



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Caracterización fisicoquímica, perfil de ácidos  
grasos del aceite y análisis proximal de la torta  
residual de la almendra de palma de corozo  
(*Attalea cohune*) y palma de coyol (*Acrocomia  
aculeata*)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**ERIKA GUDIÑO NEGRETE**



**MÉXICO, D.F.**

**2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** M. en C. Bernardo Lucas Florentino  
**VOCAL:** M. en C. Lucía Cornejo Barrera  
**SECRETARIO:** Dra. Iliana Elvira González Hernández  
**1er. SUPLENTE:** M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas  
**2° SUPLENTE:** M. en C. Tania Gómez Sierra

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** Anexos 1 de los laboratorios 4A y 4C del Departamento de Alimentos y Biotecnología, Edificio A, Facultad de Química, Ciudad Universitaria, México D.F.

### **ASESOR DEL TEMA**

---

**M en C Bernardo Lucas Florentino**

### **SUPERVISOR TÉCNICO**

---

**M en C Edelmira Linares Mazari**

### **SUSTENTANTE**

---

**Erika Gudiño Negrete**

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS .....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos particulares .....	4
3. ANTECEDENTES.....	5
3.1. Generalidades de <i>Attalea cohune</i> Mart. ....	6
3.2. Generalidades de <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.....	8
3.3. Componentes de los alimentos .....	11
3.4. Grasas y aceites.....	14
3.5. Ácidos grasos.....	14
3.6. Extracción de la grasa cruda vegetal.....	17
3.7. Refinación de grasa cruda vegetal .....	17
3.8. Propiedades fisicoquímicas de una grasa cruda o aceite refinado .....	19
3.9. Densidad energética .....	21
3.10. Análisis de ácidos grasos (Por medio de cromatografía de gases).....	21
4. METODOLOGÍA .....	23
4.1. Diagrama general de investigación .....	23
4.2. Etapas del proceso .....	24
4.2.1. Recepción y acondicionamiento del material biológico.....	24
4.2.2. Fraccionamiento .....	26
4.2.3. Análisis bromatológico de las almendras integrales, y sus respectivas tortas residuales .....	26
4.2.4. Extracción de grasa cruda.....	26
4.2.5. Refinación de la grasa cruda.....	29
4.2.6 Propiedades fisicoquímicas de la grasa cruda y el aceite refinado ...	32
4.2.7. Densidad energética.....	39
4.2.8. Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.....	41
5. RESULTADOS .....	45
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
7. CONCLUSIONES.....	57

9. BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXO I .....	65

## RESUMEN

México posee una gran diversidad vegetal, entre la cual se encuentran las palmeras que generan semillas con un alto contenido en grasa. Las plantas oleaginosas son cultivos importantes para la industria, la economía y el comercio mundial; sus granos o frutos son una fuente cuantitativamente considerable de grasa y algunos de proteína.

En el presente trabajo se evaluó el potencial oleaginoso de los frutos de dos plantas pertenecientes a la familia *Arecaceae*, que crecen en el territorio nacional y que corresponden a la palma de corozo (*Attalea cohune* Mart.) y la palma de coyol (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). **Los frutos de estas palmeras son conocidos vulgarmente como "coquitos de aceite" y actualmente** tienen un incipiente valor comercial en las regiones donde crecen de forma silvestre. Adicionalmente, en estas comunidades se utilizan estos frutos con fines comestibles pero en forma reducida y esporádica. Sin embargo, se cuenta con escasa información acerca de la composición química de estos recursos vegetales.

Por esta razón se analizó la composición bromatológica de las semillas obtenidas de ambas palmeras, encontrándose que; más de un 35% de su conformación corresponde a material lipídico, el cual se extrajo con un disolvente adecuado, para ser sometido a un proceso de refinación; posterior a esto se analizaron sus propiedades fisicoquímicas y se realizó un perfil de ácidos grasos, obteniendo así la caracterización de la grasa cruda y el aceite refinado.

Con la información recabada se caracterizó el material lipídico de ambas muestras: grasa cruda y aceite refinado, los cuales pueden ser una alternativa para uso comestible con una composición de más de un 80% de ácidos grasos saturados de cadena media que fácilmente se metabolizan y un porcentaje considerable de ácido oleico.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los bosques tropicales se consideran ecosistemas terrestres complejos y diversos del planeta, los bienes y servicios que generan, cubren necesidades de la sociedad y de los grupos humanos que allí habitan en cuanto a madera, frutos, plantas medicinales, fauna silvestre, además de proporcionar servicios ambientales como reguladores del clima, agua, captura de carbono, biodiversidad, entre otros, que los convierte en ecosistemas invaluable para el hombre, como base de sostenibilidad para la vida (Endara, 2011).

En estos ecosistemas se encuentran plantas productoras de grasa, conocidas como oleaginosas y en particular las palmeras, que son después de los cereales los recursos vegetales de mayor utilidad para el hombre. La grasa vegetal que se puede obtener de ellas tiene la característica de poder ser utilizada con distintos fines, incluso para fines alimenticios (León, 1987; Mazzani, 1993).

Las grasas de origen animal y vegetal son un componente esencial en la dieta humana, debido a que proporcionan ácidos grasos que influyen favorablemente al desarrollo y mantenimiento del organismo. Poseen desde el punto de vista fisiológico un elevado valor energético, al oxidarse producen ATP y si el organismo no requiere hacer uso de los lípidos de forma inmediata por esta vía, los almacena en el tejido adiposo e hígado. Además realizan otras funciones como: vehículo de importantes vitaminas liposolubles, participan en el proceso de absorción de calcio, se utilizan como moléculas estructurales o para sintetizar otras sustancias indispensables y aportan cualidades sensoriales a los alimentos (Fennema, 2003; Tortora, 2006).

Para la industria no alimenticia, la grasa obtenida de los frutos de palmeras es utilizada en la fabricación de jabones por su alto contenido en ácido láurico, así como la elaboración de cosméticos y lubricantes.

Recientemente se han estudiado diversas maneras para la obtención de biodiesel a partir de plantas oleaginosas (Shahidi, 2005; Aguiéiras *et al*, 2014).

La industria aceitera en México depende en gran medida de la importación de oleaginosas. Para el mes de diciembre del año 2015, SAGARPA estimó una producción nacional de 804.5 mil toneladas, lo que requerirá importar 5.5 millones de toneladas métricas aproximadamente y así lograr satisfacer las necesidades del mercado, provocando una importante fuga de divisas. Aunado a esto, se continúa con una baja producción de estos recursos vegetales en nuestro país (SIAP, 2015).

El territorio nacional es rico en recursos vegetales, se cuenta con grandes extensiones de bosques tropicales, donde habitan una gran variedad de palmeras. Se reportan más de 60 especies nativas, de las cuales algunas poseen un fruto que contiene semillas con un alto potencial productivo y que puede ser fuente de grasa vegetal, como son los **llamados "coquitos de aceite", pero** lamentablemente estos recursos están subutilizados (Douglas, 2005).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

✓ Determinar la composición bromatológica de la almendra y torta residual de palma de corozo (*Attalea cohune*) y palma de coyol (*Acrocomia aculeata*); así como la caracterización fisicoquímica y perfil de ácidos grasos tanto de la grasa cruda como del aceite refinado de ambas almendras, con la finalidad de evaluar su potencial oleaginoso.

### **2.2. Objetivos particulares**

✓ Obtener suficiente material biológico en los lugares de crecimiento y comercialización de estos recursos vegetales.

✓ Extraer suficiente grasa cruda de ambas almendras en un dispositivo especial tipo Soxhlet, que procese aproximadamente 2 kg de material biológico.

✓ Determinar el análisis bromatológico tanto a las almendras íntegras como al material desengrasado con hexano (torta residual).

✓ Obtener los aceites refinados de cada muestra, después de someter las grasas crudas al proceso de refinación a nivel laboratorio.

✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos tanto de la grasa cruda como el aceite refinado, de ambas almendras.

✓ Realizar el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases (CG) de la grasa cruda y aceite refinado de ambas almendras.

### 3. ANTECEDENTES

Las palmeras son especies muy antiguas, se considera que aparecieron hace aproximadamente 120 millones de años. Aunque no es claro el lugar de origen, se habla del continente Americano y Asiático, siendo más convincente la idea de un origen al sur de Asia. Particularmente en la India, donde hay vestigios de que los frutos de palmeras formaban parte de ofrendas en ceremonias religiosas, inclusive existe una leyenda de Ceilán donde se afirma que el coco llegó allí desde “**la tierra bendita de ultramar**” (Mazzani, 1993; Mota, 2007).

Pueden llegar a tener una vida máxima de 300 años y se calcula que existen alrededor de 3000 especies económicamente relevantes, lo que las convierte en las monocotiledóneas más importantes. Suelen distribuirse por las zonas húmedas de todo el planeta, en los trópicos se ubica la mayoría de estas plantas. Aunque poseen excelentes estrategias para conservar el agua, por lo general no habitan en terrenos secos; no obstante, todos los tipos de suelo pueden acogerlas, desde los más arenosos a compactos y los más ricos a más pobres en algunos elementos (Mota, 2007).

La clasificación de las distintas especies de palmeras es complicado por las diferencias que se presentan entre los botánicos en cuanto a la delimitación de las especies y los géneros, así como la confusión entre los nombres comunes que se les han dado, en los diferentes países donde habitan, así como los distintos sinónimos que se pueden encontrar de nombres científicos; por ejemplo, para *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., se reportan cuarenta y tres sinónimos, mientras que cinco son los sinónimos que hasta el momento se pueden encontrar de *Attalea cohune* Mart. (Mota, 2007; Tropicos<sup>®</sup>, 2015).

Las palmeras estudiadas pertenecen a la Familia Botánica *Areaceae*, que abarca alrededor de 200 géneros con aproximadamente

3000 especies alrededor del mundo. En México se localizan 22 géneros y 100 especies, su hábitat se ubica en la vertiente del Golfo desde Yucatán hasta Nuevo León y Tamaulipas, mientras que en el Pacífico abarca desde Chiapas hasta Sonora incluyendo la península de Baja California. Por lo general se encuentran a bajas altitudes, en diversas condiciones de suelo, luz, clima y tipos de vegetación (Quero, 1996).

### **3.1. Generalidades de *Attalea cohune* Mart.**

-Sinónimos: *Orbignya dammeriana* Barb. Rodr., *Orbignya cohune* (Mart.) Dahlgren ex Standl., *Cocos cocoyule* Karw. ex Mart.

-Nombres comunes: Cohune, Corozo, Corozo gallinazo, Manaca.

-Nombre en inglés: Cohune palm, American oil palm.

-Hábitat: Vegeta espontáneamente en selvas tropicales húmedas principalmente, requiere un clima cálido. Se puede encontrar en México, Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua.

-Aspecto general: Su único tronco puede alcanzar hasta veinte metros de altura y aproximadamente sesenta centímetros de diámetro, la voluminosa copa presenta hojas pinnadas erguidas, con un máximo de diez metros de longitud. El desarrollo es lento. En la **Figura 1**, se puede apreciar ejemplares de *Attalea cohune* Mart.

-Detalles morfológicos

Los folíolos son reduplicados y miden hasta un metro de longitud, aproximadamente. Las infrutecencias nacen entre las hojas y tienen un

largo pedúnculo, poseen abundantes frutos ovoides de hasta unos ocho centímetros de longitud, de color marrón o marrón-amarillento una vez maduros (ver **Figura 2**).

-Usos: Los frutos poseen semillas de donde se extrae grasa, **Figura 2**. Los troncos son utilizados para construcción y los folios para tejer diversos objetos. En algunas comunidades de Oaxaca se produce una bebida fermentada a partir de los tejidos del tronco. (Cañizo, 2011; Tropicos®, 2015).



**Figura 1. *Attalea cohune* Mart. Fuentes: Cañizo, 2011; Tropicos®, 2015.**



**Figura 2. Del lado izquierdo de la figura se aprecian frutos de *Attalea cohune*, mientras que del lado derecho se muestran las semillas de estos frutos. Fuente: Tropicos®, 2015**

### **3.2. Generalidades de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.**

-Sinónimos: *A. mexicana* Karw. ex Mart., *A. totai* Martius, *A.*

*quisqueyana* L. H. Bailey, *A. moorei*, *Bactris globosa*

Gaertn. *Palma spinosa* Mill.

-Nombres comunes: Totaí, Macaúba, Gru, Corajo, Corozo, Coyol.

-Nombre en inglés: Coyol palm

-Hábitat: Es originaria de zonas muy secas, se adapta a diversos suelos y pese a ser propia de zonas de clima tropical o templado-cálido, resiste bastante bien el frío. Habita desde México hasta Argentina, principalmente.

-Aspecto general: Es una especie que presenta aspectos diversos en sus muy dispersas áreas de origen. En la **Figura 3.**, se puede apreciar a *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., la cual posee un único tronco fuerte, frecuentemente anillado, que puede medir entre doce y veinte metros de altura, en general está cubierto por espinas largas y oscuras que apuntan con sus punzantes ápices en diversas direcciones, las hojas son de color verde-grisáceo en su envés; el único inconveniente que presenta esta especie lo constituye las espinas.

-Detalles morfológicos: Cuenta con folíolos reduplicados agudos, verde-grisáceos, insertados en el raquis formando ángulos variados en él, dando un aspecto plumoso. Presenta inflorescencias bisexuales ramificadas, tienen en el pedúnculo el perfilo, corto y tubular. Las flores son de color amarillo **Figura 3.**

-Usos: Es una palmera muy útil, su tronco se ha utilizado en las construcciones rurales, de ellos se obtiene una sustancia alimenticia almidonosa y a partir de su savia se hace una bebida alcohólica, llamada taberna. Las hojas son utilizadas como forraje, de las tiras de foliolos se hacen cordones adecuados para manufacturar redes de pesca y otros utensilios. Los frutos son comestibles, de sus semillas se extrae grasa utilizada en alimentación, la industria cosmética y para la elaboración de jabones. El fruto tarda en madurar aproximadamente de seis a ocho meses. Trascurrido ese tiempo, las semillas de los frutos son aptas para la extracción de grasa (**Figura 4**). (Cañizo, 2011; Tropicos®, 2015).



**Figura 3. Del lado izquierdo de la imagen se aprecia un ejemplar de *Acrocomia aculeata* (Jacq.), en la parte superior derecha se muestran las inflorescencias de la palmera y en la esquina inferior se observa una parte del tronco anillado cubierto de espinas que es característico de esta especie. Fuente: Cañizo 2011**



**Figura 4.** De izquierda a derecha podemos observar los frutos maduros y las semillas de palma de coyol, *Acrocomia aculeata* (Jacq.)

Se han realizado estudios previos en América del Sur, sobre la composición proximal de las almendras de palma de corozo (*Attalea cohune*) y palma coyol (*Acrocomia aculeata*), los cuales se muestran las **Tablas 1 y 2.**

**Tabla 1. Análisis proximal de la almendra del fruto del corozo (Hernandez, 2005)**

Determinación	Resultado (%)
<b>Humedad</b>	6.70
<b>Proteína cruda</b>	17.23
<b>Grasa</b>	40.00
<b>Carbohidratos</b>	10.40
<b>Fibra cruda</b>	22.70
<b>Cenizas</b>	2.27

**Tabla 2. Análisis proximal de las almendras de la palma *A. moorei* (Dávila, 2015)**

Determinación	Resultado (%)
<b>Humedad</b>	22.49
<b>Proteína cruda</b>	14.41
<b>Grasa</b>	54.81
<b>Carbohidratos</b>	23.02
<b>Cenizas</b>	1.54

### **3.3. Componentes de los alimentos**

Todos los alimentos están constituidos en distintas proporciones de agua, lípidos, proteínas, hidratos de carbono, nutrimentos inorgánicos (minerales) y vitaminas, el tipo y cantidad de estos componentes determinan la calidad en cuanto a valor nutritivo del alimento. Las determinaciones que se realizan con mayor frecuencia para conocer la composición de los alimentos, corresponden al análisis de los primeros cinco componentes antes mencionados (Badui, 2012; Iturbe, 2013).

#### **Humedad**

Todos los alimentos contienen agua en menor o mayor porcentaje, se habla de la presencia del agua en dos formas generales: agua libre y agua ligada. La primera, es la forma predominante y se libera con gran facilidad, generalmente utilizando un método térmico para secar el alimento. Es conveniente conocer este valor, porque con él se podría predecir la estabilidad del alimento y así evitar el deterioro de su calidad (Hart, 1991).

#### **Proteína cruda**

Las proteínas son un componente abundante en las células, todas son importantes para las funciones biológicas y estructurales del organismo; asimismo pueden ser ingredientes de productos alimenticios, por sus propiedades funcionales ayudan a establecer la estructura y las características del alimento. Son cadenas constituidas por enlaces peptídicos y aminoácidos, que a su vez estos están compuestos de hidrógeno, carbono, oxígeno, azufre y nitrógeno, siendo este el elemento más distintivo. Existe la posibilidad de formar un gran número de proteínas a partir de 20 unidades básicas, lo que se conoce como aminoácidos, las diversas combinaciones de secuencia de aminoácidos,

longitud de cadena y organización estructural permiten una gran variedad de proteínas y por lo tanto de funciones, que dependerán de sus propiedades fisicoquímicas, como: carga, estado de agregación, hidrofobicidad. Se pueden clasificar por su estructura o función biológica (Nielsen, 2009; Badui, 2012).

## **Grasa cruda**

Los lípidos constituyen un grupo diverso de compuestos solubles en disolventes orgánicos pero con escasa solubilidad en agua. Integrados por carbono, hidrógeno y oxígeno, formado cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno. El número de sustancias consideradas como lípidos es muy grande y la manera de clasificarlas resulta difícil; existen diversos métodos para hacerlo basándose en las propiedades físicas o químicas que los caracterizan. Una manera de clasificarlos es dividirlos en tres grupos, en función de su estructura química: lípidos simples abarcan las grasas y aceites, por lo tanto, resultan los más abundantes, los lípidos compuestos son aquellos que están integrados por una parte lipídica y otra que no lo es, unidas covalentemente, como los fosfolípidos; su importancia biológica es enorme puesto que, entre otras cosas, son parte de la membrana celular y de los complejos que forman con el colesterol. Por último, los lípidos asociados o derivados, en esta categoría están los ácidos grasos libres, carotenoides, vitaminas liposolubles, colesterol, etcétera. Otra clasificación es considerando su origen: grasa de origen animal y grasa de origen vegetal.

La fuente más importante cuantitativamente de grasas vegetales son semillas oleaginosas, como por ejemplo, el coco. Los lípidos de la dieta juegan un papel importante en la nutrición como fuente energética (un gramo de ácidos grasos genera aproximadamente 9 kcal) y suministro

de ácidos grasos indispensables para el hombre. Algunos lípidos son parte estructural de la membrana celular y participan en sistemas de transporte de diversos nutrimentos, actúan como aislantes naturales del cuerpo humano, mejoran las propiedades sensoriales de los alimentos. Durante décadas han sido objeto de controversia con respecto a su toxicidad, su contribución a la obesidad y el riesgo a sufrir ciertas enfermedades cardiovasculares (Badui, 1995; Fennema, 2003).

### **Fibra cruda**

Se considera así a la proporción presente de polisacáridos en los alimentos que no son aprovechados metabólicamente por los organismos monogástricos, pero que cumplen una función importante en el bienestar del individuo, debido a que, presenta resistencia a ser digeridos y absorbidos. Se determinan analíticamente tratando la muestra previamente desengrasada con un proceso de hidrólisis ácida ( $H_2SO_4$ ), seguido por una hidrólisis alcalina, lavado con alcohol y finalmente una incineración del material insoluble. La fibra cruda corresponde a los hidratos de carbono que contienen celulosa, lignina y hemicelulosa, se encuentra presente en verduras, cereales, leguminosas y frutas, favorece la motilidad gastrointestinal (Hart, 1984; Kirk *et al*, 1996; Badui, 2012).

### **Minerales**

Son elementos químicos inorgánicos distribuidos ampliamente en la naturaleza y en los alimentos, son imprescindibles para el normal funcionamiento metabólico, encontrándose en el organismo formando diversas estructuras, encargados de mantener la presión osmótica, contribuyen en la síntesis de ciertas hormonas y participan en las reacciones químicas de otros nutrimentos. Los seres humanos no somos capaces de sintetizar ningún mineral por lo que es necesario incluirlos en

la dieta y no presentan función energética. (Kirk et al, 1996; Fennema, 2003).

### **Hidratos de carbono**

Son polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas que contienen al menos un carbono quiral y se pueden encontrar como una unidad o como varias, conectadas mediante enlaces glucosídicos. Se pueden clasificar de acuerdo a su digestibilidad o al número de unidades que los constituyen. Son muy abundantes en la naturaleza y de fácil disponibilidad. Se encuentran en forma de fibra, almidones y azúcares. Algunas de las funciones que realizan en el organismo son: intermediarios metabólicos y aporte de energía (Hart, 1984; McMurry, 2004; Mendoza, 2010).

### **3.4. Grasas y aceites**

Los aceites y las grasas son sustancias de origen vegetal o animal que consisten predominantemente de mezclas de ésteres de glicerol con ácidos grasos, llamados triacilgliceroles. Estos se forman por medio de una condensación dando tres moléculas de agua y una de triacilglicerol, los ácidos grasos que forman parte del triglicérido pueden ser idénticos o diferentes (Shahidi, 2005).

### **3.5. Ácidos grasos**

En una forma pura los aceites y las grasas están conformados exclusivamente por triacilgliceroles (TAG, también llamados triglicéridos) que corresponde a una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos.

Los ácidos grasos que poseen los triglicéridos son los responsables de las propiedades fisicoquímicas que muestre la grasa cruda o aceite refinado

en estudio. La mayoría de los ácidos grasos son monocarboxílicos, de cadena alifática con número par de átomos de carbono; sin embargo también se encuentran hidroxilados, con un número impar de átomos de carbono, cíclicos y ramificados. El número de ácidos grasos encontrados comúnmente en los alimentos es muy reducido. En la **Tabla 3**, se muestran los ácidos grasos que se reportan presentes con mayor frecuencia en los alimentos, cuando se encuentran ácidos grasos libres es porque ocurrió una hidrólisis del enlace éster. (McMurry, 2004; Badui, 2012).

Para su estudio, los ácidos grasos se han dividido en dos grandes grupos: saturados e insaturados. Los ácidos grasos saturados se caracterizan por la ausencia de dobles enlaces entre los carbonos que forman la cadena del ácido. Son más estables a la oxidación que los insaturados; sin embargo, en condiciones de temperatura muy alta (mayor a 180 °C), pueden sufrir reacciones oxidativas, como suele ocurrir en el freído y en presencia de oxígeno. Por otro lado, los ácidos grasos que presentan al menos una doble ligadura entre dos carbonos se denominan insaturados. La presencia de un doble enlace propicia que estos compuestos posean una mayor reactividad química, que se refleja en tres mecanismos: oxidación, hidrogenación e isomerización. Las grasas insaturadas se pueden encontrar más fácilmente y en mayor concentración en productos pesqueros y en plantas oleaginosas (Badui, 2012; McMurry, 2004).

Diversos son los factores que determinan la composición de los ácidos grasos de las grasas y aceites. Por ejemplo, en las grasas de origen animal se ha observado que la alimentación de los animales modifica la composición de los triglicéridos, mientras que para las grasas provenientes de vegetales, su composición depende de la planta de la

**Tabla 3. Algunos ácidos grasos presentes en la naturaleza, (Badui, 2012)**

	<b>Nombre trivial</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Fórmula</b>
<b>Saturados</b>	Butírico	Butanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
	Caproico	Hexanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
	Caprílico	Octanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
	Cáprico	Decanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
	Láurico*	Dodecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
	Mirístico*	Tetradecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
	Palmítico*	Hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
	Estéarico*	Octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
	Araquídico	Eicosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
	Behénico	Docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
	Lignocérico	Tetracosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$
	Cerótico	Hexacosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{COOH}$
<b>Insaturados</b>	Palmitoleico	Hexadeca-9-enoico	$\text{C}_{15}\text{H}_{29}\text{COOH}$
	Oleico*	Octadeca-9-enoico	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$
	Linoleico*	Octadeca-9:12-dienoico	$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$
	Linoléico*	Octadeca-9:12:15-trienoico	$\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$
	Araquidónico	Eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	$\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{COOH}$
	Vaccénico	<i>trans</i> -Octadeca-11-enoico	$\text{C}_{17}\text{H}_{32}\text{COOH}$
	Gadoleico	Eicosa-11-enoico	$\text{C}_{19}\text{H}_{37}\text{COOH}$
	Erúcico	Docosa-13-enoico	$\text{C}_{21}\text{H}_{40}\text{COOH}$
	EPA	Eicosa-5,8,11,14,17-enoico	$\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$
	DPA	Docosa-7,10,13,16,19-enoico	$\text{C}_{21}\text{H}_{32}\text{COOH}$
DHA	Docosa-4,7,10,13,16,19-enoico	$\text{C}_{21}\text{H}_{30}\text{COOH}$	

\*Ácidos grasos más comunes en los alimentos

que provengan y las concentraciones en las que se presenten los ácidos grasos pueden modificarse por condiciones ambientales (Badui, 2012).

### **3.6. Extracción de la grasa cruda vegetal**

Al hablar de la extracción de grasa cruda, se hace referencia a la operación mediante la cual es separada la fracción lipídica de una muestra determinada. La mayoría de los aceites provenientes de vegetales son obtenidos mediante una extracción con disolventes. Éste método es eficaz y conveniente, debido a una menor manipulación de la muestra en comparación con una extracción mecánica, se obtienen rendimientos mayores y el costo es reducido a nivel industrial de manera considerada (Shahidi, 2005).

El proceso comprende cuatro etapas: extracción de la grasa cruda con disolvente, separación de la grasa cruda y disolvente, recuperación de éste, secado y enfriado de la torta residual (Murphy, 1994; Shahidi, 2005).

El hexano comercial es el disolvente comúnmente utilizado en todo el mundo para la extracción de grasa a partir de oleaginosas, debido a su fácil disponibilidad en cuanto a costo, la alta solubilidad de grasa en él y la temperatura de trabajo, ya que es menor comparada con el resto de hidrocarburos comerciales y mezclas de éstos. Sin embargo, se debe tener cuidado con los vapores de hexano que se desprenden en este proceso, debido a que, el vapor de hexano es tres veces más denso que el aire y un poco de este vapor mezclado con aire puede generar una mezcla explosiva. (Chang, 2007; Shahidi, 2005)

### **3.7. Refinación de grasa cruda vegetal**

Todas las grasas crudas obtenidas después de un proceso físico o químico de extracción contienen inevitablemente cantidades variables de componentes que no corresponden a triglicéridos, tales como ácidos grasos libres, monoglicéridos y diglicéridos, fosfátidos, esteroides,

tocoferoles, pigmentos, vitaminas liposolubles (caroteno, tocoferol, filoquinona, menaquinona), glucósidos de esterol, glicolípidos, fragmentos de proteínas, trazas de pesticidas y trazas de metales, así como materiales resinosos y mucilaginosos. Las cantidades de estos compuestos varían según la fuente de la grasa cruda y el proceso de extracción, entre otros aspectos. El objetivo del refinado que puede efectuarse por métodos físicos, químicos o ambos, es la eliminación de los componentes químicos que no son triglicéridos y consiste en cuatro operaciones unitarias (filtración, blanqueo, desgomado y neutralización), las cuales se realizan o no según las características de la grasa cruda. (O` Brien, 2004).

### **Desgomado**

Consiste en generar una fase inmisible con la grasa cruda en proceso de refinación, con el fin de separar compuestos hidrosolubles como: hidratos de carbono, proteínas, fosfátidos y residuos de agua. Esta extracción acuosa evita problemas ya que por ejemplo, si se encuentran presentes fosfátidos, estos son muy sensibles a la oxidación y en pequeñas concentraciones pueden producir espuma, lo que conllevaría a un deterioro de la grasa. (Badui, 2012)

### **Neutralización**

El principal objetivo de la refinación es eliminar los ácidos grasos libres presentes, resultado de la hidrólisis de los triacilglicéridos, al igual que retirar los residuos de fosfolípidos que pudieran quedar presentes después del tratamiento de desgomado. El método consiste en realizar una saponificación con NaOH, el cual reacciona con los ácidos grasos y posteriormente se efectúa una neutralización de forma continua o semicontinua. Entre mayor sea la cantidad de ácidos libres presentes en la grasa cruda, el rendimiento del proceso de refinado se verá disminuido;

los aceites bien neutralizados contienen menos del 0.1% de ácidos grasos libres. (Badui, 2012)

### **3.8. Propiedades fisicoquímicas de una grasa cruda o aceite refinado**

#### **Peso específico**

Se define así al peso de una sustancia por unidad de volumen; ésta depende de la temperatura y la presión. Las unidades en las que se expresa son  $\text{g/cm}^3$  y el método que se emplea es gravimétrico. El peso específico es inversamente proporcional al peso molecular y directamente proporcional al grado de insaturación que presente la grasa en estudio. (Bailey, 1979; Lawson, 1999)

#### **Punto de fusión**

Es un valor de temperatura a la que ocurre un cambio físico de una muestra del estado sólido a líquido. Cada ácido graso puro posee un punto de fusión determinado; las grasas crudas y aceites refinados son esencialmente mezclas de varios ácidos grasos en forma de triglicéridos, y por esta razón no tienen un punto de fusión determinado, debido a esto se reportan como un intervalo de temperatura. Algunos de los factores que influyen en el punto de fusión son: la longitud media de las cadenas de los ácidos grasos, la ubicación de estos en la cadena de glicerol y la proporción relativa de ácidos grasos saturados e insaturados presentes en la grasa o aceite. (Lawson, 1999)

#### **Índice de refracción**

Este valor se obtiene basado en la relación entre la velocidad de una onda luminosa en el aire y su velocidad en la sustancia grasa a una temperatura determinada, el proceso es rápido y se requiere poca

muestra. Es útil para la identificación de grasas, comprobación de la pureza y observación del proceso de reacciones como la hidrogenación catalítica. (Lawson, 1999. Nielsen, 1998)

### **Índice de acidez**

Mide la cantidad de ácidos grasos libres de una grasa o aceite, como resultado de una hidrólisis de los triglicéridos, por acción de una lipasa o algún factor físico como luz y calor. La información obtenida sirve como indicador general de la condición y estabilidad de una grasa o aceite y se define como la masa expresada en miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en una grasa o aceite (Madrid, 1997; Badui, 2012).

### **Índice de saponificación**

El índice de saponificación corresponde al peso de hidróxido potásico expresado en mg, requerido para saponificar los ácidos grasos resultantes de hidrolizar un gramo de grasa cruda o aceite refinado. El índice de saponificación es inversamente proporcional a la medida de los pesos moleculares de los ácidos grasos de los glicéridos presentes en el aceite o grasa. Como muchos aceites dan índices de saponificación similares, este dato es menos valioso que el índice de yodo, cuando se trata de identificar un aceite desconocido. Notables excepciones son los altos índices del aceite de coco y el aceite de almendra de palma debido a la composición, aproximadamente el 85% de los ácidos grasos presentes son saturados y de cadena corta. (Pearson, 1993; Ziller, 1996; FAO, 2013).

### **Índice de yodo**

Corresponde al número de gramos de yodo que pueden ser absorbidos por 100 gramos de grasa, obteniendo así el grado de no

saturación de los ácidos grasos presentes. Este valor revela datos de la composición y naturaleza de la grasa, la cual puede ser clasificadas en tres grupos: secantes (número de yodo mayor de 130), semisecantes (entre 100-130) y no secantes (menor a 100). Existen varios métodos para determinar el índice de yodo y es importante indicar cuál ha sido utilizado porque el resultado difiere según el método. (Fennema, 2003; Mazzani, 1993)

### **3.9. Densidad energética**

Consiste en la combustión por ignición eléctrica de una muestra de peso conocido en una atmósfera de oxígeno. La energía producida en forma de calor se trasmite al cilindro de la bomba, el cual se encuentra conectado a un detector que recibe información sobre el cambio de temperatura. El aumento producido en la temperatura después de la combustión de la muestra se compara con el cambio de temperatura que se produce con una cantidad conocida de ácido benzoico que es el estándar de referencia con contenido energético certificado (Miller, 1993).

### **3.10. Análisis de ácidos grasos (Por medio de cromatografía de gases)**

La técnica de cromatografía se fundamenta en la diversidad de afinidades de las sustancias presentes en una muestra por un medio móvil gas o líquido y un medio adsorbente estacionario a través del cual circulan. La mezcla a separar se disuelve en un disolvente, llamado fase móvil y se hace pasar sobre un material adsorbente o también llamado fase estacionaria. La fase estacionaria retrasa el paso de los componentes de la muestra, de forma que los componentes la atraviesan a diferentes velocidades y se separan en el tiempo. Cada uno de los componentes de

la mezcla presenta un tiempo característico de paso por el sistema, denominado tiempo de retención o elución.

Por lo general, la utilización de la cromatografía de gases está restringida a la separación de compuestos con un peso molecular menor de mil a una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 400 °C. La única limitación existente es la estabilidad térmica que presente la muestra. (McMurry, 2004)

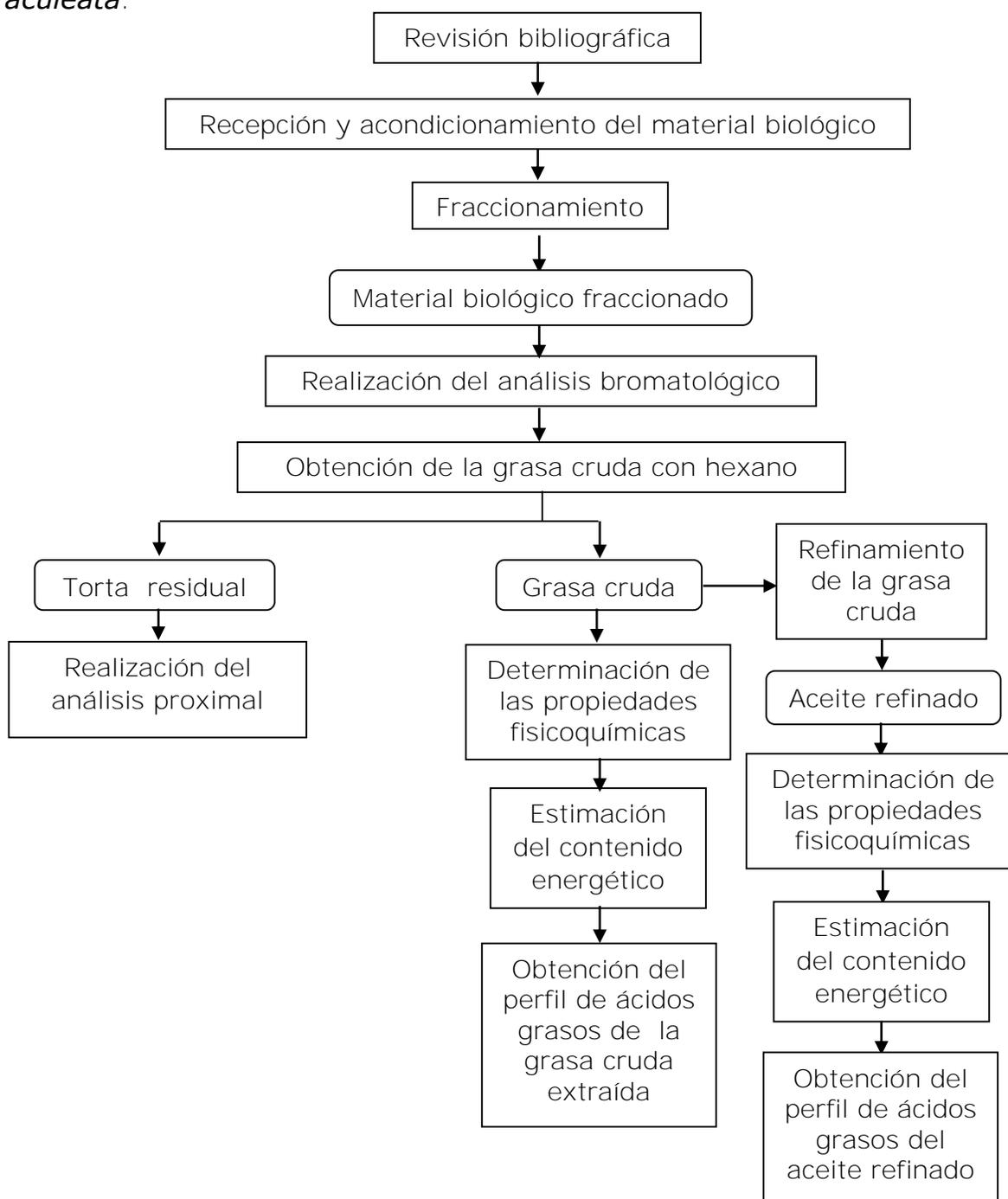
Para realizar la separación mediante cromatografía de gases, se inyecta una pequeña cantidad de la muestra a separar en una corriente de un gas inerte a elevada temperatura: esta corriente de gas, atraviesa la columna cromatográfica que separará los componentes de la mezcla por medio de un mecanismo de partición. Los componentes separados emergen de la columna en intervalos de tiempo y pasarán a través de un sistema de detección (Chang, 2007).

Para el análisis de ácidos grasos por cromatografía de gases (CG) se requiere de una esterificación previa. En general la esterificación se realiza con trifloruro de boro en metanol y hexano para extraer la fase orgánica donde se encuentran los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME por sus siglas en inglés Fatty Acid Methyl Ester) (Nielsen, 2003)

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Diagrama general de investigación

En la **Figura 5**, se muestra el diagrama de procedimiento analítico que se efectuó para las dos muestras estudiadas: *Attalea cohune* y *Acrocomia aculeata*.



**Figura 5. Diagrama general de trabajo para las semillas de *Attalea cohune* y *Acrocomia aculeata***

## 4.2 Etapas del proceso

### 4.2.1. Recepción y acondicionamiento del material biológico

- *Attalea cohune* Mart

Nombre común: Coquito de aceite

Procedencia: Aguascalientes, México.

Adquirido: Mercado Terán, Aguascalientes, México.

Catálogo y número de colecta: Robert Bye 36534 & Edelmira Linares

Fecha: 25 de Octubre del 2010.

Al lote recibido se le retiraron las almendras con daños físicos y se procedió a envasar en contenedores adecuados y etiquetar correctamente la muestra para su posterior análisis.

En la **Figura 6.**, se puede apreciar algunas de las almendras recibidas de *Attalea cohune* Mart.



**Figura 6. Coquitos de palma de corozo (*Attalea cohune* Mart.)**

- *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. Ex Mart.

Nombre común: Coyol, cocoyol

Procedencia: Veracruz, México.

Adquirido: Mercado de Tlaxcala, Tlaxcala, México.

Catálogo y número de colecta: Col. E. Linares 2168 & R. Bye.

Fecha: 18 de Mayo del 2013

A los frutos recibidos (ver **Figura 7**), se procedió a retirarles el exocarpio y mesocarpio, en esta última capa fue necesario utilizar un tornillo de banco, para finalmente trabajar con el endocarpio. En la **Figura 8**, se aprecia las partes que componen los frutos de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.



**Figura 7. Frutos de *Acrocomia aculeata* (Jacq.)**



**Figura 8. Partes que componen los frutos de *Acrocomia aculeata* (Jacq.)**

#### **4.2.2. Fraccionamiento**

Se utilizó un equipo a nivel laboratorio: molino Thomas Wiley. Modelo 4, con malla 4 mm, con la finalidad de solo fraccionar el material biológico y así evitar la pérdida de grasa en la molienda.

#### **4.2.3. Análisis bromatológico de las almendras integrales, y sus respectivas tortas residuales**

El análisis bromatológico se realizó de acuerdo a los métodos establecidos por la AOAC, con pequeñas modificaciones, basándose en el esquema Weende, en donde las determinaciones requeridas son las siguientes:

Humedad (H)

Proteína total, Método de Kjeldhal (P)

Grasa cruda (G)

Fibra cruda (F)

Cenizas (C)

Hidratos de carbono asimilables obtenidos teóricamente por diferencia (HC):  $\%HC = 100 - [\%H + \%P + \%G + \%F + \%C]$

#### **4.2.4. Extracción de grasa cruda**

Fundamento

Consiste en una extracción semicontinua de un sólido con un líquido, en este caso un disolvente orgánico, el cual se pone en contacto con la muestra, ocurriendo una selección por medio de una disolución

donde la fracción no polar del sólido es disuelta en el disolvente. Posteriormente el disolvente es separado por destilación.

#### Material y reactivos

- Costal de manta
- Dispositivo especial tipo Soxhlet, con capacidad para procesar 2 kg
- Matraz de bola de 2 L
- Rotavapor Marca BÜCHI, Modelo B-461
- Hexano QP

#### Procedimiento

Se pesó en un costal de manta 2 kg del material biológico y éste fue insertado en el dispositivo tipo Soxhlet para realizar la extracción, utilizando hexano como disolvente en un intervalo de temperatura de trabajo de 55 a 60 °C, durante 20 horas aproximadamente. Una vez cerciorándose que la muestra estaba desengrasada, se detuvo la extracción y se esperó a que el dispositivo alcanzara la temperatura ambiente, para así retirar el matraz que contenía la fracción no polar de la muestra disuelta en hexano. En las siguientes dos imágenes se puede observar el equipo especial que se instaló para la extracción del material lipídico: **Figuras 9** y **10**. Posteriormente, el hexano fue recuperado por medio de una destilación, haciendo uso de un rotavapor y la grasa junto con el matraz fueron pesados para obtener el rendimiento de la extracción. Una vez obtenido este dato se procedió a envasar en frascos ámbar con tapa de rosca, etiquetar, insuflar nitrógeno durante un minuto y guardar en congelación la grasa obtenida para continuar con el estudio.

La parte de la muestra que quedó en el costal (torta residual), fue distribuida en una charola de aluminio y colocada para evaporar las trazas

en campana de extracción. Al secarse por completo se envasó y etiquetó, para poder realizar las determinaciones del análisis bromatológico.



**Figura 9. Vista lateral, dispositivo especial tipo Soxhlet.**



**Figura 10. Parte del dispositivo especial tipo Soxhlet, vista de frente.**

#### **4.2.5. Refinación de la grasa cruda**

##### Fundamento

Las grasas crudas por lo general poseen diversos compuestos que pueden propiciar un deterioro en su calidad o generar cualidades no deseables, la razón de la presencia de estas sustancias puede ser el método de extracción o la fuente de la que proviene la grasa. Algunos de estos compuestos son ácidos grasos libres, proteínas, pigmentos, entre otros. Debido a esto en la industria estas grasas son sometidas a un proceso de refinación, donde se busca eliminar las sustancias indeseables o disminuir el índice de acidez principalmente por la presencia de ácidos grasos libres (Ziller, 1996; O`Brien, 2009).

De acuerdo a las características que presenta la grasa a refinar son los procesos a los que será sometida. Las grasas obtenidas en esta investigación al ser evaluadas visualmente no presentaron algún efecto de turbidez y sí un color homogéneo, común entre los aceites comerciales comestibles. Por esta razón no se requirió someter a filtración y blanqueo.

#### **Desgomado**

##### Fundamento

Es una extracción hidrosoluble, en donde los compuestos presentes afines al agua se solubilizan, para optimizar el proceso se someten a un método térmico, agitación constante y la adición de  $H_3PO_4$  al 0.1%. Finalmente haciendo uso de la diferencia de densidades, ambas fases son separadas.

##### Material y reactivos

-Balanza analítica. Marca Sartorius, Modelo ED224S

- Parrilla de calentamiento y agitación. Marca Grant, Modelo SE10
- Centrifuga. Marca International Clinical Centrifuge, Modelo CL A306X-2
- Disolución de  $H_3PO_4$  al 0.1%, marca Baker

## Procedimiento

Previamente se determinó el volumen de la grasa a refinar, el cual se consideró como el volumen de referencia (100%).

En un matraz Erlenmeyer se mezcló la grasa con  $H_3PO_4$  al 0.1%, en una proporción de 3% con respecto al volumen de referencia de la grasa cruda y se sometió a calentamiento  $60\text{ }^\circ\text{C}$  y agitación constante por 5 minutos. La mezcla se colocó en tubos para centrifuga y fueron sometidos por 15 minutos a 2400 r.p.m, generando así la sedimentación de los compuestos hidrosolubles. Finalmente, por decantación se separó el aceite de los residuos del desgomado.

## **Neutralización**

### Fundamento

Consiste en una saponificación con hidróxido de sodio al 15%, que es la cantidad precisa para que sólo reaccionen los ácidos libres. Al aceite y el álcali se les eleva la temperatura, generando que los ácidos grasos libres sean convertidos en jabones solubles en agua, posteriormente por diferencia de densidades son separadas la fase que contienen los residuos de la neutralización y el aceite.

### Material y reactivos

- Balanza analítica. Marca Sartorius, Modelo ED224S

- Potenciómetro. Marca Thermo Scientific
- Parrilla de agitación
- Baño de temperatura controlada. Marca Grant, Modelo SE10
- Centrifuga. Marca International Clinical Centrifuge, Modelo CL A306X-2
- Disolución de NaOH al 15%
- Agua destilada recién hervida y enfriada

### Procedimiento

El aceite desgomado se colocó en un matraz Erlenmeyer y se sometió a agitación baja y constante. Al matraz Erlenmeyer se introdujo el electrodo del potenciómetro para determinar el pH del aceite. Con ayuda de una pipeta Pasteur se adicionó pequeñas cantidades de NaOH al 15%, hasta neutralizar. Inmediatamente se colocó en un baño a 50 °C durante 5 minutos. Concluido el tiempo, la mezcla se retiró del baño de calentamiento y se esperó a que alcanzará la temperatura ambiente. Posteriormente se sometió a un proceso de centrifugación por 20 minutos a 2400 r.p.m., al finalizar el tiempo se le agregó agua destilada recién hervida y enfriada, en una proporción del 10% con respecto al volumen de referencia. A esta nueva mezcla, se le introdujo en el baño de calentamiento a 80 °C por 5 minutos. Finalmente, se centrifugó a temperatura ambiente durante 25 minutos, a 2400 r.p.m. El aceite fue separado por decantación.

#### **4.2.6 Propiedades fisicoquímicas de la grasa cruda y el aceite refinado**

Los parámetros fisicoquímicos se determinaron tanto a la grasa cruda como al aceite refinado de ambas almendras para su caracterización. Todas las determinaciones de realizaron por triplicado.

##### **Peso específico** (Con respecto a la densidad de agua)

###### Fundamento

Es una determinación gravimétrica, donde se conoce la masa por unidad de volumen a una temperatura determinada, mediante el uso de un picnómetro calibrado a la misma temperatura del agua.

###### Material y reactivos

- Balanza analítica. Marca Sartorius, modelo ED224S
- Baño de temperatura controlada, marca Grant, modelo SE10
- Estufa de vacío, marca Lab-Line Instruments
- Picnómetro de 10 mL

###### Procedimiento

El picnómetro previamente lavado, se enjuagó con una mezcla alcohol-acetona y fue colocado en una estufa de vacío hasta obtener su peso constante (peso del picnómetro vacío), y así conocer por diferencia el peso del agua y de la muestra (grasa o aceite).

Para obtener el peso del agua en el picnómetro, este fue llenado con agua destilada recién hervida y enfriada, y colocado en un baño a 25 °C por 30 minutos. Transcurrido este tiempo se ajustó el nivel de agua en el picnómetro y su capilar, se retiró del baño, se secó la parte externa y se pesó en la balanza analítica.

Para obtener el valor de peso específico de la grasa o aceite, se lavó y secó perfectamente el picnómetro, para llenarlo con la muestra a 20 °C. Durante 30 minutos fue sumergido en el baño de agua a 25 °C. Al concluir el tiempo se ajustó el nivel de la grasa o aceite en el picnómetro y su capilar, se retiró del baño, se secó la parte externa y se pesó.

Por diferencia de pesos se conoció el peso del agua y la muestra, utilizando el peso del picnómetro vacío. Para conocer la gravedad específica aparente a 25 °C de la muestra, se realizó una división del peso de la muestra entre el peso del agua, ambos datos obtenidos utilizando el mismo picnómetro. La determinación se realizó por triplicado.

## **Punto de fusión**

### Fundamento

En el caso de grasas y aceites, es el intervalo de temperatura a la cual una muestra que se encuentra en estado sólido es fundida completamente hasta llegar al estado líquido.

### Material y reactivos

- Capilares de vidrio (1 mm de diámetro interno y 2 cm de longitud)
- Termómetro de mercurio (Intervalo de temperatura de -10°C a 100°C)
- Jeringas (capacidad de 1 mL)
- Lente de aumento de vidrio

### Procedimiento

Con ayuda de un mechero se selló un extremo del capilar, posteriormente se tomó con la jeringa muestra en estado líquido para llenar el capilar y así poder sellar el extremo faltante. Se hicieron cuatro capilares con muestra y estos fueron fijados con cinta adhesiva transparente alrededor del bulbo del termómetro. Este dispositivo fue

colocado en el congelador durante 24 horas, transcurrido el tiempo se retiraron y colocaron en un lugar con buena luz solar, se observó mediante el lente de aumento los capilares de vidrio sujetos alrededor del bulbo hasta que se registrara un cambio en el estado de la muestra. Una vez identificado el inicio del proceso de fundición se tomó la lectura de temperatura en el termómetro y al observar cuando la muestra estaba completamente fundida se volvió a tomar la lectura de temperatura, contando así con un intervalo de temperatura.

## **Índice de refracción**

### Fundamento

Relaciona la velocidad de una onda luminosa en el aire y la velocidad en la sustancia grasa, el valor obtenido es utilizado para identificar o conocer la pureza de aceites y grasas. La relación entre este parámetro y la composición de la grasa es que al aumentar la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos presentes el valor que se obtenga en el índice de refracción será mayor.

### Material y reactivos

-Refractómetro digital. Marca American Optical, Modelo 10450

### Procedimiento

Se ajustó el refractómetro digital a una temperatura de trabajo de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , haciendo circular agua a dicha temperatura por el prisma del dispositivo. Para realizar la lectura se colocaron unas gotas de la muestra y se esperó para que la temperatura se igualara a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con ayuda de la fuente artificial de la luz se realizó la medición basándose en la posición de la llamada ***frontera de reflejo total***, en relación a las caras de prisma.

## Índice de saponificación

### Fundamento

La masa de KOH expresada en miligramos necesaria para saponificar un gramo de muestra, es inversamente proporcional al peso molecular medio de los glicéridos que constituyen la grasa.

### Material y reactivos

- Balanza analítica Marca Sartorius, Modelo ED224S
- Buretas graduadas de 50 mL
- Matraces de bola de fondo plano de 250 mL
- Condensador de aire
- Canastilla de calentamiento
- Mortero de porcelana
- Matraz de fondo plano con cuello largo de 1L, con tapón
- KOH R.A
- CaO granulado Q.P
- Óxido de calcio granulado
- Ácido clorhídrico 0.5N
- Etanol R.A
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1% p/v en metanol

### Procedimiento

#### Preparación de solución etanólica de KOH

En el mortero de porcelana se trituraron y mezclaron 40 g de KOH junto con 45 g CaO granulado, se añadió al mortero 100 mL de etanol y esta mezcla se transfirió cuantitativamente a un matraz de cuello largo, realizando tres lavados con etanol (20 mL) y se aforó el matraz con etanol. Se colocó el tapón al matraz y se agitó vigorosamente durante 5 minutos, posteriormente se dejó reposar, esta operación se repitió 5

veces durante el día, procurando dejar reposar la solución durante la noche. Para eliminar el óxido de calcio, se filtró la solución, se etiquetó y envasó en un frasco con tapón de vidrio. Se pesó aproximadamente 0.5 g de muestra en un matraz bola de fondo plano y se le añadió con ayuda de la bureta 50 mL de la solución etanólica de KOH, se conectó el matraz al condensador de aire y se llevó a ebullición durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo se dejó que el matraz alcanzara la temperatura ambiente, para poder realizar una titulación utilizando HCl 0.5 N con fenolftaleína como indicador. Se preparó un blanco el cual se preparó bajo las mismas condiciones.

Cálculos

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{28.5 \times (B - S)}{g \text{ de muestra}}$$

Donde

B= volumen de HCl 0.5N gastados en el blanco (mL)

S= volumen de HCl 0.5N gastados en la muestra (mL)

28.5= 56.1 (P.M. de KOH) x 0.5 N

## **Índice de acidez**

Fundamento

Es una medida del contenido de ácidos grasos libres presentes en una grasa cruda o aceite refinado, expresados como ácido oleico. Este parámetro sirve con método de prueba para conocer la pureza de la muestra y en ocasiones para deducir el tratamiento o reacciones de degradación que se hayan producido, el valor es expresado en porcentaje de ácido oleico como representativo de los ácidos grasos libres.

Material y reactivos

- Bureta graduada de 50 mL
- Etanol R.A
- NaOH 0.1N
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1% p/v

Procedimiento

En un matraz Erlenmeyer se pesó entre 1 y 2 g de la muestra y se añadió etanol previamente neutralizado, se tituló con NaOH 0.1N, hasta que apareciera una coloración roja y esta durara por 15 segundos.

Cálculos

$$\text{Índice de acidez (mg KOH/g de muestra)} = \frac{mL_{NaOH} \times N_{NaOH} \times 56.1}{g \text{ de muestra}}$$

Donde

56.1 = masa molecular de KOH

## **Índice de yodo**

Fundamento

El índice de yodo es indicativo de la presencia de ácidos grasos insaturados en grasas o aceites, estos ácidos grasos se unen mediante sus dobles enlaces a una cadena de monobromuro de yodo (Reactivo de Hanus). La cantidad de halógeno que no reaccione es titulada con una solución valorada de  $Na_2S_2O_3$ , con ayuda de un blanco y por diferencia se obtiene la cantidad del halógeno absorbida por la muestra.

Material y reactivos

- Matraz de vidrio Erlenmeyer de 25 mL
- Bureta de 1 mL

- Bureta de 5 mL
- Solución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.1N, valorada
- Reactivo de Hanus
- Solución de KI al 15% p/v
- Solución de almidón al 1% p/v
- Cloroformo R.A
- Agua desionizada recién hervida y enfriada

#### Procedimiento

Se pesó 0.02 a 0.04 g de muestra en el matraz Erlenmeyer y se adicionó 1 mL de cloroformo, posteriormente se forró el matraz con aluminio. Se agregaron 1.5 mL de solución de Hanus, dejando reposar por 1 hora, agitando levemente cada 15 minutos. Trascurrido el tiempo se adicionaron 1.5 mL de KI al 15% y 1 mL de agua, agitando el matraz para incorporar bien los reactivos. Se retiró el papel aluminio e inmediatamente se procedió a realizar la titulación con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### Cálculos

$$\text{Índice de yodo} = \frac{N \times (B - S) \times 12.69}{g \text{ de muestra}}$$

Donde

N= Normalidad de la solución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

B= volumen de solución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gastados en el blanco (mL)

S= volumen de solución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gastados en la muestra (mL)

12.69= peso equivalente de yodo

#### 4.2.7. Densidad energética

##### Fundamento

Consiste en la combustión por ignición eléctrica de una muestra de peso conocido colocada en una atmósfera de oxígeno, la energía producida en forma de calor se trasmite al cilindro de la bomba, que se encuentra conectado a un detector que mide el cambio de temperatura. El cambio de temperatura después de la combustión de la muestra se compara con el que produce una cantidad conocida de ácido benzoico certificado.

##### Material y reactivos

- Balanza analítica Marca Sartorius, Modelo ED224S
- Desecador de vidrio
- Mecha de algodón de 75 mm de longitud
- Crisol de acero inoxidable
- Bomba calorimétrica balística
- Ácido benzoico, valor energético certificado, marca Baker, contenido energético  $1g_{\text{ácido benzoico}} = 26.45 \text{ kJ}$

##### Procedimiento

Se colocó un extremo de la mecha dentro del crisol de acero y éste se depositó en la balanza analítica, que posteriormente se taró. Con ayuda de una pipeta Pasteur se agregó la muestra hasta tener un peso aproximado 0.3500 g, cuidando que la mecha de algodón quedara sumergida en la grasa, este valor corresponde al peso de la muestra ( $P_m$ ). A continuación se acomodó el crisol en la base superior del pilar central la bomba calorimétrica, cuidando que el extremo de mecha de algodón que se encontraba fuera del crisol se insertada de manera adecuada en el alambre de ignición. Se procedió a cerrar herméticamente

el capuchón a la base de la bomba de combustión con ayuda del anillo metálico, una vez cerrado se colocó el sensor del termopar en el orificio del capuchón.

Posteriormente se abrió el cilindro de oxígeno para dejar pasar el gas hacia el manómetro principal, el cual debe de dar una lectura mínima de 50 bar, para así poder abrir la válvula de paso girando de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  la perilla, alcanzando una presión dentro de la bomba balística de 25 bar, en aproximadamente 30 segundos. Una vez que se alcanzó la presión se cerró la válvula de paso y se ajustó el indicador del galvanómetro a cero con ayuda primero del ajuste grueso y después con el dispositivo de ajuste fino. Se oprimió el botón de ignición para llevar a cabo la combustión, notando un aumento en la presión del manómetro de la bomba, que a su vez se tradujo a una señal en la escala del galvanómetro; una vez alcanzado el máximo éste comienza a descender rápidamente. La lectura máxima obtenida en el galvanómetro es directamente proporcional al calor liberado en la combustión.

Para realizar los cálculos correspondientes se requirió hacer una curva de calibración de contenido energético en kJ (abscisas) vs lectura del galvanómetro (ordenadas), para obtener por interpolación la densidad energética de la muestra, utilizando ácido benzoico.

Cálculos

1g de ácido benzoico = 26.45 kJ

4.1868 kJ = 1 kcal

$$\text{kJ}/100\text{g de muestra} = \frac{\text{Lectura (kJ)} \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

#### **4.2.8. Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases**

El análisis de los ácidos grasos presentes en las grasas se lleva a cabo generalmente por medio de cromatografía de gases (GC). Los lípidos obtenidos a partir de muestras de alimentos tienen estructuras complejas y con frecuencia se dividen en las siguientes clases: triacilgliceroles, fosfolípidos, esfingolípidos y esteroides. Los lípidos deben tratarse previamente de manera que los ácidos grasos que los conforman queden libres y con un punto de ebullición bajo para poder realizar el estudio; con este propósito los ácidos grasos son convertidos en ésteres metílicos utilizando diversos métodos de derivatización.

Para obtener el perfil de ácidos grasos de cada grasa y aceite analizado, fue necesario dividir el procedimiento en dos etapas: derivatización de la muestra y cromatografía de gases. Para la segunda parte del análisis se contó con la ayuda de la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación y a la Industria (USAII) de la Facultad de Química de la UNAM.

##### a) Derivatización de la muestra

###### Fundamento

El método consiste en someter los lípidos a una saponificación en exceso de hidróxido de sodio en metanol, los ácidos grasos liberados son metilados en presencia de trifluoruro de bromo en metanol. Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES), son extraídos con un disolvente orgánico (hexano), la parte orgánica es recibida en un vial adecuado para su posterior análisis cromatográfico.

###### Material y reactivos

- Tubos de ensaye con tapón de rosca
- Cinta teflón

- Bloque para calentamiento, calibrado a 100 °C
- Pipetas pasteur nuevas
- Pipetas volumétricas de 1 mL (4)
- Pipetas volumétricas de 5 mL (2)
- Agitador vórtex
- Muestras de aceites crudos y refinados (*Attalea cohune* y *Acrocomia aculeata*)
- Nitrógeno en estado gaseoso
- NaOH 0.5 N en metanol (Disolver 2 g de NaOH en 100 mL de metanol)
- BF<sub>3</sub> en metanol (10 a 14%)
- Hexano R.A
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro R.A

#### Procedimiento

Se comenzó insuflando nitrógeno a la muestra en el contenedor donde se guardaba, para después pesar 40 mg aproximadamente de grasa o aceite en el tubo de ensaye y adicionarle 2 mL de NaOH 0.5 N en metanol, se cerró perfectamente el tubo con el tapón de rosca y se selló con cinta teflón para evitar fugas. El tubo fue colocado en el bloque de calentamiento a 100 °C, por 20 minutos, para que ocurriera la saponificación del aceite. Transcurrido el tiempo, se retiró el tubo del bloque de calentamiento y se dejó enfriar en un baño de agua fría, hasta que se encontrara a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionó al tubo de ensaye 1 mL de BF<sub>3</sub> en metanol, se selló bien con el tapón de rosca y la cinta teflón, se colocó el tubo en el bloque de calentamiento a 100 °C, durante 15 minutos, para que ocurra la esterificación de los ácidos grasos. Finalizado el tiempo, se retiró el tubo del bloque de calentamiento y se introdujo en el baño de agua fría, hasta temperatura ambiente. Se continuó con la adición de 5 mL de hexano y se agitó vigorosamente con ayuda del vórtex; se dejó pasar un tiempo hasta que

las fases se separaran (aproximadamente 5 minutos) y así extraer los ésteres metílicos de ácidos grasos con ayuda de una pipeta Pasteur limpia. La capa orgánica se recibió en otro tubo limpio. Se realizaron tres extracciones con hexano, el cual se encontraba a temperatura ambiente.

#### b) Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

##### Fundamento

En este método de separación, una pequeña cantidad de muestra es inyectada en la cabeza de la columna cromatográfica y posteriormente es volatilizada. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte a temperatura elevada. Esta corriente de gas atraviesa la columna cromatográfica que separará los componentes de la muestra por medio de un mecanismo de partición. Los componentes de la muestra una vez separados, emergerán de la columna en intervalos de tiempo según la naturaleza del compuesto identificado y pasarán a través del sistema de detección adecuado donde la señal que emitan será interpretada obteniendo así el cromatograma de cada muestra.

##### Material

Equipo: Cromatógrafo de gases marca Agilent modelo 6890N acoplado a espectrómetro de masas marca LECO modelo Pegasus 4D, analizador másico TOF (tiempo de vuelo)

Columna capilar, Fase DB-5MS (5% Fenil-metilsilicón) Dimensiones: longitud 20 m, D.I 0.18 mm

Gas acarradeor: N<sub>2</sub>

Detector: Ionización de flama (FID)

Temperatura de inyección: 300 °C

En la **Figura 11.**, se muestran las condiciones de tiempo y temperatura establecidas para el perfil de ácidos grasos de las muestras de grasa cruda y aceite refinado.

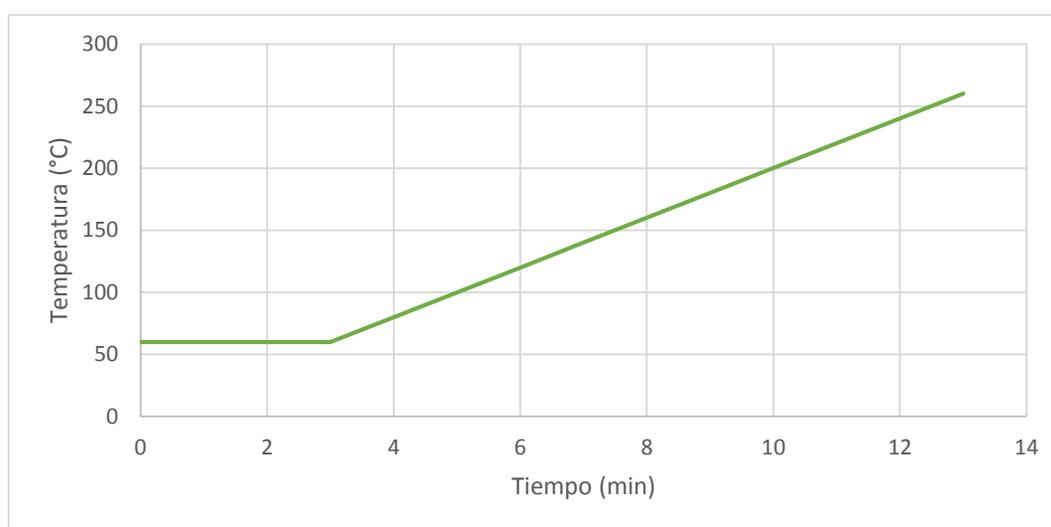
Temperatura de inyector: 300°C

Temperatura inicial: 60°C

Rampa de temperatura #1: 60°C durante 3 min

Rampa de temperatura #2: 20°C/min de 60°C a 260°C

Temperatura final 260 °C



**Figura 11. Gráfica temperatura en función del tiempo; condiciones de trabajo para obtener los espectros de las grasas y aceites en estudios.**

Los espectros obtenidos de los ácidos grasos presentes en las muestras fueron comparados con espectros de masas de una base de datos electrónica (NIST 2002, por sus siglas en inglés, *National Institute of Standards and Technology*), proporcionada por el USAII. De este modo fueron identificados los ácidos grasos que conforman las grasas crudas y aceites refinados estudiados.

## 5. RESULTADOS

A los frutos de palma de coyol (*Acrocomia aculeata*) fue necesario retirar el exocarpio y mesocarpio, ya que la parte con la que se trabajó fue únicamente el endocarpio. Esto permitió conocer la proporción fruto (almendra), la cual se encuentra en un promedio del 10% con respecto al fruto. En la **Figura 12**, se pueden apreciar los frutos de la palma de coyol ya fraccionados.



**Figura 12. Coquitos de la palma de coyol (*Acrocomia aculeata*)**

Es importante que el fraccionamiento de la almendra para obtener una harina gruesa, se realice con cuidado y sin exceder el tratamiento, para así prevenir la pérdida de material lipídico.

Los resultados obtenidos del análisis proximal de la harina gruesa de ambas muestras en base húmeda se muestran en la **Tabla 4**, en donde se aprecia que el componente mayoritario para las dos muestras analizadas es la grasa cruda, lo que confirma que ambas semillas son oleaginosas con un contenido elevado de grasa. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se presentan como valores promedios ( $n=3$ ) y su desviación típica.

**Tabla 4. Análisis proximal de las almendras integra así como de las respectivas harinas desengrasadas (torta residual)<sup>a</sup>**

	Humedad <sup>b</sup>	Proteína cruda <sup>b</sup>	Grasa cruda <sup>b</sup> (extracto etéreo)	Fibra cruda <sup>b</sup>	Cenizas <sup>b</sup>	Hidratos de carbono <sup>c</sup>
<b>Almendra de <i>A. cohune</i></b>	3.34 ± 0.02	12.34 ± 0.26	56.12 ± 1.31	18.10 ± 0.60	1.30 ± 0.02	8.80
<b>Almendra de <i>A. aculeata</i></b>	5.38 ± 0.06	6.78 ± 0.27	37.51 ± 0.19	26.67 ± 1.35	2.21 ± 0.03	21.45
<b>Torta residual de <i>A. cohune</i></b>	8.73 ± 0.19	23.20 ± 0.50	1.87 ± 0.70	33.13 ± 0.12	4.21 ± 0.02	28.86
<b>Torta residual de <i>A. aculeata</i></b>	11.80 ± 0.19	24.66 ± 1.37	1.87 ± 0.07	38.24 ± 1.35	3.65 ± 0.10	19.78

<sup>a</sup> Valor expresado en g/100g<sub>muestra</sub> (%)

<sup>b</sup> Dato promedio ± desviación estándar (n=3), con CV ≤ 5%

<sup>c</sup> Por diferencia de acuerdo al método de Weende

Posteriormente se realizó la separación del material lipídico de ambas muestras, previamente fraccionadas, utilizando un dispositivo especial tipo Soxhlet (**Figuras 9 y 10**), utilizando hexano con disolvente. Los rendimientos obtenidos en las extracciones se aprecian en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Rendimiento de las extracciones realizadas con hexano**

Muestra	Rendimiento % <sub>peso</sub>
<b><i>Attalea cohune</i></b>	70.31
<b><i>Acrocomia aculeata</i></b>	64.12

Una vez concluida la extracción de la fracción lipídica de cada muestra de almendras, se procedió a realizar el análisis proximal a las tortas residuales obtenidas, encontrando los siguientes resultados (**Tabla 4**)

En cuanto al proceso de refinación, no se requirió someter a ninguna de las grasas crudas a un proceso de filtración o blanqueo, debido a que presentaban características visibles adecuadas y comunes entre los aceites refinados comerciales. Los únicos dos procesos empleados fueron desgomado y neutralización.

Una vez concluidas las determinaciones para conocer las propiedades fisicoquímicas, estos fueron los resultados obtenidos, de las grasas crudas y aceites refinados de las almendra de ***Attalea cohune*** Mart, y ***Acrocomia aculeata*** (Jacq) Lodd.ex Mart, **Tabla 6**.

La densidad energética de las grasas y aceites estudiados se encuentra reportada en la **Tabla 7**.

**Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos de la grasa cruda y el aceite refinado de *Attalea cohune* y *Acrocomia aculeata***

Parámetros fisicoquímicos						
	Gravedad específica <sup>a</sup> (25°C)	Punto de fusión <sup>a</sup> (°C)	Índice de refracción <sup>a</sup> (25°C)	Índice de acidez <sup>a</sup> (%ácido oleico)	Índice de saponificación <sup>a</sup> (mg KOH/g <sub>aceite</sub> )	Índice de yodo, Hanus <sup>a</sup> (gI/100g <sub>aceite</sub> )
<b>Grasa cruda <i>A. cohune</i></b>	0.9066 ± 0.002	11-13	1.4565 ± 0.0010	1.96 ± 0.03	240.37 ± 6.42	18.77 ± 0.82
<b>Aceite refinado <i>A. cohune</i></b>	0.9209 ± 0.001	11-13	1.4543 ± 0.0030	0.40 ± 0.00	223.68 ± 0.70	23.99 ± 0.55
<b>Grasa cruda <i>A. aculeata</i></b>	0.8775 ± 0.010	10-12	1.4593 ± 0.0011	1.16 ± 0.00	228.49 ± 3.37	16.50 ± 0.34
<b>Aceite refinado <i>A. aculeata</i></b>	0.9161 ± 0.010	10-12	1.4579 ± 0.0010	0.41 ± 0.00	190.26 ± 0.30	19.48 ± 0.94

<sup>a</sup> Valor promedio de la determinación realizada por triplicado

**Tabla 7. Densidades energéticas de las grasas y aceites estudiados.**

Muestra	Forma	kJ/g muestra <sup>a</sup>
<i>Attalea cohune</i>	Grasa cruda	3.94
	Aceite refinado	3.98
<i>Acrocomia aculeata</i>	Grasa cruda	3.62
	Aceite refinado	3.70

<sup>a</sup> Valor promedio de la determinación realizada por triplicado

Finalmente se analizó el perfil de ácidos grasos para conocer con mayor exactitud la composición de las grasas crudas y de los aceites refinados estudiados; además de corroborar la correlación que debe existir con los parámetros fisicoquímicos de ambas muestras. En las **Tablas 8** y **9** se puede observar los resultados obtenidos para las cuatro muestras, mientras que los cromatogramas que corresponden a esta información se pueden encontrar en el Anexo I.

Las gráficas muestran la relación de la respuesta en función del tiempo y cada pico presente en el cromatograma corresponde a un ácido graso, el cual es identificado al comparar el tiempo de elución obtenido con una base de datos electrónica proporcionada por la USAII, mientras que el área bajo la curva de cada señal representa la concentración presente de cada ácido carboxílico. El cromatógrafo de gases utilizado se encontraba acoplado a un espectrómetro de masas lo que permitió obtener la masa del ion molecular. La información fue comparada con una base de datos electrónica de espectrofotometría de masas de la USAII, identificando los ésteres metílicos de los ácidos grasos presentes en las grasas y aceites.

**Tabla 8. Ácidos grasos encontrados en la grasa y aceite de *Attalea cohune* <sup>a</sup>**

Ácido graso	Grasa cruda	Aceite refinado
Ácido caprílico	8.95	9.07
Ácido cáprico	7.83	8.72
Ácido láurico	39.12	37.51
Ácido mirístico	13.37	15.49
Ácido palmítico	7.89	7.67
Ácido oleico	14.98	14.36
Ácido esteárico	7.79	7.25
Ácido eicosanoíco	0.07	0.03

<sup>a</sup> Relación porcentual del ácido graso

**Tabla 9. Ácidos grasos encontrados en la grasa y aceite de *Acrocomia aculeata* <sup>a</sup>**

Ácido graso	Grasa cruda	Aceite refinado
Ácido caprílico	1.14	1.73
Ácido cáprico	1.17	1.49
Ácido láurico	47.5	46.72
Ácido mirístico	8.08	7.93
Ácido palmítico	5.76	4.78
Ácido oleico	18.18	17.56
Ácido esteárico	18.12	17.14
Ácido eicosanoíco	0.06	0.80

<sup>a</sup> Relación porcentual del ácido graso

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Comparando estudios previos realizados para conocer la composición de los frutos de palma de corozo y palma de coyol cultivadas en el sur de América **Tablas 1 y 2**, con las especies estudiadas en el presente trabajo corresponden a palmeras nativas de nuestro país **Tabla 4**, podemos apreciar que en el caso de *Acrocomia aculeata* ambos análisis coinciden en que el contenido de material lipídico es alto y está presente en mayor proporción comparado con el resto de los componentes. Sin embargo se encontraron diferencias en los valores obtenidos de proteína cruda y carbohidratos (**Tablas 1 y 4**), esto puede deberse a que los lugares de donde provienen los frutos son distintos y por esta razón las condiciones del entorno donde crecen las palmeras pueden afectar el contenido de los componentes, al igual que los métodos de análisis empleados difieren en algunos aspectos. Para *Attalea cohune* los valores reportados en la literatura son similares con los obtenidos en el estudio realizado, siendo la grasa cruda el mayor componente presente con más de un 50% de la composición del fruto y un contenido de proteína cruda considerable. (Hernandez, 2005; Dávila, 2015)

Los análisis proximales realizados a los frutos fraccionados de ***Attalea cohune* Mart. y *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.**, confirman que este material biológico puede ser utilizado como fuente potencial de grasa cruda, debido a que se encontró más de un 35% para los frutos de palma de coyol y más de 50% para los frutos de palma de corozo (**Tabla 4**) (Mazzani, 1993)

El método de extracción de grasa resultó exitoso ya que se obtuvieron rendimientos altos (**Tabla 5**), lo que habla de un buen proceso y de una adecuada selección de disolvente. Esto se confirma al realizar el análisis correspondiente a la torta residual de cada muestra, encontrando

que al evaluar el contenido de grasa cruda, ésta se encuentra presente en menos de un 2%. **Tabla 4.**

En relación al análisis fisicoquímico realizado a las grasas crudas de ***Attalea cohune* Mart.** y ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart** comparados con otros aceites similares y comerciales (**Tabla 10**), los valores obtenidos en los parámetros de gravedad específica, índice de refracción, índice de saponificación e índice de yodo, son similares a los del aceite crudo de coco y de almendra de coco, según las características que marca la Norma del CODEX para aceites vegetales especificados, CODEX STAN 210-1999, logrando concluir que ambas muestras de grasas crudas estudiadas se encuentran bajo las especificaciones que marca esta norma.

**Tabla 10. Propiedades fisicoquímicas de grasas y aceites vegetales.**

	Parámetros			
	Gravedad específica	Índice de refracción	Índice de saponificación	Índice de yodo
<b>Grasa cruda</b> <b><i>A. cohune</i></b>	0.9066	1.4565	240.37	18.77
<b>Aceite refinado</b> <b><i>A. cohune</i></b>	0.9209	1.4543	223.68	23.99
<b>Grasa cruda</b> <b><i>A. aculeata</i></b>	0.8775	1.4593	228.49	16.50
<b>Aceite refinado</b> <b><i>A. aculeata</i></b>	0.9161	1.4579	190.26	19.48
<b>Aceite de coco <sup>a</sup></b>	0.89-0.92	1.45-1.46	248-265	6.3-10.6
<b>Aceite de almendra de coco <sup>a</sup></b>	0.90-0.91	1.45-1.46	230-254	14.1-21
<b>Aceite de almendra de palma<sup>a</sup></b>	0.89-0.91	1.45-1.46	230-254	14.1-21

<sup>a</sup> Valores obtenidos de la norma CODEX STAN 210-1999 (FAO, 2013)

La casi nula turbidez presente se comprueba con el valor obtenido al realizar la determinación de índice de refracción, debido a que se obtuvieron valores bajos tanto en las grasas crudas como en los aceites refinados, lo que indica que no hay partículas suspendidas en el medio, como podrían ser impurezas sólidas que puedan desviar la luz, generando turbidez en la muestra. (Hart, 1984)

El punto de fusión es un parámetro que se debe manejar con cuidado debido a que es un intervalo de temperatura en la cual la grasa cruda o aceite refinado pasa de un estado sólido a líquido, entre más estable sea un mezcla se requerirá de mayor temperatura para modificar su estado físico.

El índice de acidez las grasas crudas (**Tabla 6**), fue bajo, menor al 2%, lo que refleja que en la composición de estas grasas existe una baja concentración de ácidos libres lo que resulta adecuado si se considera que las altas concentraciones de estos pueden inferir alguna reacción de oxidación afectando así la calidad de la grasa (O'Brien, 2009)

Los valores obtenidos de índice de yodo permiten la clasificación de ambas grasas crudas como no secantes, ya que éstos fueron inferiores a  $100 \text{ gI} / 100 \text{ g}_{\text{aceite}}$ , lo que corresponde a una grasa cruda con un porcentaje bajo de ácidos grasos insaturados, **Tabla 6** (Ziller, 1996)

Después de someter a las grasas crudas al proceso de refinación, se observó que el índice de acidez disminuyó, logrando cumplir con el principal objetivo de un proceso de refinación y asegurar que los aceites refinados están más protegidos de sufrir algún deterioro en la calidad. Los valores de índice de yodo se incrementaron, lo cual se debe a que al retirar las impurezas presentes en las grasas crudas (ácidos grasos libres, esteroides, tocoferoles, fragmentos de proteínas, trazas de pesticidas, materiales resinosos y mucilaginosos, etc.), los ácidos grasos

poliinsaturados se concentran, por esta razón se ve incrementado estos valores, **Tablas 6** (O'Brien, 2009)

Los perfiles de ácidos grasos obtenidos para ambas muestras confirman la presencia de ácidos grasos saturados en mayor concentración que los insaturados. En ambos perfiles el componente principal es el ácido láurico, que corresponde a un ácido saturado, conformado por doce átomos de carbono, seguido en cuanto a concentración por el ácido oleico el cual es un ácido monoinsaturado. La ingesta de altas concentraciones de ácido láurico puede generar la formación de placas por debajo de la pared arterial, por lo que se considera aterógeno, esto representa un riesgo a la salud por que incrementa los valores de colesterol LDL y disminuye los valores de colesterol HDL.

Se presenta una correlación entre los parámetros fisicoquímicos, principalmente en el parámetro de índice de yodo, (**Tablas 6, 8 y 9**) obtenidos de las grasas y aceites con el perfil de ácidos grasos, ya que ambos resultados describen una muestra compuesta en su mayoría por ácidos grasos saturados, más de un 80% de la composición de ambas muestras corresponden a ácidos carentes de dobles enlaces. El único ácido graso insaturado encontrado en el perfil de ácidos grasos tanto para *Attalea cohune* y *Acrocomia aculeata*, es el ácido oleico con un porcentaje superior al 14% en ambas muestras, para este ácido se reporta que tiene una intervención positiva en la salud cardiovascular.

Comparando los aceites refinados que se obtuvieron en el estudio con un aceite comercial **Tabla 10**, en este caso del aceite de almendra de palma, se puede observar que los parámetros de gravedad específica, índice de refracción, índice de saponificación e índice de yodo, son similares, debido a que la composición de ácidos grasos es análoga a las

grasas y aceites estudiados. Una de las características principales de los aceites refinados de los frutos de ***Attalea cohune Mart.*** y ***Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart*** es la presencia de ácidos grasos saturados de cadena corta y mediana. (FAO, 2013)

Las características que poseen los aceites refinados, principalmente el alto contenido de ácido láurico, permiten que sean utilizados en la industria alimentaria con la cualidad de que son fácilmente metabolizados y por lo tanto pueden ser consumidos por personas que presentan dificultad en la absorción de aceites con ácidos grasos de cadena más larga. Otras aplicaciones son: para la elaboración de un sustituto de margarina y manteca, jabones y la producción de biodisel. (Dijkstra, 2015)

En estudios recientes se ha encontrado que los ácidos grasos de cadena media y ácidos grasos esenciales presentan propiedades antimicrobianas, por lo que se realizaron pruebas para conocer si ambas clases de ácidos grasos utilizadas en combinación pueden tener el mismo efecto bactericida, encontrándose que los ácidos grasos caprílico, cáprico y láurico, pueden ser utilizados en combinación con éxito para agentes patógenos transmitidos por los alimentos, mejorando significativamente la seguridad microbiana de los alimentos. (Kim, 2015)

Para la obtención de las almendras de palma de coyol ***Acrocomia aculeata***, es necesario esperar un proceso de maduración que tarda aproximadamente entre seis y ocho meses para que puedan ser óptimas y así extraer el material lipídico que poseen, esto representaría un inconveniente en la obtención de la grasa, teniendo que implementar una buena planeación del proceso y así mantener un continua producción.

Es importante dar a conocer las cualidades de estas palmeras para evitar su destrucción, fomentando la reproducción y cuidado, logrando

mantener así un equilibrio del ecosistema y la obtención de beneficios utilizando las características de estas plantas.

## 7. CONCLUSIONES

Se determinó la composición bromatológica de la almendra, así como de la torta residual de la palma de corozo (*Attalea cohune*) y palma de coyol (*Acrocomia aculeata*) y se realizó la caracterización fisicoquímica, perfil de ácidos grasos tanto del aceite crudo como del aceite refinado de ambas almendras, con la finalidad de visualizar su potencial oleaginoso, obteniendo que la cantidad presente de material lipídico es alta y esta grasa cruda se compone principalmente por ácidos grasos saturados.

Se obtuvo suficiente material biológico de los lugares donde crecen o se comercializan los frutos de las palmeras estudiadas, permitiendo realizar el presente trabajo.

Con el dispositivo de extracción tipo Soxhlet se obtuvo suficiente grasa cruda de ambas almendras, con un rendimiento superior al 64%, para así realizar el proceso de refinado y la caracterización fisicoquímica.

Se obtuvieron aceites refinados con características adecuadas, según normas internacionales, principalmente en el índice de acidez donde el valor obtenido fue menor al 0.5%.

El perfil de ácidos grasos de la grasa cruda y aceite refinado de ambas almendras presentó una correlación con las pruebas fisicoquímicas, ya que ambos estudios describen grasas crudas y aceites refinados compuestos principalmente por ácidos grasos saturados.

Los aceites refinados de los frutos de ***Attalea cohune Mart.*** y ***Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart*** están constituidos

principalmente por ácidos saturados, destacando el ácido láurico por su concentración, más de un 35%, el cual es un ácido graso muy apreciado en la industria alimenticia para la elaboración de muchos productos como por ejemplo; confitería, panadería, etc. Y actualmente se están desarrollando investigaciones para descubrir nuevos usos tales como agente microbiano y componente en la elaboración de biodiesel.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiarias, E.C., Cavalcanti-Oliveira, E.D., De Castro, A.M., Langone M.A., Freire, D.M., (2014), *Biodiesel production from **Acrocomia aculeata** acid oil by (enzyme/enzyme) hydroesterification process: Use of vegetable lipase and fermented solid as low-cost biocatalysts*, FUEL 135, 315-321
2. Badui, S., (1995), *Química de los alimentos*, 2ª Reimpresión, Editorial Alhambra Mexicana, S.A de C.V., México, D.F. págs. 211-240
3. Badui, D.S., (2012), *Química de alimentos*, 5º Edición, Editorial Pearson, México, D.F., págs. 119-120, 242-245
4. Bailey, A.E., (1979), *Aceites y grasas industriales*, Editorial Reverté, Buenos Aires, págs. 4,5, 65, 448-451
5. Cañizo, J.A., (2011), *Palmeras. Todos los géneros y 565 especies*, Editorial Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, págs. 272-273, 307-311
6. Chang, R., (2007), *Química*, Novena Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, D.F, págs. 504-511
7. Damodaran, S., Parkin, K., Fennema, O., (2008), *Fennema`s Food Chemistry*, 4<sup>th</sup> Edition, CRC Press, New York, pp. 178-179
8. Dávila, E.J., Merino, C., Mejía, K.M., García, D.E., Sotelo, V.E., (2015), *Caracterización química de tres palmeras del género Attalea*, Rev. Soc. Quím. Perú, 77(3), 50-58

9. Douglas, R., Camacho, B., López, I., García, M., y Medina, C., (2005), *Evaluación fisicoquímica de la semilla y del aceite de corozo (Acrocomia aculeata)*, Grasas y Aceites, 56 (4), 311-316
10. Endara, A.R., (2011), *Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos*, Editorial Prometeo Editores S.A. de C.V., Guadalajara, págs. 10-16
11. FAO, Codex Alimentarius, (2013) Codex Stan 210-1999 *Norma del Codex para aceites vegetales especificados*, Roma, pp. 1-17
12. Fennema, O., (2003), *Química de los alimentos*, 3ª Edición, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, págs. 270-364
13. Hart, F., Johnstone, H., (1984), *Análisis moderno de los alimentos*, Editorial Acribia, Zaragoza, págs. 1-21, 343-356
14. Hart, F.L., (1991), *Análisis moderno de los alimentos*, Editorial Acribia, Zaragoza, págs. 343-356
15. Herlich, K., Williams, S., (1990), *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 5<sup>th</sup> Edition, Published by AOAC, Inc., Arlington, Vol. I, pp. 17-18, 40, 62 y 69-83, Vol. II pp. 1012-1013
16. Hernandez C., Mieres P.A., (2005), *Extracción y purificación del aceite de la almendra del fruto de la plama de corozo (Acrocomia aculeata)*, Ingeniería UC, 12,68-75.

17. Iturbe, C.F., Sandoval, G.J., (2013), *Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas*, UNAM. Facultad de Química, México, D.F., págs.: 13-14
18. Kim, S.A., Rhee M.S., (2015) *Highly enhanced bactericidal effects of medium chain fatty acids (caprylic, capric, and lauric acid) combined with edible plant essential oils (carvacrol, eugenol, b-resorcylic acid, trans-cinnamaldehyde, thymol, and vanillin) against Escherichia coli O157:H7*, Food Control, 60 (2016), 447-454
19. Kirk, R.S., Sawyer, R., (1996), *Composición y análisis de alimentos de Pearson*, 2<sup>da</sup> Edición, Ed. CECSA, México, D.F., págs. 12-29, 36-37, 199-250
20. Lawson, H., (1999), *Aceites y Grasas Alimentarios. Tecnología, utilización y nutrición*, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, págs. 29-30, 35,
21. León, J., (1987), *Botánica de los cultivos tropicales*, 2<sup>a</sup> Edición, Editorial IICA, San José, págs. 43-65
22. List, G.R., (2009), *Bleaching and Purifying Fats and Oils. Theory and Practice*, Second Edition, AOCS Press, Illinois, pp 103-104.
23. Madrid, A.V., (1988), *Producción, análisis y control de calidad de aceites y grasas comestibles*, Ed. AMV, Madrid, págs. 133-166
24. Madrid V., (1997), *Manual de aceites y grasas comestibles*. Ed. Acribia, Zaragoza, págs. 13-19

25. Matissek, R., Schnepel, F.M., Steiner, G., (1990), ***Análisis de los alimentos. Fundamentos métodos y aplicaciones***, Ed. Acribia, Zaragoza, págs. 13-19
26. Mazzani, B., (1993), ***Plantas oleaginosas***, Editorial Salvat S.A., Barcelona, págs. 2-6, 8-9, 11-15, 306
27. McMurry, J., (2004), ***Química Orgánica***, Sexta Edición, Editorial Thomson, Singapur, págs.: 942-952, 1027- 1053
28. Mendoza, M.E., (2010), ***Bromatología, composición y propiedades de los alimentos***, Edirorial Mc Graw Hill, México, D.F., págs.: 23- 24, 32-34, 55-57, 66-72
29. Miller, D.S., Payne, R.K., Sandler, M.J., (1993), ***Encyclopaedia Of Food Science, Food Technology And Nutrition***. Academic Press, Inc., Vol. 3, New York, pp 1590-1608
30. Mota, I., (2007), ***Palmeras, morfología, cultivo y reproducción***, Editorial Omega, Barcelona, págs. 15-19
31. Murphy, D.J., (1994), ***Deseigner Oil Crops. Breeding, Processing and Biotechnology***, VCH, Cambridge, pp 260
32. Nielsen, S., (2003), ***Food Analysis Laboratory Manual***, Springer, New York, pp. 135-163
33. O`Brien, R.D., (2009), ***Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications***, CRS Press, Second Edition, New York, pp 63-72

34. Pearson, D., (1993) *Técnicas de laboratorio para análisis de alimentos*, Editorial Acribia S.A., Zaragoza, págs. 120-139
35. Quero, H.J, (1996), *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*, Fascículo 7, Editorial CANABIO, México, D.F., págs. 5-6
36. Román, M.L., Mora, A., Gallegos A., (2004), *Especies arbóreas de las costa de Jalisco, México, utilizadas como forraje en sistemas silvopastoriles.*, *Scientia-CUCB*, 6(1-2), 3-11
37. Shahidi, F., (2005), *Bailey's Industrial Oil & Fat Productus*, Wiley-Interscience, 6<sup>th</sup> edition, vol. 5, New York, pp. 75-76
38. Tortora G.J., (2006), *Principios de Anatomía y Fisiología*, 11<sup>a</sup> Edición, Editorial Media Panamericana, Buenos Aires, págs. 970-973
39. Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., (2001), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Ed. John Wiley & Sons Inc., New York, pp. D1.2.1-D1.2.4
40. Ziller, S., (1996), *Grasas y aceites alimentarios*, Editorial Acribia, Zaragoza, págs.: 2-39

Páginas de internet

Disponible en: Food and Agriculture Organization of the United Nations

<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/ab489s03.htm>

Fecha de consulta: 18 de Julio del 2015

Disponible en: Scientific Electronic Library Online

[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217578602012000300005&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217578602012000300005&script=sci_arttext&tlng=en)

Anatomía Acrocomia aculeta

Fecha de consulta: 15 de Junio del 2015

Disponible en: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

[http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/balandisp20142015/balanza\\_semillasO.pdf](http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/balandisp20142015/balanza_semillasO.pdf)

Fecha de consulta: 25 de Mayo del 2015

Disponible en: Tropicos®

<http://www.tropicos.org/NameSearch.aspx?name=Attalea+cohune&commonname=>

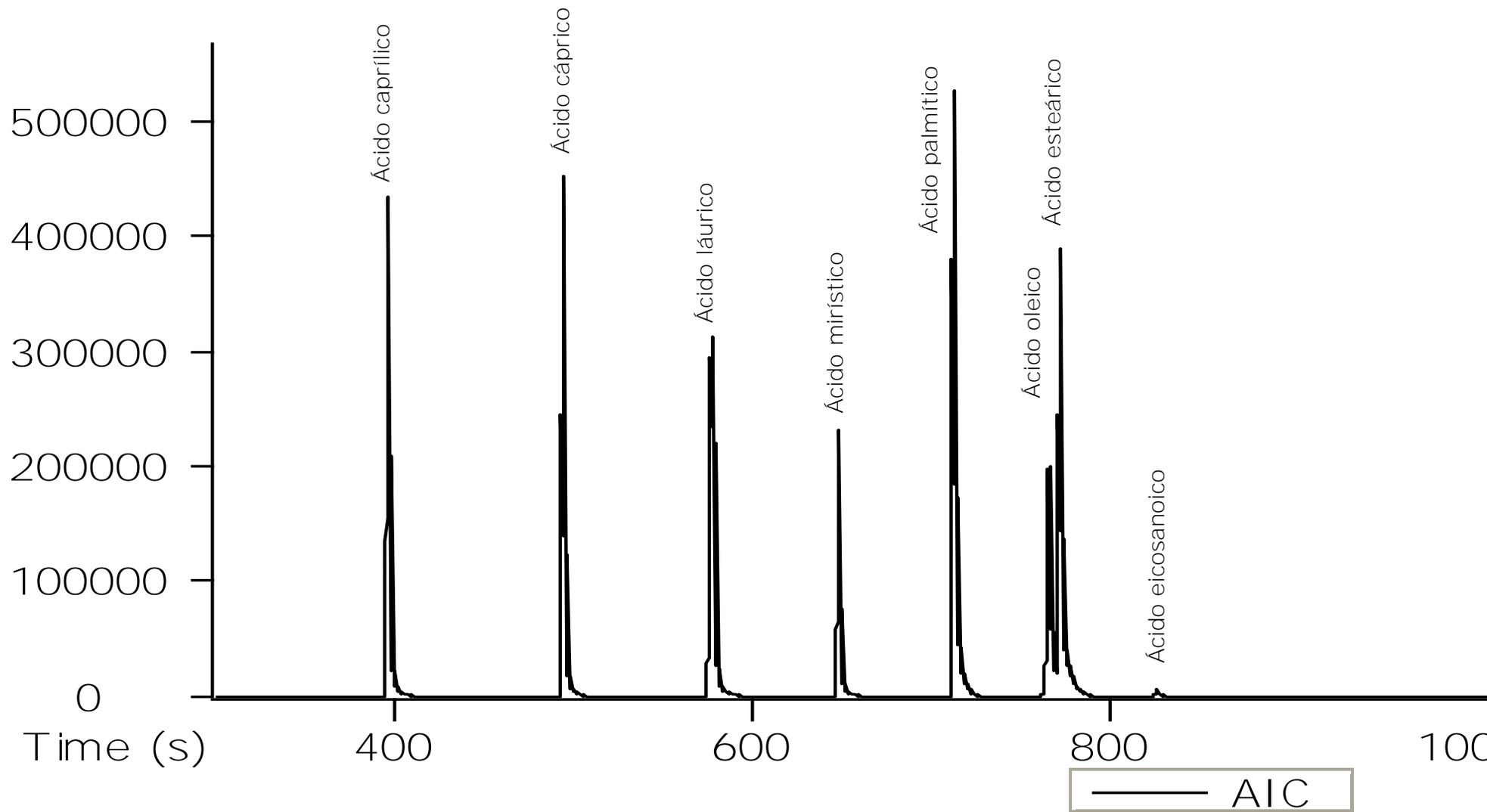
Fecha de consulta: 10 de Junio del 2015

Disponible en: Tropicos®

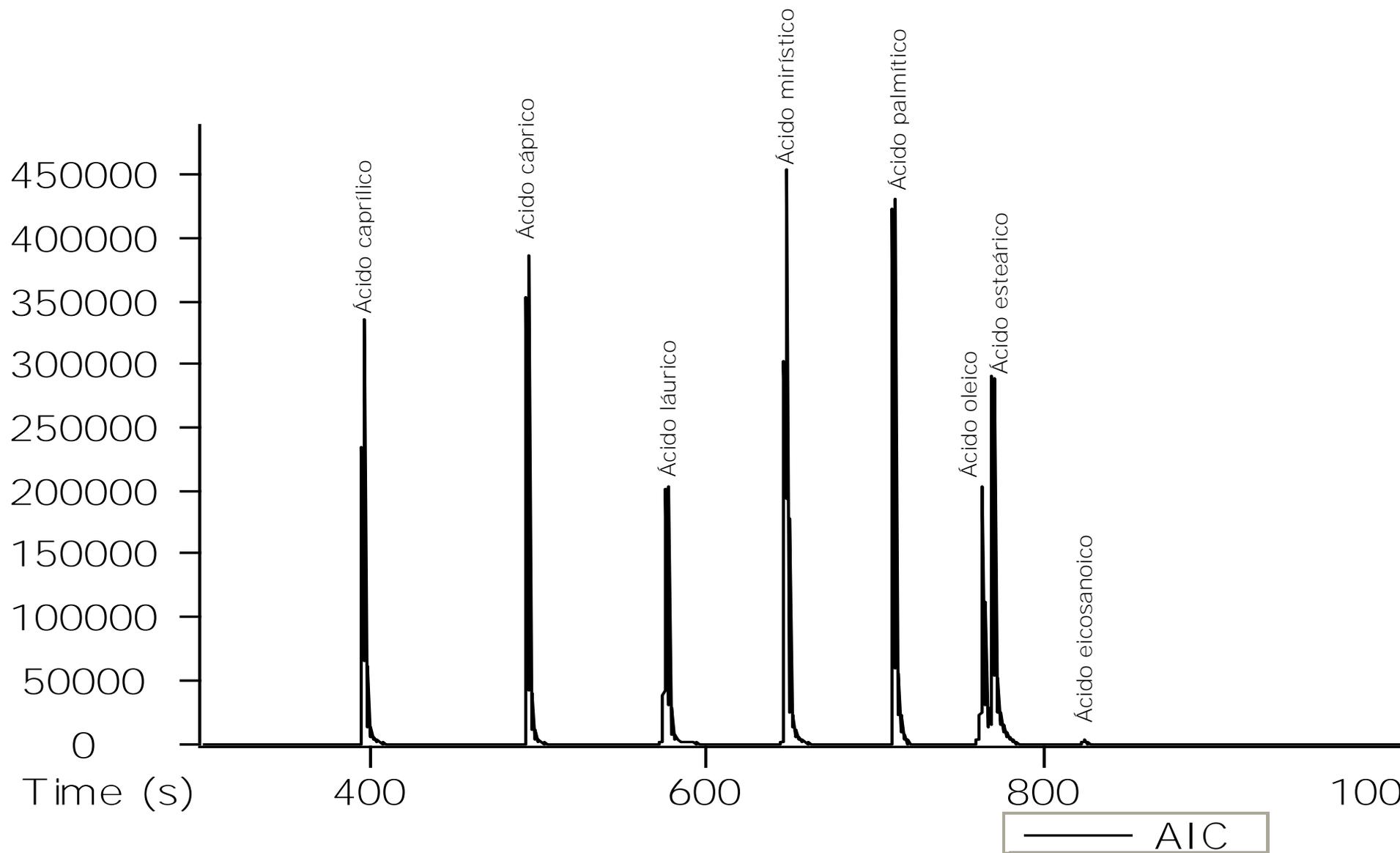
<http://www.tropicos.org/Name/2401428>

Fecha de consulta: 10 de Junio del 2015

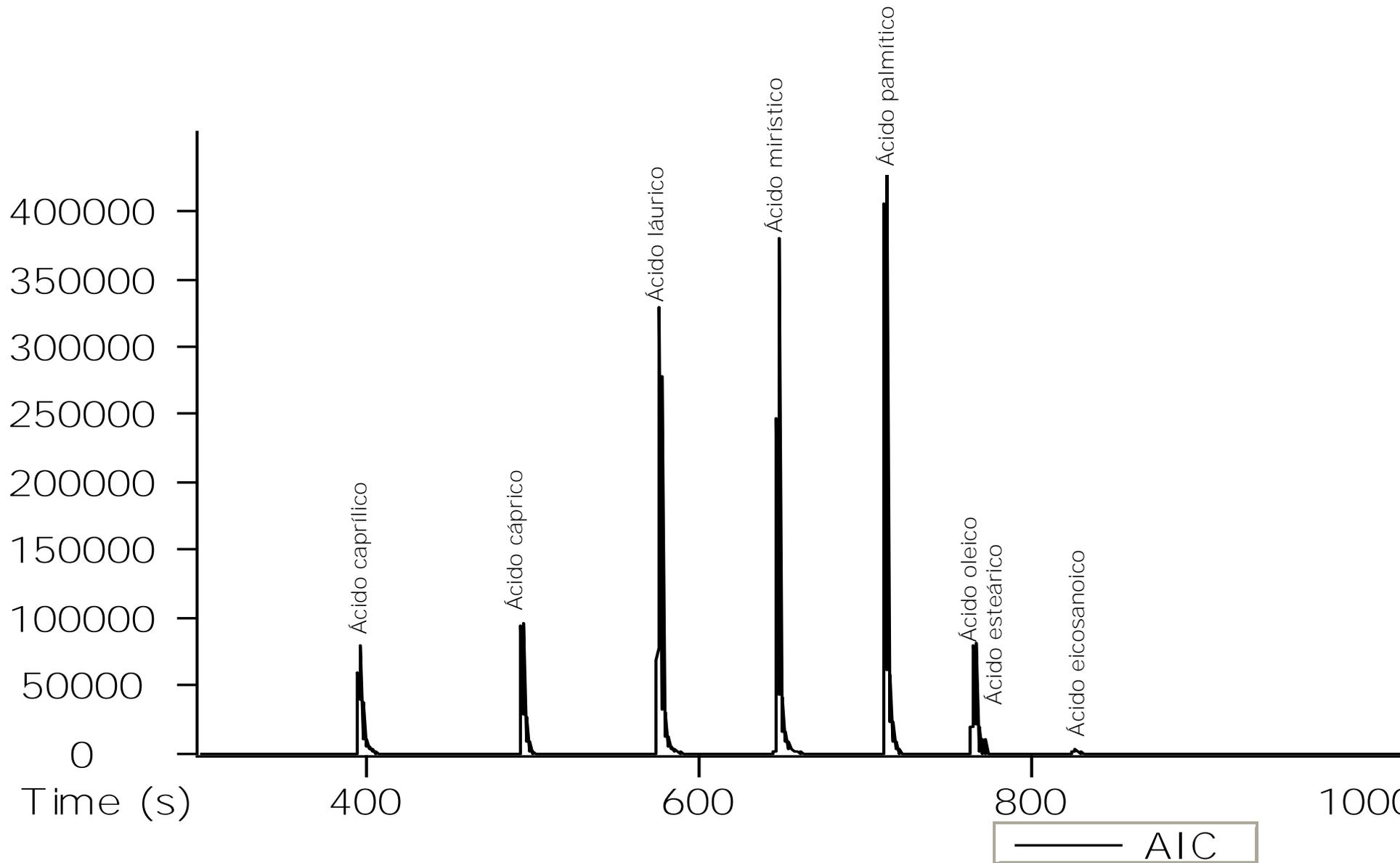
**ANEXO I**



**Figura 13. Espectro obtenido de la grasa cruda de *Attalea cohune* Mart**



**Figura 14. Espectro obtenido del aceite refinado de *Attalea cohune* Mart**



**Figura 15. Espectro obtenido de la grasa cruda de *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd.ex Mart**

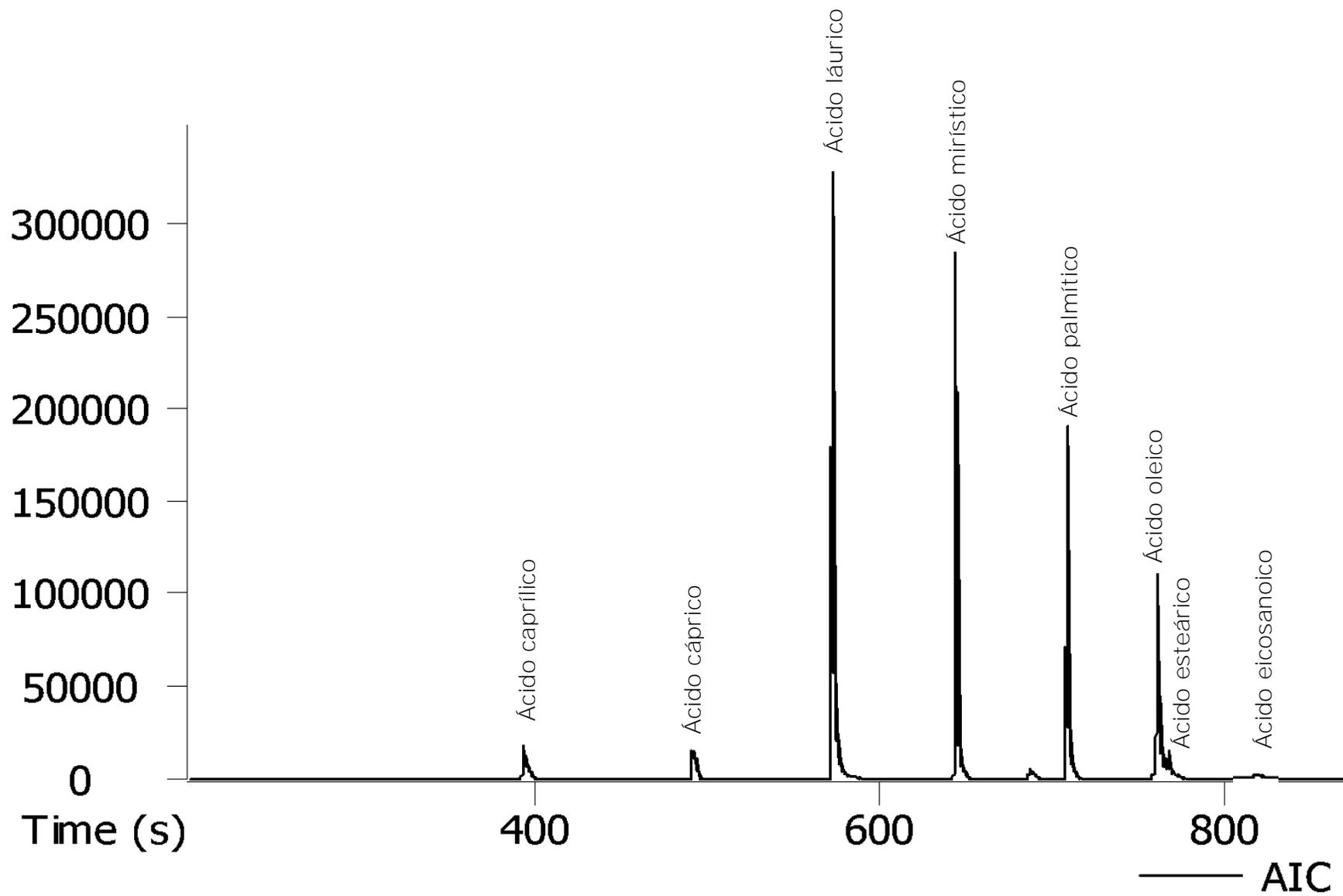


Figura 16. Espectro obtenido del aceite refinado de *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd.ex Mart