

**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**

**Julio César Flores Sanafria
Carol Jeannete Cruz Méndez**

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**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**

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

Presentado por

**Julio César Flores Sanafria
Carol Jeannete Cruz Méndez**

Zamorano, Honduras
Diciembre, 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

Presentado por:

Julio César Flores Sanafria
Carol Jeannete Cruz Méndez

Aprobado:

Jorge Cardona, Ph.D.
Asesor principal

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

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Flores, J.; Cruz, C. 2010. Evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de dos variedades del piñón (*Jatropha curcas* L.) antes y después de un tratamiento de detoxificación. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 35p.

El piñón (*Jatropha curcas*), ha demostrado que tiene un alto potencial para la producción de biodiesel, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del aceite extraído del grano de dos variedades de piñón para la producción de biodiesel y la calidad nutricional de la torta que se obtiene después de la extracción. Además, se evaluó las características químicas del aceite y torta desgrasada de piñón antes y después de procesos de detoxificación. Para el análisis de calidad de aceite se realizaron perfiles de ácidos grasos por medio de cromatografía de gases y para la calidad de la torta se realizaron análisis de proteína y fibra cruda según métodos validados por la AOAC. Los resultados demostraron que en el contenido de extracto etéreo y extracto no etéreo se encontraron diferencias significativas entre variedades. El tratamiento de detoxificación químico-térmico redujo significativamente el contenido de proteína en un 8% en la variedad Cabo Verde (CV) y en la variedad India Salvadoreña (IS) se redujo en un 6%. El contenido de fibra se redujo significativamente en CV y en IS (14 y 5%, respectivamente). El tratamiento de detoxificación con metanol no afectó significativamente el contenido de ácidos grasos saturados. Sin embargo, se encontró una reducción significativa entre ácidos grasos poli-insaturados en especial en la variedad IS en un 1%. La variedad CV mostró la misma tendencia en reducción pero esta no fue significativa.

Palabras clave: Cabo Verde, endospermo, ésteres de forból, India Salvadoreña, membrana interna, perfil de ácidos grasos.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Indice de cuadros, figuras, anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES	20
6. RECOMENDACIONES	21
7. BIBLIOGRAFÍA	22
8. ANEXOS.....	26

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Perfil de ácidos grasos de diferentes tipos de aceites en %	6
2. Elementos del Cromatografo de gases	12
3. Análisis proximal del piñón variedad India Salvadoreña y Cabo Verde.	14
4. Composición química de las partes del grano del piñón.	15
5. Ácidos grasos (%) presentes en las partes del grano de Piñón	16
6. Contenido de proteína y fibra cruda de la torta pre y post detoxificación del piñón.	17
7. Efecto del tratamiento de detoxificación en el aceite de piñón.	18
Figura	Página
1. Composición del grano de piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.)	4
Anexo	Página
1. Cromatogramas por parte de las dos variedades.	26
2. Cromatogramas aceite de las dos variedades	32

1. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles han sido la principal fuente para la producción de energía. El impacto ambiental del petróleo ha obligado a muchos países a invertir en investigaciones sobre fuentes alternas para generación de energía, principalmente en las plantas de la familia de las oleaginosas. En la zona húmeda de Honduras, los esfuerzos para la obtención de aceite se han centrado en cultivos como la Palma Africana (*Elaeis guineensis*) y etanol a partir de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). En la zona seca, el cultivo más prometedor es el piñón (*Jatropha curcas*) (Bártoli 2008).

El piñón (*Jatropha curcas* L.) es un cultivo oleaginoso, perenne, de porte arbustivo, perteneciente a la familia de las *Euforbiáceas*. Es originaria de México y Centroamérica, pero se ha esparcido alrededor del mundo (Jongschaap et al. 2007; Falasca y Ulberich 2008). Según Bártoli (2008), debajo de la envoltura de la semilla (tegumento) existe una película blanca que cubre la almendra; el albumen es abundante, blanco, oleaginoso, conteniendo el embrión provisto de dos largos cotiledones achatados.

Estudios realizados por Makkar y Becker (1997), demostraron que la semilla posee un alto contenido de aceite, y los niveles de aminoácidos esenciales excepto por la lisina, son superiores a la proteína de referencia de la FAO; El aceite puede ser empleado como sustituto del diesel al transformarse en biodiesel, producto que tiene alta demanda en Estados Unidos y Europa (Ruiz-Meza et al. 2008), y actualmente se ha convertido en el tema principal de diversos proyectos de investigación (Haas y Mittelbach 2000). El subproducto más importante de este proceso es la torta desgrasada, que se caracteriza por ser rica en proteína, después de la extracción de aceite, y podría ser transformada en un excelente alimento balanceado para aves, ganado e incluso peces.

Pero su composición nutricional así como sus aplicaciones técnicas están restringidas debido a la toxicidad de la planta (Haas y Mittelbach 2000). Según Wink et al. (1997), la toxicidad de las semillas de piñón puede ser causada por varios componentes que incluyen lectinas, fitatos, inhibidores de la proteasa, el ácido curcalónico y ésteres de forbol. Sin embargo, estudios realizados por Aregheore et al. (2003), han determinado que el uso de tratamientos químicos con blanqueadores como el hidróxido de sodio o el hipoclorito de sodio combinados con tratamientos térmicos reducen el contenido de ésteres de forbol hasta en un 95%.

Actualmente los productores de piñón no aprovechan la torta desgrasada debido a ésta toxicidad, sin embargo se está desaprovechando materia prima para alimentación animal que tiene un buen contenido nutricional y que posee procedimientos alternativos para su detoxificación, y esto les puede ayudar a los productores a su desarrollo social y

económico. Por esta razón se están llevando a cabo varios estudios alrededor del mundo para encontrar una solución efectiva y de costo razonable para utilizar dicho subproducto de piñón.

1.1 LÍMITES DEL ESTUDIO

El estudio en general fue adaptado a la maquinaria disponible en el laboratorio. Por otro lado existieron más limitantes como ser la disponibilidad de tiempo. Las semillas fueron obtenidas de diferentes ciudades por lo tanto no se pudo realizar la comparación debido a que no se manejaban factores de clima, tratamiento de cultivo en crecimiento, entre otros. Por último, solamente se pudo realizar dos repeticiones lo cual resultó en alta variabilidad de resultados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar la composición química de dos subproductos del piñón (*Jatropha curcas*) antes y después de un tratamiento de detoxificación.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la composición química (% de humedad, % de grasa y % de extracto no etéreo) de las partes (membrana interna y endospermo) de dos variedades de piñón.
- Evaluar el efecto de la detoxificación con metanol en la calidad del aceite de dos variedades de piñón para biodiesel.
- Evaluar el efecto de la detoxificación con hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio y metanol en la calidad de la torta desgrasada de dos variedades de piñón para alimentación animal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El sector de la energía constituye un área de prioridad para todas las naciones, pues es un hecho que su consumo ha estado unido al progreso económico de la humanidad. Sin embargo, el rápido incremento de su costo y el reconocimiento de la condición finita de las reservas de los combustibles fósiles, han hecho que aumente grandemente el interés mundial en los recursos de energía renovable. Las especies vegetales que pueden ser procesadas para proporcionar un sustituto al combustible diesel han atraído el interés de los científicos. En este sentido, las propiedades del piñón (*Jatropha curcas* L.) han motivado la atención de varias instituciones, ya que se adapta muy bien a áreas marginales semiáridas, es altamente resistente a la sequía y su aceite puede ser procesado para su uso como sustituto del diesel (biodiesel) o como materia prima para la industria, aunque es originaria de México y Centroamérica, se cultiva en muchos otros países latinoamericanos, asiáticos y africanos (Toral et al. 2008). La palabra *Jatropha* proviene del griego *iatrós* que significa médico y *trophé* alimento (Bártoli 2008), ya que la planta es usada para fines medicinales. De acuerdo con Correll y Correll, *curcas* es un nombre común de la *Jatropha* en Malabar, India (Heller 1996).

2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL PIÑÓN

Los frutos del piñón son cápsulas drupáceas y ovoides con diámetro de 1.5 a 3.0 cm verdosa-amarillenta y carnosa, pero dehiscentes y café oscuro o negro cuando se secan (Bártoli 2008; Garcés 2010). Para el desarrollo del fruto se necesita 90 días desde la floración hasta que madura la fruta. El fruto es trilocular (dividido en tres partes) con una semilla en cada cavidad, formado por un pericarpio o cáscara dura y leñosa, indehiscente (que no se abre para que salga la semilla), hasta llegada la madurez; Debajo de la envoltura de la semilla (tegumento) existe una película blanca cubriendo la almendra; el endospermo es abundante, blanco, oleaginoso, conteniendo el embrión provisto de dos largos cotiledones foliáceos, de color blanco crema, como se muestra en la Figura 1 (Witsberger et al. 1982; Geilfus 1989); dependiendo de la variedad y de los tratamientos culturales, la semilla puede contener una proporción de 34 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra.

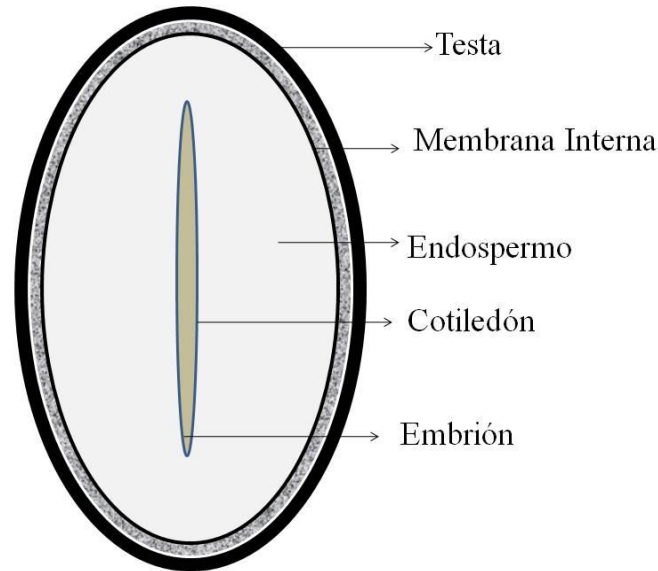


Figura 1 Composición del grano de piñón (*Jatropha curcas* L.)

Fuente: Centro para nuevos productos agrícolas de la universidad de York (2010), adaptado por los autores.

2.2 APLICACIONES DE LOS SUBPRODUCTOS DE PIÑÓN

El piñón tiene muchas aplicaciones potenciales. Sin embargo, según Putten et al. (2009), hasta ahora, muy pocas se han realizado a mediana o grande escala. El piñón se cultiva principalmente para el aprovechamiento de su aceite. No obstante, este aceite no es el único producto utilizable de la planta. Durante el proceso de extracción del aceite, se crean también otra serie de productos muy útiles.

2.2.1 Aplicaciones del Aceite de Piñón

El aceite de la semilla del piñón es el principal producto utilizado a nivel mundial ya que es, por naturaleza, no apto para el consumo humano o animal por los componentes tóxicos que contiene (Berchmans e Hirata 2007). El principal uso para dicho aceite es la producción de biodiesel. Desde hace muchos años, específicamente en épocas de la segunda guerra mundial, el aceite de piñón fue utilizado como sustituto del biodiesel (Kumar y Sharma 2006) y en la última década el aceite ha ido ganando auge en la industria de biocombustibles por su gran factibilidad económica para la producción de biodiesel ya que no solamente se puede comercializar el biodiesel, sino también los subproductos del proceso de transformación de aceite en biodiesel (Foidl y Eder 1997). Un gran ejemplo de dicho uso es en la industria de producción de jabones, ya que el glicerol, el cual es un subproducto de la producción de biodiesel es la principal materia prima para la producción de jabones. Según Kumar y Sharma (2006), el jabón obtenido a partir de la glicerina del aceite de piñón es un jabón suave y duradero el cual se ha podido

adaptar con gran facilidad tanto en casas como a nivel industrial, según sea su aplicación requerida.

La calidad de un aceite puede ser medida según varios factores tanto químicos como físicos. Sin embargo, los factores químicos de medición de calidad del aceite son los más importantes a la hora de realizar una evaluación de aceites (Nzikou 2009). Dichos análisis químicos incluyen al perfil de ácidos grasos. Este análisis determina el contenido de ácidos grasos saturados, mono-insaturados, poli-insaturados y trans de un aceite permitiéndonos determinar a groso modo que clase de aceite tenemos. Existen otros análisis como el índice de iodo, el índice de peróxidos, índice de ácidos grasos libres, los cuales también juegan un papel importante a la hora de evaluar la calidad de un aceite.

Debido a sus características, el aceite vegetal puro tiene excelentes propiedades para su utilización como combustible en motores a diesel, también conocidos como motores de encendido por compresión (Niels 2009). En general, cualquier motor de diesel caliente funcionaría con aceite vegetal puro calentado. Sin embargo, los motores de diesel han sido diseñados y optimizados para su uso con diesel como combustible. Debido a que algunas propiedades del combustible de aceite vegetal puro se diferencian de las del combustible fósil (diesel), es necesario crear las condiciones a través de cambios (conversiones y modificaciones) en los motores para adaptarlos al uso de biocombustibles. Según Jongschaap et al. (2007), el contenido de aceite de piñón es de alrededor de 20-40% (w/w) en la semilla y esto depende de diferentes factores como la variedad de la semilla, precipitación anual del lugar donde se encuentre, tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes del suelo y el método de extracción del aceite.

Estudios realizados por Akbar et al. 2009, determinaron que el aceite de piñón tiene en su composición principalmente ácido oleico (44.7%) y linoléico (32.8%) en el perfil de ácidos grasos insaturados lo cual demuestra que es un aceite líquido a temperatura ambiente por su alto nivel de insaturación. Además se determinó que contiene en general un nivel de ácidos grasos mono insaturados de 45.5%, poli insaturados del 33% y saturados del 21.6% y tiene un perfil muy parecido al de otros productos agrícolas usados para alimentación humana y producción de biodiesel (Cuadro 1).

Además, el mismo autor determinó que el valor de iodo de piñón fue de 103.62 gr I₂/100gr y comparado con los estándares de producción de biodiesel Europeo EN14214 cumple con las especificaciones donde se indica que el valor de iodo debe ser <120 gr I₂/100gr. Por otro lado se obtuvo un valor de peróxidos de 1.93 meq/kg demostrando que tiene una buena estabilidad a la oxidación. Su nivel de saponificación fue de 193.55, demostrando que contiene un alto nivel de triglicéridos los cuales pueden ser aplicados como materia prima para la fabricación de jabones y shampoo. El contenido de ácidos grasos libres fue de 2.23%, lo cual afecta al momento de la producción de biodiesel ya que esto puede llevar a la formación de jabón en la reacción de trans-esterificación de ácidos grasos haciendo muy difícil la separación de los productos para el biodiesel.

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos de diferentes tipos de aceites en %.

Ac. Graso	J. Curcas	Palma (semilla)	Girasol	Soya	Palma
Oleico 18:1	44.7	15.4	21.1	23.4	39.2
Linoléico 18:2	32.8	2.4	66.2	53.2	10.1
Palmitico 16:0	14.2	8.4	-	11.0	44.0
Estearico 18:0	7.0	2.4	4.5	4.0	4.5
Palmitoléico 16:1	0.7	-	-	-	-
Linolénico 18:3	0.2	-	-	7.8	0.4
Araquídico 20:0	0.2	0.1	0.3	-	-
Margárico 17:0	0.1	-	-	-	-
Mirístico 14:0	0.1	16.3	-	0.1	1.1
Capróico 6:0	-	0.2	-	-	-
Caprílico 8:0	-	3.3	-	-	-
Laúrico 12:0	-	47.8	-	-	0.2
Cáprico 10:0	-	3.5	-	-	-
Saturados	21.6	82.1	11.3	15.1	49.9
Mono insaturados	45.4	15.4	21.1	23.4	39.2
Poli insaturados	33	2.4	66.2	61.0	10.5

Fuente: Akbar E. et al. (2009), adaptado por el autor.

2.2.2 Aplicaciones de la Torta de Piñón

Al presionar las semillas oleaginosas, se extraen alrededor de 20%-30% de aceite (Eijck 2009). El residuo de las semillas prensadas no sólo contiene todos los minerales de la semilla (el aceite vegetal puro prácticamente no contiene minerales), sino que también tiene una cantidad considerable de energía debido a su contenido de aceite. El contenido energético del residuo del prensado es de 20-25 MJ/Kg, el cual es aproximadamente la mitad del contenido en el aceite (40 MJ/Kg).

La torta de piñón tiene un gran potencial para ser usada como medio de alimentación tanto animal como humana después de un proceso de detoxificación (Abou-Arab et al. 2009). Procesos de detoxificación incluyen tratamientos térmicos y químicos. Martínez-Herrera et al. (2005) y Makkar et al. (1997) determinaron que el contenido de nutrientes en la torta de piñón después de los tratamientos de detoxificación no era reducido significativamente. Según Abou-Arab et al. 2009 la torta de piñón contiene proteína (30%), cenizas (5.4%), fibra (2.5%) y carbohidratos (15%), lo cual demuestra que tiene un gran potencial para ser usada como medio de alimentación. Por otro lado, el piñón contiene un potencial de proteína digerible del 93-95%, con un perfil de aminoácidos que contiene la mayoría de aminoácidos esenciales en cantidades mayores a las referenciales provistas por la FAO excepto la lisina (Makkar et al. 1997).

Cabe aclarar que existe una variedad no tóxica en México que es consumida por la población y según estudios realizados por Martínez-Herrera et al. 2005 se determinó que

en términos de contenido de proteína, fibra y cenizas, no existe una diferencia significativa entre las variedades tóxicas y no tóxicas de piñón.

2.3 TOXICIDAD

Aunque este cultivo tiene un alto potencial para la producción de biodiesel y concentrado para animales, también tiene ciertas limitantes, en especial cuando de consumo se trata. Las especies de piñón presentan varios principios tóxicos, de los cuales la mayoría se ha logrado reducir por medio de tratamientos térmicos. Existen variedades no tóxicas las cuales han sido localizadas en México y son consumidas por la población después de brindarles un tratamiento de cocción. Los tratamientos térmicos han resultado ser muy útiles para la reducción de algunos de los componentes tóxicos de piñón, sin embargo, existen otros componentes los cuales han sido identificados como los principales participantes en la alta toxicidad de este cultivo que son los ésteres de forbol.

Los ésteres de forból son una familia de compuestos encontrados naturalmente en la familia de *Euphorbiaceas* cuya estructura poli-cíclica presenta dos moléculas de hidroxilo esterificadas con los ácidos grasos del aceite (Goel et al. 2007). Según Makkar y Becker (1997) los ésteres de forból son termoestables ya que determinaron que pueden soportar temperaturas de hasta 160°C durante 30 minutos, lo cual afecta en el contenido proteico final de la torta. Por otro lado, existen inhibidores de tripsina, fitatos, saponinas y taninos, los cuales pueden ser totalmente eliminados de la torta por medio de un tratamiento térmico (121°C x 30 min). Para la eliminación de los ésteres de forból, es necesaria una detoxificación química. Estudios realizados por Aregheore et al. (2003), han determinado que el uso de tratamientos químicos con blanqueadores como el hidróxido de sodio o el hipoclorito de sodio combinados con tratamientos térmicos reducen el contenido de ésteres de forbol hasta en un 95%.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

Las muestras de granos de piñón fueron obtenidos de: la variedad Cabo Verde en AGROIPSA (Choluteca) y la variedad India Salvadoreña en GOTA VERDE (Yoro); Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), ubicado en el Valle de Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Separación del Grano de Piñón

La separación del grano en sus componentes botánicos, se realizó manualmente, utilizando un cuchillo para cortar la semilla, y retirar la testa. Posteriormente con la mano, se retiró una capa blanca y seca llamada membrana interna; después se obtuvo el endospermo, el cual se dividió en dos y se separaron las dos hojas color crema que se forman al centro del grano formando los cotiledones y el embrión.

3.2.2 Extracción de Aceite del Grano de Piñón

Se separó la testa del resto del grano; El endospermo fue molido con un mortero hasta llegar a tener partículas de tamaño pequeño. La extracción de aceite se realizó por medio del Método Goldfish.

Para éste método se pesaron 2g de muestra y se colocaron en el papel filtro, formando un cartucho y se selló con grapas. Se pesaron los beaker para Goldfish los cuales fueron previamente secados en el horno de 105° C y enfriados en el desecador. Los cartuchos se colocaron en los depósitos superiores del Goldfish y se agregó 30 ml de éter de petróleo en los beakers, que posteriormente se colocaron en las hornillas sujetadas a las muestras en el aparato de extracción del Goldfish. Las muestras se dejaron extrayendo durante 12 horas. Se evaporó cada muestra en una hornilla y adentro de una campana de gases, para retirar el solvente orgánico, y posteriormente se colocaron en el horno de 105°C para terminar de evaporar el agua. Se enfriaron los beaker para Goldfish en el desecador y se pesaron. Para calcular el contenido de grasa, se le aplicó la ecuación 1.

$$\% \text{ EE} = \frac{(\text{Peso beaker} + \text{EE}) - (\text{Peso Beaker})}{\text{Peso muestra}} * 100 \quad [1]$$

3.2.3 Detoxificación de la Torta Desgrasada

Se utilizó el método de Aregheore et al. (2003). Se pesaron 100 g de torta desgrasada y se añadió una solución de NaOH al 4% en una relación 1:1 (w/v), hasta formar una pasta. Posteriormente, se añadió 10ml de una solución de NaOCl al 10% y la pasta fue lavada cuatro veces con metanol grado reactivo.

Ésta pasta fue esterilizada en un autoclave (121°C, 30 min) y posteriormente se colocó en el horno de 105° por 24 horas. La torta secada fue molida y almacenada en bolsas plásticas.

3.2.4 Detoxificación del Aceite

Se utilizó el método de Devappa et al. (2010).

Se pesó 10g de aceite y se añadió metanol en una relación 1:2 (w/v) y se sometió a baño maría a 55°C acompañado de agitación a 100 rpm durante 15 minutos. Posteriormente se retiró el sobrenadante de la solución y se realizó la misma extracción tres veces más en relaciones (1:1.5), (1:1) y (1:1) (w/v). El aceite se colocó en el horno de secado a 105°C por 24 horas para evaporar el metanol residual de la solución y posteriormente el aceite fue almacenado en un beaker oscuro a temperaturas de refrigeración.

3.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

3.3.1 Humedad

Se determinó el contenido de humedad de la torta desgrasada, torta detoxificada y de las variedades en general. Se utilizó el método de Humedad por secado en horno de 105°C. Inicialmente se secaron los crisoles en el horno de 105°C durante la noche. Posteriormente se enfriaron en un desecador y se pesaron (C); A cada crisol se le agregó 1 ± 0.005 g de muestra y se anotó el peso exacto (C+MH). Se colocaron los crisoles en el horno de 105°C durante 18-24 horas, y después de transcurrido este tiempo, se enfriaron en el desecador y se tomó el peso del crisol con la muestra seca (C+MS). Se realizaron los cálculos de humedad de la muestra a través de la ecuación 2.

$$\% \text{ H} = \frac{(C + \text{MH}) - (C + \text{MS})}{(C + \text{MH}) - (C)} * 100 \quad [2]$$

3.3.2 Cenizas

Se determinó el contenido de cenizas de la torta desgrasada, torta detoxificada y de las variedades en general. Se utilizó el método de Cenizas en un Horno de Mufla. Para éste análisis se utilizaron los crisoles secos del análisis de humedad. Inicialmente se pesaron los crisoles (C) y la muestra (PM). Posteriormente se colocaron los crisoles en el horno de mufla a 550°C durante 4 horas. Después de transcurrido este tiempo, se sacaron los crisoles de la mufla y se enfriaron en el desecador y se pesó el crisol con las cenizas (C+Cz). Se realizaron los cálculos de cenizas de la muestra a través de la ecuación 3.

$$\% Cz = \frac{(C + Cz) - (C)}{PM} * 100 \quad [3]$$

3.3.3 Proteínas

Se determinó el contenido de proteína cruda de la torta desgrasada, torta detoxificada y de las variedades en general. Se utilizó el método de Kjeldahl para Nitrógeno.

3.3.3.1 La Digestión. Inicialmente se pesó 0.1g de muestra y se anotó el peso; se colocó la muestra en el tubo de digestión y se añadió 2g de catalizador y 3ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente se colocaron los tubos con la muestra en el bloque de digestión a una temperatura adecuada y se cubrió en bloque con el sistema de escape de los gases. Se dejó digerir la muestra hasta que llegaron a tener un color transparente (verde neón) sin que quedará material carbonizado. Se retiraron las muestras del bloque de digestión y se dejaron enfriar y se diluyó la muestra en un matraz de 1000ml con un volumen de agua destilada de 100ml, dividió en dos partes, de tal forma que se realizaron dos lavados y se agregó 40ml de NaOH.

3.3.3.2 La Destilación. Se midió 25ml de ácido bórico en un matraz de 125 ml y se colocó en el sistema de destilación. El matraz de 1000ml se colocó en la hornilla del destilador y se asentó todo el sistema para iniciar la evaporación de las muestras a una temperatura adecuada. Posteriormente se retiró el matraz con ácido bórico una vez que alcanzó los 75ml y éste se sustituyó por un matraz que contenía agua destilada para realizar el enjuague del sistema de destilación.

3.3.3.3 La Valoración. Se anotó la normalidad de la disolución de HCl valorada y se colocó una varilla agitadora magnética en el matraz de la muestra con ácido bórico y se mantuvo en agitación vigorosa a lo largo de la valoración. Se fue agregando poco a poco el HCl a través de la bureta hasta que la muestra alcanzó un color rosado claro. Posteriormente se anotó la cantidad de HCl que se necesitó para llegar al color indicado en cada muestra y se aplicó la ecuación 4.

$$\% N = \frac{(\text{ml HCl muestra} - \text{ml HCl blanco}) * N \text{ HCl} * \text{Meq} * 100}{\text{Peso de muestra}} \quad [4]$$

$$\% Pc = \% N * 6.25 \quad [5]$$

3.3.4 Fibra Cruda

Se determinó el contenido de fibra cruda de la torta desgrasada, torta detoxificada y de las variedades en general. Se utilizó el método de Fibra Cruda (AOAC 962.09).

Inicialmente se pesó 1g de muestra, se colocó en un beaker de 600ml y se le agregó 200ml de la solución al 1.25% de H₂SO₄ y se hirvió por 30 minutos. Posteriormente se filtró a través de tela de algodón fuerte y se lavó con 200ml de agua destilada caliente hasta que el pH del filtrado fuera neutro. Posteriormente se realizó la digestión alcalina, regresando el residuo de la tela al beaker y se agregó 200ml de NaOH al 1.25% y se hirvió por 30 minutos; se filtró en crisoles de vidrio succionando con la bomba de vacío y lavando con agua destilada caliente hasta neutralizar el pH del filtrado. A continuación se secaron los crisoles en el horno de 105°C durante 12 horas, se enfriaron en el desecador y se pesaron en una balanza; Después se incineraron a 580°C por 3 horas en la mufla, se enfriaron, se pesaron y se aplicó la ecuación 7.

$$\% FC = \frac{(\text{Peso Crisol} + FC + Cz) - (\text{Peso Crisol} + Cz)}{\text{Peso de muestra}} * 100 \quad [6]$$

3.4 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

Se determinó el Perfil de Ácidos Grasos (Cuadro 2) de cada una de las partes del grano y del aceite de las variedades en general con y sin detoxificación. Se utilizó el método Perfil de Ácidos Grasos (AOAC 996.06).

Cuadro 2. Elementos del Cromatógrafo de gases

Instrumento	Cromatógrafo de Gases Agilent 6890 Series®
Detector	Detector de Ionización de Llama (FID) Agilent®
Columna Capilar	Supelco® SP™-256. Fused silica Capillary Column
Longitud	100 m
Diámetro Interior	0.25 mm
Espesor de la Fase Estacionaria	0.2 µm
Gas Portador	Nitrógeno
Inyección de la Muestra	1 µl
Presión en la Cabeza de la Columna	11.53 psi
Temperatura del Inyector	100°C
Temperatura del Detector	250°C
Programa de Temperatura	
Temperatura Inicial del Horno	100°C
Temperatura Final	250°C
Tiempo Final	140.6 min

3.4.1 Preparación de la Muestra:

Se inició tomando 5 gotas de aceite y se colocaron en un tubo de ensayo al cual se le adicionó 0.5ml de KOH (solución en metanol 2M) y 0.8ml de hexano y se agitó en el Vortex durante 8 minutos y se dejó reposar 15 minutos a temperatura ambiente. Mientras tanto, se pesó en otro tubo de ensayo 1g de sulfato de sodio y 4ml de hexano, y se tomó 0.3ml del sobrenadante del primer tubo de ensayo y se diluyó con el segundo tubo de ensayo, se agitó durante 2 minutos y se dejó reposar 10 minutos. Por último, se extrajo 1ml del sobrenadante en un vial para GC.

3.4.2 Determinación:

Inicialmente se definieron los parámetros del método para la caracterización de aceites y grasas y se comprobaron las temperaturas del horno, inyector y detector; Se verificó el encendido de la llama y las condiciones del flujo, velocidad, tiempo de corrida, etc. y se identificó cada muestra en el software; Cuando las muestras y el método estuvieron listo, se corrió el Cromatógrafo, inyectando 1ul de muestra. Se integraron y corrigieron los cromatogramas para eliminar los picos del solvente y se imprimieron los resultados expresados en porcentaje. Se identificaron los % de ácidos grasos saturados, mono insaturados, poli insaturados, cis y trans, realizando la sumatoria de todas las áreas bajo la curva y calculando en porcentaje cada ácido graso.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizaron los datos por medio del programa SAS® versión 9.1. Se realizaron dos diseños experimentales: un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 2X2 para evaluar 2 variedades (IS y CV) y 2 partes (membrana interna y endospermo) midiendo % de humedad, % de grasa y % de extracto no etéreo, y para evaluar 2 variedades (IS y CV) y 2 tratamientos (pre y post detoxificación) midiendo % de proteína cruda y % de fibra cruda, ambos, con una separación de medias SNK para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre partes del grano y para evaluar el efecto de la detoxificación en la torta desgrasada, y Bloques Completamente al Azar (BCA) con arreglo factorial de 2X2 para evaluar 2 variedades (IS y CV) y 2 partes (membrana interna y endospermo) y para evaluar 2 variedades (IS y CV) y 2 tratamientos (pre y post detoxificación) determinando en ambas el perfil de ácidos grasos y cuantificando, ambos, con una separación de medias SNK para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre partes del grano y para evaluar el efecto de la detoxificación en el aceite.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE VARIEDADES

En el cuadro 3 se presenta una caracterización química de la variedad India Salvadoreña (IS) y Cabo Verde (CV), con el objetivo de conocer los constituyentes presentes en la materia prima de nuestro experimento. La variedad comercial IS tuvo su origen en Gota Verde, Yoro y la CV tuvo su origen en Agroipsa, Choluteca.

Cuadro 3. Análisis proximal del piñón variedad India Salvadoreña y Cabo Verde

Composición (%)	India Salvadoreña	Cabo Verde
	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Humedad	24.28 \pm 2.58	20.65 \pm 2.67
Proteína Cruda	20.20 \pm 0.68	21.38 \pm 0.01
Fibra Cruda	23.77 \pm 0.60	30.35 \pm 0.14
Carbohidratos Totales	17.38 \pm 0.00	11.94 \pm 0.00
Extracto Etéreo	32.83 \pm 0.08	41.80 \pm 0.90
Cenizas	5.290 \pm 0.13	4.210 \pm 0.11

D.E. Desviación estándar

4.2 ANÁLISIS DE PARTES DEL GRANO DE PIÑÓN

En el cuadro 4 podemos observar los porcentajes de humedad para cada parte del grano en las dos variedades; En la membrana interna (ME) de la variedad Cabo Verde (CV) si se encontró diferencias estadísticas significativas con respecto a la membrana interna de la variedad India Salvadoreña (IS). En el endospermo (EP) no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre variedades. En la variedad IS y CV, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ambas variedades.

El contenido de humedad de un grano, según Cayón (1996), se ve afectado por varios factores, entre ellos la madurez del grano, la humedad de la cosecha y la temperatura y % de humedad relativa de almacenamiento; esto quiere decir que si los granos fueron almacenados en ambientes con una alta humedad relativa, el grano absorbió ésta humedad y como resultado tuvo un incremento en el contenido de humedad. Las variaciones de

humedad entre una variedad y otra, puede deberse a la diferencia de condiciones a las que fueron sometidas las muestras durante su transporte y almacenamiento. \pm

Analizando el contenido de grasa, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la ME de ambas variedades, y lo mismo sucede con el EP, y entre sí se encontraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo adentro de la misma variedad, en ambas partes no hubieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 4. Composición química de las partes del grano del piñón.

Variedad	Capa	Humedad(%)*	Grasa(%)*	ENE(%)* ¹ *
		Media \pm D.E.	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Cabo Verde	ME	7.980 ^a \pm 0.67	44.25 ^a \pm 2.59	47.77 ^b \pm 2.82
	EP	7.18 ^{ab} \pm 0.44	46.32 ^a \pm 4.52	46.50 ^b \pm 4.51
	CO	NA	13.730 \pm 0.00	NA
India Salvadoreña	ME	5.760 ^b \pm 1.40	36.10 ^b \pm 1.83	58.14 ^a \pm 2.73
	EP	7.01 ^{ab} \pm 0.55	33.15 ^b \pm 5.71	59.84 ^a \pm 5.64
	CO	NA	22.95 \pm 0.00	NA

* Valores con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

1 Extracto No Etéreo

ME Membrana Interna

EP Endospermo

CO Cotiledón

NA La muestra no fue suficiente para realizar el análisis

El contenido de grasa de un grano, puede ser afectado por varios factores, entre ellos la variedad, fecha de siembra, fertilización y madurez del grano (Cayón 1996). Además entre más se retrasa la cosecha, habrá una mayor acumulación de aceite en la semilla. También, Shah et al. (2005); Kaushik et al. (2007) y Oliveira et al. (2008), afirman que las diferencias en el contenido de aceite de las semillas oleaginosas son debidas, entre otros factores, a las condiciones ecológicas y al manejo del cultivo; Esto significa que la diferencia que existe entre las variedades se debe a su genética, a los factores climáticos de cada zona (Yoro y Choluteca), y al momento en que fue cosechado.

El contenido de extracto no etéreo se calculó por diferencia, y las variedades son estadísticamente diferentes, sin embargo, entre el EP y la ME de IS no hay diferencias estadísticas significativas y la CV sigue el mismo patrón. Según Abou-Arab et al. (2009), el % ENE, está compuesto por 30% de proteína, 5.4% de cenizas y 17.5% de carbohidratos. Estos carbohidratos contienen almidón, y la planta, según el tratamiento agronómico que recibió, fertilización y disponibilidad de nutrientes del suelo, puede desarrollar más o menos almidón en los frutos y esto puede estar afectando el contenido de carbohidratos en la muestra.

4.2.1 Perfil de Ácidos Grasos

Se evaluaron los perfiles de ácidos grasos de la membrana interna (ME) y el endospermo (EP) de la semilla del piñón (cuadro 5). Se determinó que en grasa saturada, en la variedad CV se encontró una diferencia significativa entre ME y EP lo cual pudo ser debido a que la ME tiene un mayor contenido de ácido esteárico, sin embargo no existieron diferencias significativas entre las ME de las dos variedades. En la variedad IS no se encontraron diferencias significativas entre partes, sin embargo en el EP de ambas especies se encontró una diferencia significativa, esto pudo haberse dado debido a que el EP de la variedad IS reportó un mayor nivel de ácido palmítico en su perfil.

Por el lado de la grasa mono-insaturada, en la variedad CV no se encontraron diferencias significativas entre partes. En la variedad IS se encontró una diferencia significativa entre partes lo cual pudo haberse dado debido a que el EP reportó un nivel mayor de ácido oleico en su composición. Por otro lado, también se encontraron diferencias significativas entre las ME de las dos variedades lo cual puede deberse a que la ME de la variedad CV reportó un mayor contenido de ácido oleico.

En la grasa poli-insaturada, en la variedad CV se detectó una diferencia significativa entre partes, esto debido a que el EP de la variedad CV reportó un nivel mayor de ácido linoléico. En la variedad IS no se encontraron diferencias significativas entre partes, no obstante, se encontraron diferencias significativas entre los EP de las variedades, esto debido a que el EP de la variedad CV contiene un mayor nivel de ácido linoléico.

Cuadro 5. Ácidos grasos (%) presentes en las partes del grano de Piñón

Variedad	Parte	Saturada(%)*	Monoinsaturada(%)*	Poliinsaturada(%)*
		Media \pm D.E	Media \pm D.E	Media \pm D.E
Cabo Verde	ME	46.77 ^a \pm 3.81	47.65 ^a \pm 2.39	5.06 ^b \pm 1.46
	EP	39.81 ^b \pm 9.66	49.05 ^a \pm 2.81	10.9 ^a \pm 7.08
India Salvadoreña	ME	50.16 ^a \pm 10.2	45.05 ^b \pm 8.16	4.66 ^b \pm 2.07
	EP	48.55 ^a \pm 9.74	47.47 ^a \pm 8.48	3.98 ^b \pm 1.26

*Valores con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Pr<0.05)

ME Membrana interna

EP Endospermo

DE Desviación Estándar

Las diferencias encontradas entre variedades pueden darse debido a factores genéticos ya que son variedades diferentes. Según Martínez-Herrera et al. (2005), quien realizó estudios en diversas variedades de piñón en México, el perfil de ácidos grasos varía según factores climáticos de temperatura. Según Cuniberti et al. (2000), el perfil de ácidos grasos también varía según la latitud de siembra, período de siembra y grado de madurez de semillas afectando principalmente el contenido de ácidos grasos insaturados.

4.3 ANÁLISIS DE TORTA DESGRASADA DE PIÑÓN

En el cuadro 6, podemos observar las diferencias estadísticas entre el pre y post tratamiento en la variedad CV tanto en proteína como en fibra. El contenido de proteína entre pre y post tratamiento no presentó diferencias estadísticas, mientras que el contenido de fibra fue diferente estadísticamente. Sin embargo, se observó una tendencia en ambos análisis, a disminuir el contenido de proteína y fibra después de un tratamiento de detoxificación.

Cuadro 6. Contenido de proteína y fibra cruda de la torta pre y post detoxificación del piñón.

Variedad	Tratamiento	Proteína Cruda(%)*	Fibra Cruda(%)*
		Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Cabo Verde	Pre	32.58 ^a \pm 1.36	30.55 ^a \pm 1.56
	Post	24.79 ^b \pm 1.56	16.97 ^d \pm 0.66
India Salvadoreña	Pre	35.70 ^a \pm 2.55	25.19 ^b \pm 1.73
	Post	29.8 ^{ab} \pm 1.75	19.96 ^c \pm 0.91

* Valores con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Pre Antes de tratamiento

Post Después de tratamiento

DE Desviación Estándar

El contenido de proteína cruda se midió por el método de Kjeldahl para nitrógeno; el tratamiento de detoxificación en la torta, fueron tratamientos químicos y una esterilización a 121°C por 30 minutos, lo que provocó una desnaturalización de las proteínas, ya que a temperaturas elevadas (>60°C), se da el desplegamiento de la proteína en su estructura nativa y se pierde actividad enzimáticas (Márquez 2009); Posterior a esta desnaturalización, una posible volatización del nitrógeno protéico puede explicar la disminución en el contenido de proteína (Castellanos 2000).

El contenido de fibra cruda se midió por el método oficial de la AOAC; el tratamiento de detoxificación en la torta, fueron tratamientos químicos y una esterilización, lo cual pudo haber provocado una digestión parcial de la fibra insoluble y provocado ésta disminución, ya que el análisis de fibra de fibra cruda consiste inicialmente en realizar una digestión de fibra soluble, para poder cuantificar únicamente la insoluble. Sin embargo, se debería realizar un análisis de fibra dietética para saber con exactitud cuánto hay de cada fibra, y ver si realmente el efecto de la detoxificación es en la fibra insoluble.

4.4 ANÁLISIS DE ACEITE DE PIÑÓN

Debido a la toxicidad presente en la semilla del piñón, se han realizado varios estudios de detoxificación tanto del aceite como de la torta desgrasada, ya que se ha determinado que en ambos casos se tiene un aceite de buena calidad (Nzikou et al. 2009) así mismo una proteína de alta calidad, lo cual ha sido comprobado en un efecto positivo en la alimentación de peces (Kumar et al. 2010). Se realizaron análisis de calidad de aceite pre y post tratamiento de detoxificación con metanol según el procedimiento descrito por Devappa et al. (2010), en los cuales se determinó (cuadro 7) el perfil de ácidos grasos. La clasificación de ácidos grasos saturados en la variedad CV no se vio afectada significativamente por el tratamiento de detoxificación. De igual forma, no se encontraron diferencias significativas para la variedad IS.

Cuadro 7. Efecto del tratamiento de detoxificación en el aceite de piñón

Variedad	TRT	Saturada(%) *	Monoinsaturada(%) *	Poliinsaturada(%) *
		Media \pm D.E	Media \pm D.E	Media \pm D.E
Cabo Verde	Pre	28.62 ^a \pm 6.01	51.12 ^a \pm 2.73	20.26 ^c \pm 8.67
	Post	29.04 ^a \pm 5.68	51.39 ^a \pm 2.74	19.57 ^c \pm 8.42
India Salvadoreña	Pre	28.40 ^a \pm 6.27	46.77 ^c \pm 4.73	24.83 ^a \pm 10.9
	Post	28.58 ^a \pm 6.12	48.19 ^b \pm 4.01	23.23 ^b \pm 10.1

*Valores con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Pr<0.05)

DE Desviación Estándar

Pre Antes de tratamiento

Post Después de tratamiento

No se encontraron diferencias significativas pre y post tratamiento en grasa mono-insaturada para la variedad CV. La variedad IS reportó diferencias significativas esto debido a que el tratamiento afectó al contenido de ácido oleico en esta variedad. Entre variedades en el contenido pre y post tratamiento de grasa mono-insaturada se encontraron diferencias significativas, debido a que la variedad CV reportó un mayor contenido de ácido oleico en su composición. Se puede apreciar que la variedad CV presenta mayor contenido de grasa mono-insaturada y menos grasa poli-insaturada que la variedad IS.

Paralelamente se encontraron diferencias significativas debido al tratamiento de detoxificación en el contenido de grasa poli-insaturada de la variedad IS. La variedad cabo verde no reportó diferencias significativas debido al tratamiento. Entre ambas variedades se encontraron diferencias significativas en los contenidos tanto pre como post tratamiento de grasa poli-insaturada ya que la variedad IS reportó un mayor contenido de ácido linoléico.

Como se puede observar en el cuadro 7, la tendencia de la grasa poli-insaturada es a disminuir en ambas variedades, lo cual puede deberse al rompimiento de los dobles enlaces de la cadena de ácidos grasos y a su vez la tendencia en los mono-insaturados es a aumentar su contenido final, por lo tanto, esto puede significar que el tratamiento, al romper uno de los dobles enlaces del ácido linoléico, tiende a crear ácido oleico explicando el aumento del contenido de grasas mono-insaturadas post tratamiento, afectando más en este caso a la variedad IS en la cual se reportaron diferencias significativas entre contenido de ácidos grasos tanto poli-insaturados como mono-insaturados. Como se discutió anteriormente, las diferencias entre variedades pueden ser dadas debido a factores de latitud, madurez del grano y temporada de siembra principalmente afectando los contenidos de grasas insaturadas (Cuniberti et al. 2000). Los resultados obtenidos de aceite previo al tratamiento de detoxificación concuerdan con los datos reportados por Makkar y Becker (2008) y Nzikou et al. (2009).

La calidad del aceite para producción de biodiesel juega un papel muy importante en el producto final ya que existen varios factores que afectan dicha calidad. Uno de los factores más importantes es el perfil de ácidos grasos y la relación que exista entre el contenido de grasa saturada de cadena larga y grasa insaturada (Bamgboye y Hansen 2008). Los ácidos grasos saturados generan un alto número de cetanos pero se obtiene un biodiesel que se solidifica a temperatura ambiente. Por otro lado, el contenido de grasa insaturada, genera un número de cetanos menor, pero se obtiene un biodiesel líquido a temperatura ambiente, lo cual es necesario para no generar taponamientos en los sistemas de inyección de los vehículos en los cuales sea utilizado el combustible. Por lo tanto, es necesario tener un balance entre el contenido de grasa saturada e insaturada en el aceite a utilizar para generación de biodiesel. El nivel mínimo recomendable de ácidos grasos insaturados es de 60% para obtener un buen nivel de cetanos y prevenir la solidificación del biodiesel (Bamgboye y Hansen 2008). Estas especificaciones aplican perfectamente al aceite del piñón de ambas variedades, en las cuales se reportaron niveles de ácidos grasos insaturados mayores al 60%, y un nivel de ácidos grasos saturados de alrededor del 30%. El aceite de piñón con similares características reportó un número de cetanos de 58.5 el cual es un nivel superior al requerido por los estándares europeos para la producción de biodiesel en el cual se especifica que el número de cetanos debe de ser mayor a 51 (Makkar y Becker 2009).

Estos datos no pueden ser utilizados en experimentaciones posteriores debido a las limitantes del estudio, por lo cual deben ser validados. Sin embargo los datos mostraron ciertas tendencias las cuales nos permitieron observar el comportamiento tanto del aceite y la torta desgrasada después de los tratamientos de detoxificación realizados en este estudio los cuales son el primer paso para la producción de biodiesel en términos de calidad.

5. CONCLUSIONES

- La composición de ácidos grasos del aceite de ambas variedades de piñón indicó que tiene potencial para producción de biodiesel.
- El tratamiento de detoxificación afectó significativamente a la variedad India Salvadoreña, en especial en su contenido de ácidos grasos poli-insaturados.
- El tratamiento de detoxificación no afectó significativamente el perfil de ácidos grasos de la variedad Cabo Verde pero se vio un comportamiento parecido al ocurrido en la variedad IS.
- El tratamiento de detoxificación afectó significativamente el contenido de proteína y fibra cruda en la torta del piñón de las dos variedades.
- No se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad de las partes del grano de piñón.
- Se determinó diferencias significativas en el contenido de grasa entre variedades pero no se encontró diferencia significativa entre las partes del grano en la misma variedad.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un muestreo de campo de las variedades IS y CV, y conocer los factores climáticos, ambientales, técnicas y fechas de siembra y cosecha, etc., para tener un mayor control de todas estas variables y poder obtener mejores resultados más constantes
- Realizar los perfiles de ácidos grasos del embrión y cotiledón de las dos variedades del piñón
- Comprobar que el método de detoxificación esté funcionando por medio de la cuantificación de los ésteres de forból
- Realizar estudios más amplios sobre los parámetros de calidad en la torta desgrasada y detoxificada y en el aceite del piñón para alimentación animal y biodiesel
- Realizar el perfil de aminoácidos de la torta de ambas variedades del piñón y estudios sobre los efectos en la alimentación animal

7. BIBLIOGRAFÍA

Abou-Arab, A.; Abu-Salem, F. 2010. Nutritional quality of *Jatropha curcas* seeds and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors. African Journal of Food Science. 4(3): 93-103

Akbar, E.; Yaakub, Z.; Kamarudin, SK.; Ismail, M.; Salimon, J. 2009. Characteristics and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel Feedstock. European Journal of Scientific Research. 29(3): 396-403.

Aregheore, E.M.; Becker, K.; Makkar, H.P.S. 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments and preliminary nutritional evaluation with rats. South Pacific journal of natural science. 21: 50–56.

Bamgboye, A.; Hansen, A. 2008. Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition. International. Agrophysics. 22: 21-29.

Bártoli, JA. 2008. Manual para el cultivo del piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. La Lima, Cortés. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA): Fundación Strohalp: Gota Verde. 30 p.

Berchmans, HJ.; Hirata S. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. Bioresource Technology. 99:1716–1721.

Castellanos, A.; Murguía, M.; Moguel, Y. Efecto del deshidratado sobre el valor nutritivo de la pollinaza y la presencia de microorganismos. 2000. Técnica Pecuaria en México. 38(3): 219-230.

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.

CNAP (Centre for Novel Agricultural Products). 2009. Towards the development of new *Jatropha* varieties: Molecular and biochemical analysis of toxic and non-toxic lines (diapositivas). University of York. 19 diapositivas.

Congreso internacional de casos exitosos: Educación para el desarrollo de sociedades sustentables (2, 2008, Veracruz-México). 2008. Obtención de biodiesel y co-productos a partir de la semilla de piñón (*Jatropha curcas* L.). Ruiz-Meza, P.; Velasco-Arruti, L.; Patiño-López, L.; Trujillo-De La Cruz, R. 4 p.

- Cuniberti, M.; Herrero, R.; Baigorri, H.; Croato, D.; Masiero, B.; Parra, R.; Vicentini, R.; Piatti, F. 2000. Factores que Afectan la Composición de Ácidos Grasos de la Soja Argentina (online). Córdoba-Argentina. Consultado en 23 Sep. 2010. Disponible en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/mjuarez/Factores%20que%20Afectan%20la%20Composicion%20de%20Acidos%20Grasos%20de%20Soja%20Argentina.asp>
- Devappa, R.; Makkar, H.; Becker, k. 2010. Optimization of conditions for the extraction of phorbol esters from *Jatropha* oil. *Biomass and Bioenergy*. 34: 1125-1133.
- Eijck, J. 2009. Manual de *Jatropha*: Manipulación y almacenamiento del aceite. FACT (Fuels from agriculture in Communal Technology) foundation. 230 p.
- Falasca, S.; Ulberich, A. 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). *Revista REDESMA*. 1: 100-115
- Foidl, N.; Eder, P.; 1997. Agro-industrial exploitation of *J. curcas*. In: Gübitz, G.M.; Mittelbach, M.; Trabi, M. (Eds.), *Biofuels and Industrial Products from Jatropha curcas*. Dbv-Verlag, Graz, Austria.
- Garcés, P. 2009. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). *Cultivos energéticos alternativos*. 1: 25-38.
- Geilfus, F. 1989. El árbol: al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural; Principios y técnicas. Santo Domingo, R. D. 1: 657 p.
- Goel, G.; Makkar, HPS.; Francis, G.; Becker, K. 2007. Phorbol esters: Structure, biological activity, and toxicity in animals. *International Journal of Toxicology*. 26: 279–288.
- Haas, W.; Mittelbach, M. 2000. Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas* L.. *Industrial Crops Products* 12: 111–118.
- Heller, J. 1996. Physic Nut (en línea). *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. Consultado 16 Jun. 2010. Disponible en <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Heller1996Jatropha.pdf>
- Jongschaap, R.; Corré, W.; Bindraban, P.; Brandenburg, W. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme (en línea). Plant Research International B.V.; Wageningen UR. Consultado en Oct. 2007. Disponible en: http://www.factfuels.org/media_en/Claims_and_Facts_on_Jatropha_-WUR
- Kaushik, N.; Kumar, K.; Kumar, S.; Kaushik Nu.; Roy, S. 2007. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. *Biomass and Bioenergy* 31: 497–502

Kumar, A.; Sharma, S. 2006. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial crops and products*. 1: 1-10.

Kumar, V.; Makkar H.; Becker K. 2010. Detoxified *Jatropha curcas* kernel meal as a dietary protein source: growth performance, nutrient utilization and digestive enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*. 10: 1-14.

Makkar H.; Aderibigbe A.; Becker K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chemistry* 62(2): 207-215.

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

Makkar, H.; Becker, K. 2009. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *European Journal of Lipid Science Technology*. 111: 773-787

Makkar, H.; Becker, K.; Sporer, F.; Wink, M. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 45: 3152-3157.

Márquez, M. 1999. Desnaturalización de proteínas inducida por temperatura y desestabilizantes químicos. Tesis para Licenciatura Química. Itzalapa-México. Universidad Autónoma Metropolitana-Itzalapa. 32 p.

Martínez-Herrera, J.; Siddhuraju P.; Francis, B.; Dávila-Ortíz, P.; Becker, K. 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

Niels, A. 2010, aceite vegetal no modificado como combustible para automoción (en línea). Aceite vegetal puro. Consultado en 12 oct. Disponible en http://avp-sergio.blogspot.com/2010_01_01_archive.html

Nzikou, J.; Matos, L.; Mbemba, F.; Ndangui, C.; Pambou-Tobi, N.; Kimbonguila, A.; Silou, T.; Linder, M.; Desobry S. 2009. Characteristics and Composition of *Jatropha curcas* Oils, Variety Congo-Brazzaville. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 1(3): 154-159.

Oliveira, J.; Leite, P.; De souza, L.; mello, v.; silva, e.; rubim, j.; meneghetti, s.; suarez, p. 2008. Characteristics and composition of *jatropha gossypifolia* and *jatropha curcas* L. Oils and application for biodiesel production. *Biomass and bioenergy*. 33: 449-453

Putten, E.; Franken Y.; Jongh J. 2009. The *Jatropha* handbook (online). Primera edición. Holanda. FACT foundation. Consultado el 26 Jul. 2010. Disponible en http://www.snvworld.org/en/Documents/FACT_Foundation_Jatropha_Handbook_2010.pdf

Shah, S.; Sharma, A.; y Gupta, M. 2005. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresearch Technology*. 96:121-123.

Toral, O.; Iglesias, J.; Montes de Oca, S.; Sotolongo J.; García, S.; Torsti, M. 2008. *Jatropha curcas* L.; una especie arbórea con potencial energético en Cuba (en línea). *Pastos y Forrajes*. 31(3). Consultado en Sep. 28. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942008000300001&lng=es&nrm=iso

Wink, M.; Koschmieder, C.; Sauerwein, M.; Sporer, F.; 1997. Phorbol esters of *J. curcas* biological activities and potential applications. En: Gübitz, G.M.; Mittelbach, M.; Trabi, M. (Eds.), *Biofuels and Industrial Products from Jatropha curcas*. 1: 160–166

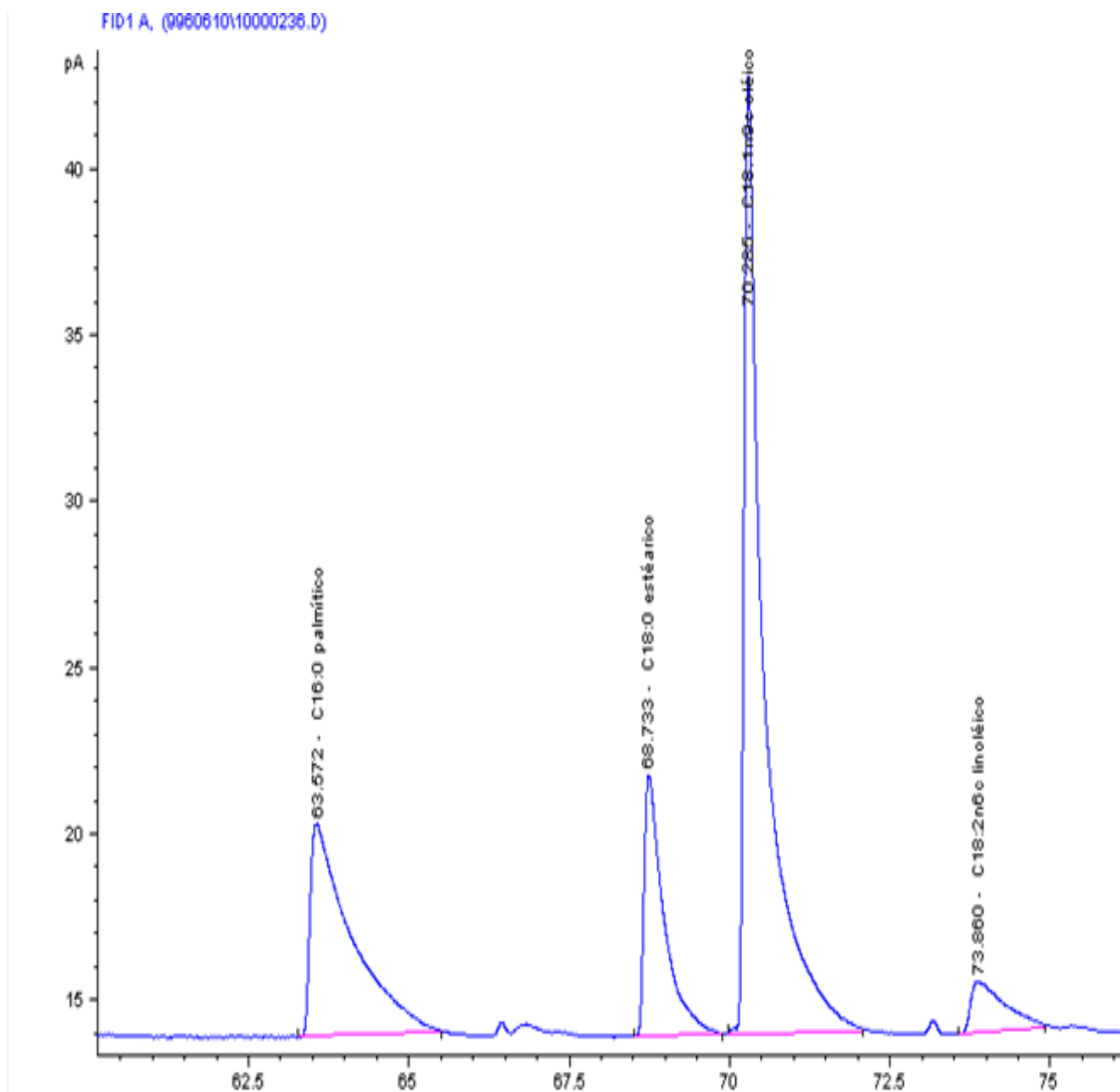
Witsberger, D.; Current, D.; Archer E. 1982. Árboles del Parque Deininger. Ministerio de Educación, El Salvador. 1:146-147.

8. ANEXOS

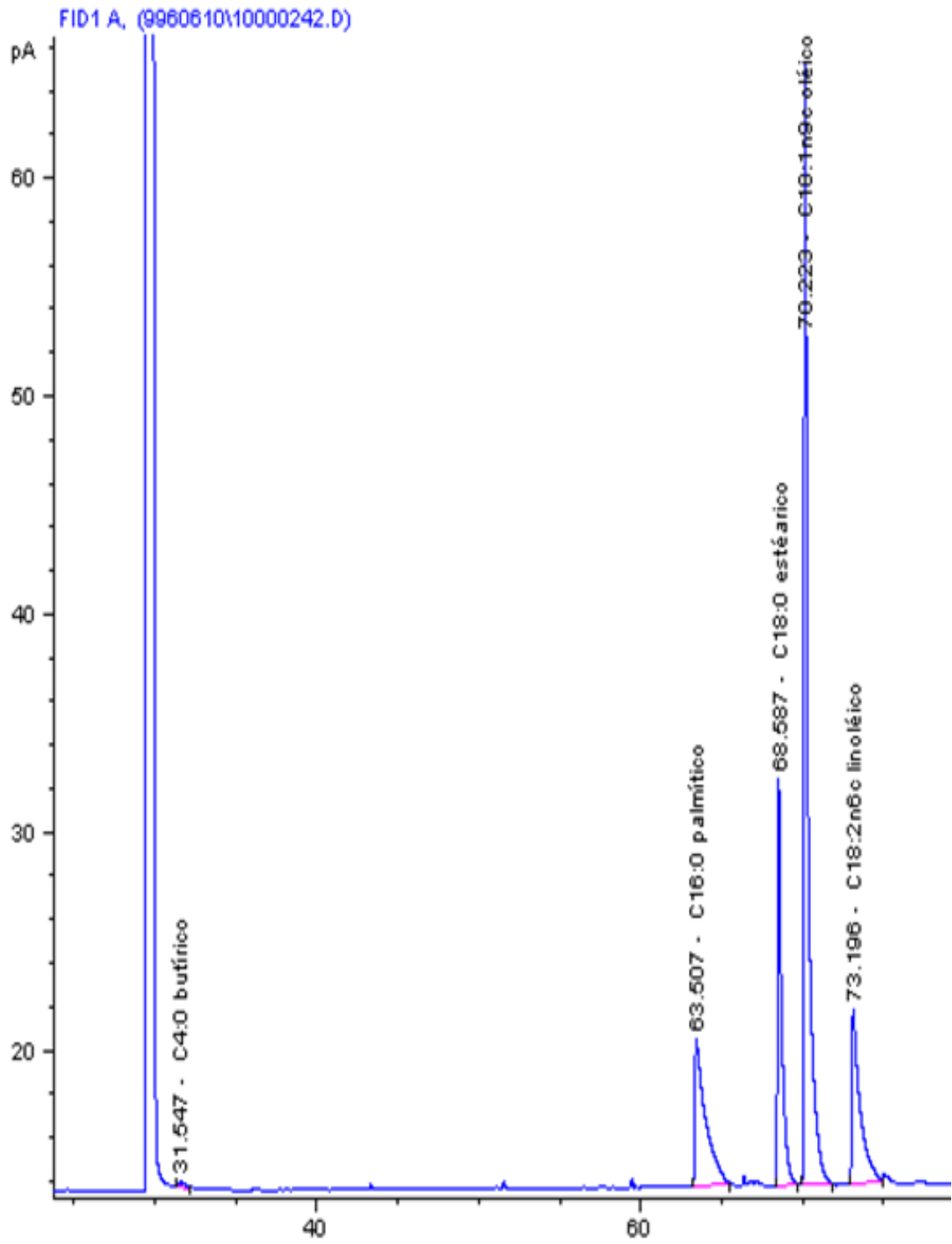
Anexo 1. Cromatogramas por parte de las dos variedades.

8.1 INDIA SALVADOREÑA

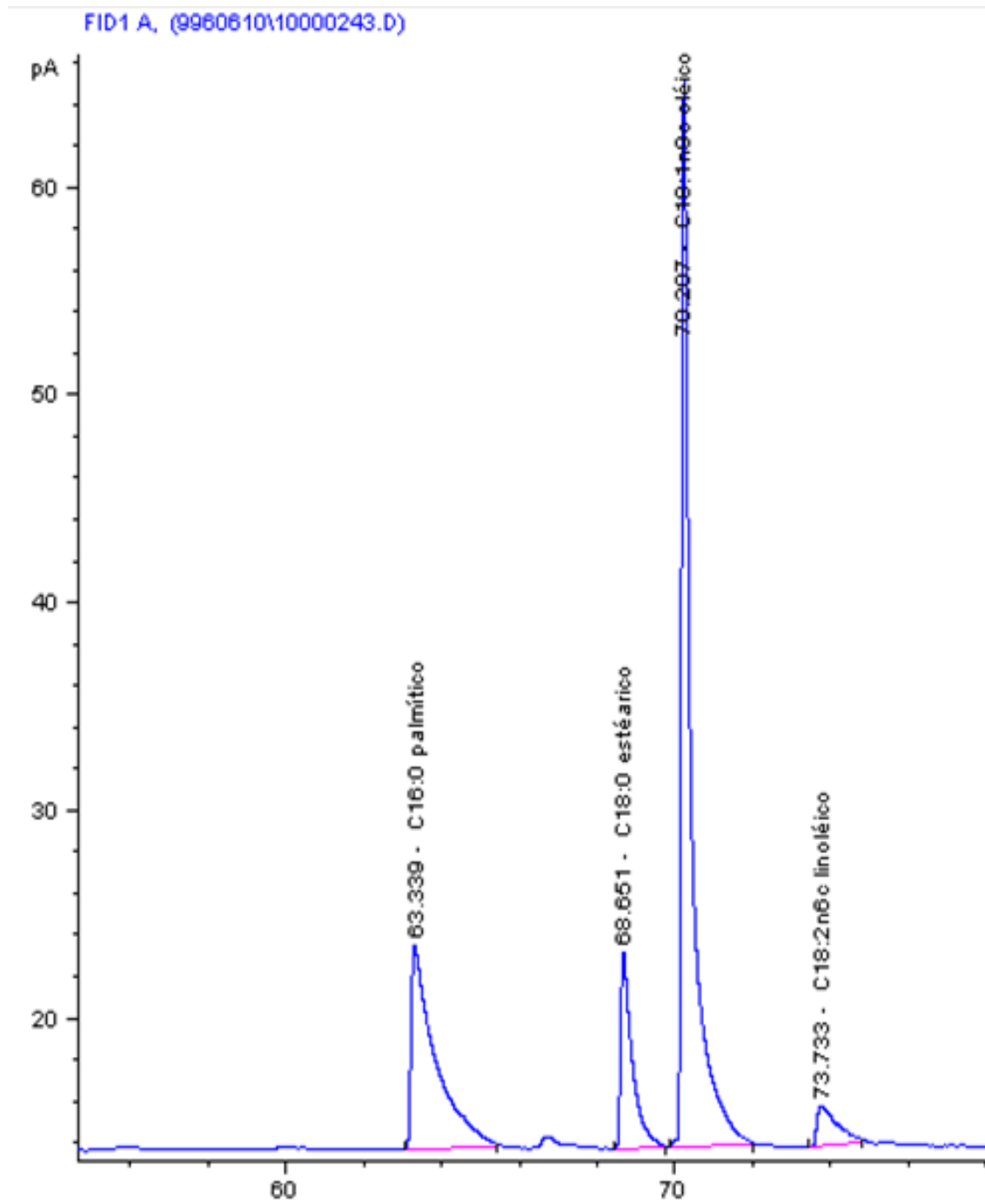
8.1.1 Membrana Interna



8.1.2 Cotiledón

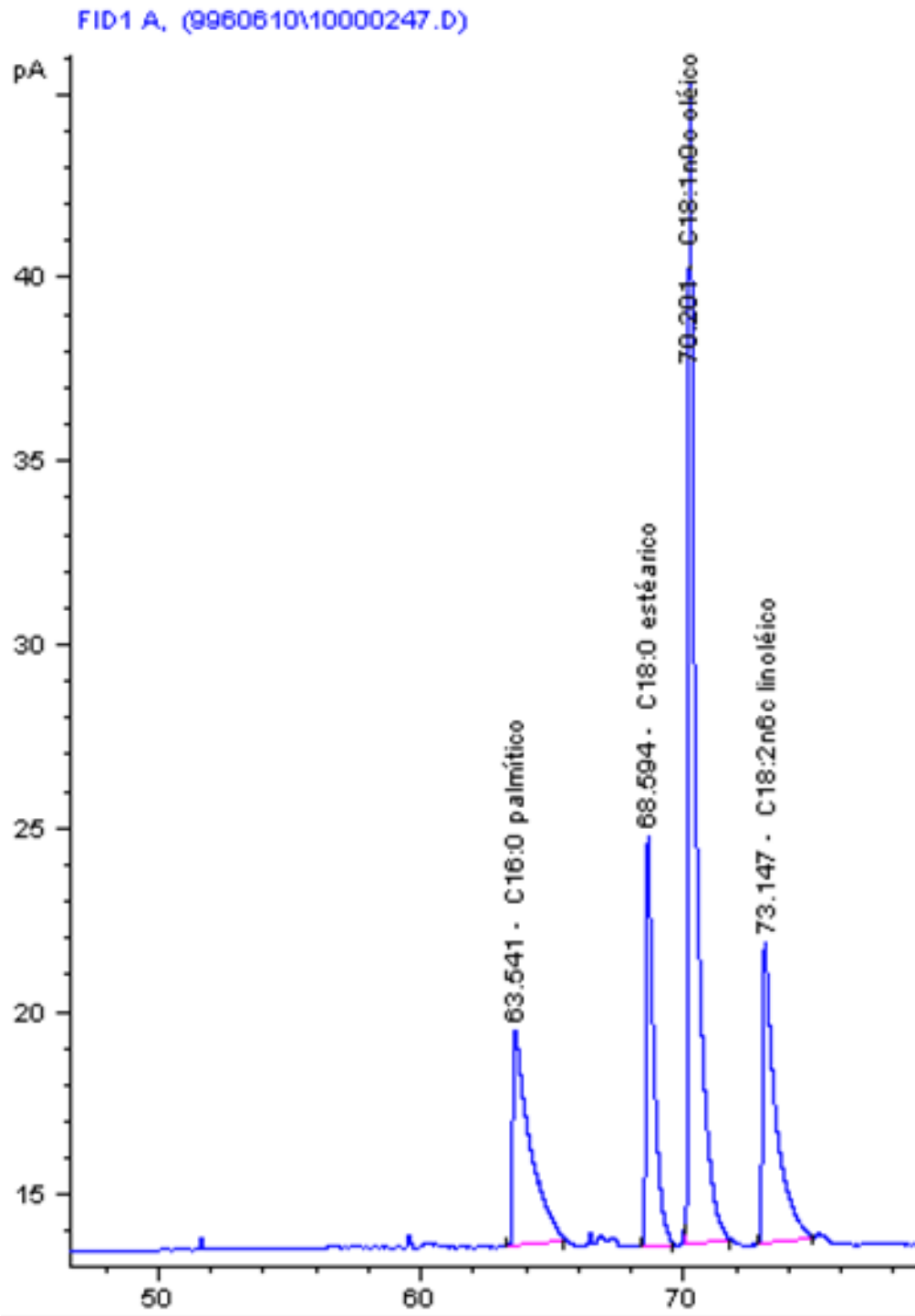


8.1.3 Endospermo

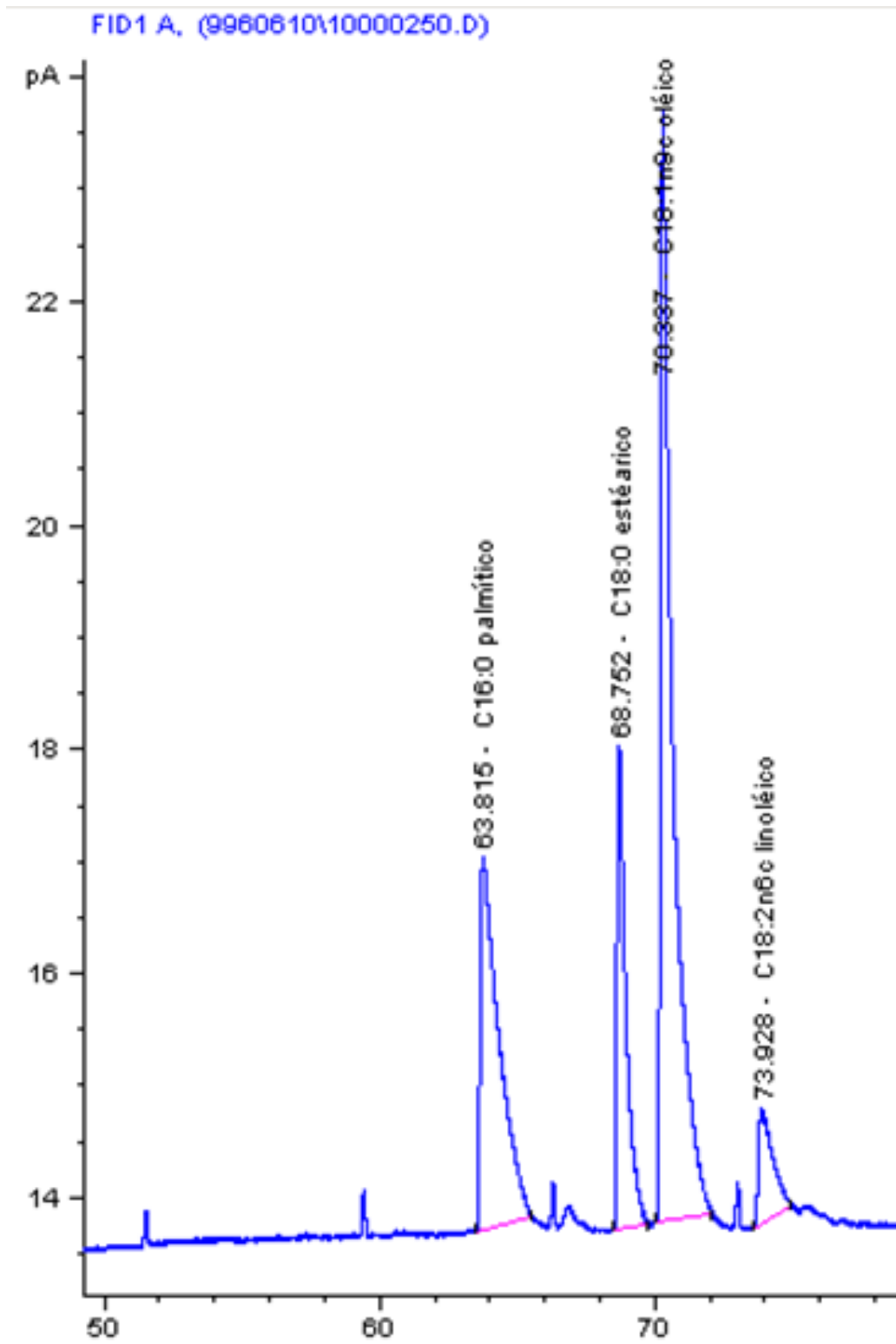


8.2 CABO VERDE

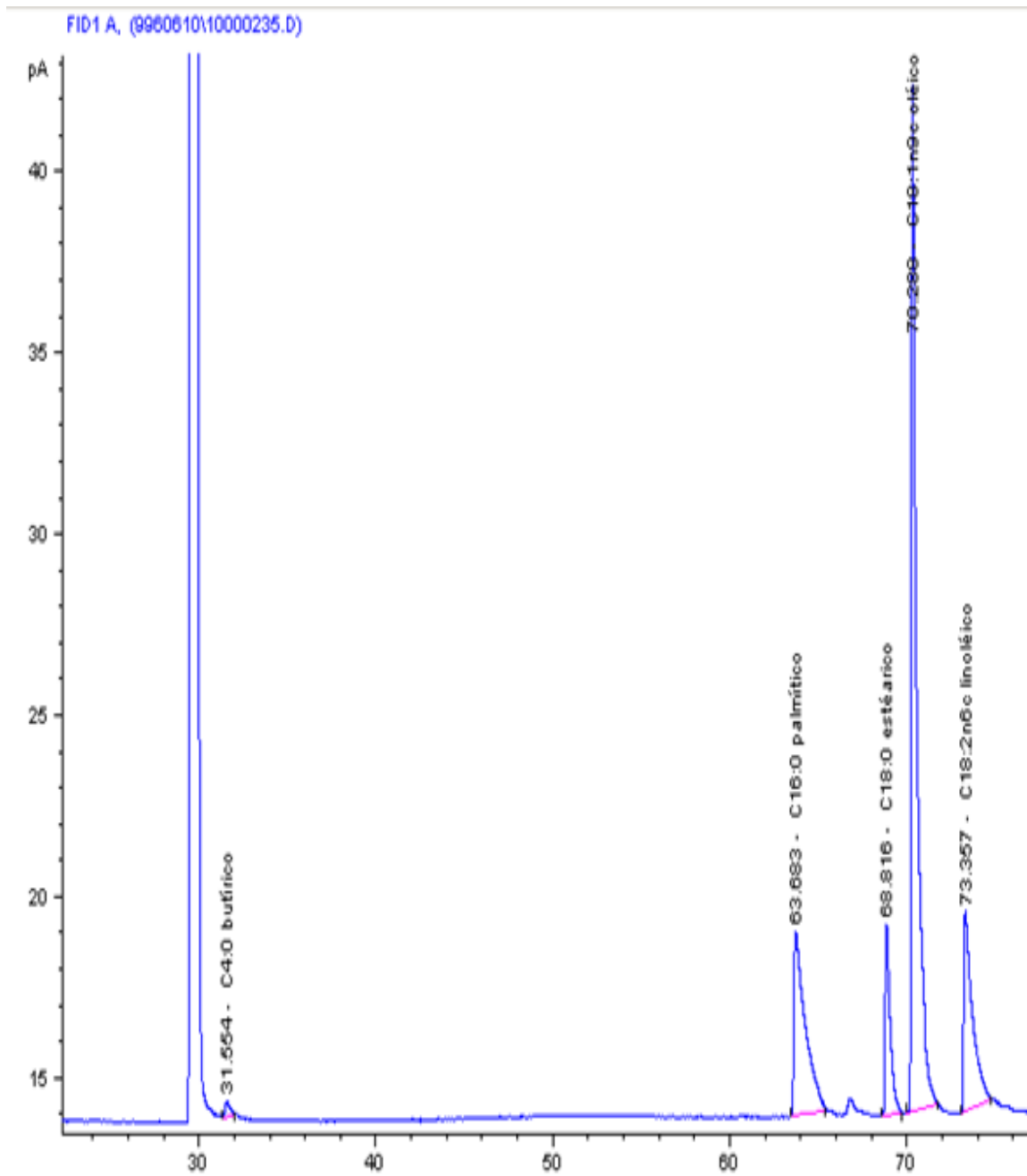
8.2.1 Cotiledón



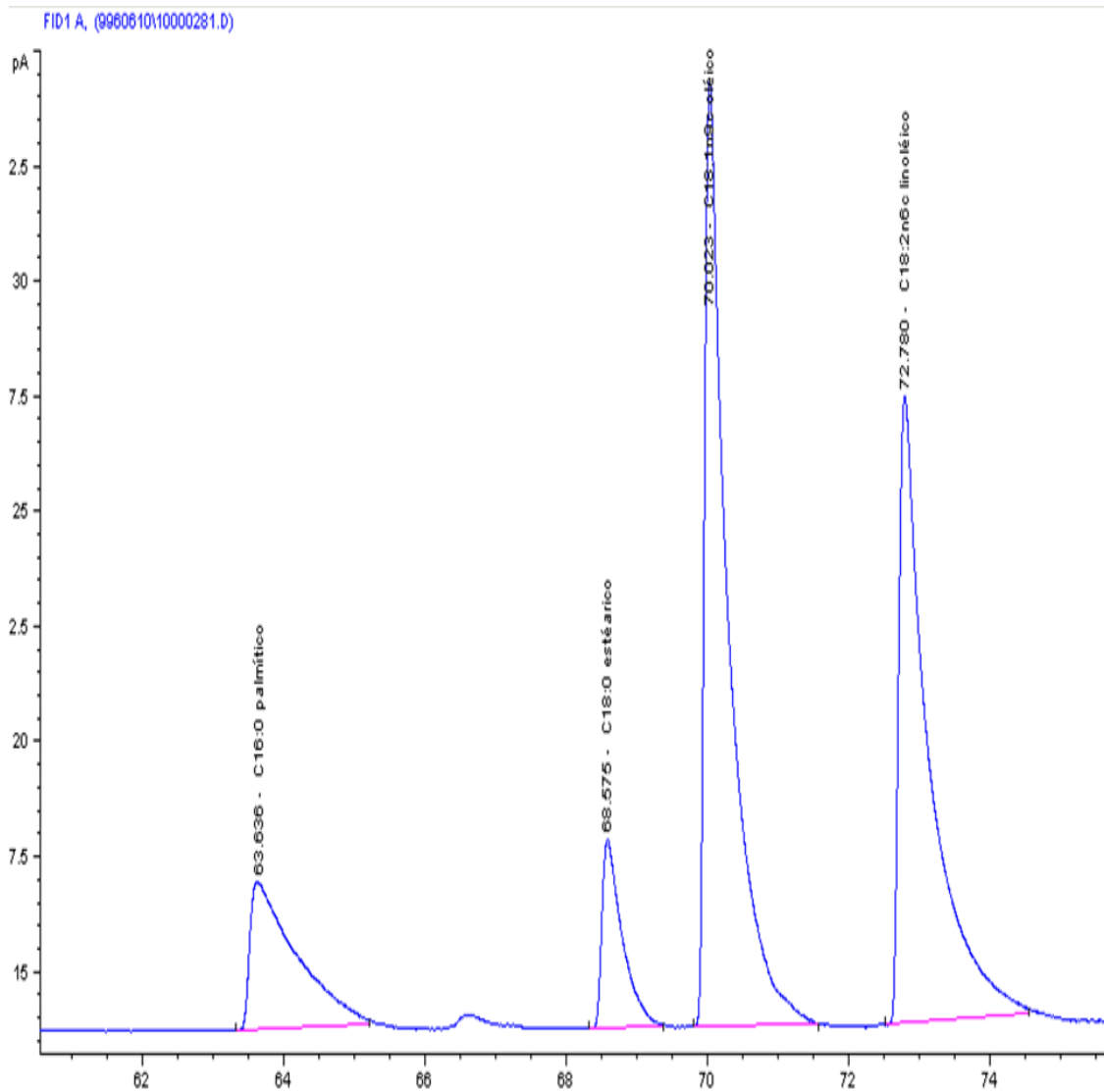
8.2.2 Membrana interna



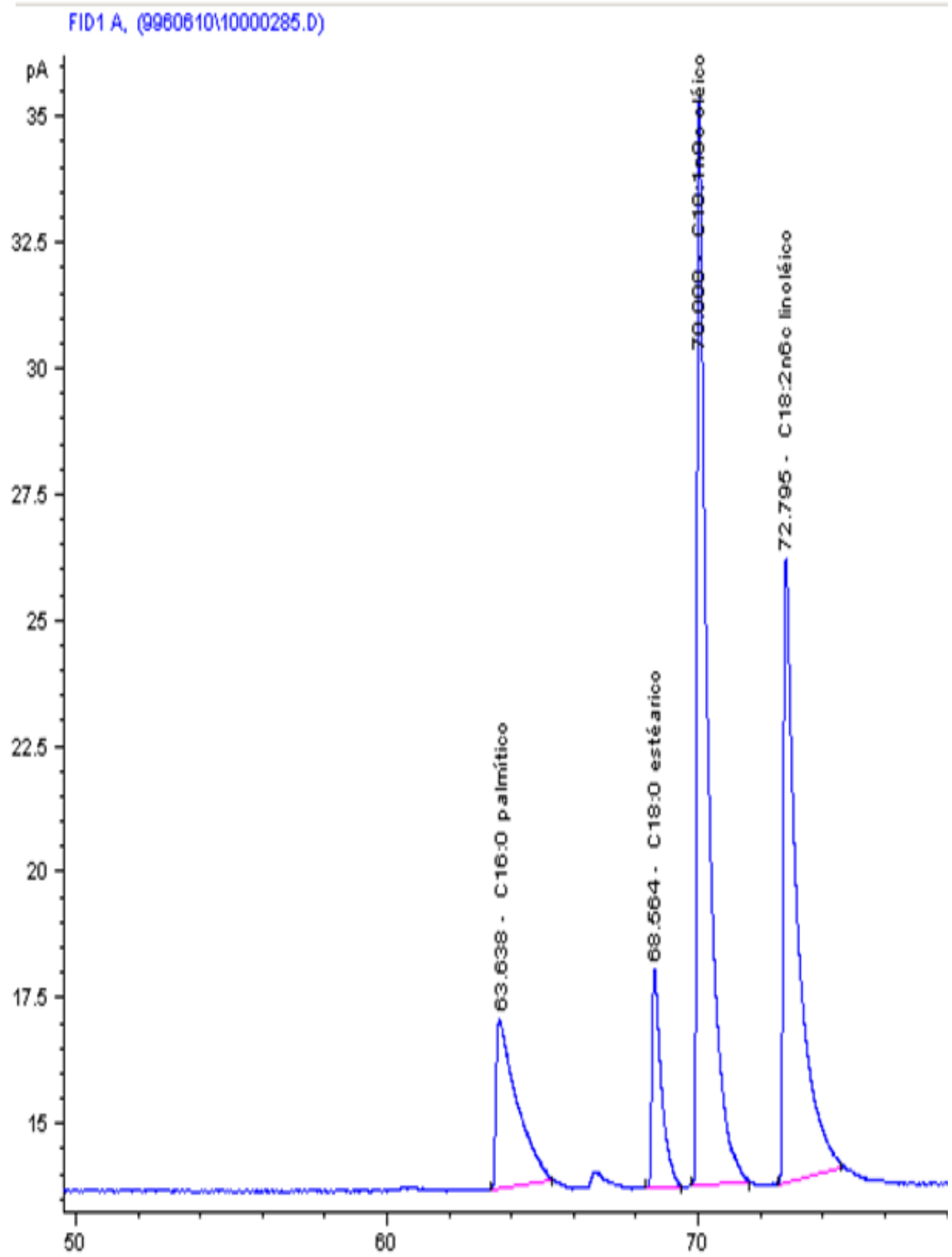
8.2.3 Endospermo



Anexo 2. Cromatogramas aceite de las dos variedades

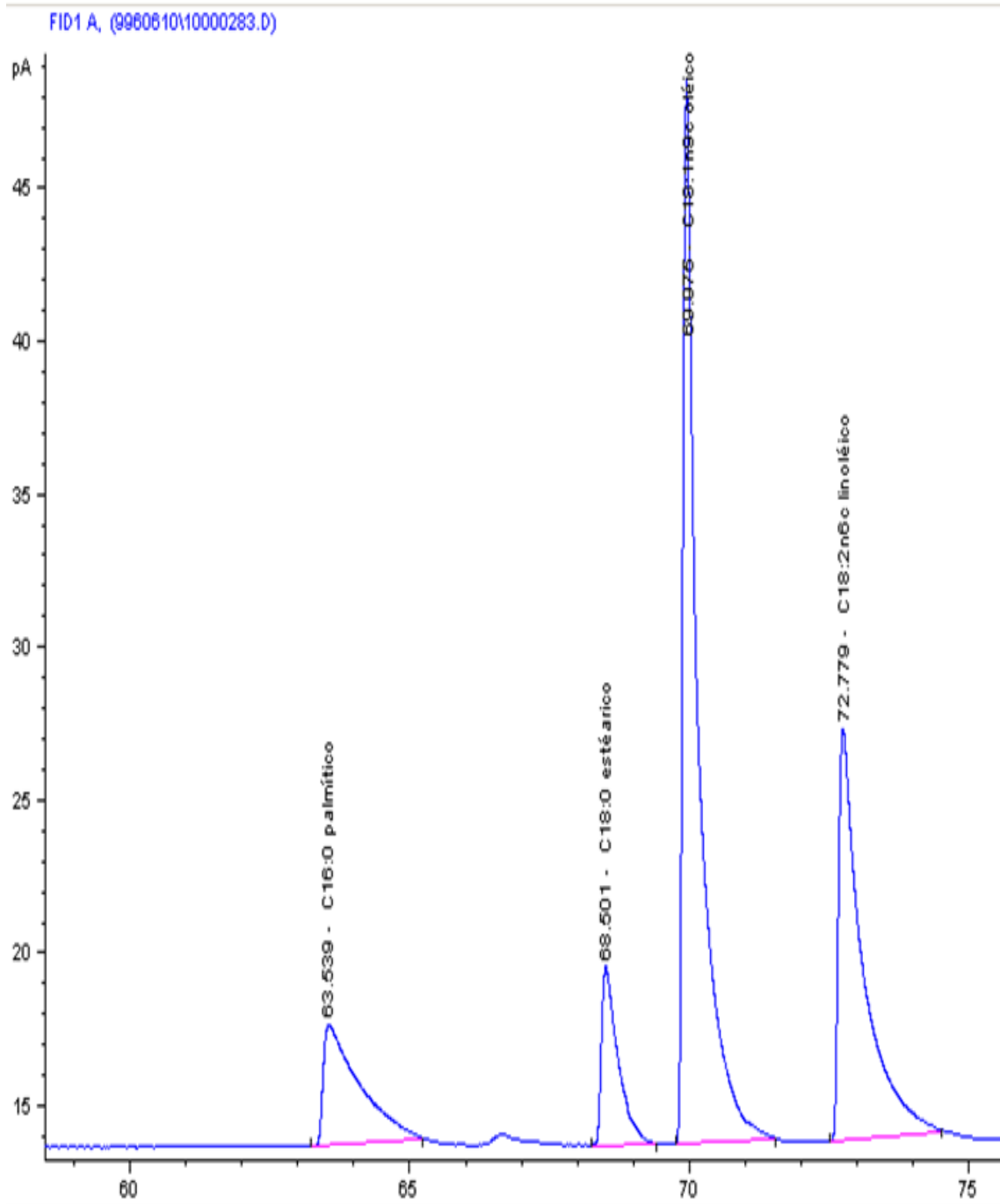
8.3 INDIA SALVADOREÑA**8.3.1 Aceite pre tratamiento**

8.3.2 Aceite post tratamiento



8.4 CABO VERDE

8.4.1 Aceite pre tratamiento



8.4.2 Aceite post tratamiento

