

**Composición de la semilla y evaluación de la  
calidad del aceite y torta desgrasada de tres  
variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

**Ángel Fernando Espinal Méndez**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2012

ZAMORANO  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Composición de la semilla y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

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

Presentado por:

**Ángel Fernando Espinal Méndez**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2012

# **Composición de la semilla y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

Presentado por:

Ángel Fernando Espinal Méndez

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

## RESUMEN

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*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 28 p.

El aceite obtenido de la semilla de piñón (*Jatropha curcas*) se usa para la elaboración de biodiesel. La torta desgrasada es el subproducto obtenido de la extracción del aceite. Tiene un alto valor nutricional, que pudiera ser aprovechado para alimentación animal y humana si es previamente detoxificada. Los objetivos del estudio fueron evaluar componentes nutricionales de la semilla, comparar las características fisicoquímicas de los aceites y comparar la composición nutricional de la torta desgrasada de tres variedades de piñón. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar tres variedades de *Jatropha curcas* (Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña) con tres repeticiones. Se realizó la extracción del aceite y se determinó su calidad comparando características físicas de viscosidad cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), punto de turbidez ( $^{\circ}\text{C}$ ), color (Lab) y características químicas de humedad (%), ácidos grasos libres (%), índice de peróxido ( $\text{meq}/\text{kg}$ ), estabilidad oxidativa (horas), energía bruta ( $\text{cal}/100\text{g}$ ) y perfil de ácidos grasos. Se realizó análisis a la torta desgrasada de humedad (%), lípidos (%) y proteína cruda (%). Los resultados se analizaron mediante un ANDEVA y una prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). La semilla entera Cabo Verde fue significativamente superior en el contenido de lípidos. El aceite Hindú Salvadoreña presentó las mejores características físicas y químicas de humedad, ácidos grasos libres, energía bruta y punto de turbidez respectivamente. La proteína de la torta de Hindú Salvadoreña fue significativamente superior a las variedades Cabo Verde y Criolla Mexicana. Se recomienda caracterizar los genotipos de la colección de la Escuela Agrícola Panamericana.

**Palabras clave:** Cabo verde, criolla mexicana, hindú salvadoreña, perfil de ácidos grasos, rendimiento.

## 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>3</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>5 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>20</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>23</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

	Cuadros	Página
1.	Norma de calidad para aceites vegetales DIN V 51605. ....	2
2.	Métodos y equipos utilizados en los análisis de composición nutricional de torta desgrasada de <i>Jatropha curcas</i> . ....	9
3.	Contenido nutricional de la semilla entera de variedades de <i>Jatropha curcas</i> . ....	10
4.	Rendimiento de la extracción de aceite de piñón método de prensa sin fin. ....	12
5.	Propiedades químicas de los aceites semi-refinados de <i>Jatropha curcas</i> . ....	13
6.	Oxidación de los aceites semi-refinados de <i>Jatropha curcas</i> . ....	13
7.	Propiedades físicas de los aceites semi-refinados de <i>Jatropha curcas</i> . ....	14
8.	Análisis de color de los aceites semi-refinados de <i>Jatropha curcas</i> . ....	15
9.	Comparación de perfil de ácidos grasos de aceite semi-refinado de piñón. ....	16
10.	Contenido nutricional de torta desgrasada de variedades de <i>Jatropha curcas</i> . ....	17
	Figura	Página
1.	Flujo de Proceso del estudio de la composición nutricional de la semilla entera y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón ( <i>Jatropha curcas</i> ). ....	6
	Anexos	Página
1.	Efecto de componentes nutricionales de la semilla entera por variedad. ....	23
2.	Efecto de características fisicoquímicas de los aceites de las tres variedades de <i>Jatropha curcas</i> . ....	23
3.	Efecto de componentes nutricionales de torta desgrasada por variedad. ....	24
4.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos para variedad Cabo verde. ....	24
5.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos para variedad Criolla Mexicana. ...	25
6.	Cromatograma de perfil de ácidos grasos variedad Hindú Salvadoreña. ....	25
7.	Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Cabo Verde. ....	26
8.	Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Criolla Mexicana. ....	26

9.	Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Hindú Salvadoreña. ....	27
10.	Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Cabo Verde. ....	27
11.	Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Criolla Mexicana. ....	28
12.	Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Hindú Salvadoreña. ....	28
13.	Flujograma de refinado. ....	29

## 1. INTRODUCCIÓN

En general las semillas del cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) de acuerdo a su variabilidad genética presentan diferencias en el contenido de lípidos entre genotipos. Heller (1996) reportó contenido de lípidos de diez variedades de *Jatropha curcas* de diferentes zonas con rango de 28% a 42%. Ovando *et al.* (2011) investigaron el contenido de lípidos de variedades originarias de la zona costera de México con resultados de 12% a 44% concluyendo que la variabilidad genética y la zona climática tienen un efecto significativo en las características morfológicas entre materiales de *Jatropha curcas*.

Existen genotipos de *Jatropha curcas* disponibles en México, tóxicos y no tóxicos. Las semillas del genotipo no tóxico pueden ser consumidas por los seres humanos. Makkar *et al.* (1998) compararon el contenido tóxico de cuatro materiales de *Jatropha curcas* obteniendo resultados en concentración de ésteres de forbol de 2.70 mg/g para la variedad Cabo Verde, 2.17 mg/g para la variedad Nicaragua, 2.30 mg/g para la variedad Nigeria y 0.11 mg/g para la variedad de México. Según Wink *et al.* (1997), la toxicidad de las semillas puede ser causada por componentes que incluyen lectinas, fitatos, inhibidores de la proteasa, ácido curcalónico y ésteres de forbol. Sosa (2012) cuantificó el contenido de ésteres de forbol en tres variedades de *Jatropha curcas*. El contenido de ésteres de forbol para la variedad Cabo Verde fue de 2.57 mg/g de semilla entera, Criolla Mexicana 0.60 mg/g de semilla entera y para la variedad Hindú Salvadoreña de 0.89 mg/g de semilla entera.

Según Sudradjat (2005), la extracción del aceite se realiza con diferentes equipos y métodos. Entre los más comunes está la extracción mecánica (fuerza de presión y tornillo sin fin) para ello se realizó un tratamiento de calor 60°C; el rendimiento de este proceso fue de 47.2% (47.2 g de aceite/100 g de semilla entera). Por otro lado, se realizaron pruebas de extracción con solventes químicos como: éter de petróleo a 40-60°C donde los rendimientos fueron de 46 a 48%. Su *et al.* (2007) compararon rendimientos de extracción con diferentes solventes como: n-hexano obteniendo rendimientos de 55%, acetato de metilo de 56% y acetato de etilo de 57%.

La norma del Instituto de Estandarización Alemán DIN V 51605 (Cuadro 1) establece parámetros fisicoquímicos para la evaluación de la calidad de aceites vegetales para elaboración de combustibles de segunda generación como: aceite de colza, aceite de germen de maíz, aceite de girasol, aceite de camelina y aceite de *Jatropha curcas*.



Cuadro 1. Norma de calidad para aceites vegetales DIN V 51605.

Parámetro	Límites	Unidades
Humedad	Max. 0.075	%
Ácidos grasos libres	Max. 2.0	Mg KOH/g
Índice de yodo	95-125	g yodo/100g
Índice de cetano	Min. 39	-
Densidad (15°C)	900-930	Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática (40°C)	Max. 36	mm <sup>2</sup> /s
Estabilidad oxidativa	Min. 6	Horas
Energía bruta	Min. 860	cal/100g

Fuente: Second generation vegetable oil fuels (2011).

El subproducto de la extracción de la semilla es su torta, pero la torta de esta semilla en específico posee nutrientes importantes como la proteína. Flores y Cruz (2010) determinaron el contenido de proteína de la torta desgrasada en dos materiales de *Jatropha curcas* para la variedad Cabo Verde fue de 32.5% y para la variedad Hindú Salvadoreña de 35.7%.

El presente estudio se enfocó en caracterizar la semilla entera, evaluar la calidad del aceite para la producción de biodiesel y comparar las tortas desgrasadas de tres variedades de *Jatropha curcas*; como respuesta a la falta de conocimiento que se tiene sobre las diferencias entre semillas, calidad del aceite y composición de las tortas desgrasadas. La torta desgrasada de *Jatropha curcas* podría representar una alternativa de alimentación animal en países de Centro América donde se encuentran sembrando el cultivo con el impulso de organizaciones nacionales e internacionales.

Se establecieron como objetivos del estudio:

- Comparar la composición nutricional (% de grasa, % humedad y % de proteína) de la semilla entera de tres variedades de *Jatropha curcas*: Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña.
- Evaluar las características físicas y químicas de la calidad del aceite de las tres variedades de *Jatropha curcas*.
- Comparar los parámetros de la calidad de los aceites de las tres variedades de *Jatropha curcas* contra la norma DIN V 51605.
- Comparar la composición nutricional (% de grasa, % de humedad y % de proteína) de la torta semi-desgrasada de tres variedades de *Jatropha curcas*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

- Semillas de piñón de las variedades: Cabo Verde (cosecha 2011 Francisco Morazán, Honduras), Criolla Mexicana (cosecha 2011 San Salvador, El Salvador) e Hindú Salvadoreña (cosecha 2009 AGROIPSA Choluteca, Honduras)
- Ácido cítrico monohidratado ( 98%) grado reactivo, Sigma Aldrich® V07620
- Metanol (99%) Grado HPLC, Sigma Aldrich ®. M1775
- Alcohol etílico (95%) grado reactivo. Fisher® A407-4
- Hidróxido de sodio ACS, (>97%) Grado reactivo pellets, Merck® S318-10
- Fenolftaleína. Grado reactivo, J.T. Baker® 2870-4
- Ácido Acético ACS, (95%) Grado reactivo, Merck® 1000632500
- Isoctano ACS Merck® 1.04727.2500
- Yoduro de potasio (99%) Grado reactivo, Sigma Aldrich® 207969
- Tiosulfato de Sodio pentahidratado (99%) Grado reactivo, Sigma Aldrich® 217263
- Sulfato de sodio ACS (>99%) Grado reactivo, Merck® 1.06649.1000
- Sodio dodecil sulfato (SDS) (98%) Grado reactivo, Sigma Aldrich®L-4509
- Ácido Sulfúrico (93%) Grado reactivo, J. T. Baker® 9694-03
- Rojo de metilo, grado reactivo J.T. Baker® 2696-00
- Ácido Bórico ACS (1-4%) Grado reactivo, Fisher® S9763
- Lisina (99.9%) Grado reactivo, Sigma Aldrich® L-5626
- Benzina de petróleo, Merck®
- Celite 545, Solvente, Merck® K11072593
- Éter de petróleo ACS, Sigma Aldrich® 184519
- Estándares componente FAME (GLC-463) Supelco® 47885-U
- Gas aire, nitrógeno e hidrógeno.

### Maquinaria y equipo

- Prensa sin fin modelo KEK-P0101, KEK Egon Keller, 2008
- Pre-limpiadora de aire y zaranda modelo PG 3000, Superbrix®
- Centrífuga IEC modelo K, 115 volts, 7 amps, 60 Hz, ¾ hp
- Karl Fisher, 787 Titrino, Metrohm
- Reómetro Brookfield LVD-III Ultra
- Baño de temperatura, Brookfield, TC-501
- Cromatógrafo de gases, Agilent
- Generador de Hidrógeno, Parker

- Unidad de digestión Kjelttec Tecator, Foss
- Unidad de destilación Kjelttec, 8200
- Soxtec 2050, unidad de extracción
- Agitador vortex modelo 231. Fisher Scientific
- Horno de aire forzado a 105°C, Fisher Scientific
- Balanza analítica Ohaus (0.1 mg de resolución)
- Hornilla, Fisher Scientific
- Rancimat modelo 873 Metrohm®
- ColorFlex, Hunterlab®
- Bureta 50 mL Pyrex®
- Beaker 250 mL Pyrex®
- Beaker 600 mL Kimax® kimble No. 14020
- Beaker 1000 mL Pyrex® No. 1003
- Probeta de plástico 50 mL
- Pipeta 1-2 mL Kimax®
- Pipeta 10-20 mL Kimax®
- Jeringas 10-3 mL
- Algodón
- Dedales de celulosa
- Coladores de plástico
- baldes de plástico de 5 galones.

**Metodología.** Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. Los tratamientos del estudio fueron las tres variedades de *Jatropha curcas* (Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña).

**Semillas de piñón (*Jatropha curcas*).** La semilla de la variedad Criolla Mexicana fue cosechada en el año 2011 en San Salvador, El Salvador. La semilla de la variedad Hindú Salvadoreña fue cosechada en el año 2009 se obtuvo en AGROIPSA Choluteca, Honduras. La variedad Cabo Verde se adquirió a través del proyecto Syngenta de *Jatropha curcas* de la Escuela Agrícola Panamericana ubicada en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. Las semillas de las tres variedades de *Jatropha curcas* fueron sometidas a un proceso de limpieza mediante la maquina pre-limpiadora de aire y zarandas de la planta de granos y semillas de la Escuela Agrícola Panamericana. La clasificación se realizó mediante evaluación visual utilizando como parámetros: peso, daño por insectos y enfermedades.

**Análisis de composición nutricional (semilla).** Se realizaron análisis para determinar la composición nutricional de la semilla entera de las variedades de piñón (*Jatropha curcas*). Los análisis se describen a continuación:

**Determinación de humedad AOAC 952.08.** Los resultados de humedad se determinaron en porcentaje de humedad. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Determinación de proteína Kjeltex AOAC 2001.11.** Los resultados se reportaron como porcentaje de proteína cruda. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Determinación de grasa Soxhlet AOAC 991.36** Los resultados del análisis se expresaron en porcentaje de contenido de grasa cruda. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Extracción de aceite.** El proceso de extracción de aceite crudo se realizó mediante la presión de la semilla en frío, por medio de una prensa sin fin (KEK-Egon Keller 3 hp) propiedad de la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) y su programa de energías renovables y eficiencia energética en Centroamérica.

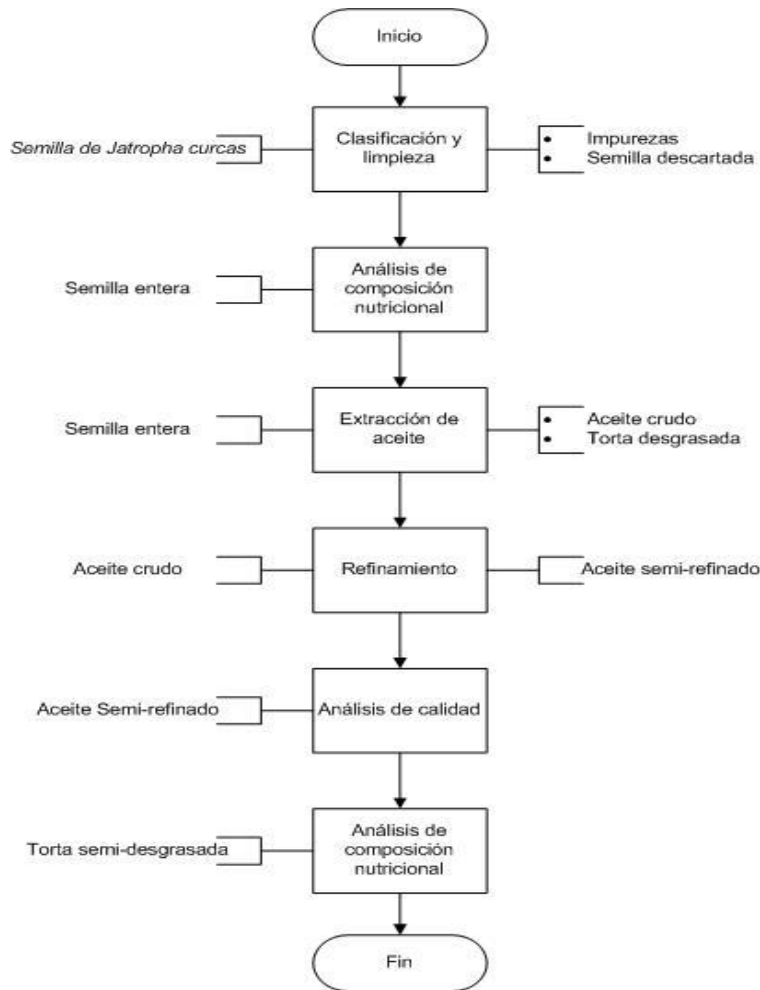


Figura 1. Flujo de Proceso del estudio de la composición nutricional de la semilla entera y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*).

**Desgomado de aceite.** Para el procedimiento del desgomado se utilizaron las metodologías descritas por Haas y Mittelbach (2000), Gibon *et al* (2007) y Krishna y Dahyabhai (2011). Se inició pesando y calentando el aceite a 80°C, luego se agitó a 400 rpm y posteriormente se agregó una mezcla previamente calentada a 90°C de 0.2% de ácido cítrico y 3% de agua en relación al peso del aceite. Se agitó por 60 minutos en la hornilla y luego se trasladó a la centrifuga para separar las gomas a 2500 rpm por 20 minutos. Al término de este procedimiento se separaron las dos fases: sobrenadante (aceite) y La fase de precipitado (agua y gomas).

**Neutralizado de aceite.** El método de neutralizado se realizó según Gunston *et al* (1993), Wan *et al* (1997) y Mis (2007) donde se describe que se debe hacer el análisis de ácidos grasos libres para conocer los aceites que no cumplen con los requisitos como materia prima para biodiesel según la norma de calidad DIN V 51605 (Max. 2.0 mg KOH/g). El

procedimiento fue el siguiente: se pesó el aceite y se calculó el porcentaje de NaOH a utilizar con la ecuación 2, que utiliza una relación del peso molecular de NaOH (40 g/mol) por el peso molecular del ácido oleico libre (282 g/mol) como indica la ecuación 1 más un exceso de 0.175% (ácido graso oleico es el más usado debido a su presencia para expresar el %AGL en un aceite vegetal). La cantidad de NaOH (solución neutralizante) se diluyó al 10% en agua destilada y se mezcló el aceite y la solución a temperatura ambiente durante 20 minutos agitándola a 400 rpm. Luego se colocó en la centrífuga a 2500 rpm por 20 minutos hasta que se separaran las dos fases: sobrenadante (aceite) y fase inferior (jabón). Se desechó el jabón y se lavó el aceite con agua destilada a 80°C, usando 1/3 del peso del aceite como agua por cada lavado. Se repitió este paso hasta que el agua residual fuese transparente.

$$\text{Relación molar NaOH} - \text{A.G. Oleico} = \frac{40}{282} = 0.142 \quad [1]$$

$$\% \text{ de NaOH} = \% \text{ de AGL} \times 0.142 + 0.175 \quad [2]$$

**Análisis de calidad del aceite.** Para determinar la calidad de los aceites luego de la extracción (aceite crudo) y el aceite semi-refinado se realizaron análisis por duplicado para cada variedad. Los análisis realizados se describen a continuación:

**Determinación de humedad AOCS Ca 2e-84.** El porcentaje de humedad se determinó mediante el método de Karl Fisher, este análisis proporciona la humedad de la muestra líquida expresada en porcentaje. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales. Según la norma de calidad de aceites vegetales DIN V 51605 el porcentaje de humedad máximo permitido es 0.0750 %.

**Ácidos grasos libres AOCS Ca 5a-40.** Se realizó el análisis de ácidos grasos libres al aceite crudo para determinar la necesidad del proceso de neutralizado y al aceite semi-refinado para determinar la calidad como aceite vegetal de acuerdo a la norma DIN V 51605 que establece que un aceite no debe contener más de 2 mg KOH/g de muestra. Los resultados fueron reportados como porcentajes de ácido oleico. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Índice de peróxidos AOCS Cd 8b-90.** El índice de peróxido determinó la oxidación inicial de los aceites semi-refinados de las tres variedades de piñón. Los resultados de este análisis se reportaron como miliequivalentes de peróxidos por kg de aceite. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Estabilidad oxidativa AOCS Cd 12b-92.** Esta prueba expone a oxidación las muestras de aceite con la adición de constante oxígeno y temperatura. Los resultados se reportaron en horas de inducción. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales. La norma DIN V 51605 establece un límite mínimo de 6 horas de inducción para aceite vegetales de calidad.

**Determinación de color.** Los valores de color se determinaron a través del Colorflex Hunter Lab donde L corresponde al grado de claridad u oscuridad de los aceites con rango de 0-100, el valor a se refiere al color verde o rojo (verde=negativo y rojo=positivo) y el valor b al grado de azul o amarillo de los aceites (amarillo=positivo y azul=negativo). Los rangos de valores para a y b van desde 60 hasta -60. Se realizó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Viscosidad cinemática.** El análisis de viscosidad se realizó a una temperatura de 40°C. Los resultados de viscosidad cinemática fueron expresados en mm<sup>2</sup>/s. La norma DIN V 51605 establece un límite máximo de 36 mm<sup>2</sup>/s para aceite vegetal. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Punto de turbidez AOCS Cc6-25.** Se realizó la prueba de punto de turbidez presentando los resultados en grados centígrados, se determinó la temperatura a la cual se forman los cristales en el aceite realizando la prueba a velocidad constante de enfriamiento con sensibilidad de un 1 °C para observar el punto de enturbiamiento del aceite. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Calorimetría.** Los resultados para energía bruta fueron presentados en cal/100 g de aceite. Generalmente los lípidos aportan 9 calorías por cada gramo, y los aceites vegetales tienen un bajo aporte energético en comparación con aceite de otras fuentes (animales). El análisis se realizó por multiplicación de los lípidos por el aporte diario de calorías. El valor mínimo permitido por la norma DIN V 51605 es de 860 cal/100 g de aceite. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Perfil de ácidos grasos AOCS Ce 2b-11.** El estándar utilizado para la identificación de cada ácido graso fue el GLC-463. La integración del área bajo la curva de los picos nos permite determinar la concentración en porcentaje por ácido graso. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales.

**Análisis de composición nutricional (torta desgrasada).** Se realizó análisis de composición nutricional a la torta desgrasada sub-producto de la extracción del aceite. Se evaluó el análisis por duplicado para las nueve unidades experimentales. Los análisis se enlistan a continuación:

Cuadro 2. Métodos y equipos utilizados en los análisis de composición nutricional de torta desgrasada de *Jatropha curcas*.

Parámetro	Equipo utilizado	Método
Humedad	Horno 105°C	AOAC 952.08
Proteína cruda	Kjeltec	AOAC 2001.11
Grasa cruda	Soxtec	AOAC 991.36

**Análisis estadístico.** Los resultados se analizaron mediante un ANDEVA y utilizando el programa estadístico SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System) versión 9.3. Se realizó la separación de medias por la prueba de Tukey (P<0.05).



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de composición nutricional (semilla).** Se realizó un análisis de composición nutricional de las tres variedades y a través de un análisis de varianza se determinó que las semillas enteras de las variedades de *Jatropha curcas* evaluadas en el estudio (Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña) tuvieron contenidos de proteína cruda y lípidos significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Se comprobó que el contenido de humedad no presentó diferencias significativas entre las tres variedades de *Jatropha curcas*.

Según Akintayo (2004), las semillas de *Jatropha curcas* contienen un porcentaje de proteína de 24.60%, lípidos de 47.25% y humedad de 5.54%. Las tres variedades de piñón mantuvieron rangos similares en contenido de lípidos y proteína. El contenido nutricional de la semilla de *Jatropha curcas* presentó diferencias según la variedad y el lugar donde proviene. Estudios realizados con variedades provenientes de India, Kaduna y Edo por Inekwe (2012) mostraron que las variedades colectadas de esos países tuvieron diferencias estadísticamente significativas con ( $P < 0.05$ ) en los contenidos nutricionales. El porcentaje de proteína cruda para la variedad Edo fue mayor con ( $28.87 \pm 1.24$ ) en comparación a Kaduna ( $24.72 \pm 0.00$ ) e India con ( $21.11 \pm 1.9$ ). Para el porcentaje de lípidos Kaduna fue más alto con ( $37.85 \pm 4.11$ ) luego India ( $32.75 \pm 0.64$ ) y Edo ( $29.95 \pm 0.50$ ). Las variedades Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña fueron superiores en contenido de lípidos en comparación a los datos mostrados por Inekwe (2012).

Cuadro 3. Contenido nutricional de la semilla entera de variedades de *Jatropha curcas*.

Variedad	Humedad %			Lípidos %			Proteínas%		
	Media	$\pm$	<sup>1</sup> D.E.	Media	$\pm$	D.E.	Media	$\pm$	D.E.
Cabo Verde	7.44 <sup>a</sup>	$\pm$	2.6	49.8 <sup>a</sup>	$\pm$	0.8	15.7 <sup>c</sup>	$\pm$	1.1
Criolla Mexicana	7.33 <sup>a</sup>	$\pm$	4.3	48.1 <sup>b</sup>	$\pm$	1.3	20.0 <sup>b</sup>	$\pm$	0.9
Hindú Salvadoreña	7.20 <sup>a</sup>	$\pm$	2.0	43.6 <sup>c</sup>	$\pm$	1.2	20.9 <sup>a</sup>	$\pm$	1.1

<sup>abc</sup>: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas con ( $P < 0.05$ )

<sup>1</sup>DE: Desviación Estándar.

El contenido de lípidos significativamente superior de la semilla de la variedad Cabo Verde benefició el rendimiento de aceite crudo superior en comparación a las variedades Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña. En términos de aceite utilizado comercialmente la variedad Cabo Verde puede presentar una ventaja en conversión a biodiesel mostrando mayores rendimientos con igual cantidad de semilla que las variedades Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña. En el contenido de proteína cruda para las semillas enteras se encontró que la variedad Hindú Salvadoreña fue significativamente superior (20.9%) en

comparación a la variedad Criolla Mexicana (20%) y Cabo Verde (15.7%) (Cuadro 3). Los resultados mostraron que el contenido de proteína cruda de la semilla entera tuvo una relación directa con el contenido final de proteína cruda de la torta desgrasada.

Flores y Cruz (2010) realizaron análisis proximales de piñón de las variedades Cabo Verde e Hindú Salvadoreña, donde determinaron resultados para proteína de Cabo Verde 21.38% y para Hindú Salvadoreña de 20.20%. Para extracto etéreo obtuvieron resultados para la variedad Cabo Verde de 32.83% y para Hindú Salvadoreña de 41.80%. Se pudo observar en comparación al estudio (Flores y Cruz 2010) que la variedad Hindú Salvadoreña presentó menor contenido de proteína; este porcentaje inferior está directamente relacionado por contener mayor porcentaje de lípidos en su composición.

**Extracción de aceite crudo de tres variedades de piñón.** Los resultados de la extracción de las tres variedades de *Jatropha curcas* (Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña) nos muestran los rendimientos obtenidos con la prensa sin fin KEK P0101.

Según Sudradjat (2005), el aceite de piñón es extraído generalmente mediante fuerza de presión hidráulica y tornillo sin fin (extrusor) con un tratamiento térmico previo de 60 °C. El rendimiento del aceite utilizando el procedimiento de prensa hidráulica fue de 47.2% (47.2 kg de aceite/100 kg de semilla) procesando la torta en dos ocasiones.

El porcentaje de aceite extraído de las semillas de *Jatropha curcas* por el método mecánico de prensado en frío fue de 32.22% (32.22 kg de aceite/100 kg de semilla) Jumat y Rozaini (2008). Según Su *et al.* (2007), Los rendimientos fueron bajos en comparación a extracción utilizando solventes químicos respecto a métodos mecánicos como: éter de petróleo con 46% de rendimiento, n-hexano con 55%, acetato de metilo con 56% y acetato de etilo con 57%. La ventaja de la extracción mecánica se debe a que presentó mejor rentabilidad en volúmenes de producción altos.

En la extracción del aceite para las tres variedades de piñón mediante el método de prensa sin fin, no se utilizó un tratamiento térmico previo debido a que la temperatura de las semillas prensadas aumenta por fricción entre la torta y el tornillo sin fin. Los resultados de rendimientos fueron inferiores a los mostrados por Jumat y Rozaini (2008) donde encontró que los rendimientos por métodos mecánicos oscilan en rangos de 30 a 40% de aceite por kg de semilla realizando siempre un tratamiento térmico a la semilla entera antes de su extracción.

La semilla de la variedad Cabo Verde obtuvo mayores rendimientos en prensado con un total de 29% es decir, por cada 100 kg de semilla de Cabo Verde ingresada a la tolva de alimentación de la prensa se obtuvo 29 kg de aceite crudo. Se observó que el contenido de lípidos totales presentes en las semillas enteras de las tres variedades de *Jatropha curcas* tiene una relación directa con los resultados de rendimientos en la extracción del aceite, ya que a mayor contenido de lípidos en la semilla los rendimientos en prensado fueron superiores.

Cuadro 4. Rendimiento de la extracción de aceite de piñón método de prensa sin fin.

Variedad	Peso de semilla (kg)	Rendimiento aceite crudo (%)	Rendimiento aceite refinado (%)
Cabo Verde	20.12	29	23
Criolla Mexicana	40.50	28	21
Hindú Salvadoreña	45.30	27	22

**Análisis de calidad del aceite.** Se realizaron análisis químicos para determinar la calidad de los aceites semi-refinados de piñón de las variedades Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña y a través de un análisis de varianza se determinó que los aceites semi-refinados de las variedades de *Jatropha curcas* evaluadas tuvieron características de humedad, índice de peróxidos, ácidos grasos libres, energía bruta y perfil de ácidos grasos significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). Por otro lado, los aceites semi-refinados de las variedades de *Jatropha curcas* evaluadas no mostraron influencia en parámetros de estabilidad oxidativa y viscosidad cinemática.

Los aceites utilizados comercialmente como materia prima para la producción de biodiesel deben cumplir con estándares que aseguran la calidad y disminuyen los factores que afectan los rendimientos esperados al momento de la transesterificación. Según Jumat y Rozaini (2008) la mayoría de estudios sobre los aceites de piñón son enfocados para determinar la calidad del aceite como materia prima para la producción de biodiesel y solo se realizan análisis químicos tomando parámetros de humedad y ácidos grasos libres.

Los análisis de calidad mostraron que los aceites de las variedades de *Jatropha curcas* (Cabo verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña) cumplieron con los límites de las características químicas propuestas por la norma DIN V 51605. Para humedad de los aceites se observó que hubo diferencias significativas de la variedad Hindú Salvadoreña con un menor porcentaje de humedad siendo para efectos de calidad un resultado positivo; ningún aceite excedió el límite establecido por la norma de calidad (0.0750%). En el análisis de ácidos grasos libres se encontró que todas las variedades fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ) presentando un menor porcentaje de ácidos grasos libres la variedad Hindú Salvadoreña. Sin embargo, todos los aceites cumplieron con el límite máximo de ácidos grasos libres permitido (2%).

Cuadro 5. Propiedades químicas de los aceites semi-refinados de *Jatropha curcas*.

Variedad	Humedad (%)		Ácidos grasos libres (%)		Energía bruta (Cal/100g)	
	Media	$\pm$ <sup>1</sup> D.E.	Media	$\pm$ D.E.	Media	$\pm$ D.E.
Cabo Verde	0.058 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.0012	0.039 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.0012	899 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.03
Criolla Mexicana	0.056 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.0007	0.028 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.0003	899 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.01
Hindú Salvadoreña	0.052 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.0012	0.019 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.0003	900 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.01
Norma DIN V 51605	Máximo 0.08%		Máximo 2%		Mínimo 860	

<sup>abc</sup>: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (p<0.05)

<sup>1</sup>D.E.: Desviación Estándar.

El resultado de energía bruta mostró diferencia significativa para el aceite de la variedad Hindú Salvadoreña; este resultado tiene una relación directa con el porcentaje de humedad de cada aceite. Se obtuvo resultados donde todos los aceites cumplieron con el límite establecido por la norma de calidad. Se encontró que la variedad Hindú Salvadoreña en su composición tuvo un porcentaje menor de humedad en comparación con los aceites de las variedades Cabo Verde y Criolla Mexicana por lo cual contribuyó a tener la mayor energía bruta.

Cuadro 6. Oxidación de los aceites semi-refinados de *Jatropha curcas*.

Variedad	Índice de peróxido (meq/kg)		Estabilidad oxidativa (horas)	
	Media	$\pm$ <sup>1</sup> D.E.	Media	$\pm$ D.E.
Cabo Verde	4.00 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.04	11.7 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.46
Criolla Mexicana	1.96 <sup>c</sup>	$\pm$ 0.08	11.2 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.97
Hindú Salvadoreña	2.73 <sup>b</sup>	$\pm$ 0.23	10.7 <sup>a</sup>	$\pm$ 0.84
Norma DIN V 51605	<sup>2</sup> SL		Mínimo 6	
Codex Stan 19-1981 (Máximo)	15		SL	

<sup>abc</sup>: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (p<0.05)

<sup>1</sup>D.E.= Desviación Estándar.

<sup>2</sup>SL= Sin límite.

Los aceites de las tres variedades de *Jatropha curcas* cumplieron con los estándares establecidos según la norma del Codex para aceites vírgenes, grasas y aceites prensados en frío (CODEX STAN 19-1981) el límite máximo permitido es hasta 15 miliequivalentes de oxígeno activo/kg de aceite. Los aceites de las tres variedades de *Jatropha curcas* según el análisis de índice de peróxido indican que tienen diferentes contenidos de peróxidos o hidroperóxidos producidos en la fase inicial de enranciamiento. El Cuadro 6 mostró que la variedad Cabo Verde tuvo un contenido mayor de índice de peróxidos; lo cual indica que su degradación se manifestará en un menor tiempo, por lo tanto se deberá tener un mayor cuidado y control de agentes oxidantes (luz, humedad y oxígeno) al momento de su procesamiento y almacenamiento. El análisis de estabilidad oxidativa

indicó que no existe diferencias entre la vida de anaquel del aceite de la variedad Cabo Verde (11.7 horas), Criolla Mexicana (11.2 horas) e Hindú Salvadoreña (10.7 horas).

En el estudio realizado por Jumat *et al.* (2011), se comparó características químicas en los aceites de variedades de *Jatropha curcas* seleccionadas de diferentes países (Malasia, Indonesia e India) en dicha investigación se encontró que hubo diferencias entre variedades en el parámetro de ácidos grasos libres. En el estudio se concluyó que la cantidad y calidad de aceite extraída depende de factores como tipos de suelo y zonas geográficas.

Se reportó en el Cuadro 7 las características físicas para las tres variedades de *Jatropha curcas*. Según Asoiro *et al.* (2011), la temperatura tiene un efecto significativo en la viscosidad cinemática de los aceites vegetales con un nivel de confianza de 95%, determinando que una viscosidad cinemática muy alta ( $>41.62 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) indica una baja calidad del aceite vegetal, ocasionando problemas al momento de su conversión a biodiesel, debido a que tendrá dificultades con la capacidad del inyector para alimentar adecuadamente la cámara de combustión del motor. La recomendación para obtener aceites entre los límites permitidos es realizar la extracción del aceite a temperaturas de  $60^\circ\text{C}$ . Los resultados de viscosidad cinemática para los tres aceites de *Jatropha curcas* cumplieron con los límites establecidos por la norma DIN V 51605 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Propiedades físicas de los aceites semi-refinados de *Jatropha curcas*.

Variedad	Viscosidad $40^\circ\text{C}$ ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	Punto de turbidez ( $^\circ\text{C}$ )
	Media $\pm$ <sup>1</sup> DE	Media $\pm$ D.E.
Cabo Verde	31.2 <sup>a</sup> $\pm$ 0.46	2.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.18
Criolla Mexicana	33.1 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	3.05 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10
Hindú Salvadoreña	32.1 <sup>a</sup> $\pm$ 0.60	2.26 <sup>c</sup> $\pm$ 0.16
Noma DIN V 51605 (Máximo)	36 $\text{mm}^2/\text{s}$	<sup>2</sup> SL

<sup>abc</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ )

<sup>1</sup>D.E.= Desviación Estándar.

<sup>2</sup>SL= Sin límite.

El resultado de punto de turbidez indicó que la variedad Criolla Mexicana formó a una mayor temperatura nubes y características de solidificación; por encima de la variedad Cabo Verde e Hindú Salvadoreña. El punto de turbidez está relacionado con el contenido de ácidos grasos saturados de cada aceite (Cuadro 9). Knothe (2005) indica la importancia de conocer el comportamiento a bajas temperaturas de los aceites para la producción de biodiesel, el análisis de punto de turbidez mostró la temperatura a la que el aceite formará cristales de cera e impedirá ser utilizable. El estudio recomendó en países fríos realizar modificaciones en el procesamiento del aceite de *Jatropha curcas* agregando mezcla de aditivos al momento de utilizarlo como sustituto del diesel con el objetivo de reducir aún más el punto de turbidez y evitar problemas de obstrucción en el filtro de aceite.

Los resultados de las propiedades físicas de los aceites de *Jatropha curcas* (Cuadro 7) fueron superiores al estudio realizado por Orkullo *et al.* (2011) donde concluyeron que la Viscosidad cinemática de aceite de *Jatropha curcas* neutralizado fue de (31.5 mm<sup>2</sup>/s±1.16) y un punto de turbidez de (2°C±0.21).

Para el análisis de color el aceite de la variedad Cabo Verde fue estadísticamente superior en el valor de L (58.49) para oscuridad en comparación a los aceites de las variedades Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña. En el valor b el aceite que fue estadísticamente más amarillo fue el de la variedad Cabo Verde en comparación a las variedades Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña.

Cuadro 8. Análisis de color de los aceites semi-refinados de *Jatropha curcas*.

Variedad	Color Lab					
	L		a		b	
	Media	± <sup>1</sup> D.E.	Media	± D.E.	Media	± D.E.
Cabo Verde	58.4 <sup>c</sup>	± 0.0	1.9 <sup>a</sup>	± 0.02	15.6 <sup>a</sup>	± 0.02
Criolla Mexicana	59.5 <sup>b</sup>	± 0.0	2.1 <sup>a</sup>	± 0.05	11.0 <sup>c</sup>	± 0.04
Hindú Salvadoreña	60.4 <sup>a</sup>	± 0.1	2.5 <sup>b</sup>	± 0.1	13.6 <sup>b</sup>	± 0.20

<sup>abc</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas (p<0.05)

<sup>1</sup>D.E.= Desviación Estándar.

Según Akbar *et al.* (2009), la composición de ácidos grasos en el aceite de *Jatropha curcas* está determinada en su mayoría por el ácido oleico, linoléico, palmítico y el esteárico. En el mismo estudio se indicó que los aceites con contenidos altos de ácidos grasos saturados (Palma Africana) tienen características de flujo pobres y pueden solidificarse a temperaturas medias con mayor rapidez, funcionando satisfactoriamente en climas cálidos.

El perfil de ácidos grasos reveló que existieron diferencias significativas de la variedad Criolla Mexicana para el contenido de ácidos grasos saturados (24.3%) indicando que está directamente relacionada con su punto de turbidez por lo que presentó el punto más alto entre las variedades de piñón (2.96°C) y el mayor contenido de lípidos saturados. Es decir, a mayor porcentaje de ácidos grasos saturados su punto de solidificación será más alto.

El cuadro 9 mostró que se encontraron diferencias significativas entre la composición de ácidos grasos saturados, mono-insaturados y poli-insaturados; presentando en la variedad Hindú Salvadoreña el mayor contenido de ácidos grasos mono-insaturados (41.1%) en comparación con la variedad Cabo Verde (40.65%) y la variedad Criolla Mexicana (34.89%). Sin embargo, el contenido para ácidos grasos poli-insaturados fue mayor para la variedad Criolla Mexicana (40.81%). Para los ácidos grasos butírico (4:00), palmítico (16:00), esteárico (18:00) y palmitoléico (16:1) no se encontraron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, en el ácido oleico (18:1) existió una mayor

proporción para las variedades Cabo Verde e Hindú Salvadoreña. En cuanto al ácido alfa linoléico (18:2) presentó mayor contenido la variedad Criolla Mexicana.

El análisis de perfil de ácidos grasos difiere de la literatura mostrada por Harinder *et al.* (2009) donde determinaron que los aceites de piñón tuvieron en su composición para variedades tóxicas 22.3% de ácidos grasos saturados, 42% de ácidos grasos mono-insaturados y 35.7% de ácidos grasos poli-insaturados.

Cuadro 9. Comparación de perfil de ácidos grasos de aceite semi-refinado de piñón.

Ácido graso	Cabo Verde (%)	Criolla Mexicana (%)	Hindú Salvadoreña (%)
	Media ± D.E. <sup>1</sup>	Media ± D.E.	Media ± D.E.
4:0	2.46 ± 0.15 <sup>a</sup>	4.20 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.60 ± 0.60 <sup>a</sup>
16:0	13.60 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.8 ± 0.04 <sup>a</sup>	13.86 ± 0.13 <sup>a</sup>
18:0	7.440 ± 0.44 <sup>a</sup>	7.30 ± 0.18 <sup>a</sup>	7.08 ± 0.16 <sup>a</sup>
16:1 cis-9	0.690 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.06 <sup>a</sup>
18:1 cis-9	39.92 ± 0.24 <sup>a</sup>	33.9 ± 0.01 <sup>b</sup>	40.1 ± 0.03 <sup>a</sup>
18:2 cis 9-12	35.85 ± 0.22 <sup>b</sup>	40.8 ± 0.09 <sup>a</sup>	35.3 ± 0.60 <sup>b</sup>
∑ Saturados	23.50 ± 0.00 <sup>b</sup>	24.3 ± 0.00 <sup>a</sup>	23.54 ± 0.00 <sup>b</sup>
∑ Monoinsaturados	40.65 ± 0.00 <sup>a</sup>	34.89 ± 0.00 <sup>b</sup>	41.10 ± 0.00 <sup>b</sup>
∑ polinsaturados	35.85 ± 0.00 <sup>b</sup>	40.81 ± 0.00 <sup>a</sup>	35.36 ± 0.00 <sup>b</sup>
∑ transinsaturados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
∑ Insaturados	76.5 ± 0.00 <sup>a</sup>	75.70 ± 0.00 <sup>b</sup>	64.64 ± 0.00 <sup>c</sup>

<sup>abc</sup>: Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas entre ácidos grasos por variedad (p<0.05).

<sup>1</sup>D.E.: Desviación estándar.

Los resultados de ácidos grasos insaturados para la variedad Cabo Verde fue de 76.5%, Criolla Mexicana de 75.7% e Hindú Salvadoreña de 76.46%. Estos contenidos de ácidos grasos insaturados coinciden con la literatura consultada. Archana (2011) especificó el contenido de ácidos grasos insaturados para el aceite de *Jatropha curcas* siendo estos ácidos grasos mayoría en su composición obteniendo un porcentaje de 75.64%.

**Análisis de composición nutricional (torta desgrasada).** Se realizó el análisis nutricional a la torta desgrasada de las tres variedades. Al contenido de proteína de las tortas de piñón se le sumo el porcentaje de proteína cruda sobrante en los sedimentos del aceite debido a que la separación de los anillos del tornillo sin fin de la extractora eran mayores a la medida adecuada; resultando en una fuga de parte de la torta al aceite crudo extraído. Por otro lado se realizó un análisis de varianza que determinó que las variedades de torta desgrasada de *Jatropha curcas* evaluadas (Cabo Verde, Criolla Mexicana e Hindú Salvadoreña) tuvieron contenidos de proteína cruda, lípidos y porcentaje de humedad significativamente diferentes en su composición nutricional. Según Elsharaani (2011) la torta obtenida después de la extracción del aceite tiene importantes nutrientes especialmente proteína; a excepción de la lisina, todos los aminoácidos esenciales están

presentes en la torta desgrasada de *Jatropha curcas* en concentraciones superiores indicadas para niños en edad pre-escolar.

Los resultados de las tortas semi-desgrasadas para humedad muestran que la variedad Criolla Mexicana fue estadísticamente superior en comparación a las tortas semi-desgrasadas de las variedades Cabo Verde e Hindú Salvadoreña, obteniendo un resultado menor de humedad para la variedad Criolla Mexicana 9.14%. En el análisis de grasa interactuaron diversos factores como la calidad de la extracción, reproceso de la torta y tratamiento térmico previo al prensado. Se obtuvo el mayor porcentaje de grasa residual para la variedad Hindú Salvadoreña con 8.09%. El alto contenido de grasa residual en la torta desgrasada de las variedades de *Jatropha curcas* presenta un problema para su posterior comercialización. Ghandi (2009) asegura que la torta desgrasada de soya al contener porcentajes mayores a 1.5% de grasa residual y 9% de humedad no puede ser comercializada esto debido a que el contenido elevado de lípidos y humedad aumentan considerablemente las actividades de enranciamiento acortando significativamente su vida de anaquel. Para mejorar los rendimientos de aceite extraído y disminuir los contenidos de grasa cruda final en la torta desgrasada de *Jatropha curcas*, Sudradjat (2005) recomendó realizar un tratamiento de reproceso a la torta desgrasada.

Cuadro 10. Contenido nutricional de torta desgrasada de variedades de *Jatropha curcas*.

Variedad	Humedad (%)	Lípidos (%)	Proteína (%)
	Media $\pm$ <sup>1</sup> D.E.	Media $\pm$ D.E.	Media $\pm$ D.E.
Cabo Verde	10.39 <sup>a</sup> $\pm$ 0.13	7.80 <sup>a</sup> $\pm$ 0.47	38.43 <sup>c</sup> $\pm$ 0.38
Criolla Mexicana	9.14 <sup>b</sup> $\pm$ 0.27	6.04 <sup>b</sup> $\pm$ 0.7	40.73 <sup>b</sup> $\pm$ 0.14
Hindú Salvadoreña	10.30 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18	8.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.3	41.82 <sup>a</sup> $\pm$ 0.5

<sup>abc</sup> Letras diferentes en misma columna indican diferencias estadísticas con ( $p < 0.05$ ).

<sup>1</sup>D.E.= Desviación Estándar.

El contenido proteico de la torta desgrasada de las variedades Cabo Verde e Hindú Salvadoreña mostraron que fueron significativamente superiores al estudio realizado por Flores y Cruz (2010) donde el contenido de proteína cruda para la variedad Cabo Verde fue de 32.58% y para la variedad Hindú Salvadoreña fue de 35.70%. En ambos estudios la variedad Hindú Salvadoreña fue superior en comparación a la torta desgrasada de la variedad Cabo Verde.



#### 4. CONCLUSIONES

- La variedad Cabo Verde fue significativamente superior en el contenido de lípidos de la semilla entera representando un aumento en rendimientos de aceite crudo extraído y aceite crudo semi-refinado.
- El aceite de la variedad Hindú Salvadoreña presentó las mejores características físicas y químicas de humedad, ácidos grasos libres, energía bruta y punto de turbidez, respectivamente.
- Los aceites de las tres variedades de *Jatropha curcas* cumplieron con los parámetros de la calidad de aceites vegetales establecidos por la norma DIN V 51605.
- El contenido de proteína cruda en la torta semi-desgrasada de la variedad Hindú Salvadoreña fue significativamente superior a las tortas semi-desgrasadas de las variedades Cabo Verde y Criolla Mexicana.

## 5. RECOMENDACIONES

- Caracterizar las semillas de la colección de genotipos de *Jatropha curcas* de la Escuela Agrícola Panamericana.
- Evaluar el efecto del ambiente sobre las semillas de la colección de genotipos de *Jatropha curcas* de la Escuela Agrícola Panamericana.
- Estandarizar el procesamiento de aceites crudos en laboratorio y posteriormente en la planta de Biodiesel para evitar variaciones en parámetros fisicoquímicos de los aceites refinados.
- Evaluar tratamientos químicos y enzimáticos de detoxificación de torta desgrasada de *Jatropha curcas* mediante la cuantificación de ésteres de forból.
- Evaluar el efecto en la nutrición de animales mediante la implementación de torta desgrasada de variedades de *Jatropha curcas* no tóxicas como fuente de proteína en dietas para concentrados.

## 6. LITERATURA CITADA

Archana, J., S. Pankaj, R. Bachetti. 2011. Physicochemical characterization of seed oil of *Jatropha curcas* L. Collected from Dehradun (Uttarakhand) India. Graphic Era University. Vol 2. 123-127 p.

Asoiro, F., O. Akubuo. 2011. Effect of temperature on oil extraction of *Jatropha curcas* L. Kernel. University of Nigeria, Nsukka. 456-462 p.

Akbar, E., Z. Yaakob, S. Kamarudin, M. Ismail, J. Salimon. 2009. Characteristics and composition of *Jatropha curcas* oil seed from malaysia and its potential as Biodiesel Feedstock. Malaysia, National University of Malaysia 395-403 p.

Akintayo, E. 2004. Characteristics and composition of *Parkia biglobbosa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. Bioresource Technology. 92: 307-310 p.

Blauensteiner, H., C. Schubl, T. Kaiser, S. Innerhofer. 2011. Demonstration of second generation vegetable oil fuels in advance engines. Second edition. DIN V 51 605. 85 p.

Codex alimentarius. 2009. Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales CODEX STAN 19-1981. 1-5 p.

Elshaarani, T., Z. Yaakob, M. Khairul, M. Mohammad, S. Abdullah. 2011. Mechanical properties, morphology, flammability, and thermokinetic investigation of high-density polyethylene/*Jatropha* deoiled cake composites. 21 p.

Flores Zanafria J. y C. Cruz Méndez. 2010. Evaluacion de la Calidad del aceite y torta desgrasada de dos variedades de piñón (*Jatropha curcas* L.) antes y después de un tratamiento de detoxificación. Honduras. Escuela Agricola Panamericana Zamorano. 35 p.

Gibon, V., W. Greyt, M. Kellens. 2007. Palm oil refining. De Smet Technologies and Services, Zaventem, Belgica European Journal of Lipid Science and Technology 2007-109. 315-335 p.

Goel, G., H. Makkar, G. Francis, K. Becker. 2007. Phorbol esters: Structure, biological activity, and toxicity in animals. International Journal of Toxicology. 26: 279–288 p.

Gunstone, F. y F. Narris. 1983. Lipids in Food chemistry, biochemistry and technology. Pergamon Press. Oxford

Haas, W., M. Mittelbach. 2000. Detoxification experiment with the seed oil from *Jatropha curcas* L. Indian Crops Production. 12, 111– 118 p.

Harinder, P., H. Makkar, K. Becker. 2009. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added products. Alemania. University of Hohenheim. 773-787 p.

Heller, J., 1996. Physic Nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected crops. I. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Research, Roma. 45 p.

Inekwe, U. y E. Onyike, M. Odey, S. Agbaji, J. Joel, P. Diafe. 2012. Comparative proximate composition of *Jatropha curcas* seed from India, Kaduna and Edo. journal of science and technology. 378-381 p.

Jumat, S. y A. Rozaini. 2008. Physicochemical Properties of Malaysian *Jatropha curcas* Seed Oil. *Sains Malaysiana* 37(4): 379-382 p.

Jumat, S. y A. Waled. 2011. Physicochemical Characteristics of tropical *Jatropha curcas* Seed oil. Malaysia. University Kebangsaan Malaysia. 314-317 p.

Knothe, G. 2005. “Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Ester”. Fuel Processing Technology, vol. 86. 1059-1070 p.

Krishna, B. y J. Dahyabhai. 2011. Refining of rice oil by neutralization with calcium hydroxide. Instituto de Ciencia y Tecnología de Estudios avanzados e Investigación. Gujarat, India. European Journal of Lipid Science and Technology 2011-113. 1161-1167 p.

Liebscher, E. 1942. Triclyceride refining process. Oficina de patentes de Estados Unidos Codigo 2,415,140. Patentado en Febrero de 1947. Nueva Jersey. Estados Unidos.



Makkar, H., A. Aderibigbe, K. Becker. 1998. Comparative evaluation of a non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. Food chemistry.

Makkar, H. y K. Becker. 2008. *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow’s oil and biodiesel. European Journal of Lipid Science Technology. 20(5): 104-107 p.

Makkar, H., G. Francis, K. Becker. 2008. Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate J. Sci. Food Agric. 88: 1542-1548 p.

Manzanares Paz, K. (2011). Predicción del número de cetano de biodiesel de Piñón (*Jatropha curcas*) y Palma Africana (*Elaeis guineensis*) por cromatografía de gases. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 27 p.

Mis Solval, K. 2007. Efecto del tiempo de freído del aceite de palma (*Elaeis guinneensis*) sobre las características físico-químicas del biodiesel. Honduras .Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 37 p.

Orkullo, A., A. Temu, P. Ogowok, J. Ntalikwa. 2011. Physico-chemical properties of biodiesel from *Jatropha* and castor oils. Tanzania, University of Dar es Salaam. P.O. Vol2 47-52 p.

Ovando, I., F. Espinosa, J. Nuñez, M. Salvador. 2011. State of the art of genetic diversity research in *Jatropha curcas*. México. Centro de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Vol 6. 1709-1719 p.

Sosa Hernández, I. 2012. Cuantificación de ésteres de forból en tres partes estructurales y en la semilla entera de tres variedades de *Jatropha curcas*. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 22 p.

Su, E., W. Xu, K. Gao, Y. Zheng, D. Wei. 2007. Lipase-catalyzed *in situ* reactive extraction of oilseeds with short-chained alkyl acetates for fatty acid esters production. *J Mol Catal B Enzym.* 28–32 p.

Sudradjat, R., I. Jaya, D. Setyawan. 2005. Es-*Trans* process optimalization in biodiesel manufacturing from *Jatropha curcas* L. oil. *J Penel Hasil Hutan.* **23**, 239–257 p.

Wan, P. y P. Wakelyn. 1997. Technology and Solvent for extracting Oilseeds and non petroleum Oils. Amecian Oil Chemist Society. 353 p.

Wink, M., C. Koschmieder, M. Sauerwein, F. Sporer. 1997. Phorbol esters of *J. curcas* biological activities and potential applications. *Biofuels and Industrial Products from Jatropha.* 160–166 p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Efecto de las variedades de *Jatropha curcas* en los contenidos nutricionales de la semilla entera.

Componente nutricional	GL	CM	F	P <0.05	%CV
Humedad	2	0.67	0.63	0.56	3.10
Lípidos	2	29.57	81.09	< 0.0001	1.16
Proteína	2	22.29	318.61	< 0.0001	1.07

GL= grados de libertad

CM= cuadrado medio

F= valor F

P= probabilidad

%Cv= Coeficiente de variación.

Anexo 2. Efecto de las variedades de *Jatropha curcas* en las características fisicoquímicas del aceite semi-refinado.

Característica	GL	CM	F	P<0.05	%CV
Humedad	2	0.052	47.57	< 0.0001	1.95
Ácidos grasos libres	2	0.06	950.62	< 0.0001	2.15
Índice de peróxidos	2	6.43	306.40	< 0.0001	4.57
Color	2	2.79	272.14	<0.0001	0.13
Punto de turbidez	2	0.92	37.76	< 0.0001	5.7
Perfil de ácidos grasos	2	25.19	30.30	0.0038	2.3
Energía bruta	2	0.0047	47.57	< 0.0001	0.002
Estabilidad Oxidativa	2	0.45	0.72	0.5543	6.83
Viscosidad	2	1.28	0.18	0.83	1.1

GL= grados de libertad

CM= cuadrado medio

F= valor F

P= probabilidad

%Cv= Coeficiente de variación.

Anexo 3. Efecto de las variedades de *Jatropha curcas* en los componentes nutricionales de torta semi-desgrasada.

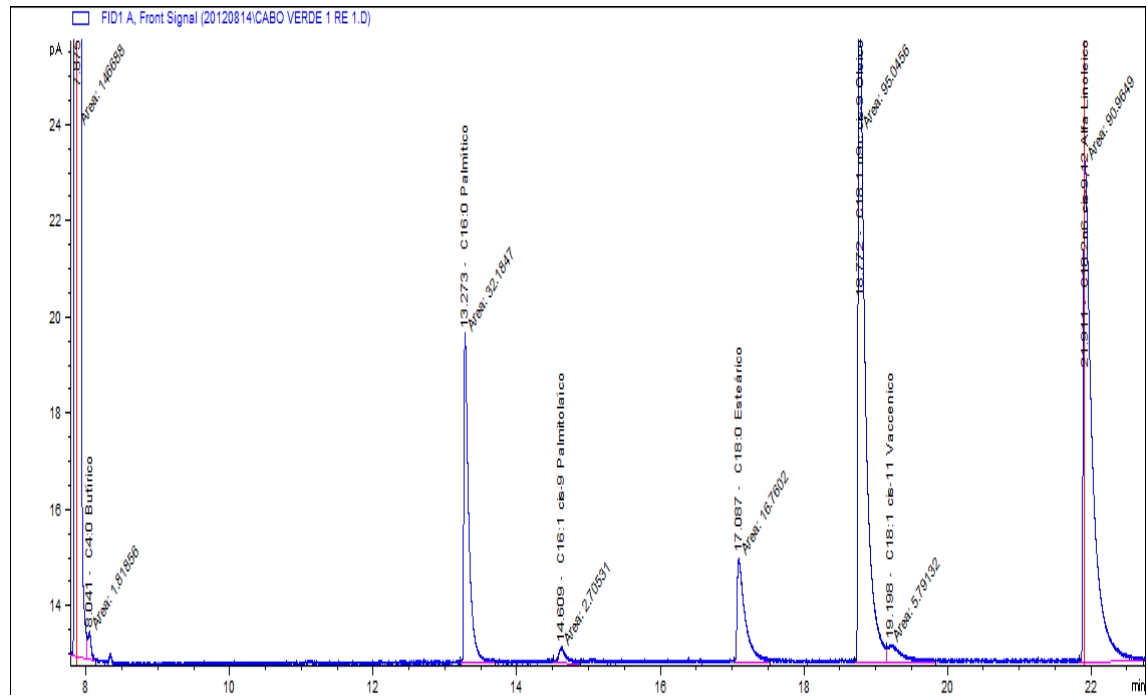
Componente nutricional	GL	CM	F	P < 0.05	%CV
Humedad	2	1.43	37.74	0.0004	2.04
Lípidos	2	3.68	17.22	0.0033	7.15
Proteína	2	17.95	125.58	< 0.0001	0.85

GL= grados de libertad

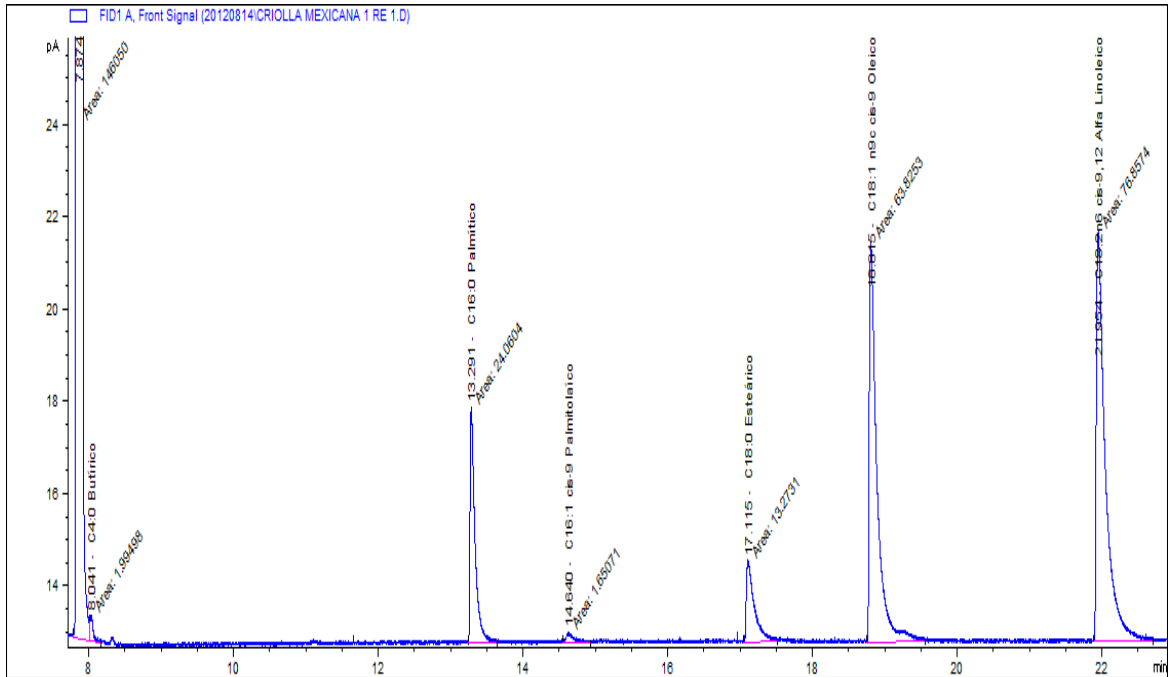
CM= cuadrado medio

F= valor F

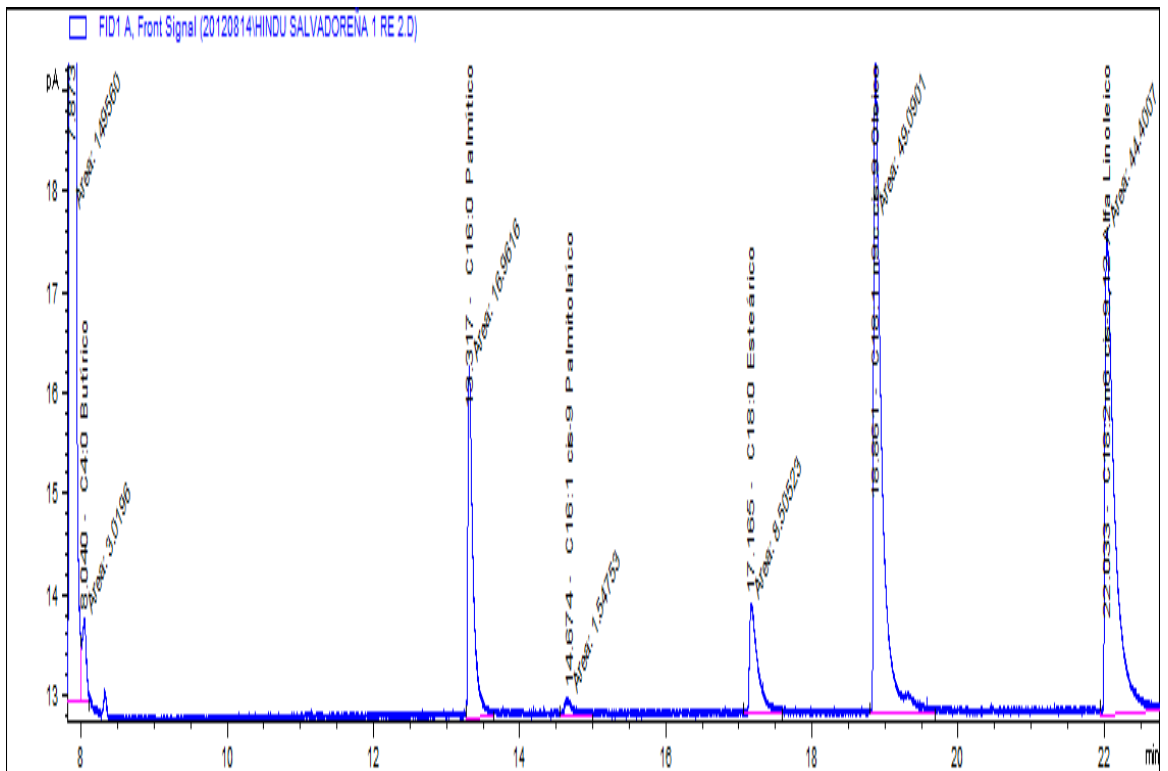
P= probabilidad



Anexo 4. Cromatograma de perfil de ácidos grasos para variedad Cabo verde

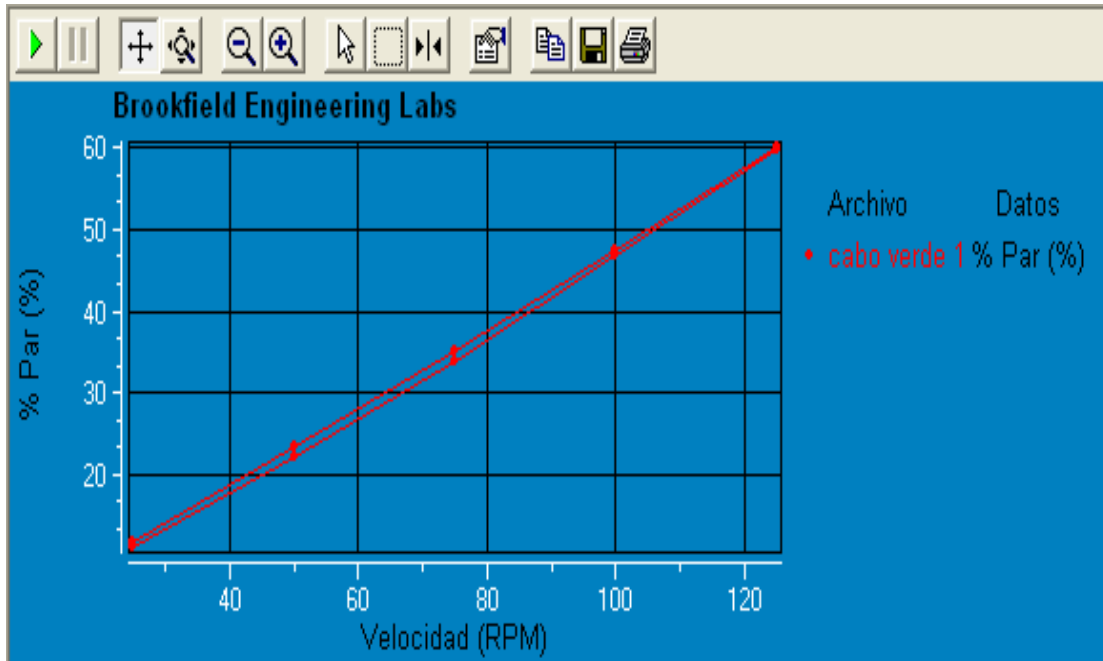


Anexo 5. Cromatograma de perfil de ácidos grasos para variedad Criolla Mexicana.

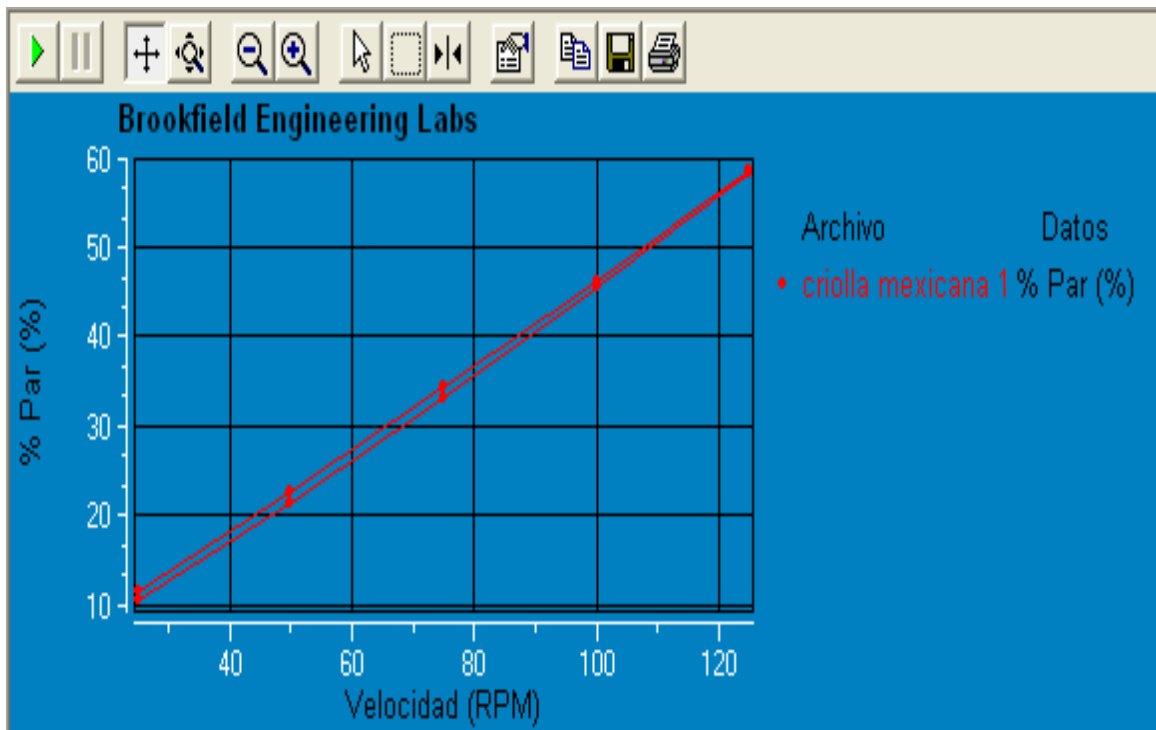


Anexo 6. Cromatograma de perfil de ácidos grasos variedad Hindú Salvadoreña.

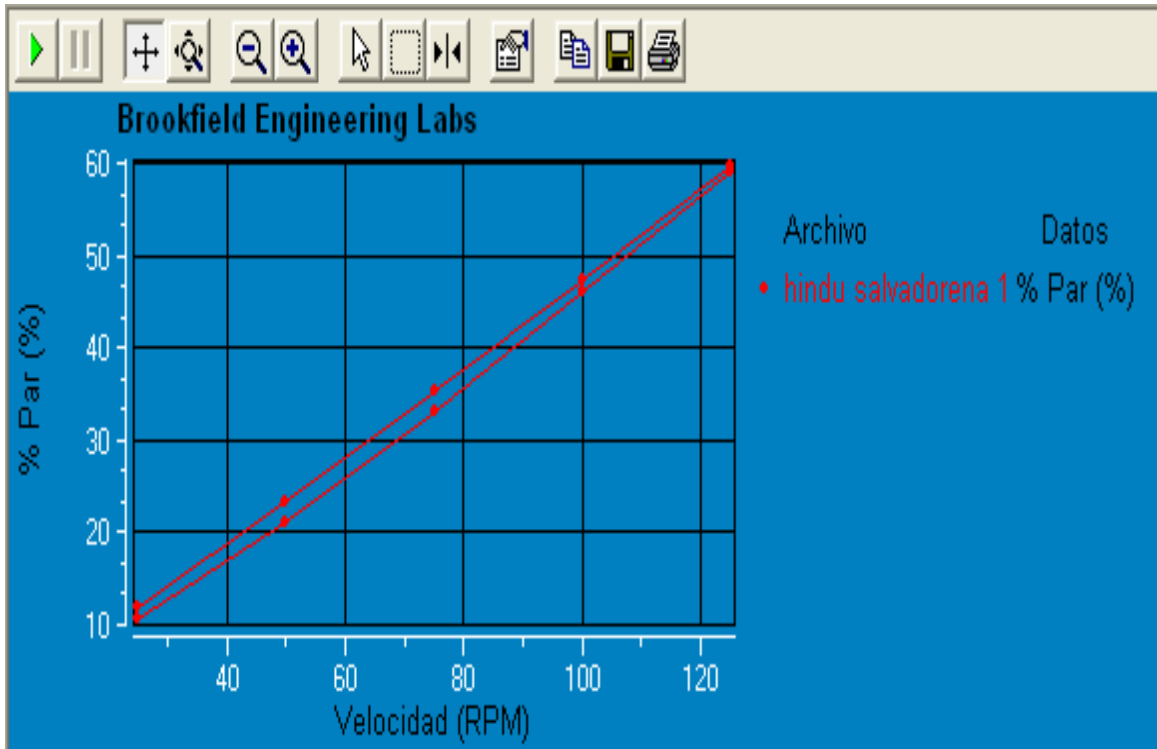




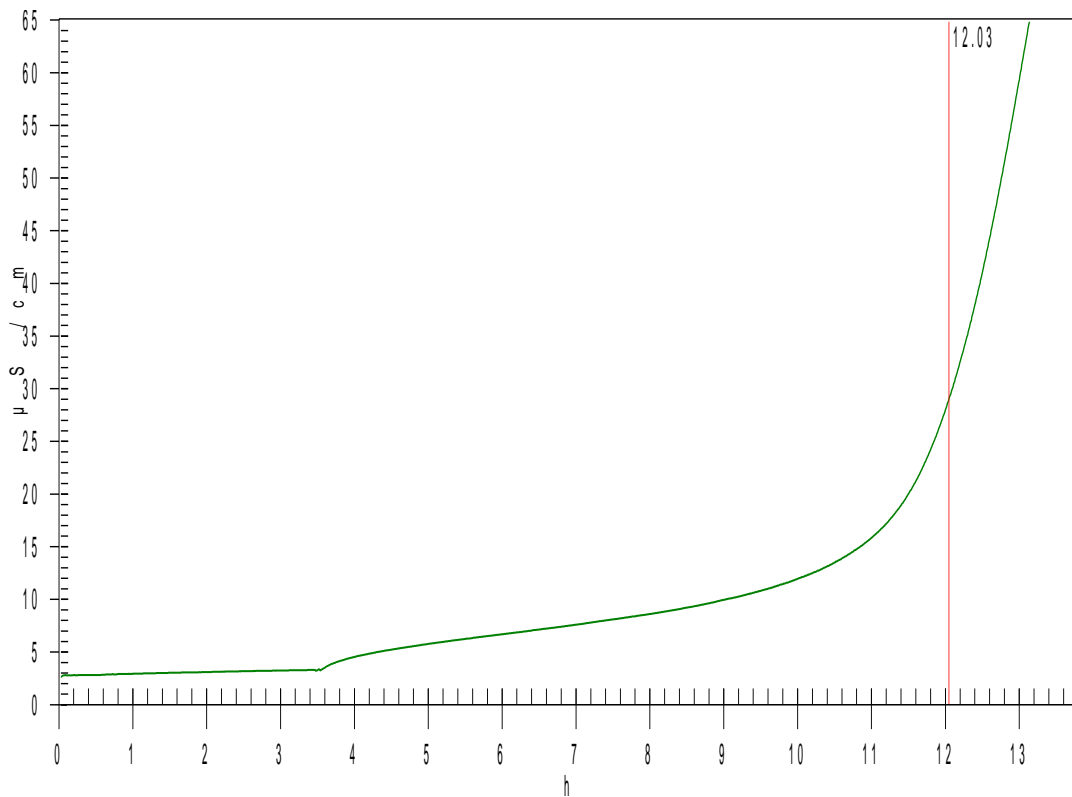
Anexo 7. Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Cabo Verde.



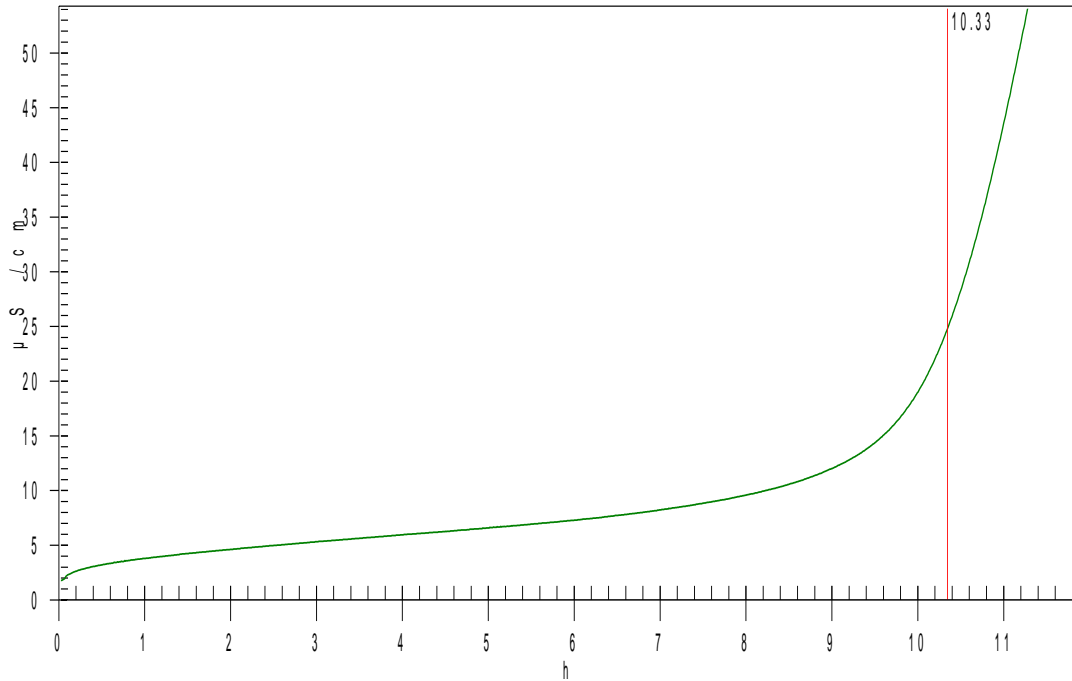
Anexo 8. Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Criolla Mexicana.



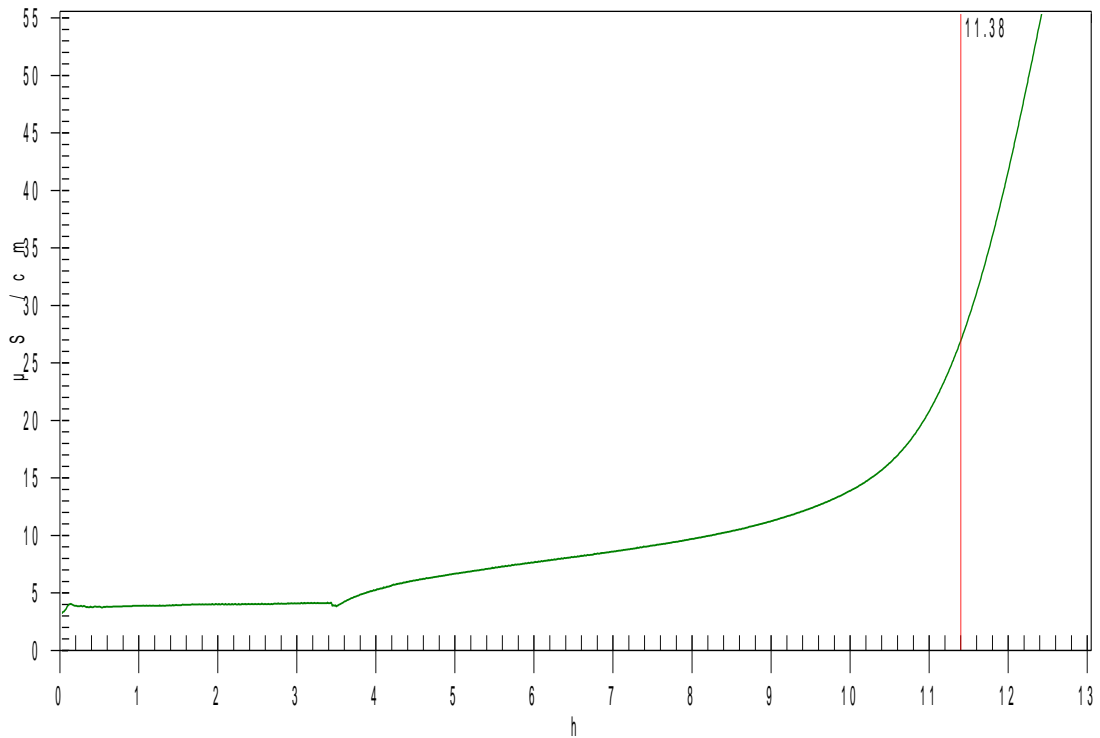
Anexo 9. Gráfica de viscosidad cinemática para variedad Hindú Salvadoreña.



Anexo 10. Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Cabo Verde.



Anexo 11. Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Criolla Mexicana.



Anexo 12. Gráfica de estabilidad oxidativa para variedad Hindú Salvadoreña.



Semilla



Extracción



Aceite crudo



Filtrado



Desgomado



Neutralizado



Aceite refinado

Anexo 13. Flujograma de semi-refinado de aceite crudo de *Jatropha curcas*.