

**Comparación proximal de ocho accesiones de  
piñón (*Jatropha curcas*) provenientes de  
Honduras, México, Brasil y El Salvador del  
Banco de Germoplasma Zamorano**

**Lady Fernanda Roldán Quirola**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

Noviembre, 2013

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Comparación proximal de ocho accesiones de  
piñón (*Jatropha curcas*) provenientes de  
Honduras, México, Brasil y El Salvador del  
Banco de Germoplasma Zamorano**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Lady Fernanda Roldán Quirola**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2013

# **Comparación proximal de ocho accesiones de piñón (*Jatropha curcas*) provenientes de Honduras, México, Brasil y El Salvador del Banco de Germoplasma Zamorano**

Presentado por:

Lady Fernanda Roldán Quirola

Aprobado:

---

Francisco Javier Bueso, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Director  
Departamento de Agroindustria  
Alimentaria

---

Renán Pineda, Ph. D.  
Asesor

---

Raúl Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

## Comparación proximal de ocho accesiones de piñón (*Jatropha curcas*) provenientes de Honduras, México, Brasil y El Salvador del Banco de Germoplasma Zamorano

Lady Fernanda Roldán Quirola

**Resumen.** El cultivo de *Jatropha curcas* constituye una fuente de aceite para producir biodiesel y la torta desgrasada es utilizada como fuente de proteína animal una vez detoxificada. Se caracterizaron semillas de ocho accesiones de piñón: Arturo Araujo y 111 (Honduras), Embrapa y Bravo × Malí (Brasil), Criolla Salvadoreña e India Salvadoreña (El Salvador), Mexicana “no tóxica” y Puebla (México), existentes en el banco de germoplasma Zamorano. Se realizaron tres cosechas: 03, 26 de julio y 19 de agosto de 2013. Los objetivos de este estudio fueron: cuantificar rendimientos de almendra, caracterizar proximalmente las semillas descascaradas (almendras) y determinar si la fecha de cosecha afectó la composición de las semillas. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo. Se analizó el rendimiento de almendra (g/100g), humedad, grasa total, perfil de ácidos grasos y proteína expresados en %. Los resultados se analizaron mediante un ANDEVA y una prueba LSD ( $P < 0.05$ ). Bravo × Malí (65.5 g/100 g de semilla), Arturo Araujo (64.1 g/100 g de semilla) y Puebla (64.0 g/100 g de semilla) presentaron rendimientos de almendras superiores. En contenido proteico Bravo × Malí (37.1%) y Puebla (35.2%) fueron significativamente superiores a Cabo Verde, mientras que 111 (53.7%), Arturo Araujo (53.4%), Mexicana “no tóxica” (52.4%), Bravo × Malí (52.2%) y Criolla Salvadoreña (51.5%) fueron iguales a Cabo Verde y superiores al resto. La fecha de cosecha afectó significativamente la composición de la semilla. Se recomienda caracterizar las demás accesiones del banco de germoplasma Zamorano.

**Palabras clave:** Análisis proximal, proteína cruda, rendimiento de aceite, variedad Arturo Araujo.

**Abstract.** *Jatropha curcas* is a source for biodiesel production and detoxified defatted meal is used as a source of animal protein. Eight varieties of *Jatropha* were characterized: Arturo Araujo and 111 (Honduras), Embrapa and Bravo × Malí (Brazil), Criolla Salvadoreña and India Salvadoreña (El Salvador), Mexicana “non toxic” and Puebla (Mexico) from the Zamorano collection. Three harvests were performed: July 03 and 26, August 19, 2013. The study objectives were: to measure the dehulled seed yield, to perform proximal characterization of dehulled seeds and determine if the harvest date affected seed proximal composition and fatty acid profile. A completely randomized design (CRD) with repeated measures was used. The yield of the dehulled seed (g/100g), humidity, total fat, fatty acid profile and protein expressed as % were analyzed. The results were analyzed using an ANOVA and a LSD test ( $P < 0.05$ ). Bravo × Mali (65.5 g/100 g per seed), Arturo Araujo (64.1 g/100 g per seed) and Puebla (64.0 g/100 g per seed) presented higher yields of seed. The protein content of Bravo × Mali (37.1%) and Puebla (35.2%) had significantly highest, while 111 (53.7%), Arturo Araujo (53.4%), Mexicana “non toxic” (52.4%), Bravo × Mali (52.2%) and Criolla Salvadoreña (51.5%) were similar to Cabo Verde and highest lipid content to others. Harvest date affected significantly seed composition. It recommended characterization of the remaining accessions in the germplasm collection.

**Key words:** Crude protein, oil yield, proximal analysis, variety Arturo Araujo.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen.....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos .....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>5 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>16</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>17</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro		Página
1.	Composición química de la semilla (rangos) de piñón de varias partes del mundo .....	2
2.	Perfil de ácidos grasos del aceite de <i>Jatropha curcas</i> de distintas zonas del mundo. ....	2
3.	Procedencia de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> L. del Banco de Germoplasma de la EAP Zamorano. ....	4
4.	Rendimiento de las semillas (almendra g/100 g de semilla) de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha. ....	8
5.	Contenido de humedad de las almendras (%) de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en tres fechas de cosecha. ....	9
6.	Contenido de proteína en base seca de la almendra (%) de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> , en tres fechas de cosecha. ....	11
7.	Contenido de lípidos en base seca de la almendra (%), de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en tres fechas de cosecha. ....	12
8.	Comparación de ácidos grasos saturados (g /100 g de almendra) del total de la grasa de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en tres fechas de cosecha. ....	13
9.	Comparación de ácidos grasos insaturados (g /100 g de almendra) del total de la grasa de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en tres fechas de cosecha. ....	14
Figura		Página
1.	Flujo de proceso del estudio de la composición proximal de las ocho accesiones de las semillas de <i>Jatropha curcas</i> . ....	5
Anexo		Página
1.	Resumen de ANDEVA y análisis de medidas repetidas en el tiempo para los componentes proximales de las accesiones. ....	19
2.	Resumen de ANDEVA y análisis de medidas repetidas en el tiempo para los ácidos grasos de las accesiones. ....	20

3.	Rendimiento en gramos de las semillas (almendra) de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	20
4.	Variación de humedad (almendra) de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	21
5.	Comportamiento de lípidos (almendra) en base seca de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	21
6.	Comportamiento de proteínas (almendra) en base seca de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	22
7.	Comparación de ácidos grasos saturados del total de la grasa de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	22
8.	Comparación de ácidos grasos insaturados del total de la grasa de ocho accesiones de <i>Jatropha curcas</i> en función de la fecha de cosecha.....	23
9.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión Bravo × Malí...	23
10.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión Mexicana “no tóxica”.....	24
11.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión India Salvadoreña.....	24
12.	Comparación de perfil de ácidos grasos (g/100 g de almendra) de <i>Jatropha curcas</i> . .....	25
13.	Comparación de perfil de ácidos grasos (g/100 g de almendra) de <i>Jatropha curcas</i> . .....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

Las semillas del cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) pertenecen a la familia Euphorbiaceae que comprende aproximadamente 170 especies conocidas (Peralta 2004). Considerado una fuente de biocombustible de segunda generación, es originaria de América Central y cultivada en la mayoría de los países tropicales incluyendo África y Asia (Openshaw 2000).

Duke y Atchley (1983) reportan que de 100 gramos de semillas se obtuvo 6.6 g de humedad, 38 g de lípidos y 18.2 g de proteína. En Zamorano, Espinal (2012) obtuvo 20.9 g de proteína, 7.44 g de humedad y 47.16 g de lípidos en semilla descascarada de la accesión Cavo Verde. Si bien esto puede variar debido a los genotipos existentes, la ubicación geográfica y las condiciones ambientales que son las que hacen variar sus características morfológicas.

México es el país con la mayor cantidad de especies, en él se encuentran los genotipos tóxicos que están en Coatzacoalcos - Veracruz y los no tóxicos encontrados en Castillo de Teayo y Pueblillo del estado de Veracruz y en Yauatepec del estado de Morelos (Martínez-Herrera 2005). Las semillas tóxicas contienen componentes como saponinas, fitatos, inhibidores de proteasa, pero el más tóxico de sus componentes son los ésteres de forbol. Principalmente los 12-desoxi-16-hidroxiforbol (Haas *et al.* 2002) son los ésteres de forbol responsables de la toxicidad de las semillas.

Al ser esta semilla potencialmente rica en lípidos (llegando a tener 48%, según la accesión) y proteína, resultaría una buena fuente de alimentación animal e inclusive humana (Cuadro 1). Por su toxicidad y según estudios realizados, el consumo de semillas tóxicas produce daños graves como hemorragias, diarrea extrema, enteritis llegando a causar incluso la muerte (Oskoueian *et al.* 2012). Sin embargo los genotipos no tóxicos de Veracruz-México si pueden ser consumidos, ya que presentan baja o ninguna concentración de ésteres de forbol. La gran variabilidad genética trae consigo también distintas características en la composición de los ácidos grasos presentes, lo cual importante conocer para de este modo potenciar su uso de una mejor manera (Cuadro 2).

Este es un cultivo muy importante en la actualidad, la primera producción de piñón se da entre los 8 y 12 meses, luego del año y medio se realizan dos cosechas anuales y con buen manejo el rendimiento puede ir en aumento. Las semillas de piñón son cosechadas cuando la cápsula está madura y ésta cambia del verde al amarillo, esto ocurre después de dos a cuatro meses después de la polinización en promedio a los 90 días, que es el tiempo que tarda un grano en llegar a su madurez fisiológica después de la floración (Oyuela *et al.* 2012).



Al comparar la composición química de la *Jatropha curcas* con otras fuentes como soya (18% de grasa cruda y hasta 40% de proteína cruda) o palma africana (23.10% de grasa cruda y 5.30% de proteína cruda) (Durán 1995), las cuales se emplean en la producción de biodiesel y como proteína animal, se encuentra que la *Jatropha curcas* tiene un mayor potencial para aceite, aunque en proteína es mayor la soya.

Cuadro 1. Composición química de la semilla (rangos) de piñón de varias partes del mundo<sup>1</sup>.

Parámetros (%)	Localización geográfica de <i>Jatropha curcas</i>				
	México	Nicaragua	África	Cabo Verde	India
Materia seca	94.5 - 95.4	96.9	94.8	96.6	ND
Proteína	18.8 - 34.5	25.6	20.0 - 28.9	22.0	23.3 - 33.4
Lípidos	45.9 - 64.5	56.8	48.5 - 55.3	57.8	49.7 - 63.4
Cenizas	3.8 - 5.8	3.6	3.9 - 4.2	3.6	4.0 - 6.7

Fuente: Basha *et al.*, (2009), Makkar *et al.*, (1998) adaptado por el autor.

<sup>1</sup> Datos en base seca.

Para la extracción de aceite se utilizan diferentes equipos y métodos, los más comunes son extracción mecánica (donde se utiliza fuerza de presión y tornillo sin fin) y pruebas de extracción con solventes químicos como: éter de petróleo a 40-60 °C. Durante el proceso de extracción de aceite se genera una torta como subproducto la misma que posee un alto contenido de proteínas. Por su característica tóxica no se consume, a menos que por medio del uso de solventes y procesos térmicos sean extraídos, ya que sus proteínas son termolábiles (Makkar y Becker 2009). Solo después de tostada la semilla se puede consumir, ya que se han observado reducciones en el contenido de los componentes anti-nutricionales (saponinas, esteroides, fitatos), lo cual podría resultar una alternativa para promover la seguridad alimentaria en países tropicales por la producción de aceite además de ser una suplementación proteica para humanos y animales (Makkar *et al.* 1998).

Cuadro 2. Perfil de ácidos grasos del aceite de *Jatropha curcas* de distintas zonas del mundo.

Ácido graso	Cabo Verde (%)	Nicaragua (%)	Paraguay (%)	Indonesia (%)
Palmítico 16:0	13.6	13.6	13.2	14.5
Estearico 18:0	7.4	7.4	3.0	7.0
Palmitoléico 16:1	0.7	0.8	ND	0.7
Oleico 18:1 cis 9	39.9	34.6	40.2	42.4
Linoléico 18:2 cis 9-12	35.9	43.2	42.6	34.6
Linolénico 18:3 cis 9-12-15	ND	0.2	ND	0.2

Fuente: Espinal (2012), Montes (2011) y Emil (2010) adaptado por el autor.

El presente estudio se desarrolló con el propósito de caracterizar la semilla descascarada, evaluar su composición química proximal y el perfil de ácidos grasos de ocho accesiones de *Jatropha curcas* del banco de germoplasma de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano y de esta manera aportar conocimientos que ayuden a definir la potencialidad de uso de cada accesión. Los objetivos de estudio fueron:

- Cuantificar el rendimiento de almendra de cada accesión, para potenciar su uso adecuado.
- Comparar la composición proximal y perfil de ácidos grasos de las semillas descascaradas de ocho accesiones de *J. curcas*: Arturo Araujo y 111 (Honduras), Embrapa y Bravo × Malí (Brasil), Criolla Salvadoreña e India Salvadoreña (El Salvador), Mexicana “no tóxica” y Puebla (México) versus el control, accesión Cabo Verde.
- Determinar si la fecha de cosecha en época lluviosa afectó la composición química de cada accesión de *Jatropha curcas* caracterizada.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** Este estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana ubicada en el Valle de Yeguaré, 30 kilómetros al este de Tegucigalpa el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), ubicado en el Valle de Yeguaré, 30 kilómetros al este de Tegucigalpa, Honduras.

**Materiales.** Se utilizó ocho accesiones de semillas de *J. curcas* L. provenientes de Mesoamérica y Sudamérica. Las accesiones estudiadas se encuentran en el banco de germoplasma de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano en la cuenca hidrográfica Santa Inés y en la Unidad de Granos y Semillas que pertenecen a la colección del proyecto: Evaluación de la cadena de valor del Biodiesel de *Jatropha curcas* como potencial motor del desarrollo rural en Mesoamérica por SYNGENTA, la Fundación para la Agricultura Sostenible. De las accesiones de *J. curcas* estudiadas, dos proceden de Honduras, dos de El Salvador, dos de Brasil y dos de México (Cuadro 3).

**Semillas de piñón (*J. curcas*).** Las semillas fueron cosechadas en tres fechas: 03, 26 de Julio y 19 de Agosto del año 2013 en la EAP durante la época lluviosa, a los 54, 77 y 101 días después de la floración. Previo a su caracterización las semillas de las ocho accesiones de piñón se clasificaron de manera visual y los parámetros tomados en cuenta fueron daños por insectos y tamaño de la semilla.

Cuadro 3. Procedencia de ocho accesiones de *Jatropha curcas* L. del Banco de Germoplasma de la EAP Zamorano.

Accesión	Procedencia
Arturo Araujo	Yoro, Yoro, Honduras.
111	San Pedro Sula, Cortés, Honduras.
India Salvadoreña	El Salvador (introducida desde India)
Criolla Salvadoreña	El Salvador.
Embrapa	Planaltina DF, Brasil
Bravo × Malí	Brasil
Mexicana “no tóxica”	México
Puebla	Puebla, México

**Preparación de las muestras (semillas de piñón).** Seleccionadas las semillas, fueron separadas en: testa y endospermo (almendra). Las almendras obtenidas del descascarado de igual manera se clasificaron visualmente, excluyendo las que presentaron daños (pudrición, demasiado secas). Después se pesó las semillas en una balanza (Modelo Adventurer; Ohaus Corp., Pine Brook, NJ), el peso aproximado de cada semilla descascaradas (almendra) fue 0.55 gramos. Para la realización de los análisis las semillas fueron maceradas en un mortero de porcelana (Marca Coors) y se pesó la cantidad de semillas de acuerdo a lo establecido en cada método de análisis realizado.

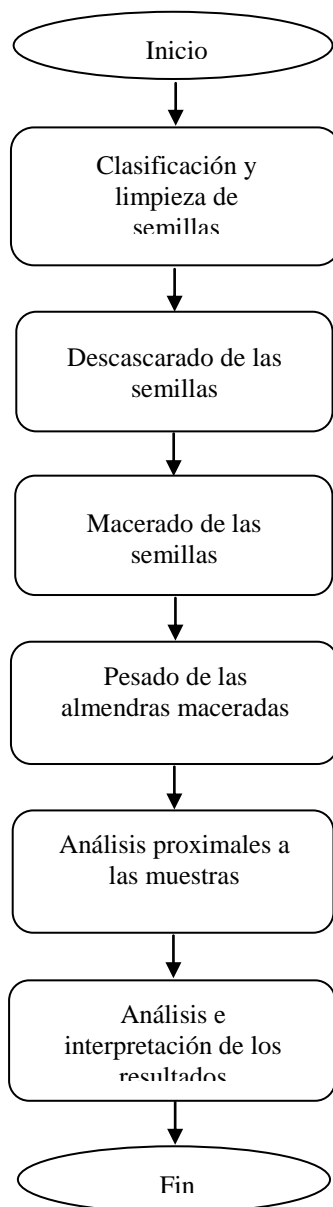


Figura 1. Flujo de proceso del estudio de la composición proximal de las ocho accesiones de las semillas de *Jatropha curcas*.

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres medidas repetidas en el tiempo y tres repeticiones. Las tres fechas de cosecha fueron las repeticiones del estudio y las ocho accesiones los tratamientos. Al ser tres repeticiones y ocho tratamientos se obtuvo 24 unidades experimentales, las mismas que se analizaron por duplicado, dando un total de 48 muestras por análisis.

**Análisis de composición nutricional de la semilla *J. curcas*.** Se realizaron análisis para determinar la composición proximal de la semilla de las ocho accesiones de piñón estudiadas siendo estos análisis los que a continuación se describen:

**Determinación de humedad AOAC 950.46.** Este método se utilizó para la determinación de humedad de las semillas de piñón. Se pesó tres gramos de semilla y el tiempo de secado en el horno de convección fue 24 horas. Los resultados se reportaron en porcentaje de humedad (g agua/100g de semilla descascarada). Se realizó el análisis por duplicado para las veinte y cuatro unidades experimentales.

**Determinación de cenizas AOAC 923.03.** El contenido de cenizas de las semillas de piñón fue reportado en porcentaje de ceniza en base seca. Se realizó el análisis por duplicado para las veinte y cuatro unidades experimentales.

**Determinación de proteína Kjeltac AOAC 2001.11.** Este método mide el contenido de nitrógeno total en las semillas de piñón, después de ser digeridas con ácido sulfúrico para así calcular el contenido en proteína. Se usó un factor de 6.25 para transformar el contenido de nitrógeno orgánico a contenido de proteína. Los resultados se reportaron en porcentaje de proteína cruda en base seca. Se realizó el análisis por duplicado para las veinte y cuatro unidades experimentales.

**Determinación de grasa Soxhlet AOAC 2003.06.** El contenido de grasa de las semillas fue reportado en porcentaje de grasa cruda en base seca. Se realizó el análisis por duplicado para las veinte y cuatro unidades experimentales.

**Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases AOCS Ce 2b-11.** Para el análisis del perfil de ácidos grasos, se transesterificó las muestras de aceite de piñón de las ocho accesiones. El procedimiento realizado se describe a continuación:

Para el análisis por cromatografía de gases se utilizaron tubos de ensayo (Marca Pyrex) previamente rotulados (un tubo por cada accesión) en los cuales se colocaron seis gotas de aceite de piñón, se adicionó 0.8 ml de isooctano y 0.5 ml de KOH (solución en metanol

2M, disolver 5.6 g de KOH en 50 ml de metanol grado HPLC), luego se agitó en el vórtex (Fisher, Modelo 231) durante ocho minutos y se dejó reposar 10 minutos. Se observan dos

fases, de la fase con isooctano se tomaron 0.3 ml con una pipeta (Marca Corex) que fueron colocados en otros tubos de ensayo y diluidos con cuatro ml de isooctano, por último se agregó un gramo de sulfato de sodio se agitó y dejó reposar. Durante la transesterificación se colocó un tapón de hule a los tubos de ensayo para evitar la volatilización del isooctano. Todo el procedimiento se llevó a cabo dentro de la campana de gases.

Transcurrido ese tiempo las muestras de aceite transesterificadas se colocaron en los viales (Agilent, volumen 1.5 ml) que fueron rotulados previamente con el número de muestra. Los viales fueron colocados en el automuestreador del cromatógrafo de gases, se introdujo la secuencia de los viales (tratamientos) en el software del equipo. Se procedió entonces a la inyección; la temperatura del horno (250 °C) de acuerdo al programa debió estar inicialmente en 180 °C, luego 20 °C/min hasta llegar a 215 °C con un tiempo de corrida de 65 minutos. El puerto de inyección: Split liner cuatro mm i.d; 6.6 mm o.d. x 75 mm con micro jeringa con aguja especial para cromatografía de gases 1 µL. La fase estacionaria: Supelco SP-2560 Fused Silica Capillary Column 250 °C: 100 m x 250 µm x 0.25 µm. Está también la fase móvil: flujo de hidrógeno de generador de hidrógeno Parker Balston para GC (40 ml/min), flujo de aire de 450 ml/min.

Se realizó la identificación comparando los tiempos con los estándares GLC-714 y GLC-463 y la cuantificación se hizo con la integración del área bajo la curva de los picos de forma manual, esto permitió determinar los ácidos grasos presentes así como la proporción en porcentaje por ácido graso encontrado en cada tratamiento, con la cual se calculó el porcentaje de cada clasificación de ácido graso de la grasa total para cada accesión. Se evaluó el análisis por duplicado para las veinte y cuatro unidades experimentales.

**Análisis estadístico.** Los resultados obtenidos se convirtieron a base seca, excepto los resultados de humedad que se reportaron como base húmeda. Las medias y desviaciones estándar de las mediciones duplicadas de todos los análisis se realizaron en computadora por el programa Excel. Para la comparación de medias de los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Para el análisis estadístico de los datos se usó el programa SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System) versión 9.1 y la separación de medias fue realizada usando la prueba LSD (Least Significant Difference) con un nivel de significancia de 5%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas de las accesiones analizadas en este estudio (Arturo Araujo, 111, Embrapa, Bravo × Malí, Criolla Salvadoreña, India Salvadoreña, Mexicana “no tóxica” y Puebla) fueron estadísticamente diferentes en sus componentes (humedad, lípidos, proteínas y perfil de ácidos grasos). La fecha de cosecha fue un factor que afectó significativamente la composición de las accesiones. Existió una interacción significativa entre las accesiones analizadas y las fechas de cosecha de las semillas.

**Rendimiento de semilla descascarada.** El rendimiento de las semillas que se observa en el (Cuadro 4), muestra que la accesión Bravo × Malí fue significativamente superior (65.5 g/100 g de semilla) al control Cabo Verde y a las otras siete accesiones durante este estudio, Arturo Araujo y Puebla presentaron rendimientos similares, las cinco accesiones restantes presentaron rendimientos menores, pero India Salvadoreña fue la de menor rendimiento (61.6 g /100 g de semilla). Con estos resultados la accesión que se espera rinda mayor cantidad de almendras por cosecha es Bravo × Malí.

Cuadro 4. Rendimiento de las semillas (almendra g/100 g de semilla) de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Rendimiento promedio ± <sup>1</sup> D.E.
	54 Media ± <sup>1</sup> D.E.	77 Media ± <sup>1</sup> D.E.	101 Media ± <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	63.0 ± 0.0 <sup>bcd</sup>	61.6 ± 0.5 <sup>ab</sup>	63.0 ± 0.1 <sup>cde</sup>	62.6 ± 0.6 <sup>bcd</sup>
111	62.6 ± 0.0 <sup>cd</sup>	61.5 ± 0.0 <sup>ab</sup>	62.2 ± 0.0 <sup>e</sup>	62.1 ± 1.9 <sup>bc</sup>
Arturo Araujo	61.8 ± 0.6 <sup>de</sup>	65.9 ± 1.2 <sup>a</sup>	64.6 ± 0.6 <sup>ab</sup>	64.1 ± 2.4 <sup>ab</sup>
Mexicana “no tóxica”	60.4 ± 0.9 <sup>e</sup>	64.1 ± 0.7 <sup>ab</sup>	62.7 ± 0.3 <sup>de</sup>	62.4 ± 1.9 <sup>bc</sup>
Puebla	64.6 ± 0.0 <sup>b</sup>	63.9 ± 0.0 <sup>ab</sup>	63.8 ± 0.0 <sup>bc</sup>	64.0 ± 0.5 <sup>ab</sup>
Embrapa	61.9 ± 0.9 <sup>de</sup>	64.5 ± 0.2 <sup>ab</sup>	63.3 ± 0.5 <sup>cd</sup>	63.2 ± 1.5 <sup>bc</sup>
Bravo x Malí	67.8 ± 0.7 <sup>a</sup>	63.7 ± 1.9 <sup>ab</sup>	65.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	65.5 ± 2.7 <sup>a</sup>
Criolla Salvadoreña	62.4 ± 0.0 <sup>cd</sup>	63.9 ± 0.0 <sup>ab</sup>	64.5 ± 0.0 <sup>ab</sup>	63.6 ± 0.7 <sup>abc</sup>
India Salvadoreña	63.0 ± 0.0 <sup>bc</sup>	59.1 ± 0.0 <sup>b</sup>	62.8 ± 0.0 <sup>cde</sup>	61.9 ± 0.9 <sup>c</sup>
CV (%)	1.1	4.3	0.7	2.5

<sup>abcde</sup>: Letras diferentes indican diferencias con (P<0.05) entre accesiones y fechas de cosecha.

<sup>1</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

**Contenido de humedad de las semillas.** Las semillas analizadas en este estudio (Arturo Araujo, 111, Embrapa, Bravo × Malí, Criolla Salvadoreña, India Salvadoreña, Mexicana “no tóxica” y Puebla) presentaron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en el contenido de humedad. La fecha de cosecha también causó diferencias significativas en humedad ( $P < 0.01$ ).

Las accesiones Cabo Verde, Criolla Mexicana e India Salvadoreña no presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de humedad (Espinal 2012). En el (Cuadro 5) se observa que las ocho accesiones de piñón tuvieron contenidos de humedad significativos. Los contenidos de humedad fueron altos (23.82%) a la primera fecha de cosecha y a medida que transcurrió el tiempo, a la tercera fecha estos disminuyeron (3.73%). Este comportamiento se debe a la acumulación de materia seca (mayormente aceite y proteínas) de la semilla a lo largo de la maduración de la misma.

Cuadro 5. Contenido de humedad de las almendras (%) de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en tres fechas de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Humedad promedio $\pm$ 1D.E.
	54 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	77 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	101 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	4.2 $\pm$ 2.3 <sup>f</sup>	3.4 $\pm$ 2.6 <sup>e</sup>	2.3 $\pm$ 3.0 <sup>g</sup>	3.3 $\pm$ 2.4 <sup>f</sup>
111	18.2 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	10.7 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>	8.7 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	12.5 $\pm$ 0.2 <sup>bc</sup>
Arturo Araujo	15.5 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	14.4 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	7.0 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	12.3 $\pm$ 0.4 <sup>bc</sup>
Mexicana “no tóxica”	18.5 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	14.6 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	6.3 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	13.2 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>
Puebla	9.5 $\pm$ 0.2 <sup>e</sup>	14.7 $\pm$ 1.3 <sup>c</sup>	3.7 $\pm$ 0.1 <sup>f</sup>	9.3 $\pm$ 0.5 <sup>e</sup>
Embrapa	16.7 $\pm$ 0.2 <sup>bc</sup>	12.1 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	6.7 $\pm$ 0.3 <sup>bc</sup>	11.8 $\pm$ 0.2 <sup>cd</sup>
Bravo × Malí	23.8 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	10.7 $\pm$ 0.7 <sup>d</sup>	4.5 $\pm$ 0.4 <sup>e</sup>	13.0 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>
Criolla Salvadoreña	23.7 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	19.7 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	4.2 $\pm$ 0.0 <sup>ef</sup>	15.9 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>
India Salvadoreña	12.1 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	16.4 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	5.4 $\pm$ 0.3 <sup>d</sup>	11.3 $\pm$ 0.4 <sup>d</sup>
CV (%)	5.8	5.1	3.6	6.6

<sup>abcdef</sup>: Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias con ( $P < 0.05$ ) entre accesiones.

<sup>Abcdef</sup>: Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias con ( $P < 0.05$ ) de una misma accesión en tres fechas de cosecha.

<sup>1</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

Al comparar los contenidos de humedad de las ocho accesiones se encontró que Criolla Salvadoreña (15.9%) fue la accesión con contenidos superiores de humedad desde inicios del estudio, Puebla fue la de contenido inferior (9.3%) y en comparación con Cabo Verde los resultados obtenidos demostraron que las accesiones analizadas fueron estadísticamente superiores en contenidos de humedad. En estudios realizados a semillas de *J. curcas* provenientes de Paraguay y Argentina se encontraron contenidos de



humedad significativamente diferentes ( $6.50 \pm 0.10$  y  $7.20 \pm 0.10$  respectivamente) (Montes *et al.* 2011).

Esta diferencia en contenido de humedad se le atribuye a las fechas de cosecha, ya que entre una y otra fecha de cosecha las condiciones climatológicas fueron distintas: para la cosecha del 03 de julio hubo poca presencia de lluvia (2.2 mm), los días fueron calurosos mayormente (26 °C), para la segunda cosecha; 26 de julio, hubo más días calurosos (28.2 °C) sin presencia de lluvias (0.2 mm) y para la tercera cosecha; 19 de agosto, las condiciones fueron distintas (25.27 °C) con presencia de precipitaciones (0.3 mm) días antes del día de cosecha, por esta razón las semillas fácilmente pudieron absorber o perder humedad en campo y al momento de ser almacenadas.

**Contenido de proteína de las semillas.** Debido a las variaciones significativas en humedad, los componentes proximales se reportaron en base seca. El contenido de proteína de las semillas de las ocho accesiones de piñón presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.01$ ). Del mismo modo se encontró diferencias significativas causadas por la accesión ( $P < 0.01$ ), así como también existió diferencias en la fecha de cosecha ( $P < 0.01$ ), siendo la interacción accesión: fecha de cosecha un factor que afectó el contenido proteico ( $P < 0.01$ ).

Estudios realizados por Flores y Cruz (2010) a las accesiones Cabo verde (20.20%) e India Salvadoreña (21.38%), muestran contenidos distintos a los obtenidos en este estudio. En África se encontró que el contenido de proteína fue 25% (Nzikou *et al.* 2009). En el (Cuadro 6) se observa que las accesiones Bravo  $\times$  Malí (37.1%) y Puebla (35.2%) fueron las que presentaron contenidos significativamente superiores en proteína. Mientras que las demás accesiones si bien aumentan su contenido durante la maduración de la semilla desde la primera fecha hasta la tercera fecha de cosecha, pero no son similares a los contenidos de las dos accesiones antes mencionadas. Comparando estos resultados con el control Cabo Verde (23.0%), se observó que las ocho accesiones caracterizadas fueron estadísticamente superiores en contenido proteico. Los resultados obtenidos se mantienen dentro del rango según el Cuadro 1.

Sabiendo esto al querer destinar estas semillas para alimentación animal, las accesiones Bravo  $\times$  Malí y Puebla resultan ser las más convenientes para implementar en la dieta, por su significativo aporte en proteína, siempre que su contenido de ésteres de forbol sea considerado apto para consumirse.

Cuadro 6. Contenido de proteína en base seca de la almendra (%) de ocho accesiones de *Jatropha curcas*, en tres fechas de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Proteína promedio $\pm$ 1D.E.
	54 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	77 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	101 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	21.1 $\pm$ 0.6 <sup>bcd</sup>	25.6 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	22.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	23.0 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>
111	26.5 $\pm$ 1.6 <sup>bcd</sup>	34.8 $\pm$ 0.4 <sup>ab</sup>	36.0 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	32.4 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>
Arturo Araujo Mexicana “no tóxica”	24.2 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>	38.5 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	35.0 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	32.6 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
Puebla	29.2 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	29.6 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	35.1 $\pm$ 1.6 <sup>bc</sup>	31.3 $\pm$ 0.8 <sup>bc</sup>
Embrapa	37.9 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	33.6 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>	34.0 $\pm$ 1.7 <sup>bc</sup>	35.2 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>
Bravo $\times$ Malí	27.6 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	31.4 $\pm$ 0.0 <sup>bc</sup>	32.3 $\pm$ 1.3 <sup>c</sup>	30.5 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>
Criolla Salvadoreña	34.8 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup>	35.1 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	41.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	37.0 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>
India Salvadoreña	24.7 $\pm$ 0.6 <sup>cd</sup>	22.0 $\pm$ 1.5 <sup>d</sup>	35.8 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	27.5 $\pm$ 0.8 <sup>d</sup>
CV (%)	5.0	5.3	4.1	5.1

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias con (P<0.05) entre accesiones.

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias con (P<0.05) de una misma accesión a través del tiempo.

<sup>1</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

**Contenido de lípidos de las semillas.** Se encontró diferencias significativas en el contenido de lípidos de las semillas de piñón de las ocho accesiones analizadas (P<0.0001). La fecha de cosecha si afectó significativamente (P<0.0001), el contenido de lípidos, ya que según estudios el contenido de lípidos de un grano se afecta por diversos factores; la accesión, fecha de siembra, madurez del grano, fertilización (Cayón 1996), inclusive el manejo del cultivo. Entre mayor es el retraso de cosecha la semilla tiende a acumular más aceite, lo cual se comprueba con este estudio ya que se encontró aumentos de hasta 5% de lípidos entre una cosecha y otra. Es decir que la diferencia existente en el contenido de lípidos entre las fechas de cosecha se debe a los días de madurez de la semilla y a factores climáticos al momento en que fueron cosechadas las mismas.

Al encontrarse diferencias significativas en la fechas de cosecha, el contenido de lípidos fue mayor en las semillas a los 101 días de madurez que a los de días antes, debido a que las mismas estuvieron más tiempo en la planta, lo que dio lugar a que el aceite se acumulara más en la semilla. El contenido de lípidos 63.16% encontrado por (Akbar *et al.* 2009) fue similar a 62.80% obtenido por (Emil *et al.* 2010). En cambio el contenido de lípidos de las semillas de Paraguay (28.6%) y las semillas Argentinas (39.8%) fueron menores a los anteriormente citados.

Cuadro 7. Contenido de lípidos en base seca de la almendra (%), de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en tres fechas de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Lípidos promedio $\pm$ <sup>1</sup> D.E.
	54 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	77 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	101 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	52.2 $\pm$ 3.0 <sup>a</sup>	49.6 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	52.0 $\pm$ 1.7 <sup>cde</sup>	51.3 $\pm$ 1.9 <sup>abc</sup>
111	49.4 $\pm$ 3.0 <sup>abcd</sup>	55.7 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	56.1 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	53.7 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>
Arturo Araujo	45.2 $\pm$ 0.7 <sup>cd</sup>	60.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	54.9 $\pm$ 2.1 <sup>bcd</sup>	53.4 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>
Mexicana “no tóxica”	53.0 $\pm$ 3.4 <sup>a</sup>	45.3 $\pm$ 2.4 <sup>c</sup>	59.1 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	52.4 $\pm$ 2.1 <sup>ab</sup>
Puebla	50.1 $\pm$ 0.6 <sup>abc</sup>	49.6 $\pm$ 2.5 <sup>bc</sup>	49.6 $\pm$ 0.3 <sup>e</sup>	49.8 $\pm$ 1.1 <sup>c</sup>
Embrapa	44.5 $\pm$ 0.4 <sup>d</sup>	52.5 $\pm$ 2.5 <sup>abc</sup>	55.7 $\pm$ 6.5 <sup>abc</sup>	50.9 $\pm$ 3.1 <sup>bc</sup>
Bravo $\times$ Malí	50.7 $\pm$ 0.4 <sup>ab</sup>	51.2 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	54.7 $\pm$ 0.5 <sup>bcd</sup>	52.2 $\pm$ 0.6 <sup>abc</sup>
Criolla Salvadoreña	45.5 $\pm$ 0.1 <sup>bcd</sup>	57.4 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>	51.5 $\pm$ 1.7 <sup>de</sup>	51.5 $\pm$ 1.0 <sup>abc</sup>
India Salvadoreña	36.2 $\pm$ 2.7 <sup>e</sup>	45.9 $\pm$ 2.2 <sup>c</sup>	49.4 $\pm$ 5.0 <sup>e</sup>	43.8 $\pm$ 3.3 <sup>d</sup>
CV (%)	5.1	6.6	2.9	4.1

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias con (P<0.05) entre accesiones.

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias con (P<0.05) de una misma accesión a través del tiempo.

<sup>1</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

La diferencia en contenido de lípidos debida a la fecha de cosecha, mostró que las accesiones 111 (53.7%), Arturo Araujo (53.4%), Mexicana “no tóxica” (52.4%), Bravo  $\times$  Malí (52.2%), Criolla Salvadoreña (51.5%) y Embrapa (50.9%) presentaron contenidos significativamente superiores a las demás accesiones (Cuadro 7), en su mayoría el comportamiento de las accesiones fue acorde a lo esperado, ya que aumentó el contenido de lípidos de una cosecha a otra. Con estos resultados se infiere que las accesiones 111, Arturo Araujo, Mexicana “no tóxica” y Bravo  $\times$  Malí pueden destinarse mayormente a la producción de aceite comercial, ya que de ellas se obtendrá buenos rendimientos de aceite. El porcentaje de lípidos encontrado está dentro del rango según el Cuadro 1.

**Perfil de ácidos grasos.** El perfil de ácidos grasos reveló que existieron diferencias significativas en el contenido de ácidos grasos saturados (P<0.01). Estas diferencias se deben a la accesión de piñón (P<0.01). Se encontró diferencias significativas en el grupo de ácidos grasos insaturados (P<0.01), estas diferencias fueron causadas por la accesión de piñón (P=0.01).

Cuadro 8. Comparación de ácidos grasos saturados (g /100 g de almendra) del total de la grasa de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en tres fechas de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Á. G. saturados promedio $\pm$ <sup>1</sup> D.E.
	54 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	77 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	101 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	11.6 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	10.5 $\pm$ 0.9 <sup>bc</sup>	14.5 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	12.2 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>
111	10.3 $\pm$ 0.8 <sup>ab</sup>	10.8 $\pm$ 1.2 <sup>bc</sup>	13.9 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	11.7 $\pm$ 0.8 <sup>bc</sup>
Arturo Araujo	11.8 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	12.6 $\pm$ 0.2 <sup>bc</sup>	11.7 $\pm$ 0.6 <sup>bc</sup>	12.0 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>
Mexicana “no tóxica”	11.0 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	11.2 $\pm$ 0.0 <sup>bc</sup>	11.4 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	11.2 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>
Puebla	11.5 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	10.1 $\pm$ 0.3 <sup>bc</sup>	10.4 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	10.7 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>
Embrapa	9.3 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	10.7 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	11.8 $\pm$ 0.1 <sup>bc</sup>	10.6 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>
Bravo $\times$ Malí	12.1 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	20.4 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	21.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	18.0 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Criolla	10.4 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	12.7 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	11.1 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	11.4 $\pm$ 0.7 <sup>bc</sup>
Salvadoreña				
India	7.2 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	9.6 $\pm$ 1.1 <sup>c</sup>	10.7 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	9.2 $\pm$ 0.4 <sup>d</sup>
Salvadoreña				
CV (%)	12.5	10.3	7.6	8.4

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias con (P<0.05) entre accesiones.

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias con (P<0.05) de una misma accesión a través del tiempo.

<sup>1</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

La composición de ácidos grasos saturados se muestra en el (Cuadro 8), la cual revela que la accesión Bravo  $\times$  Malí tiene el mayor contenido de ácidos grasos saturados (18.0 g/100 g de semilla) comparado con las otras siete accesiones. India Salvadoreña fue la accesión con menor contenido de ácidos grasos saturados (9.2 g/100 g de semilla). Las accesiones Arturo Araujo, Puebla y Criolla Salvadoreña fueron las que presentaron variaciones no esperadas en el contenido de ácidos grasos saturados a través del tiempo a diferencia de las otras cinco accesiones, las cuales tuvieron un comportamiento ascendente de ácidos grasos saturados. Al comparar estos resultados con Cabo Verde (12.0 g/100 g de semilla), observamos que las accesiones caracterizadas presentan contenidos superiores de ácidos grasos saturados.

La composición de ácidos grasos insaturados se muestra en el (Cuadro 9), la cual revela que las accesiones 111 (42.0 g/100 g de semilla), Arturo Araujo (41.4 g/100 g de semilla) y Mexicana “no tóxica” (41.3 g/100 g de semilla) tienen contenidos significativamente superiores de ácidos grasos insaturados comparado con las otras siete accesiones. India Salvadoreña fue la accesión con menor contenido de ácidos grasos insaturados (34.65 g/100 g de semilla). Las accesiones Embrapa e India Salvadoreña fueron las que mostraron resultados esperados, es decir presentaron aumentos en el contenido de ácidos grasos insaturados a través del tiempo a diferencia de las otras seis accesiones, las cuales tuvieron un comportamiento muy fluctuante de ácidos grasos insaturados. Lo obtenido fue similar al contenido de ácidos grasos insaturados de Cabo Verde.

Cuadro 9. Comparación de ácidos grasos insaturados (g /100 g de almendra) del total de la grasa de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en tres fechas de cosecha.

Accesión	Días de floración a la fecha de cosecha			Á.G. insaturados promedio $\pm$ <sup>1</sup> D.E.
	54 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	77 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	101 Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	
Cabo Verde	36.0 $\pm$ 0.5 <sup>bc</sup>	42.7 $\pm$ 1.8 <sup>abc</sup>	48.3 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	42.3 $\pm$ 2.9 <sup>a</sup>
111	39.0 $\pm$ 1.8 <sup>ab</sup>	44.9 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	42.3 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	42.0 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>
Arturo Araujo	33.3 $\pm$ 3.1 <sup>cd</sup>	47.6 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup>	43.2 $\pm$ 2.0 <sup>ab</sup>	41.4 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>
Mexicana “no tóxica”	41.9 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>	34.1 $\pm$ 3.0 <sup>c</sup>	47.7 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	41.3 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>
Puebla	38.6 $\pm$ 2.1 <sup>ab</sup>	39.5 $\pm$ 1.9 <sup>abc</sup>	39.2 $\pm$ 2.2 <sup>ab</sup>	39.1 $\pm$ 2.0 <sup>ab</sup>
Embrapa	35.2 $\pm$ 1.5 <sup>bc</sup>	41.9 $\pm$ 0.8 <sup>abc</sup>	42.9 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	40.0 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>
Bravo $\times$ Malí	38.6 $\pm$ 0.7 <sup>ab</sup>	35.9 $\pm$ 0.6 <sup>bc</sup>	37.4 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	37.3 $\pm$ 0.8 <sup>bc</sup>
Criolla Salvadoreña	35.1 $\pm$ 3.0 <sup>bc</sup>	44.8 $\pm$ 1.9 <sup>ab</sup>	40.4 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>	40.1 $\pm$ 2.2 <sup>ab</sup>
India Salvadoreña	28.9 $\pm$ 2.2 <sup>d</sup>	36.3 $\pm$ 1.6 <sup>bc</sup>	38.7 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	34.7 $\pm$ 1.8 <sup>c</sup>
CV (%)	6.0	10.9	9.6	8.0

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias con (P<0.05) entre accesiones.

<sup>abcd</sup>: Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias con (P<0.05) de una misma accesión a través del tiempo.

<sup>¥</sup>D.E: Desviación estándar

%CV: Coeficiente de variación

Estudios realizados muestran contenidos de ácidos grasos saturados de 15.4%, ácidos grasos insaturados de hasta 42.6% (Montes *et al.* 2011). En las accesiones Cabo Verde e India Salvadoreña de aceite semi-refinado de piñón se encontraron contenidos de ácidos grasos saturados (23.50%, 23.54%) e insaturados (40.65%, 35.36%) respectivamente (Espinal 2012).

#### 4. CONCLUSIONES

- La accesión Bravo × Malí presentó fue significativamente superior a Cabo Verde en rendimiento de almendras.
- Las accesiones 111, Arturo Araujo, Mexicana no tóxica, Bravo × Malí y Criolla Salvadoreña fueron iguales a Cabo Verde en contenido lipídico y superiores a las demás, considerándose las de mejor potencial para la producción de biodiesel.
- Bravo × Malí y Puebla fueron significativamente superiores a Cabo Verde en contenidos proteicos, siendo las mejores accesiones como fuente de proteína para implementarse en la dieta animal.
- 111, Arturo Araujo y Mexicana “no tóxica” son potencialmente menos estables a la oxidación por su alto contenido de ácidos grasos insaturados, mientras que Bravo × Malí fue más estable, dando como resultado un número de cetanos mayor.

## 5. RECOMENDACIONES

- Caracterizar las semillas de las restantes 100 accesiones de *Jatropha curcas* existentes en el banco de germoplasma de la Escuela Agrícola Panamericana, para conocer si existen considerables diferencias con ellas.
- Realizar este estudio tomando en cuenta las fechas de producción de *Jatropha curcas* y así tener uniformidad del estado de maduración de las semillas.
- Elaborar biodiesel a partir de las accesiones caracterizadas, para conocer el de mejor calidad.
- Realizar estudios de composición de la torta semi-desgrasada a escala de planta piloto de las ocho accesiones para su potencial de procesamiento.
- Evaluar los efectos de la implementación de la torta desgrasada de *Jatropha curcas* en la dieta de los animales, esto sería una vez realizado el análisis a la torta semi-desgrasada.

## 6. LITERATURA CITADA

Akbar, E., Z. Yaakob, S.K. Kamarudin, M. Ismail y J. Salimon. 2009. Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock. *European Journal of Scientific Research*. 29(3): 396-403.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists, United State of America)

AOCS (American Oil Chemists Society, United State of America)

Basha, S.D., G. Francis, H.P.S. Makkar, K. Becker y M. Sujatha. 2009. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. *Plant Science* 176: 812-823.

Cayón, G. 1996. Ecofisiología de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). En: Primer Curso Internacional de Palma de Aceite. Memorias. Cenipalma, Bogotá. p. 38-54.

Duke, J.A. y A.A. Atchley. 1983. Proximate analysis. In: Christie, B.R. (ed.). *The handbook of plant science in agriculture*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

Durán Ocampo, A. 1995. La palma aceitera africana, un recurso de alto potencial para la producción animal en el trópico. In Chupín, D. *Better feed for animals: more Food for people-Meilleure alimentation animale: plus de nourriture pour l'homme – Con mejores piensos, más alimentos para la población – 82 – 1995/1*.

Emil, A., Z. Yaakob, M.N. Satheesh Kumar, J.M. Jahim y J. Salimon. 2010. Comparative Evaluation of Physicochemical Properties of *Jatropha* seed oil from Malaysia, Indonesia and Thailand. *Journal American Oil Chemical Society*. 87:689-695.

Espinal Méndez, A.F 2012. Composición de la semilla y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*). Tesis Ing. Agroindustrial., Zamorano. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 28 p.

Flores Sanafria, J.C y C.J. Cruz Méndez. 2010. Evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de dos variedades de piñón (*Jatropha curcas* L.) antes y después de un tratamiento de detoxificación. Tesis Ing. Agroindustrial., Zamorano. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana 35 p.



- Haas, W., H. Sterk y M. Mittelbach. 2002. Novel 12-Deoxy-16-hydroxyphorbol diesters isolated from the seed oil of *Jatropha curcas*. *Journal of Natural Products*, 65, 1434-1440.
- Inekwe, U.V., M.O. Odey, B. Gauje, A.M. Dakare, C.D. Ugwumma y E.S. Adegbe. 2012. Fatty acid composition and physicochemical properties of *Jatropha curcas* oils from Edo and Kaduna states of Nigeria and India Scholars Research Library. 3(10): 4860-4864.
- Makkar, H.P.S., K. Becker y B. Schmook. 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 for Human Nutrition* 52: 31-36.
- Makkar, H., y K. Becker 2009. *Jatropha curcas*, A promising crop for the generation for biodiesel and value-added co-products. *European Journal of Lipid Science and Technology* 111: 773-787.
- Martinez-Herrera, J., P. Siddhuraju, G. Francis, G. Dávila-Ortiz y K. Becker. 2005. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico *Food Chemistry* 96:80-89.
- Montes, J.M., J. Rodriguez Aliciardi, J. Vaca Chavez, C. Guzmán y E. Calandri. 2011. Characterization of *Jatropha curcas* L. seed and its oil, from Argentina and Paraguay. *The Journal of the Argentine Chemical Society* 98: 1-9.
- Nzikou, J.M., L. Matos, F. Mbemba, C.B. Ndangui, N.P.G. Pambou-tobi, A. Kimbonguilla, Th. Silou, M. Linder y S. Desobry. 2009. Characteristics and Composition of *Jatropha curcas* Oils, Variety Congo-Brazzaville. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 1(3): 154-159.
- Openshaw, K. 2000. A Review of *Jatropha curcas* L.: An Oil Plant of Unfulfilled Promise. *Biomass Bioenergy* 19: 1-15
- Oskoueian, E., Abdullah, N. y Ahmad, S. 2012. International Journal of Molecular Sciences Phorbol Esters Isolated from *Jatropha* Meal Induced Apoptosis-Mediated Inhibition in Proliferation of Chang and Vero Cell Lines 13 (11): 13816-13829
- Oyuela Sandino, D., E. Hernández, S. Samayoa, C. Bueso y O. Ponce. 2012. Guía técnica – ambiental para el cultivo de la *Jatropha curcas* (piñón). Tegucigalpa, Honduras. Editorial Comunica. 90 p.
- Peralta Flores, M.E.L. 2004. Caracterización bioquímica de las proteínas de la semilla de *Jatropha curcas*, L. Tesis Maestría en Ciencias en Desarrollo de productos Bióticos., Yautepec, México, Instituto Politécnico Nacional Centro de Desarrollo de productos Bióticos. 72p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Resumen de ANDEVA y análisis de medidas repetidas en el tiempo para los componentes proximales de las accesiones.

<b>Componentes</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P &gt; F</b>	<b>%CV</b>
Humedad	7	20.66	32.88	< 0.01	6.39
Tiempo	2	559.61	890.57	< 0.01	6.39
variedad*tiempo	14	27.05	43.05	< 0.01	6.39
Lípidos	7	59.94	13.22	< 0.01	4.18
Tiempo	2	218.76	48.26	< 0.01	4.18
variedad*tiempo	14	37.49	8.27	< 0.01	4.18
Proteína	7	50.33	21.06	< 0.01	4.79
Tiempo	2	176.26	73.75	< 0.01	4.79
variedad*tiempo	14	29.60	12.39	< 0.01	4.79

GL= grados de libertad

CM= cuadrado medio

F= valor F

P= probabilidad

%CV= Coeficiente de variación.

Anexo 2. Resumen de ANDEVA y análisis de medidas repetidas en el tiempo para los ácidos grasos de las accesiones.

Ácidos grasos	GL	CM	F	P > F	%CV
Saturados	7	042.24	46.76	< 0.01	8.02
Tiempo	2	024.32	26.92	< 0.01	8.02
variedad*tiempo	14	007.13	07.90	< 0.01	8.02
Insaturados	7	036.41	04.11	< 0.01	7.54
Tiempo	2	120.75	13.63	< 0.01	7.54
variedad*tiempo	14	033.47	03.78	< 0.01	7.54

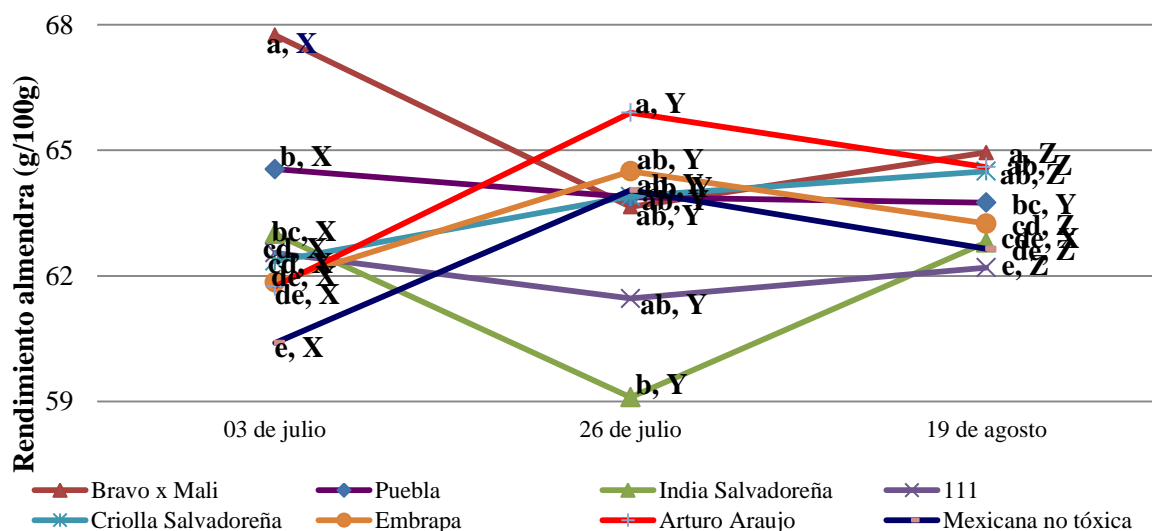
GL= grados de libertad

CM= cuadrado medio

F= valor F

P= probabilidad

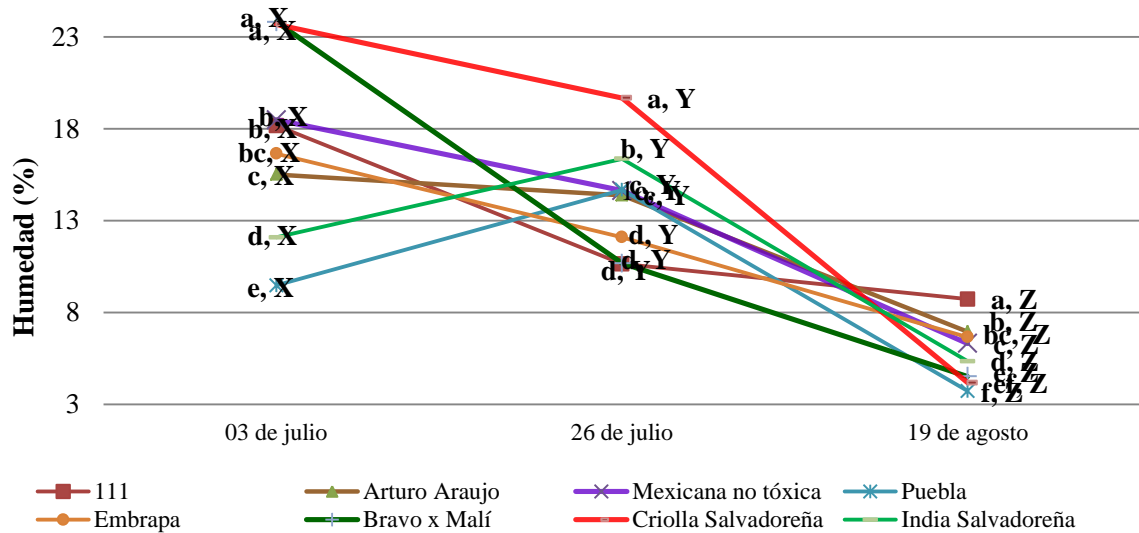
%CV= Coeficiente de variación.



Anexo 3. Rendimiento en gramos de las semillas (almendra) de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

abcde: Letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con (P<0.05)

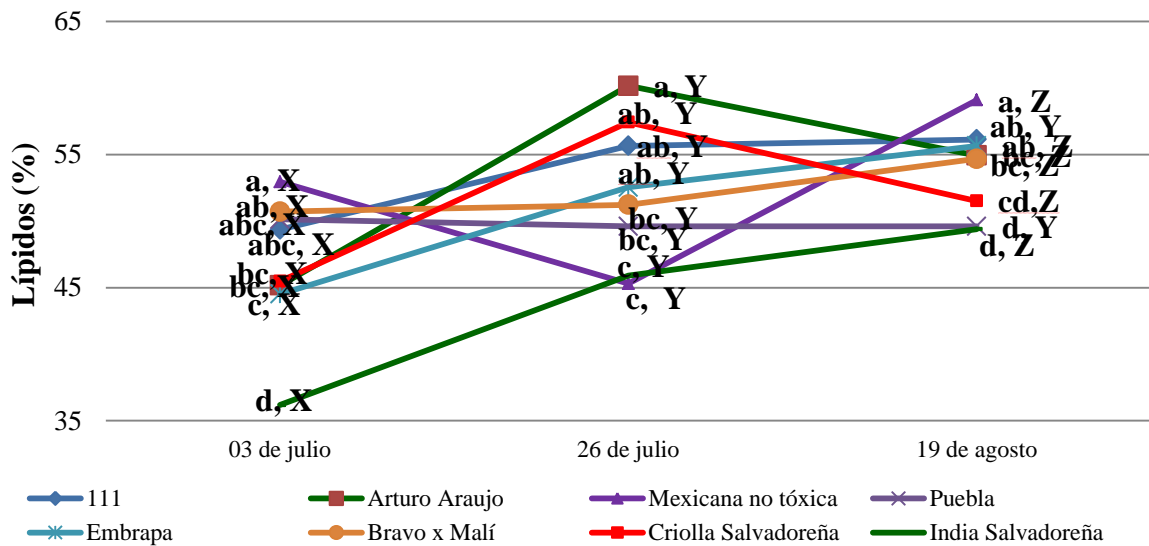
XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



Anexo 4. Variación de humedad (almendra) de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

abcde: Letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con (P<0.05)

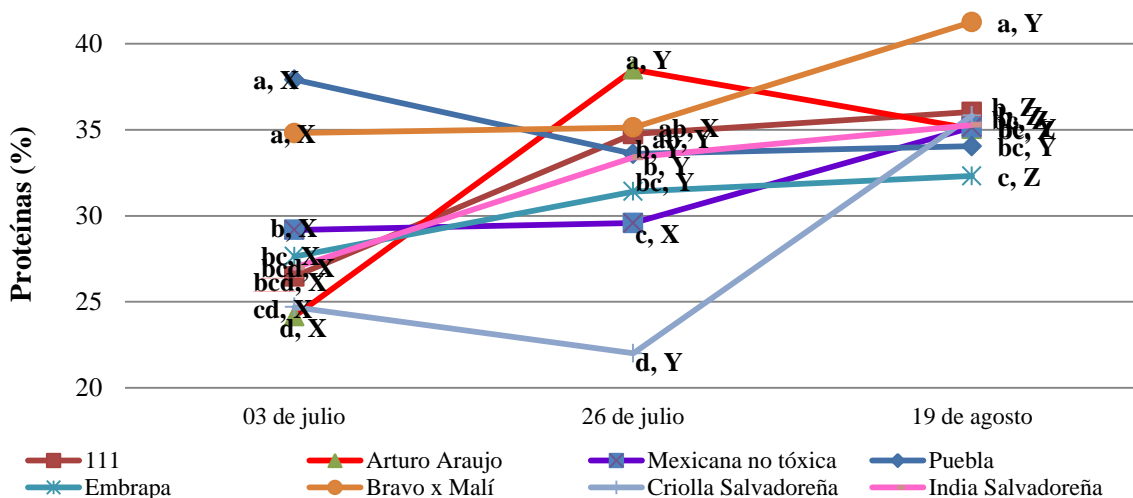
XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



Anexo 5. Comportamiento de lípidos (almendra) en base seca de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

abcde: Letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con (P<0.05)

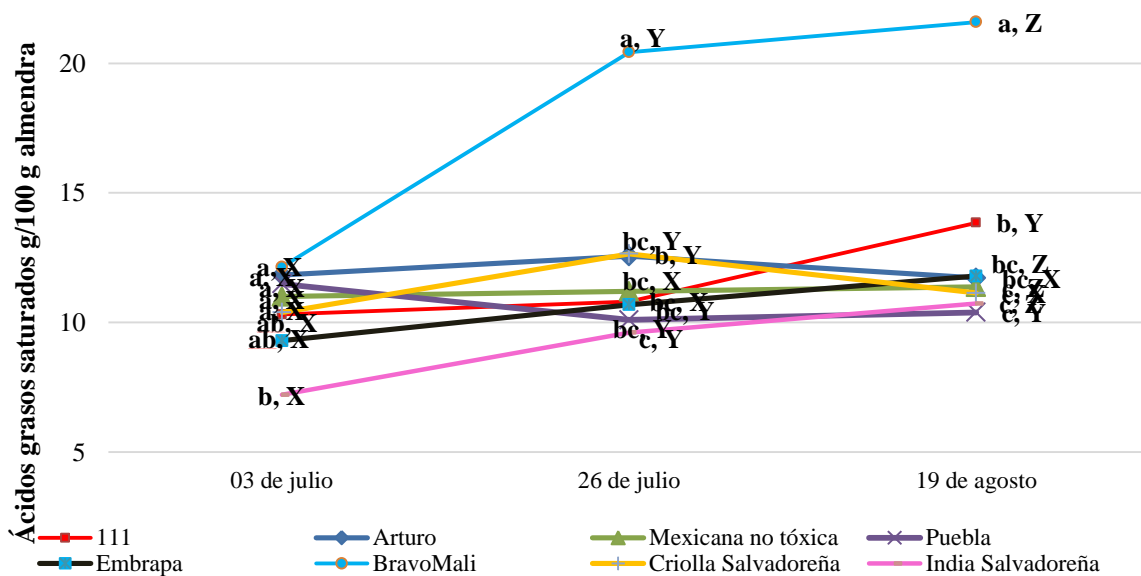
XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



Anexo 6. Comportamiento de proteínas (almendra) en base seca de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

abcde: Letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con (P<0.05)

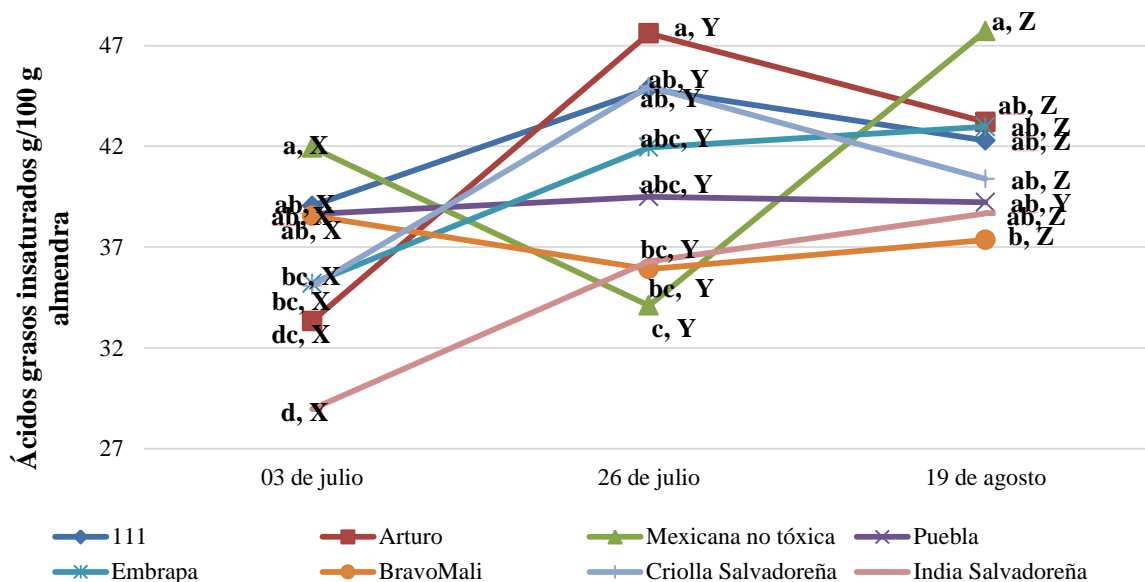
XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



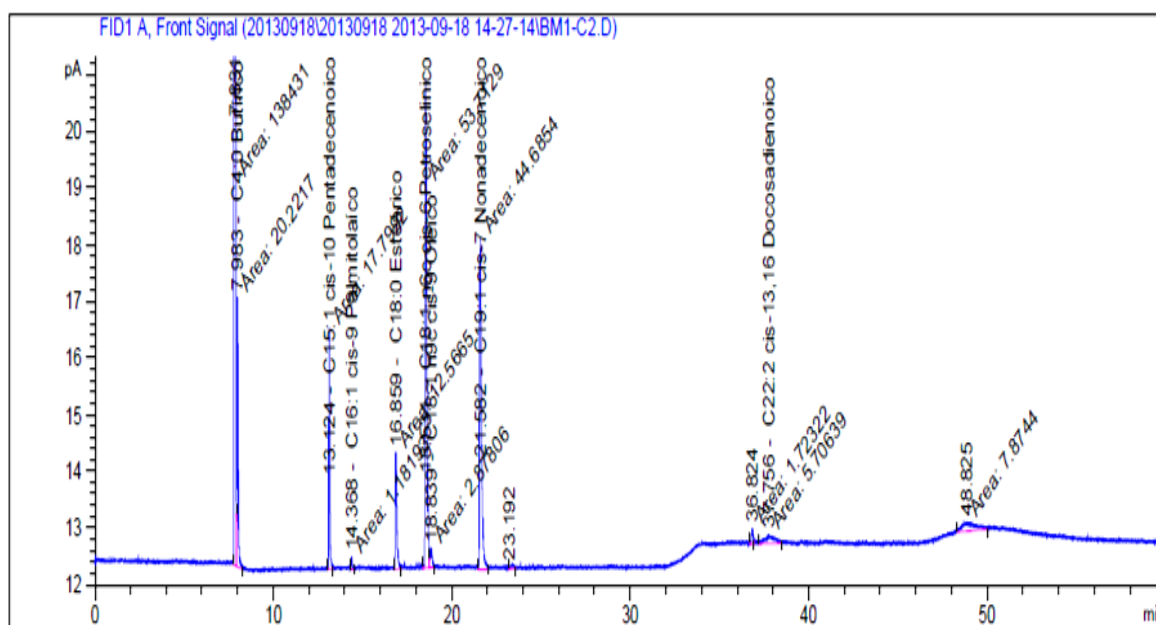
Anexo 7. Comparación de ácidos grasos saturados del total de la grasa de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha.

abcde: letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con (P<0.05)

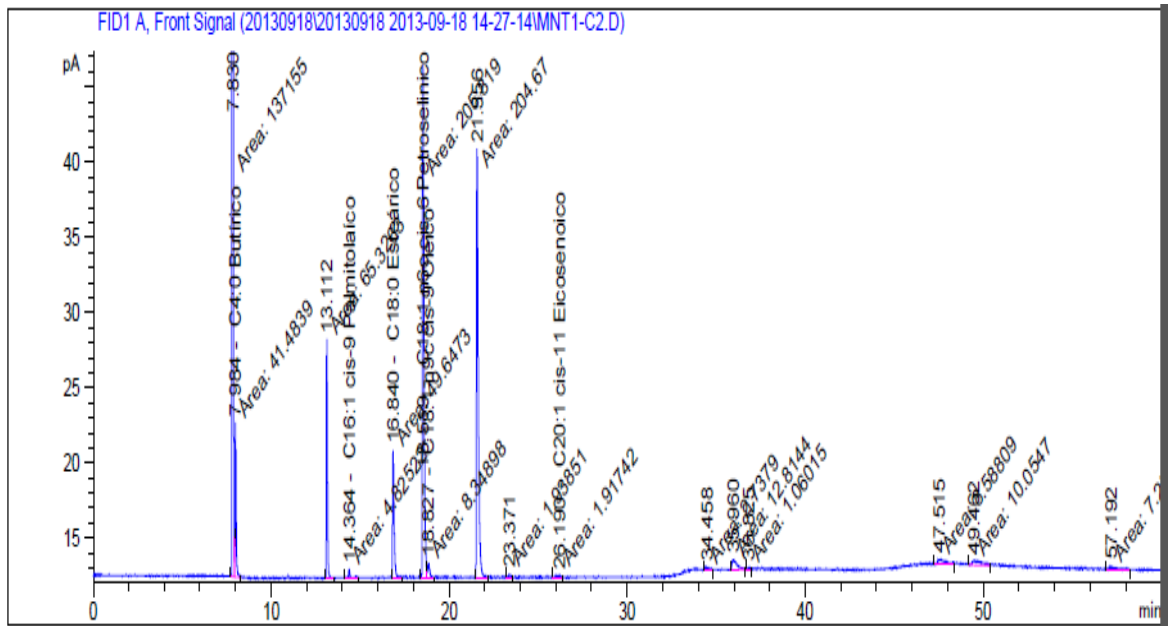
XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



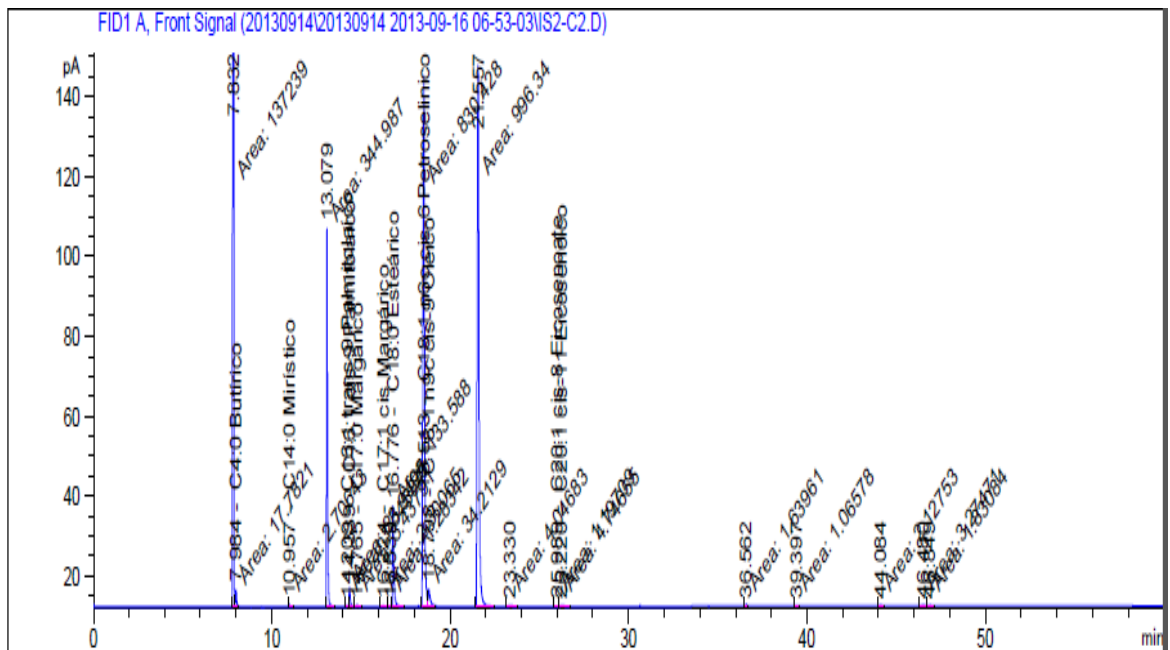
Anexo 8. Comparación de ácidos grasos insaturados del total de la grasa de ocho accesiones de *Jatropha curcas* en función de la fecha de cosecha. abcde: letras diferentes en forma vertical, indican diferencias con ( $P < 0.05$ ) XYZ: Letras diferentes en forma horizontal, indican diferencias a través del tiempo en misma accesión.



Anexo 9. Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión Bravo x Malí.



Anexo 10. Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión Mexicana “no tóxica”



Anexo 11. Cromatograma de perfil de ácidos grasos de la accesión India Salvadoreña.

Anexo 12. Comparación de perfil de ácidos grasos (g/100 g de almendra) de *Jatropha curcas*.

Abreviatura numérica	Ácidos grasos	Proporción de ácidos grasos (g /100 g de almendra)				
		Cabo Verde	111	Arturo Araujo	Mexicana "no tóxica"	Puebla
	<b>TOTAL GRASA SATURADA</b>	<b>21.4</b>	<b>22.2</b>	<b>22.8</b>	<b>21.6</b>	<b>21.6</b>
04:0	Butanoico (Butírico)	0.7	2.3	3.1	2.2	2.3
05:0	Pentanoico (Valérico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14:0	Tetradecanoico (Mirístico)	0.1	0.5	0.1	0.2	0.3
15:0	Pentadecanoico (Pentadecílico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16:0	Hexadecanoico (Palmítico)	14.1	13.4	13.5	11.7	11.7
17:0	Heptadecanoico (Margárico)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
18:0	Octadecanoico (Esteárico)	6.2	5.4	5.8	7.2	7.0
20:0	Eicosanoico (Araquídico)	0.2	0.5	0.2	0.3	0.2
22:0	Docosanoico (Behénico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24:0	Tetracosanoico (Lignocérico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOTAL GRASA MONOINSATURADA</b>	<b>40.5</b>	<b>34.3</b>	<b>38.6</b>	<b>36.7</b>	<b>34.6</b>
16:1 cis-9	Hexadecenoico (Palmitoleico)	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6
17:1 cis-10	Heptadecenoico (Margárico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:1n9c cis-9	Octadecenoico (Oleico)	38.0	31.8	36.3	34.6	32.8
18:1 cic-11	Octadecenoico (Vaccénico)	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2
19:1 cis-7	Nonadecenoico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:1 cis-5	Eicosenoico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:1 cis-8	Eicosenoico	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
20:1 cis-11	Eicosenoico (Gadoléico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:1 cis-13	Docosenoico (Erúico)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOTAL GRASA POLIINSATURADA</b>	<b>38.1</b>	<b>43.5</b>	<b>38.6</b>	<b>41.7</b>	<b>43.8</b>
18:2n6 cis-9,12	Octadecadienoico (linoleico)	37.8	43.4	38.3	41.3	43.6
18:3n6 cis 6,9,12	Octadecatrienoico ( $\gamma$ -linolénico)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
18:3n3 cis 9,12,15	Octadecatrienoico (Linolénico)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0
20:2 cis-11,14	Eicosadienoico	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
22:2 cis-13,16	Docosadienoico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:5 cis-7,10,13,16,19	Docosapentaenoico (DPA)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOTAL GRASA TRANS</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>



Anexo 13. Comparación de perfil de ácidos grasos (g/100 g de almendra) de *Jatropha curcas*.

Abreviatura numérica	Ácidos grasos	Proporción de ácidos grasos (g /100 g de almendra)			
		Embrapa	Bravo × Malí	Criolla Salvadoreña	India Salvadoreña
	<b>TOTAL GRASA SATURADA</b>	<b>20.8</b>	<b>27.6</b>	<b>22.2</b>	<b>20.9</b>
04:0	Butanoico (Butírico)	0.7	5.6	1.0	0.9
05:0	Pentanoico (Valérico)	0.0	0.1	0.0	0.0
14:0	Tetradecanoico (Mirístico)	0.2	0.0	0.1	0.1
15:0	Pentadecanoico (Pentadecílico)	0.0	0.0	0.0	0.0
16:0	Hexadecanoico (Palmítico)	13.9	14.2	14.8	14.1
17:0	Heptadecanoico (Margarico)	0.1	0.1	0.1	0.1
18:0	Octadecanoico (Esteárico)	5.7	7.2	5.9	5.4
20:0	Eicosanoico (Araquídico)	0.2	0.5	0.1	0.2
22:0	Docosanoico (Behénico)	0.0	0.0	0.0	0.0
	Tetracosanoico (Lignocérico)	0.0	0.0	0.0	0.0
24:0	<b>TOTAL GRASA MONOINSATURADA</b>	<b>39.3</b>	<b>37.9</b>	<b>32.7</b>	<b>36.5</b>
16:1 cis-9	Hexadecenoico (Palmitoleico)	0.9	0.9	1.0	0.9
17:1 cis-10	Heptadecenoico (Margarico)	0.1	0.0	0.0	0.1
18:1n9c cis-9	Octadecenoico (Oleico)	36.8	35.3	30.1	33.9
18:1 cis-11	Octadecenoico (Vaccénico)	1.6	1.7	1.5	1.5
19:1 cis-7	Nonadecenoico	0.0	0.0	0.0	0.0
20:1 cis-11	Eicosenoico (Gadoléico)	0.0	0.0	0.0	0.0
22:1 cis-13	Docosenoico (Erúico)	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOTAL GRASA POLIINSATURADA</b>	<b>39.9</b>	<b>34.5</b>	<b>45.1</b>	<b>42.6</b>
18:2n6 cis-9,12	Octadecadienoico (linoleico)	39.6	33.5	45.0	42.4
18:3n6 cis 6,9,12	Octadecatrienoico ( $\gamma$ -linolénico)	0.0	0.5	0.1	0.2
18:3n3 cis 9,12,15	Octadecatrienoico (Linolénico)	0.2	0.6	0.1	0.0
20:2 cis-11,14	Eicosadienoico	0.0	0.0	0.0	0.0
22:2 cis-13,16	Docosadienoico	0.1	0.0	0.0	0.0
22:5 cis-7,10,13,16,19	Docosapentaenoico (DPA)	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOTAL GRASA TRANS</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>