes them less susceptible to deterioration processes by microorganisms actions, being able to be stored and conserved during a determined time without affecting its viability (Souza *et al.*, 2016).

## Carbohydrates

Four accessions (SLPS6C1, SLPS3C1, AGSS3C1, AGSS4C1) of the twelve evaluated showed values higher than 20%. Annongu and Joseph (2008) found contents of 24.88% for carbohydrates in previously defatted castorbean seeds. According to the results, the castorbean seeds can be a good source of energy and complement to animals nutrition, considering, of course, its previous detoxification, as already mentioned above. If these carbohydrate contents are checked in studied seeds, this by-product could be used (paste resulting from the oil extractio) in ethanol production (Melo *et al.*, 2008).

## Oil quality

The results obtained for the evaluation of oil quality of twelve accessions of castorbean are shown in Table 3.

## Viscosity

Viscosity values were determined in *R. communis* oil from 250.04 to 265.84 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. These results are within the reported by authors like Costa and Rossi (2000); Scholz and Silva (2008), who report values of 248.8 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> and 296.87 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> for oils obtained from castorbean seed, respectively. It has been reported that the presence of a hydroxyl (OH) group in carbon 12 would be responsible for the high viscosity of castor oil (Scholz and Silva, 2008), these characteristics confer extra stability to oil and its derivatives to prevent the formation of hydroperoxides (Ogunniyi, 2006). A high viscosity and lubricity over a wide range of temperatures and insolubility in fuels and aliphatic petrochemicals make it directly applicable as a lubricant for equipment operating under extreme conditions, as well as in the use in paints and varnishes, among others (Mutlu and Meier, 2010).



características le confieren estabilidad extra al aceite y sus derivados para prevenir la formación de hidroperóxidos (Ogunniyi, 2006). Una alta viscosidad y lubricidad en un amplio rango de temperaturas y la insolubilidad en combustibles y solventes petroquímicos alifáticos, lo hacen directamente aplicable como lubricante para equipos que operan en condiciones extremas, así como en la utilización en pinturas, barnices, entre otras (Mutlu y Meier, 2010).

### Density

The average density obtained for oils the extracted of the twelve accessions was  $0.9463 \text{ g cm}^{-3}$  (Table 3). Similar results are reported by Perdomo *et al.* (2013) who found average values of  $0.9418 \text{ g cm}^{-3}$  in oils from seeds of Mexican origin. While, Conceição *et al.* (2007) reported values of  $0.9573 \text{ g cm}^{-3}$  in seeds from Brazil. Differences in the determination of this parameter can be due to small traces of water or impurities in the oils, thus affecting the density of the substance.

**Cuadro 3. Calidad de Aceite de las doce accesiones colectadas de *R. communis* L.**

**Table 3. Oil quality of the twelve accessions collected from *R. communis* L.**

Accesión	Viscosidad ( $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$ )	Densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Índice de acidez ( $\text{mg KOH g}^{-1}$ )	Ácidos grasos libres* (%)
SLPS11C1	$264.97 \pm 0.87^a$	$0.9459 \pm 0.0012^a$	$0.5415 \pm 0.0168^d$	$0.272 \pm 0.0008^e$
SLPS6C1	$262.42 \pm 0.95^b$	$0.9463 \pm 0.0006^a$	$1.1049 \pm 0.0185^b$	$0.555 \pm 0.0009^c$
SLPS3C1	$258.58 \pm 3.84^d$	$0.9449 \pm 0.0014^a$	$2.2178 \pm 0.0125^b$	$1.115 \pm 0.0006^a$
AGSS3C1	$263.37 \pm 2.84^b$	$0.9469 \pm 0.0003^a$	$1.1023 \pm 0.0208^b$	$0.554 \pm 0.001^c$
AGSS2C1	$265.84 \pm 2.54^a$	$0.9471 \pm 0.0005^a$	$0.8159 \pm 0.0033^c$	$0.41 \pm 0.0002^d$
AGSS4C1	$260.53 \pm 1.95^c$	$0.9466 \pm 0.0017^a$	$0.8175 \pm 0.0106^c$	$0.411 \pm 0.0005^d$
ZACS3C1	$263.3 \pm 1.67^b$	$0.9466 \pm 0.0007^a$	$1.8725 \pm 0.0537^a$	$0.941 \pm 0.0027^b$
ZACS2C1	$258.07 \pm 0.48^d$	$0.9466 \pm 0.0003^a$	$0.5451 \pm 0.0155^d$	$0.274 \pm 0.0008^e$
ZACS1C1	$254.96 \pm 1.58^e$	$0.946 \pm 0.0003^a$	$0.8063 \pm 0.0191^c$	$0.405 \pm 0.001^d$
JALS2C1	$250.04 \pm 3.34^g$	$0.946 \pm 0.0003^a$	$0.5513 \pm 0.0034^d$	$0.277 \pm 0.0002^e$
JALS1C1	$258.55 \pm 3.59^d$	$0.9467 \pm 0.0007^a$	$0.8228 \pm 0.0076^c$	$0.414 \pm 0.0004^d$
JAL3C1	$253.38 \pm 1.58^f$	$0.9463 \pm 0.0003^a$	$0.5435 \pm 0.0055^d$	$0.273 \pm 0.0003^e$

Los resultados son expresados como la media de tres réplicas  $\pm$  desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la prueba de Tukey. Viscosidad y densidad fueron evaluados a  $40^\circ\text{C}$ .

### Densidad

La densidad promedio obtenida para los aceites extraídos de las doce accesiones fue de  $0.9463 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 3). Resultados similares son reportados por Perdomo *et al.* (2013) quienes encontraron valores promedio de  $0.9418 \text{ g cm}^{-3}$  en aceites provenientes de semillas de origen mexicano. Mientras Conceição *et al.* (2007) reportaron valores de  $0.9573 \text{ g cm}^{-3}$  en semillas provenientes de Brasil. Diferencias en la determinación de este parámetro pueden obedecer a pequeñas trazas de agua o impurezas presentes en los aceites, afectando de esta forma la densidad de la sustancia.

### Índice de acidez

Los valores para este índice de calidad oscilaron desde  $0.5415$  hasta  $2.2178 \text{ mg KOH g}^{-1}$ , Pradhan *et al.* (2012), caracterizaron aceite de higuera para producción

### Acidity index

The values for this quality index ranged from  $0.5415$  to  $2.2178 \text{ mg KOH g}^{-1}$ , Pradhan *et al.* (2012) characterized castorbean oil for the production of biodiesel with a value of  $0.91 \text{ mg KOH g}^{-1}$ . On the other hand, Ogunniyi (2006) indicates that castor oil is a polyhydroxylated compound of natural origin, which has as limitation a slight reduction of the hydroxyl number and the acid value during storage. The reduction of these values can be caused by the reaction between the hydroxyl and carboxyl groups of the oil molecule leading to the formation of stolidity. The acidity index in crude oil is influenced by post-harvest and storage treatments such as temperature, humidity and others.

### Percentage of free fatty acids

The results obtained for the percentage of free fatty acids showed significant difference ( $p < 0.05$ ) with a range from  $0.272\%$  to  $1.1156\%$  for the twelve accessions tested. Lower

de biodiesel con un valor de 0.91 mg KOH g<sup>-1</sup>. Por su parte, Ogunniyi (2006) señala que el aceite de ricino es un compuesto polihidroxilado de origen natural, el cual presenta como limitante una ligera reducción del índice de hidroxilo y del índice de acidez durante el almacenamiento. La reducción de estos valores puede ser causada por la reacción entre los grupos hidroxilo y carboxilo de la molécula de aceite dando lugar a la formación de estolidez. El índice de acidez en el aceite crudo se ve influenciado por los tratamientos poscosecha y de almacenamiento como temperatura, humedad entre otras.

### Porcentaje de ácidos grasos libres

Los resultados obtenidos para el porcentaje de ácidos grasos libres presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con variaciones desde 0.272% a 1.1156% para las doce accesiones evaluadas. Valores menores de (%) AGL fueron encontrados en las accesiones SLPS11C1 < ZACS2C1 < JALS2C1. De acuerdo con los requerimientos del sector industrial, un porcentaje de ácidos grasos libres óptimo debe ser menor al 0.5%; sin embargo, para la obtención de biodiesel es permitido hasta 3%, utilizando catalizadores básicos homogéneos como hidróxido de sodio o potasio (Moser, 2009).

### Análisis multivariado

El análisis de correlación de Pearson al 99% de confianza para las variables estudiadas (Figura 1), expresan valores puntuales de las diferentes relaciones entre las variables. El rango de variación de la correlación es de -1 a 1. Los resultados encontrados permitieron determinar que a mayor contenido de aceite, proteína y fibra cruda (67 - 86%) se tendrá menor contenido de cenizas, humedad y carbohidratos en semilla y viscosidad en aceite. Mientras que el índice de acidez y los ácidos grasos libres tienen una correlación de 100%.

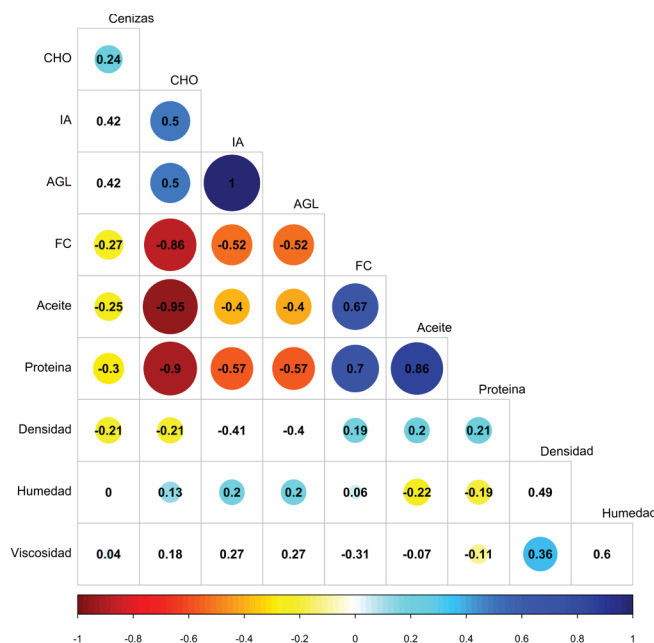
### Análisis de componentes principales

Por su parte, los resultados de los agrupamientos y relaciones entre las doce accesiones de higuera estudiadas se presentan con base al análisis de componentes principales de seis variables del análisis químico proximal y cuatro variables para la calidad del aceite. En el Cuadro 4, se concluye que con al menos cuatro componentes principales se explica 88.1% de la varianza total acumulada de los datos.

values of (%) AGL were found in the accessions SLPS11C1 < ZACS2C1 < JALS2C1. According to the requirements of the industrial sector, the percentage of free fatty acids should be less than 0.5%; however, for the obtaining of biodiesel, up to 3% is allowed, using homogeneous basic catalysts such as sodium or potassium hydroxide (Moser, 2009).

### Multivariate analysis

The Pearson correlation analysis at 99% confidence for the variables studied (Figure 1), express point values of the different relations between variables. The variation range of the correlation goes from -1 to 1. The results found allowed to determine that a higher content of crude oil, protein and fiber (67-86%) will have lower content of ash, moisture and carbohydrates in the seed and viscosity in the oil. While the acidity index and free fatty acids have a correlation of 100%.



**Figura 1. Coeficiente de correlación entre la composición química y la calidad de aceite de *R. communis*.** Aceite (%); proteína (%); FC= fibra cruda (%); cenizas (%), humedad (%); CHO= carbohidratos (%); viscosidad (mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); densidad (g cm<sup>-3</sup>); IA= índice de acidez (mg KOH g<sup>-1</sup>); AGL= ácidos grasos libres (%).

**Figure 1. Correlation coefficient between the chemical composition and quality of oil *R. communis*.** Oil (%); protein (%); FC= crude fiber (%); ash (%), moisture (%); CHO= carbohydrate (%); viscosity (mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); density (g cm<sup>-3</sup>); IA= acidity index (mg KOH g<sup>-1</sup>); AGL= free fatty acids (%).

El componente principal 1 (CP1), permite explicar el 46.9% de la varianza global; con valor propio de 4.69, este componente principal presenta una mayor asociación con las siguientes cuatro variables: carbohidratos (41.8%), proteína (41.1%), lípidos (38.2%) y fibra cruda (38.2%), los cuales tienen alta participación en la definición del CP1, por lo que se puede interpretar que altos valores presentes en este componente principal tienen tendencia a valores promedios altos en estos cuatro nutrientes mencionados anteriormente.

### Principal component analysis

On the other hand, the results of the groupings and relations between the twelve accessions of castorbean studied are shown based on the analysis of main components of six variables of the proximal chemical analysis and four variables for the oil quality. In Table 4, it is concluded that with at least four main components, 88.1% of the total cumulative variance of the data is explained.

#### Cuadro 4. Vectores y valores propios del análisis de componentes principales (CP).

Table 4. Vectors and eigenvalues of main component analysis (CP).

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Valor propio	4.6939	1.9825	1.3831	0.7552	0.6483	0.3346	0.1336	0.0687
Proporción	0.469	0.198	0.138	0.076	0.065	0.033	0.013	0.007
Acumulada	0.469	0.668	0.806	0.881	0.946	0.98	0.993	1
Aceite	-0.382	-0.015	-0.393	0.106	0.262	-0.221	-0.321	0.508
Proteína	-0.411	-0.002	-0.24	0.047	0.211	0.148	0.81	-0.166
Fibra cruda	-0.382	0.012	-0.201	-0.087	-0.581	0.136	-0.284	-0.523
Cenizas	0.207	-0.122	-0.328	-0.895	0.134	0.113	0.001	0.027
Humedad	0.093	0.607	-0.113	-0.055	-0.512	0.208	0.217	0.504
Carbohidratos	0.418	0.011	0.355	0.013	0.029	0.04	0.144	-0.058
Viscosidad	0.127	0.555	-0.202	0.149	0.486	0.46	-0.274	-0.299
Densidad	-0.156	0.553	0.19	-0.26	0.114	-0.704	0.044	-0.236
Índice de acidez	0.369	-0.03	-0.462	0.206	-0.095	-0.266	0.084	-0.136
Ácidos grasos libres	0.369	-0.03	-0.46	0.205	-0.098	-0.275	0.086	-0.137

Por su parte, el componente principal 2 (CP2), participa con un valor propio (1.98) y el 19.8% de la varianza explicada, en la cual se encuentra la variable humedad (60.7%), viscosidad (55.5%) y densidad (55.3%), dos variables que hacen referencia a la calidad del aceite y una a la semilla. En el componente principal (CP3), se encuentra índice de acidez (46.2%) y ácidos grasos libres (46%), este componente está conformado solo por atributos de calidad del aceite. Finalmente el último en el CP4 se encuentra cenizas la cual no se asocia con ninguna otra variable, el considerar está componente permite adicionar 7.6% de la variación del proceso explicado.

#### Análisis por conglomerados

De acuerdo con el análisis por conglomerados (Figura 2), las doce accesiones de higuera se clasificaron en grupos relativamente homogéneos, usando una similitud de 66.6%, por

The main component 1 (CP1), allows to explain the 46.9% of the global variance; with a value of 4.69, this main component shows a greater association with the following four variables: carbohydrates (41.8%), protein (41.1%), lipids (38.2%) and crude fiber (38.2%), which have a high participation in the definition of CP1, so it can be interpreted that high values present in this main component tend to have high average values in these four nutrients mentioned above. The main component 2 (CP2), participates with its own value (1.98) and 19.8% of the explained variance, in which the variable humidity is found (60.7%), viscosity (55.5%) and density (55.3%), two variables that refer to the oil quality and one to the seed. In the main component (CP3), there is an acidity index (46.2%) and free fatty acids (46%), this component consists only of attributes of oil quality. Finally the last one in the CP4 is ashes which is not associated with any other variable, considering this component allows to add 7.6% of the variation of the explained process.

medio de la distancia euclidiana como método de agrupación. Se identificaron tres conglomerados predominantes para las doce accesiones. El primero conformado por: SLPS11C1, ZACS3C1 y AGSS2C1, el segundo integrado por: ZACS2C1, JALS1C1, ZACS1C1, JAL3C1 y JALS2C1; y el tercero por: SLPS6C1, AGSS3C1, AGSS4C1 y SLPS3C1.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que la relación entre la composición química y la calidad del aceite de la semilla puede estar afectada por características ambientales y genéticas asociadas a su origen silvestre de manera independiente al sitio de colecta. SLPS11C1 presentó mayor contenido de aceite y proteína, a diferencia de JAL3C1 quien presentó mayor contenido de fibra cruda. Por su parte, AGSS2C1 reportó una mayor viscosidad, mientras SLPS11C1 un menor índice de acidez y porcentaje de ácidos grasos libres. Aunque los resultados sugieren que SLPS11C1 y AGSS2C1 pueden ser accesiones útiles para la explotación integral del cultivo, estas semillas de higuierilla pueden ser consideradas como materia prima estratégica industrial o bioenergética. Para lo cual, se recomienda realizar trabajos de determinación de carbohidratos, contenido de azúcares, almidón y celulosa. Finalmente, los datos obtenidos en el presente trabajo pueden ser considerados para futuros trabajos de mejoramiento genético y agronómico.

## Agradecimientos

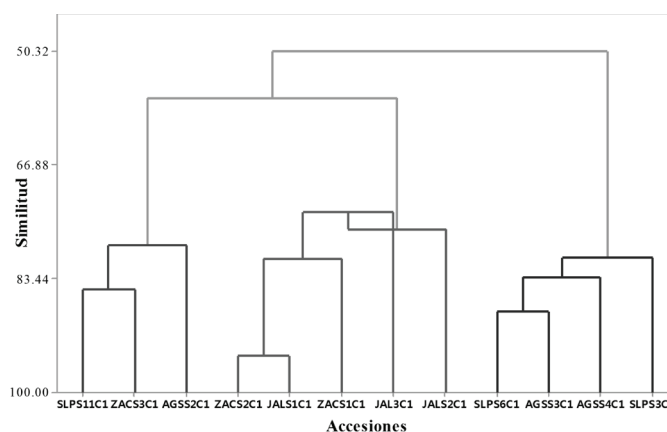
Este trabajo de investigación fue apoyado técnica y financieramente por el COLPOS-SLP, la SAGARPA, y la Dirección de Vinculación Tecnológica y Proyectos Especiales de la UAQ. Por su parte los autores J. F. Vasco-Leal, L. Cuellar-Núñez, y J. D. Mosquera-Artamonov, agradecen al CONACYT por las becas de postgrado otorgadas.

## Literatura citada

- Annongu, A. and Joseph, J. K. 2008. Proximate analysis of castor seeds and cake. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 12(1):39-41.
- AOAC. 2002. Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International. Washington, USA.

## Analysis by clusters

According to the cluster analysis (Figure 2), the twelve accessions were classified into relatively homogeneous groups, using a similarity of 66.6%, by means of the Euclidean distance as a grouping method. Three predominant clusters were identified for the twelve accessions. The first one consists of: SLPS11C1, ZACS3C1 and AGSS2C1, the second consisting of: ZACS2C1, JALS1C1, ZACS1C1, JAL3C1 and JALS2C1; and the third by: SLPS6C1, AGSS3C1, AGSS4C1 and SLPS3C1.



**Figura 2. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de acuerdo a la composición química y calidad de aceite de doce accesiones de higuierilla.**

**Figure 2. Dendrogram of hierarchical grouping according to the chemical composition and oil quality of twelve castorbean accessions.**

## Conclusions

The results suggest that the relationship between chemical composition and seed oil quality may be affected by environmental and genetic characteristics associated with its wild origin regardless of the collection site. SLPS11C1 showed higher content of oil and protein, unlike JAL3C1 that showed higher crude fiber content. On the other hand, AGSS2C1 reported a higher viscosity, while SLPS11C1 had a lower acid number and percentage of free fatty acids. Although the results suggest that SLPS11C1 and AGSS2C1 can be useful accessions for the integral exploitation of the crop, these castorbean seeds can be considered as strategic industrial raw material or bioenergetic. For this, it is recommended to carry out

- Armendáriz, J.; Lapuerta, M.; Zavala, F.; García, Z. E. and del Carmen, O. M. 2015. Evaluation of eleven genotypes of castor oil plant (*Ricinus communis* L.) for the production of biodiesel. *Industrial Crops and Products*. 77(23):484 - 490.
- Audi, J.; Belson, M.; Patel, M.; Shier, J. and Osterloh, J. 2005. Ricin poisoning -a comprehensive review. *J. Am. Medical Assoc.* 294(18):2342-2351.
- Bello, P. L.A.; Solorza, F. J.; Arenas, O. M. L.; Jiménez, A. A. and Velázquez, del V. M. 2001. Chemical composition of okenia hypogaea seed (Schl. & Cham). *Agrociencia*. 35(4):459-468.
- Berman, P.; Nizri, S. and Wiesman, Z. 2011. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Bio. Bioen.* 35(7):2861-2866.
- Conceição, M.; Candeia, R.; Silva, C.; Bezerra, F.; Fernandes, Jr. J. and Souza, G. 2007. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11(5):964-975.
- Costa, N. & Rossi, L. 2000. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Rev. Química Nova*. 23(4):531-537.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. The New York Botanical Garden. Columbia University Press. New York, USA. 1262 p.
- Directorate of Oil Seeds Research. 2004. Diversified uses of castor. *In: international seminar on castor seed. Castor Oil and its value added products. Proceedings. Ahmedabad: the solvent extractors association of India.* 50-57 pp.
- Falasca, L.; Ulberich, C. & Ulberich, E. 2012. Developing an agroclimatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). *Industrial Crops and Products*. 40:185-191.
- FAO. 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- Firestone, D. 1996. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society. Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats and Waxes. 4<sup>th</sup> (Ed.). American Oil Chemist Society Press. Champaign, USA. 54 p.
- Goytia, J. M. A.; Gallegos, G. C. H. y Núñez, C. C. A. 2011. Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Rev. Chapingo. Ser. Cienc. Fores. Amb.* 17(1):41-48.
- Hidalgo, A.; Brandolini, A. and Ratti, S. 2009. Influence of genetic and environmental factors on selected nutritional traits of *Triticum monococcum*. *J. Agric. Food Chem.* 57(14):6342-6348.
- Isaza, C.; Anaya, K.; de Paz, J. Z.; Vasco, L. J. F.; Hernández, R. I. and Mosquera, A. J. D. 2017. Image analysis and data mining techniques for classification of morphological and color features for seeds of the wild castor oil plant (*Ricinus communis* L.). *Multimedia Tools and Applications*. 1-18.
- Lam, L.; Lam, C. and Cao, Y. 2004. Immunotoxins a new class of anticancer drugs. *Drugs Future*, 29(4):609-612.
- Loredo, S.; Espinosa, V.; Goytia, M.; Díaz, L.; Soto, M. and Marrone, G. 2012. Fatty acid methyl ester profile from lupinus in the identification of sweet and bitter species from this gender with oil of *Lupinus uncinatus* Schlecht seeds. *J. Nutr. Food Sci.* 2(8):1-4.
- Lucena, A.; Severino, S.; Beltrao, M. e Bortoluzi, D. 2010. Caracterizacão física e química de sementes da mamoneira cv. Brs nordestina pela cor do tegumento. *Rev. Bras. Oleaginosas e Fibrosas*. 14(2):83-90.
- researches on the determination of carbohydrates, sugar content, starch and cellulose. Finally, the data obtained in this paper can be considered for future researches of genetic and agronomic improvement.

End of the English version



- Makkar, H. P. S.; Becker, K. and Schmoock, B. 1998. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods Human Nutr.* 52(1):31-36.
- Martín, C.; Moure, A.; Martín, G.; Carrillo, E.; Domínguez, H. and Parajo, J. C. 2010. Fractional characterization of *Jatropha*, neem, moringa, *Trisperma*, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. *Bio. Bioen.* 34(4):533-538.
- Martínez, V. B. B.; Hernández, C. M.; Solís, B. J. L. y Zamarripa, C. A. 2012. Calidad agroindustrial del aceite de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de bioenergéticos en México. *In: V Congresso Brasileiro de Mamona / II Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas & I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, Guarapari (ES).* 2 p.
- Melo, W. C.; Silva, D. B.; Pereira, J. N.; Anna, L. M. M. S. e Santos, A. S. 2008. Produção de etanol a partir de torta de mamona (*Ricinus communis* L.) e avaliação da letalidade da torta hidrolisada para comundongos. *Química Nova*. 31(5):1104-1106.
- Moser, B. R. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular Develop. Biol. Plant.* 45(3):229-266.
- 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.
- Mutlu, H. and Meier, R. 2010. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 112(1):10-30.
- Ogunniyi, D. S. 2006. Castor oil: a vital industrial raw material. *Bio. Technol.* 97(9):1086-1091.
- Olsnes, S. and Pihl, A. 1981. Chimeric toxins. *Pharmacol. Ther.* 15(3):355-381.
- Onyeike, E. N. and Acheru, G. N. 2002. Chemical composition of selected Nigerian oil seed and physicochemical properties of the oil extracts. *Food Chem.* 77(4):431-437.
- Ortega, D. y Rodríguez, C. M. L. 1979. Estudios de azúcares solubles en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*. 37. 17-24.
- Perdomo, F. A.; Acosta, O. A. A.; Herrera, G.; Vasco, L. J. F.; Mosquera, A. J. D.; Millán, M. B. and Rodríguez, G. M. E. 2013. Physicochemical characterization of seven Mexican *Ricinus communis* L. seeds & oil contents. *Bio. Bioen.* 48:17-24.
- Perea, F. M. J.; Chanona, P. J. J.; Garibay, F. V.; Calderón, D. G.; Terrés, R. E.; Mendoza, P. J. A. and Herrera, B. R. 2011. Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*). *Industrial Crops and Products*. 34(1):1057-1065.

- Pradhan, S.; Madankar, C. S.; Mohanty, P. and Naik, S. N. 2012. Optimization of reactive extraction of castor seed to produce biodiesel using response surface methodology. *Fuel*. 97:848-855.
- Reveles, S. F. O.; Rosales, S. R.; Nava, B. C. A.; Delgado, L. E.; Cuellar, R. E.; Carrete, C. F. O. y Ríos, S. J. C. 2010. Identificación de especies vegetales con potencial para producción de biocombustibles líquidos en Durango. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(1):45-54.
- Scholz, V. and Silva, J. N. 2008. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Bio. Bioen.* 32(2):95-100.
- Severino, L. S.; Costa, F. X.; Beltrão, N. E. de M.; Lucena, A. M. A. e Guimarães, M. B. B. 2004. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. *Rev. Biol. Ciênc. Terra.* 5(1):1-6.
- Solís, B. J. L.; Muñoz, O. A.; Escalante, E. J. A. S. y Zamarripa, C. A. 2016. Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Texcoco, Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):311-323.
- Souza, P. P. D.; Motoike, S. Y.; Carvalho, M.; Kuki, K. N. and Silva, A. M. 2016. Storage on the vigor and viability of macauba seeds from two provenances of Minas Gerais State. *Ciência Rural.* 46(11):1932-1937.
- Van, S. P.; Robertson, J. and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Sci.* 74(10):3583-3597.