



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Análisis del contenido de grasa y perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de siete especies de palmas de la Estación Científica Yasuní-PUCE por cromatografía de gases con detector de ionización de llama

Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas con Mención en Química Analítica

STEVEN ISRAEL GÓMEZ AGUAS

Quito, 2017

## CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas con Mención en Química Analítica, del Sr. Steven Israel Gómez Aguas ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Dr. Javier Carvajal Barriga  
Director de la Disertación  
Quito, 20 de diciembre del 2017

*A todos los que pudieron encontrar una solución en la química*

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser siempre el apoyo fundamental en todo ámbito de mi vida y por su excelente en mi formación académica y personal.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas por contar con personal de calidad y excelentes profesionales.

A mi director de tesis, Dr. Javier Carvajal por darme la apertura de formar parte del equipo CNIB y el apoyo en cuanto a la realización de mi tesis. De Igual forma, al Lic. Bernardo Bastidas quien fue un gran apoyo en la realización de la disertación y todo el personal que conforma el centro.

A todos los profesores que me impartieron su conocimiento para mi formación académica durante toda la carrera, en especial a la MSc. Pablo Pozo, MSc. Eliza Jara y MSc. Gabriela Cueva por la ayuda indiscutible en todo momento.

En especial a la mujer de mi vida Mabel con quien encontré la fortaleza para poder cumplir todos los objetivos planteados, quien estuvo en todos mis logros y fracasos por eso y muchas cosas más te amo.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
TABLA DE CONTENIDOS .....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN .....	3
3.1 ACEITE DE PALMA .....	3
3.1.1 HISTORIA DEL ACEITE DE PALMA.....	3
3.1.2 PROPIEDADES Y USOS .....	3
3.2 BIOCOMBUSTIBLES.....	4
3.3 BIODIÉSEL .....	5
3.4 LÍPIDOS .....	6
3.4.1 ÁCIDOS GRASOS .....	7
3.4.2 TRASESTERIFICACIÓN.....	8
3.5 CROMATOGRAFÍA DE GASES .....	8
3.6 ESPECIES VEGETALES .....	10
4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
4.1. PREPARACIÓN DE LAS SEMILLAS.....	14

4.2	EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLAS DE PALMA .....	14
4.2.1	EXTRACCIÓN POR MEZCLA DE SOLVENTES .....	14
4.2.2	EXTRACCIÓN SOXHLET .....	15
4.2.3	EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO .....	15
4.3	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA .....	15
4.4	TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE.....	16
4.5	CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS .....	16
4.6	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MÉTODO CROMATOGRÁFICO .....	17
4.6.1	LINEALIDAD.....	17
4.6.2	LÍMITES DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN .....	18
4.7	ANÁLISIS DE BLANCOS Y MUESTRAS .....	19
4.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	19
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.1	CONTENIDO DE GRASA TOTAL .....	21
5.2	MÉTODO CROMATOGRÁFICO.....	24
5.3	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS .....	25
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42
6.1.	CONCLUSIONES .....	42
6.2.	RECOMENDACIONES .....	43
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	45
8.	FIGURAS.....	57

9. TABLAS ..... 71

10. ANEXOS..... 74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de biocombustibles utilizados en el sector de transporte.

Tabla 2. Descripción de ácidos grasos saturados más comunes con su respectiva nomenclatura y procedencia.

Tabla 3. Descripción de ácidos grasos insaturados más comunes con su respectiva nomenclatura y procedencia.

Tabla 4. Parámetros cromatográficos para el análisis de FAME por cromatografía de gases

Tabla 5. Contenido de grasa obtenido de las especies de palma por métodos de extracción Soxhlet, asistida por ultrasonido y mezcla de solventes.

Tabla 6. Determinación de diferencia significativa entre los métodos de extracción utilizados por medio de la prueba de distribución t de Student.

Tabla 7. Descripción de parámetros de desempeño del método cromatográfico

Tabla 8. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Phytelephas aequatorialis* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Tabla 9. Determinación de diferencia significativa entre las técnicas Soxhlet y asistida por ultrasonido para la cuantificación de ácidos grasos por medio de la prueba de distribución t de Student (t estadístico 4,302).

Tabla 10. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Phoenix canariensis* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Tabla 11. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Ammandra dasyneura* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido

Tabla 12. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Aphandra natalia* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Tabla 13. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Elaeis guineensis* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Tabla 14. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Astrocaryum chambira* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Tabla 15. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Socratea exorrhiza* por medio de los métodos de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reacción esterificación de ácidos grasos.

Figura 2. Esquema equipo cromatógrafo de gases.

Figura 3. Representación gráfica de la ecuación de van Deemter.

Figura 4. Distribución de la especie *Phytelephas aequatorialis* en el Ecuador.

Figura 5. Distribución de la especie *Phoenix canariensis*.

Figura 6. Distribución de la especie *Ammandra dasyneura*.

Figura 7. Distribución de la especie *Aphandra natalia*.

Figura 8. Distribución de la especie *Elaeis guineensis*.

Figura 9. Distribución de la especie *Astrocaryum chambira*.

Figura 10. Distribución de la especie *Socratea exorrhiza*.

Figura 11. Cromatograma de estándar de 10 mg/mL metil ésteres de ácidos grasos (C4-C24).

Figura 12. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phytelephas aequatorialis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 13. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phytelephas aequatorialis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 14. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Aphandra natalia* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 15. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Aphandra natalia* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 16. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Ammandra dasyneura* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 17. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Ammandra dasyneura* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 18. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phoenix canariensis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 19. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phoenix canariensis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 20. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Elaeis guineensis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 21. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Elaeis guineensis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 22. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Astrocaryum chambira* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 23. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Astrocaryum chambira* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

Figura 24. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Socratea exorrhiza* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

Figura 25. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Socratea exorrhiza* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido.

Figura 26. Representación gráfica de la composición de ácidos grasos presentes en los aceites de las semillas de las 7 especies analizadas.

Figura 27. Posición relativa de 7 muestras de aceite de palmas en un espacio definido por análisis de componentes principales PCA.

Figura 28. Análisis UPGMA de 7 muestras de aceites de palma.

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Curvas de calibración de los ácidos grasos del estándar Supelco FAME-mix.

Anexo 2. Cromatogramas de estándares de metil ésteres de ácidos grasos

Anexo 3. Representación gráfica de especies vegetales analizadas.

Anexo 4. Certificado de la composición del estándar de metil ésteres de ácidos Supelco FAME-MIX C4-C24

Anexo 5. Cálculo modelo del límite de detección y cuantificación para el ácido butírico.

## 1. RESUMEN

Los aceites obtenidos de las semillas de siete diferentes especies de palma contienen una gran cantidad de ácidos grasos saturados importantes en el desarrollo industrial. Se obtuvieron muestras de especies de la Estación Científica Yasuní-PUCE (Ecuador). Para la determinación de la grasa total se extrajo los aceites de las semillas de las especies de palma utilizando tres técnicas de extracción que fueron: Soxhlet, asistida por ultrasonido y mezcla de solventes, siendo el método Soxhlet la más efectiva. Las especies con mayor contenido de aceite fueron *Elaeis guineensis* (50,75%); *Astrocaryum chambira* (49,19%) y *Phoenix canariensis* (8,37%). Para la caracterización de los ácidos grasos como ésteres metílicos (FAME, Fatty acid methyl esters) se utilizó cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID, Gas chromatography with flame ionization) para los aceites extraídos por método Soxhlet y asistida por ultrasonido. Los principales compuestos determinados por GC-FID en los aceites de palma fueron: para *Phytelephas aequatorialis* 50,84  $\pm$  0,86% ácido oleico, 36,40  $\pm$  0,48 % ácido palmítico, 5,11  $\pm$  0,35% ácido esteárico. *Ammandra dasyneura* 38,59  $\pm$  0,04% ácido oleico, 31,26  $\pm$  0,01% ácido linoléico, 22,64  $\pm$  0,11% ácido palmítico. *Aphandra natalia* 31,01  $\pm$  0,18% ácido oleico, 20,25  $\pm$  0,65% ácido palmítico, 13,59  $\pm$  0,02% ácido linoléico. *Socratea exorrhiza* 27,62  $\pm$  0,28% ácido oleico, 24,07  $\pm$  0,29 % ácido palmítico, 8,90  $\pm$  0,03 % ácido araquídico. *Elaeis guineensis* 47,95  $\pm$  0,09% ácido láurico, 16,76  $\pm$  0,01% ácido mirístico, 16,40  $\pm$  0,01% ácido oleico, 8,66  $\pm$  0,01% ácido palmítico. *Astrocaryum chambira* 61,68  $\pm$  0,43% ácido láurico, 22,97  $\pm$  0,01% ácido mirístico, 3,22  $\pm$  0,24% ácido oleico. *Phoenix canariensis* 34,48  $\pm$  0,11% ácido oleico, 24,15  $\pm$  0,11% ácido láurico, 11,58  $\pm$  0,07% ácido mirístico, 9,80  $\pm$  0,05% ácido palmítico. Se determinó por medio de análisis estadísticos que los componentes principales de las especies de palmas son los ácidos láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoléico.

Palabras Claves: aceite de palma; extracción de aceites; FAME; GC-FID; Yasuní

## 2. ABSTRACT

Palm oil was obtained from seeds of seven different palm species containing a large amount of saturated fatty acids that are important for industrial development. The samples of the seed of palm species were obtained in the Yasuní-PUCE Scientific Station (Ecuador). The determination of fat total for the oil that was contained in the palm species was extracted by three techniques, which were: Soxhlet, Assisted by ultrasound and solvent mixture; being Soxhlet method the most effective. The species with highest oil were *Elaeis guineensis* (50,75%); *Astrocaryum chambira* (49,19%) and *Phoenix canariensis* (8,37%). Characterization of fatty acids as methyl esters (FAMES) was performed by gas chromatography with a flame ionization detector (GC-FID) for oils extracted by Soxhlet and ultrasound-assisted techniques. The main compounds that were determined with GC-FID on palm oils were as follows: *Phytelephas aequatorialis* 50,84  $\pm$  0,86% oleic acid, 36,40  $\pm$  0,48 % palmitic acid, 5,11  $\pm$  0,35% stearic acid. *Ammandra dasyneura* 38,59  $\pm$  0,04% oleic acid, 31,26  $\pm$  0,01% linoleic acid, 22,64  $\pm$  0,11% palmitic acid. *Aphandra natalia* 31,01  $\pm$  0,18% oleic acid, 20,25  $\pm$  0,65% palmitic acid, 13,59  $\pm$  0,02% linoleic acid. *Socratea exorrhiza* 27,62  $\pm$  0,28% oleic acid, 24,07  $\pm$  0,29 % palmitic acid, 8,90  $\pm$  0,03 % arachidic acid. *Elaeis guineensis* 47,95  $\pm$  0,09% lauric acid, 16,76  $\pm$  0,01% myristic acid, 16,40  $\pm$  0,01% oleic acid, 8,66  $\pm$  0,01% palmitic acid. *Astrocaryum chambira* 61,68  $\pm$  0,43% lauric acid, 22,97  $\pm$  0,01% myristic acid, 3,22  $\pm$  0,24% oleic acid. *Phoenix canariensis* 34,48  $\pm$  0,11% oleic acid, 24,15  $\pm$  0,11% lauric acid, 11,58  $\pm$  0,07% myristic acid, 9,80  $\pm$  0,05% palmitic acid. It was determined by statistical analysis that the main components present in palm species are lauric, myristic, palmitic, stearic, oleic and linoleic acids.

Key Words: extraction oil; FAME; GC-FID; palm oil; Yasuní

## **3. INTRODUCCIÓN**

### **3.1 ACEITE DE PALMA**

#### **3.1.1 HISTORIA DEL ACEITE DE PALMA**

El aceite de palma es el aceite vegetal más utilizado a nivel mundial. La palma es una planta tropical que se desarrolla generalmente en climas cálidos, creciendo en áreas superficiales por debajo de los 500 m.s.n.m. El origen geográfico de la palma africana (*Elaeis guineensis*) se ubica en el golfo de Guinea, África Occidental. Su llegada al continente americano, dando su primer paso por Brasil, se atribuye a los colonizadores y comerciantes portugueses, quienes la utilizaban como parte de la dieta alimentaria de los esclavos en Brasil (Meléndez y Ponce, 2016).

Los primeros cultivos de aceite de palma en el Ecuador fueron en 1953, cuando Roscoe Scott cultivaba en la ruta Santo Domingo – Quinindé utilizando materia prima de Honduras. Las primeras explotaciones de palma se registraron en 1994 con un volumen de 4000 toneladas en ese año. Ecuador es uno de los mayores productores de aceite de palma en América Latina y el séptimo a nivel mundial al tener más de 280 000 hectáreas cultivadas distribuidas en más de 7000 productores de aceite de palma. La producción nacional registrada en 2014 fue de 540 000 toneladas métricas (ProEcuador, 2016; Meléndez y Ponce, 2016; Pádua, M, et al, 2013). La palma aceitera se encuentra en las varias regiones del Ecuador y sus alrededores, siendo un árbol con hojas de 5 metros de longitud teniendo entre las necesidades principales proveerse de sol y humedad (EPOA, 2014).

#### **3.1.2 PROPIEDADES Y USOS**

La composición lipídica del aceite de palma extraído del mesocarpio es alrededor de 10 a 36% de ácidos grasos saturados, siendo el 29% de ácido palmítico, 68% de ácido esteárico y 50% de ácido oleico (Montoya et al, 2014). El aceite de palma y palmiste tiene varios usos a escala industrial; en donde por sus diversas propiedades ha sido aprovechado en mayor proporción en la fabricación de productos oleoquímicos como: ácidos grasos, ésteres grasos,

alcoholes grasos, compuestos nitrogenados grasos y glicerol. De igual forma, se emplean en la producción de jabones, detergentes, lubricantes para pintura, barnices, gomas y tintas (Cenipalma, 2013).

El aceite de palma es utilizado como ingrediente de productos alimenticios como: margarina, confitería, chocolate, helado y panadería. Este aceite brinda estabilidad a altas temperaturas y a largo plazo, sabor y olor neutros, estado sólido o semisólido a temperatura ambiente y una textura suave y cremosa (EPOA, 2014). En los últimos años se ha avanzado en la investigación para el aprovechamiento de aceites para la producción de biodiesel, donde los cultivos de palma son valorizados como materia prima de alta calidad para la producción de biodiesel debido a su alta rentabilidad (Murillo, 2004; Cenipalma, 2013).

### **3.2 BIOCOMBUSTIBLES**

Se denomina biocombustible a cualquier tipo de combustible de tipo líquido, sólido o gaseoso proveniente de biomasa o material orgánico de origen vegetal o animal. Se incluyen los términos de biogás (bioetanol, biometanol), biodiésel y diésel obtenido mediante procesos de Fischer Tropsch, y combustibles gaseosos como hidrógeno y metano (Benjumea, et al, 2009). Los recursos forestales, agrícolas, pesqueros o desechos son un gran aporte para la generación de materia prima en la producción de biocombustibles (Grupo Spurrier, 2013).

La producción y comercialización de combustibles renovables fabricados con materia prima de fácil acceso aportaría al desarrollo industrial, al emplear biomasa residual que permita el desarrollo de proyectos sostenibles para la producción de biocombustibles. Al evaluar las condiciones óptimas de obtención de combustibles renovables regidos de acuerdo a los parámetros de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) se encuentra que el combustible con mayor utilidad es el biodiésel obtenido a partir del proceso de transesterificación de ácidos grasos del aceite de especies vegetales debido a que su punto de inflamación es mayor al diésel de origen fósil mejorando el rendimiento y eficiencia de los motores (Halim, et al, 2012).

En el campo de las energías renovables, el biodiésel se presenta como una de las alternativas más viables para la sustitución de combustibles fósiles (Gómez, Pérez y Sarmiento, 2014). La implementación de la tecnología de producción industrial de biodiésel ha sido estudiada a escala mundial. Estados Unidos es una de las grandes potencias en la producción de este combustible renovable. La producción de biodiésel tiene la ventaja de ser fácil y se puede obtener a partir de una gran diversidad de fuentes naturales, entre las cuales se destaca el aceite de soya, aceite de canola, grasa animal, aceite de palma, aceite de maíz, aceite reciclado de cocina y aceite de jatropha (Kulkarni y Dalai, 2006). La producción industrial de biodiésel a base de aceite extraído de palma africana se implementó en Colombia desde el año 2008, continuando con los trabajos hasta la presente; siendo este país uno de los principales productores de aceite de palma (Gómez, Pérez y Sarmiento, 2014).

La producción de biocombustible es una de las producciones que representa un crecimiento exponencial y es expuesto como la principal oportunidad de sustitución de combustibles fósiles en los países desarrollados y en desarrollo, para satisfacer la gran demanda energética generada a partir de sus propios recursos y poder disminuir el impacto contaminante causado por la producción de gases de efecto invernadero (Gómez, 2010). Entre las ventajas se encuentra la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, otros compuestos orgánicos volátiles y es útil para reforzar propiedades de la gasolina y diésel (Zarrilli, 2006).

### **3.3 BIODIÉSEL**

El biodiésel es uno de los combustibles biológicos renovables más destacados; sus propiedades están determinadas por la estructura de sus ésteres grasos incluyendo calidad de ignición, calor de combustión, flujo en frío, estabilidad a la oxidación, viscosidad y lubricidad (Zarrilli, 2006; Knothe, 2005). Se produce a partir de aceites y grasas usando métodos de transesterificación (Vijayarathy, 2011). Da un aporte del 18 al 82% para el sector de transporte en países desarrollados, siendo 2008 el periodo de mayor aprovechamiento, al utilizar alrededor del 1,5% de la producción de biodiésel y un 90% de la producción de bioetanol reportados según la Agencia Internacional de Energía (AIE). Brasil es uno de los países de América Latina con mayor consumo de biocombustibles en el sector del transporte al consumir alrededor de 21,57%;

los países con altos consumos de biocombustibles se encuentran descritos en la Tabla 1 (Biofuels Taskforce, 2005; CEPAL, 2009).

El biodiesel es el biocombustible más empleado debido a sus bajos costos de fabricación y efectiva producción en regiones emergentes. La producción de biodiésel de segunda generación se incluye en los desarrollos tecnológicos de alto impacto. El biodiesel generado a partir de biomasa de tipo oleaginosa, madera, paja o residuos orgánicos presenta mayor eficiencia en relación a otras materias primas empleadas (Dufey, et al, 2007).

### **3.4 LÍPIDOS**

Los lípidos son componentes esenciales de las células ampliamente distribuidos en animales y vegetales. Son parte fundamental de las membranas celulares y en animales forman el principal material de reserva energética, además, son precursores de otras sustancias importantes, aislantes previniendo choques térmicos, eléctricos y físicos, protegen proteínas solubles de las membranas, evitan infecciones, son vitaminas y hormonas en algunos casos, poseen elevado poder energético y menor densidad que el agua (Teijón y Garrido, 2006; Berg et al., 2007; Blanco, 2006). Se los clasifica de acuerdo a su complejidad dividiéndolos en dos categorías: lípidos simples y complejos.

Los lípidos simples son los acilgliceroles y las ceras; mientras que los lípidos complejos son los fosfolípidos, glicolípidos y lipoproteínas. Otros constituyentes lipídicos son esfingolípidos, esteroides y glicolípidos definidos como sustancias asociadas a los lípidos. Los acilglicéridos contienen 3 ácidos grasos esterificados a la cadena del glicerol; mientras que los fosfoglicéridos consisten de una cadena principal de tres carbonos de glicerol, dos de ácidos grasos de cadena larga esterificados a los carbonos 1 y 2 del glicerol y un ácido fosfórico esterificado al carbono 3 del glicerol (Lippincott-Schwartz, 2008).

Los aceites pertenecen al grupo de lípidos que están constituidas de moléculas con átomos de carbono, hidrogeno y oxígeno, y son de origen animal o vegetal, donde sus

características y propiedades dependen de su procedencia (Suárez, 2008). Son las sustancias de mayor consumo entre los demás lípidos, por sus usos alimenticios, en los ámbitos domésticos e industriales, destacando la industria como uno de los grandes campos de utilización de estos compuestos. Los análisis y estudios realizados han destacado el uso de estas sustancias, ya que su uso genera un crecimiento y desarrollo tanto industrial como científico (Valenzuela y Morgado, 2005).

### 3.4.1 ÁCIDOS GRASOS

Los ácidos grasos son los componentes esenciales de mayor abundancia encontrados dentro del grupo de lípidos saponificables (que producen jabón), donde sus propiedades dependen notablemente de la longitud de la cadena y grado de saturación (Berg et al. 2007). Son moléculas que escasamente se encuentran en estado libre, ya que comúnmente están combinadas formando lípidos simples y complejos, la mayoría de cadena lineal.

Los ácidos grasos generalmente se presentan de 4 a 26 átomos de carbono, donde se presentan como ácidos grasos saturados o insaturados por la presencia o ausencia de doble enlaces, los ácidos grasos saturados más comunes se encuentran descritos en la Tabla 2. Los ácidos grasos insaturados pueden ser monoinsaturados o poliinsaturados (MUFA o PUFA respectivamente, por sus siglas en inglés) (Teijón y Garrido, 2006; Blanco, 2006). Los MUFA presentan un solo doble enlace en configuración *cis*, ya que los hidrógenos están ubicados a un mismo lado en los carbonos unidos por doble enlace. Los PUFA presentan más de un doble enlace en su estructura. Estos ácidos insaturados corresponden a ácidos “omega” nombrados de acuerdo a la posición del primer doble enlace contando desde la posición donde se ubica el grupo metilo (carbono  $\omega$ ), los ácidos grasos insaturados más comunes se encuentran descritos en la Tabla 3.

El nombre de los ácidos grasos se asigna colocando el sufijo *oico* al hidrocarburo del cual se deriva, numerada su cadena a partir del carbono con la función carboxilo. En ácidos grasos insaturados se debe indicar el número de doble enlaces con su respectiva posición (Velásquez, 2006; Blanco, 2006).

Los ácidos grasos pueden ser identificados y/o cuantificados mediante el uso de diferentes técnicas como: cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC-MS), cromatografía de capa fina (TLC), espectrometría de rayos X, espectroscopia infrarroja (IR), espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN) y cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID) (Yurchenki et al., 2016).

### **3.4.2 TRASESTERIFICACIÓN**

Los compuestos metil o etil ésteres se obtienen a partir de la reacción química entre el aceite vegetal o materia grasa con alcohol y la ayuda de un catalizador ácido, básico o enzimático, mostrando una representación gráfica de la reacción de transesterificación en la Figura 1, necesario ya que los ácidos grasos no pueden ser determinados por cromatografía de gases, siendo la derivatización en sus respectivos ésteres una de las alternativas más efectivas para este análisis (do Espírito Santo, 2006). Los alcoholes comúnmente utilizados son: metanol, etanol, propanol y butanol, destacando al metanol y etanol como los más empleados (Mohamad, Xu y Guo, 2014). La transesterificación a base de etanol es sensible a cambios menores por factores como: contenido de agua, temperatura de reacción, relación aceite/etanol y concentración del catalizador, conduciendo a un sistema bifásico al final de la reacción. (Mendow et al., 2011; Siciliano et al., 2013).

### **3.5 CROMATOGRAFÍA DE GASES**

La cromatografía de gases se basa en la volatilización de la muestra tras ser inyectada en una columna cromatográfica. A diferencia de otros tipos de cromatografía en esta variante la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito, determinando su función principal el transporte a través de la columna. Presenta módulos los cuales son: fase móvil, puerto de inyección, columna y detector. Mostrando un esquema gráfico de las partes principales en la Figura 2 (Skoog, Holler y Crouch, 2007).

El gas portador es gas inerte debido a que no interacciona con las moléculas del analito, siendo su principal función el conducir la muestra hacia la columna. El segundo propósito es entregar una matriz adecuada para el detector, facilitando la medición de los componentes presentes en la muestra (McNair y Miller, 2011).

El puerto de inyección introduce la muestra en la cabeza de la columna (Skoog, Holler y Crouch, 2007). Uno de los sistemas de inyección más antiguos y comúnmente utilizados en columnas capilares es el inyector split/splitless (Sparkman, Penton y Kitson, 2011). El modo split presenta mejor eficiencia de inyección y menor sensibilidad; mientras que el modo splitless presenta efecto del disolvente y poca eficiencia de inyección (Agilent Technologies, 2013). Las columnas utilizadas en esta técnica son columnas tubulares abiertas que no producen ensanchamiento de banda por el término “A” en la ecuación de van Deemter:  $AEPT = A + B/\mu + C/\mu$ , mostrada la representación gráfica de la curva en la Figura 3, debido a la ausencia del factor de múltiples trayectorias dado por una columna empaquetada (Genaro, 2003)

El detector de cromatografía de gases es robusto en comparación a los detectores utilizados en las diferentes técnicas cromatográficas; debido a que los gases portadores no son detectables dando niveles de fondo bajos (Poole, 2012). El detector de ionización de llama (FID) es comúnmente utilizado en GC, ya que es sensible para compuestos con enlaces C-C o C-H y considerablemente menos sensibles a ciertos grupos funcionales como: alcohol, amina, carbonilo y halógeno. Entre las principales desventajas de este detector es su alto ruido dinámico y la destrucción de las muestras por efecto de la oxidación en la llama (Cazes, 2004).

La cromatografía de gases puede ser utilizada en distintas áreas de la ciencia, como, por ejemplo: en el campo farmacéutico y drogas para el control cualitativo y cuantitativo de componentes; para análisis de nuevos productos y monitoreo de metabolitos en sistemas biológicos; en estudios del medioambiente para análisis de muestras en matrices complejas de contaminantes presentes en el aire; en la compañías industria petrolera para determinar los principales componentes presentes en los productos del petróleo (Grob y Barry, 2004).

Es una técnica precisa por su alta eficiencia en separaciones. Cerca de 1000 distintos compuestos pueden detectarse con esta técnica. La introducción de variantes como combinaciones de temperaturas y polaridades de la fase estacionaria permiten separaciones con altos grados de dificultad incluyendo isómeros quirales y posicionales. Esta es una técnica con alta sensibilidad que realiza análisis cuantitativos a niveles traza requiriendo cantidades de muestra menores a 1mL y al emplear una gran variedad de detectores se logra incrementar aún más la selectividad y sensibilidad de la técnica (Garcia y Barron, 2014).

Una desventaja radica en que la muestra a ser analizada debe necesariamente ser volátil. No es útil trabajar con muestras que se degradan a temperaturas elevadas, ya que las temperaturas máximas de trabajo son de 350 a 380 °C para columnas convencionales (Garcia y Barron, 2014).

La cromatografía de gases brinda un análisis efectivo en la caracterización del perfil de ácidos grasos, por lo cual, este estudio se enfoca en la determinación de la composición de ácidos grasos presentes en los aceites de las semillas de 7 especies de palma para su posterior uso industrial.

### **3.6 ESPECIES VEGETALES**

Ecuador es uno de los países que presenta gran diversidad de especies de palmas con potencial uso industrial. Las semillas de palma sobresalen por su alto contenido de grasa. Entre las especies destacadas por su uso en producción de aceites comestibles u otros usos industriales se encuentran *Phytelephas aequatorialis*, *Astrocaryum chambira*, *Elaeis guineensis*, *Mauritia flexuosa* y *Aphandra natalia* (Montúfar, Brokamp y Jácome, 2013).

La palmera *Phytelephas aequatorialis*, comúnmente conocida como tagua, es habitual de zonas tropicales y subtropicales en la Costa ecuatoriana, localizada en varias provincias (Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Imbabura, Bolívar, Cotopaxi, Azuay y El Oro), mostrando su distribución espacial en la Figura 4 (Montúfar et al., 2013). Entre sus características principales se encuentra como una palmera dioica, de forma solitaria con tallos

de color café oscuro y sus hojas son erectas, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3 (Vergara, 2015). Es una palmera que puede desarrollarse hasta los 1800 m.s.n.m. El porcentaje del contenido de grasa en la semilla está entre 0.33 a 0.62% (Koziol y Borgtoft, 1993).

*Phoenix* es un género que corresponde a 17 especies de palmeras (*canariensis*, *dactylifera*, *reclinata*, *sabal*, *rupícola*, etc.). Se establece como miembro de la familia *palmae*, encontrándose en el Océano Atlántico en la costa del noreste de África; siendo las Islas Canarias su lugar nativo, mostrando su distribución espacial en la Figura 5, considerada como palmera no ramificada de hojas verdosas y frondosas, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3. *Phoenix canariensis* en su maduración presenta un color rojo y su semilla tiene una dimensión de 1cm de largo. Los frutos no son de carácter tóxico, pero contienen un sabor desagradable para el consumo. *Phoenix c.* puede contener varios beneficios y sus usos pueden ser tanto nutritivos como industriales al contener del 1.18 a 10.36% de grasa (Nehdi, et al, 2010).

La especie *Ammandra dasyneura* también conocida como tagua o cabecita. Esta es una especie dioica, la cual se caracteriza por tener uno o varios troncos. Se desarrolla en zonas de origen tropical por las características climáticas que proporciona esta región, mostrando su distribución espacial en la Figura 6. Entre sus características principales se detalla hojas pinnadas con el limbo muy plano, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3 (Cañizo, 2011). Esta palma es una de las más utilizadas por la comunidad Huaorani, debido a los usos que se le otorgan como la elaboración de cestas temporales, el mesocarpio en estado maduro es comestible y el endospermo se lo utilizaba para curar dolores estomacales y empleado como antidiarreico (Macía, 2004).

La especie *Aphandra natalia* se encuentra en Ecuador, en la región amazónica desde las faldas de los Andes (Kronborg, et al, 2008). Posee un tronco cubierto de fibra y su corona en forma de abanico, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3. Se desarrolla en bosques de vegetación antigua en zonas pantanosas o permanentemente húmedas, mostrando su distribución espacial en la Figura 7 (Boll, et al, 2005). De acuerdo a su composición en peso contiene 84% de agua; 0,17% de grasa; 8,7% proteína y 6,9% de carbohidratos (Kronborg, et

al, 2008). Es altamente utilizada por la industria, destacando la fabricación de escobas y pinceles de fibra rígida en Ecuador y partes de Perú. Se desconoce sobre la disponibilidad de recursos, distribución y preferencias ambientales, reduciendo únicamente a estudios reportados en literatura o en herbarios (Boll, et al, 2005).

Entre las diversas especies de palma, *Elaeis guineensis* es la especie que más destaca por su alto valor económico debido a su alto rendimiento de aceite por racimo. Esta especie es nativa de África Occidental, mostrando su distribución espacial en la Figura 8 y su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3 (Obahiagbon, 2012), convirtiéndose en una de las cosechas más grandes de aceite vegetal a nivel mundial, siendo Indonesia el mayor productor de esta palma, produciendo alrededor de 36 millones de toneladas de aceite de palma, seguido de Malasia con 21 millones de toneladas (Sasidhara et al., 2012; Green Palm, 2016). El aceite de esta palma es un cultivo monoico, debido a que se encuentran presentes tanto las flores masculinas y femeninas en el mismo árbol (Apichatmeta, Sudsiri y Ritchie, 2017). La composición de aceite en el endospermo se encuentra de 50 a 55% (Dussert et al., 2013), presentando una alta composición de ácidos grasos saturados de cadena media con el 51% de ácido láurico y 18% de ácido mirístico (Prabhakaran, 2010). En el fruto se determina la presencia de gran cantidad de ácidos palmítico y oleico. El aceite de esta palma es de alta calidad y de gran uso en las industrias alimenticias, medicinales y cosmética (García et al., 2008; Pádua et al., 2013).

*Astrocaryum chambira* es una palma que se encuentra en las zonas amazónicas del Perú y Ecuador principalmente en la cuenca del Amazonas, mostrando su distribución espacial en la Figura 9, que se caracteriza por poseer una fibra suave y varias espinas negras largas, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3. Esta fibra se extrae de las pinnas amarillentas de la hoja que se encuentra en el centro de la corona. La semilla de esta palma contiene el 50% de aceite, siendo el 27% ácido láurico, mostrando un gran potencial en el uso industrial (Herreta et al., 2012). La fibra obtenida de esta palma es una fuente importante para la producción de artesanías como la fabricación de bolsas y hamacas (Marín, Millán y Kahn, 2012).

*Socratea exorrhiza* o palma caminante es una palma nativa de América del Sur y América Central. En Ecuador se desarrolla en bosques húmedos a los lados de los Andes, mostrando su distribución espacial en la Figura 10 (Goldsmith y Zahawi, 2007). Su estructura se conforma de un tronco vertical de corteza lisa con una baja capacidad de retención de agua, donde su representación gráfica se encuentra en el Anexo 3. (Zotz y Vollrath, 2003). Se desarrolla bien a partir de semillas dispersas y descartadas naturalmente. Las semillas no se siembran en estado fresco ya que causa problemas en la germinación y no se presenta información sobre la composición de la misma (Cañizo, 2011). Es una especie de palma que se emplea mayormente para la elaboración de artesanías (Hernández, 2016).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el contenido de grasa total y perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de las especies (*Phytelephas aequatorialis*, *Ammandra dasyneura*, *Aphandra natalia*, *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis*, *Astrocaryum chambira* y *Socratea exorrhiza*) por cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el porcentaje de rendimiento de los métodos de extracción por mezcla de solventes, extracción Soxhlet y extracción asistida por ultrasonido del aceite de semillas de 7 especies de palmas.
- Cuantificar el perfil de ácidos grasos presentes en los extractos obtenidos mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama.
- Comparar estadísticamente los métodos de extracción empleados para la determinación del contenido de grasa de las 7 diferentes especies de palmas.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. PREPARACIÓN DE LAS SEMILLAS

El material vegetal empleado fueron semillas de siete especies diferentes de palmas, recolectadas mediante un muestreo aleatorio por dos ocasiones de la Estación Científica Yasuní-PUCE, provincia de Orellana, Ecuador ( $76^{\circ}24'1.8''\text{W}$ ;  $0^{\circ}40'16.7''\text{S}$ ), con la ayuda de personal con conocimientos sobre estas especies, exceptuando las especies *Ammandra dasyneura* y *Aphandra natalia* que fueron recolectadas fuera de la Estación. Las semillas se secaron a temperatura ambiente por 24 horas y por calor inducido en estufa Memmert UN55 a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas; se descartó el mesocarpio mediante esmerilado con equipo esmeril de banco Pretul EBA-516P. Posteriormente, las semillas fueron molidas en molino de bolas Retsch MM400 y tamizadas hasta obtener un tamaño de partícula menor a 100 micras. El material procesado fue almacenado en envases plásticos para su posterior uso.

### 4.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLAS DE PALMA

Las técnicas empleadas para la extracción del aceite de las diferentes especies de palmas fueron: extracción por mezcla de solventes, extracción Soxhlet y extracción asistida por ultrasonido.

#### 4.2.1 EXTRACCIÓN POR MEZCLA DE SOLVENTES

Para la extracción por mezcla de solventes, se pesó 50 g de material vegetal, conjuntamente se pesó un Erlenmeyer vacío y se agregó 150 mL de una mezcla cloroformo Panreac grado HPLC de pureza 99,0% con metanol Panreac grado analítico de pureza 99,8% en proporción 2:1, se agitó la muestra en agitador magnético por 30 minutos y se procedió a filtrar. Se utilizó el método de destilación simple a  $65^{\circ}\text{C}$  permitiendo secar la muestra y eliminando el solvente. Finalmente, se pesó el aceite extraído para determinar el porcentaje de contenido de grasa (Gonçalves et al., 2016).

#### 4.2.2 EXTRACCIÓN SOXHLET

Para la extracción Soxhlet se pesó un balón vacío, 50 g de la materia vegetal y se colocó 250 mL de n-hexano Wako grado analítico de pureza 96,0%. Se armó el equipo Soxhlet y se sometió a reflujo por 2 horas a 60 °C. Se destiló a sequedad y finalmente se pesó el aceite obtenido para determinar el porcentaje de contenido de grasa siguiendo el método 952.08 de la AOAC (*Association of Analytical Communities*). (Horwitz y Latimer, 1997).

#### 4.2.3 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO

Para la extracción asistida por ultrasonido, se pesó 50 g del material vegetal y se agregó 250mL de una mezcla cloroformo Panreac grado HPLC y metanol Panreac grado analítico en proporción 2:1, se agitó con agitador magnético y se colocó en baño de ultrasonido Bransonic B-2200R-4 por 30 min. Se filtró y se lavó el extracto con 60 mL de NaCl grado analítico al 0,9% p/p logrando separar las fases en un embudo de separación. Se recolectó la fase clorofórmica y se destiló a sequedad. Finalmente, se pesó el aceite obtenido para determinar el porcentaje de grasa (Bravo, 2015).

#### 4.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA

Se evaluó el rendimiento de los diferentes métodos de extracción empleados y se determinó el porcentaje de grasa por medio de la ecuación 4.1 (Arias, 2011):

$$\%Grasa\ Total = \left[ \frac{(M_1(g) - M_2(g))}{masa\ muestra} \right] \times 100 \quad (4.1)$$

Dónde:  $M_1$  = masa de balón + grasa extraída

$M_2$  = masa de balón

#### **4.4 TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE**

Para la conversión de los aceites en ésteres metílicos, se efectuó una saponificación y esterificación disolviendo 1 g del aceite extraído con 1 ml de n-hexano Wako grado analítico por 3 veces en un vial. Se adicionó 2,5 mL de una solución de KOH 0,5M en metanol calentando a 80 °C por 45 minutos en baño maría. Se enfrió la mezcla y se extrajo con 2mL de hexano por tres ocasiones en embudo de separación, a la fase saponificable se adicionó 1mL de HCl grado analítico 1:4 v/v en metanol y se calentó a 50 °C por 25 minutos en baño maría. Se agregó 5 mL de agua tipo 1 y se extrajo la fase orgánica con 2 mL de n-hexano por 3 ocasiones, secando continuamente con sulfato de sodio. Finalmente, se pasó a nuevo vial y se refrigeró hasta su lectura (Horwitz y Latimer, 2005).

#### **4.5 CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS**

Para la caracterización del perfil de ácidos grasos del aceite de las semillas de las diferentes especies analizadas, se siguió el método AOAC 996.06. El método se implementó para realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de los aceites por Cromatografía de Gases utilizando detector de ionización de llama (GC-FID) con los parámetros indicados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Parámetros cromatográficos para el análisis de FAME por cromatografía de gases**

<b>Descripción</b>	<b>Especificación y Condiciones</b>
<b>Equipo</b>	Cromatógrafo de Gases Agilent 7890A con detector de ionización de llama
<b>Columna</b>	Agilent HP-88; 60 m x 250 $\mu$ m x 0.2 $\mu$ m
<b>Gas Portador</b>	Helio en un flujo de 1.5mL/min
<b>Horno</b>	Temperatura inicial 125 °C durante 2 min, incremento de 6 °C/min hasta 145 °C y manteniéndola por 25 min, incremento de 2 °C/min hasta 220 °C y manteniéndola por 15min (tiempo total 83 min)
<b>Detector</b>	Temperatura de 260 °C
<b>Inyector</b>	Temperatura de 250 °C con una relación de división de 70:1
<b>Software</b>	GC ChemStation
<b>Estándar</b>	Supelco FAME mix C4-C24

## **4.6 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MÉTODO CROMATOGRÁFICO**

### **4.6.1 LINEALIDAD**

La linealidad es el rango de intervalo de concentraciones necesarias para un método analítico obteniendo una pendiente de la recta. Este análisis permite medir el grado de respuesta analítica a la concentración o cantidad del analito que se ajusta a una función lineal (Sierra, et al, 2009). Para determinar la concentración del analito se evalúa la linealidad de la curva de calibración por medio de estándares, cada patrón debe ser analizado 3 veces (Harris, 2007). En la linealidad es importante comprobar el coeficiente de regresión ( $R^2$ ), que debe ser superior a 0.995, seguido de su respectiva regresión lineal (Clavijo, 2002). La ecuación general de una línea recta viene dada de la siguiente manera:

$$y = mx + b \quad (4.2)$$

Dónde:  $y$  = señal de respuesta

$m$  = pendiente

$x$  = concentración

$b$  = intercepto

#### 4.6.2 LÍMITES DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN

El límite de detección es la mínima cantidad de especies a identificar que genera una señal analítica significativamente diferente de la señal del blanco o ruido de fondo (Mongay, 2011). El límite de detección se distingue del límite del blanco, suponiendo que el analito está presente con una señal mayor a la del ruido analítico en ausencia del mismo (Armbruster y Tery, 2008).

El límite de cuantificación de un método analítico se considera al rango de concentraciones comprendidas entre la concentración más pequeña a la que se puede realizar la medición cuantitativa hasta la concentración donde el calibrado se desvía de la linealidad (Hernández y González, 2002). El límite de cuantificación puede ser mayor o igual a la concentración del límite de detección, pero no puede ser inferior al mismo (Armbruster y Tery, 2008).

Para el análisis del límite de detección y cuantificación se optó por la elección del cálculo sobre la desviación estándar de la regresión de la curva de calibración, presentado el cálculo correspondiente en el Anexo 5, mediante la siguiente fórmula 4.3 (Rebolledo, 2009):

$$\sigma_{y/x} = \sqrt{\left\{ \frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{(n - 2)} \right\}} \quad (4.3)$$

Dónde:  $\sigma$  = Desviación estándar de la regresión

$y_i$  = Valor observado del punto en la ordenada

$y'_i$  = Valor teórico del punto obtenido por la predicción del modelo de regresión  
 $n$  = Número de puntos de la curva de calibración

$$\text{Límite de detección (LD) es: } C_{LD} = \frac{3\sigma}{S} \quad (4.4)$$

$$\text{Límite de detección (LC) es: } C_{LQ} = \frac{10\sigma}{S} \quad (4.5)$$

Dónde:  $C_{LD}$  = Concentración del límite de detección (mg/mL)

$C_{LQ}$  = Concentración del límite de cuantificación (mg/mL)

$\sigma$  = desviación estándar de la regresión

$S$  = pendiente de la curva de calibración (área\* mL/mg)

#### 4.7 ANÁLISIS DE BLANCOS Y MUESTRAS

Los blancos y muestras fueron analizados por triplicado, una vez establecidas las condiciones óptimas para la separación cromatográfica, al igual que los valores de linealidad, límites de detección y cuantificación. Se efectuó una dilución de 1:100 con n-hexano Wako grado analítico de los aceites esterificados y se leyó directamente con la curva de calibración.

#### 4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se efectuaron los análisis estadísticos utilizando Excel permitiendo complementar la información obtenida, el análisis por medio de la prueba t de Student permitió determinar si hay presencia o no de diferencia significativa de las técnicas de extracción de grasa total empleando un análisis de datos mediante prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, el análisis de componentes principales y el método análisis Cluster de la media UPGMA (método de grupo de pares no ponderado con media aritmética) se efectuó utilizando el software XLSTAT en Excel. En donde, para el análisis de componentes principales se optó por los ácidos grasos comunes presentes en los aceites de la especie de palmas, relacionando cada punto en un plano a un ácido graso específico y el análisis UPGMA se optó por la elección

de los mismos ácidos grasos empleados en el análisis de componentes principales para la determinación de grupos de acuerdo a las similitudes por el contenido de ácidos grasos presentes en cada especie de palma, este análisis de grupos fue elegido debido a que se empleó una variable de análisis, sin contar con otros factores (biológicos) para una clasificación más detallada.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 CONTENIDO DE GRASA TOTAL

Se presenta las tablas del contenido de grasa obtenido para cada especie de palma mediante tres diferentes técnicas de extracción, cada uno efectuado por triplicado con su respectivo promedio y desviación estándar.

**Tabla 5. Contenido de grasa obtenido de las especies de palma por métodos de extracción Soxhlet, asistida por ultrasonido y mezcla de solventes.**

Especies de Palmas	E. Soxhlet		E. Ultrasonido		E. Solventes	
	Promedio	Desv. Estándar	Promedio	Desv. Estándar	Promedio	Desv. Estándar
<i>P. aequatorialis</i>	0,56%	0,05	0,55%	0,05	0,56%	0,17
<i>A. natalia</i>	1,13%	0,11	0,65%	0,11	1,00%	0,29
<i>A. dasyneura</i>	0,74%	0,14	0,67%	0,12	0,23%	0,05
<i>A. chambira</i>	49,19%	0,32	37,10%	1,37	37,26%	3,77
<i>P. canariensis</i>	8,37%	1,08	7,67%	1,50	8,26%	0,70
<i>E. guineensis</i>	50,75%	0,89	50,42%	2,02	41,26%	2,27
<i>S. exorrhiza</i>	0,91%	0,29	0,63%	0,24	0,60%	0,21

En la Tabla 5 se observa el porcentaje del contenido de grasa obtenido por las diferentes técnicas de extracción para cada especie de palma, determinando que las especies con mayor contenido de grasa son: *Elaeis guineensis*, *Astrocaryum chambira* y *Phoenix canariensis*, respectivamente. La técnica más efectiva es la extracción Soxhlet, seguida la asistida por ultrasonido para el caso de la especie *Elaeis guineensis*, mientras que para *Phoenix canariensis* es la extracción por mezcla de solventes y para *Astrocaryum chambira* las otras dos técnicas no presentan diferencia significativa, como se demuestra en la Tabla 6.

La técnica de extracción Soxhlet es la técnica convencional más empleada para la extracción de aceites de semillas, considerada como una técnica en caliente, presentando una alta eficiencia de rendimiento. Se determina que la extracción en caliente permite la extracción de mayor cantidad de aceite con relación a la extracción en frío, sin embargo, se obtienen sustancias insaponificables en mayor proporción. Al emplearse extracción en caliente se pueden perder otros componentes importantes como vitaminas y fitosteroles presentes en el aceite que con la extracción en frío pueden ser conservadas. En el estudio realizado por Da Porto et al. (2013) muestra la comparación de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido, mostrando que la extracción Soxhlet presenta mayor porcentaje de rendimiento para la extracción del aceite de semillas de uva en un tiempo de extracción de 6 horas, sin embargo, la técnica asistida por ultrasonido mostró ser eficiente, ya que la extracción se produjo durante 30 minutos y no presentó variaciones altamente significativas en cuanto a los porcentajes de recuperación. Por otro lado, en el estudio realizado por Luque-García y Luque de Castro (2004), muestra que la extracción Soxhlet presenta altos rendimientos en la extracción de aceite de semillas oleaginosas, pero basándose en el enfoque de una extracción de Soxhlet asistido por ultrasonidos permite un ahorro altamente significativo del tiempo total de extracción y se obtienen rendimientos similares e incluso mejores empleando esta variante.

El estudio efectuado por Keneni y Marchetti (2017) detalla a la extracción Soxhlet como la más empleada para la extracción de petróleo por su alta eficiencia, sin embargo, el uso de hexano como solvente en este tipo de extracción tiene un impacto ambiental negativo, por lo cual se recomienda otras técnicas de extracción o técnicas combinadas que permitan reducir el impacto ambiental y aumentar la eficiencia de las extracciones optando por técnicas como extracción acelerada de solventes, fluidos supercríticos, asistida por microondas y asistida por ultrasonido. Continuando con la propuesta planteada anteriormente en el estudio realizado por Lopes et al. (2018) el uso de fluidos supercríticos es más eficiente para la extracción de aceites con relación a la técnica de extracción Soxhlet, comprobando su alta eficiencia en la extracción y utilizando solventes que disminuyen el impacto negativo causado al ambiente. Con los antecedentes detallados en los estudios realizados se corroboró los resultados presentados en la Tabla 5, donde la extracción de mayor eficiencia para la obtención de los aceites de las semillas de palmas es la técnica de extracción Soxhlet, sin embargo, en relación a factores como

temperatura de extracción, tiempo de extracción y cantidad de solvente utilizado, es recomendable el uso de la técnica de extracción asistida por ultrasonido ya que no presenta diferencias significativas en la extracción de los aceites. Para la determinación de ácidos grasos presentes en las especies de palma se optó por la elección de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido, descartando la técnica de mezcla por solventes ya que el solvente empleado es similar a la técnica de ultrasonido.

**Tabla 6. Determinación de diferencia significativa entre los métodos de extracción utilizados por medio de la prueba de distribución t de Student (t estadístico 2,776).**

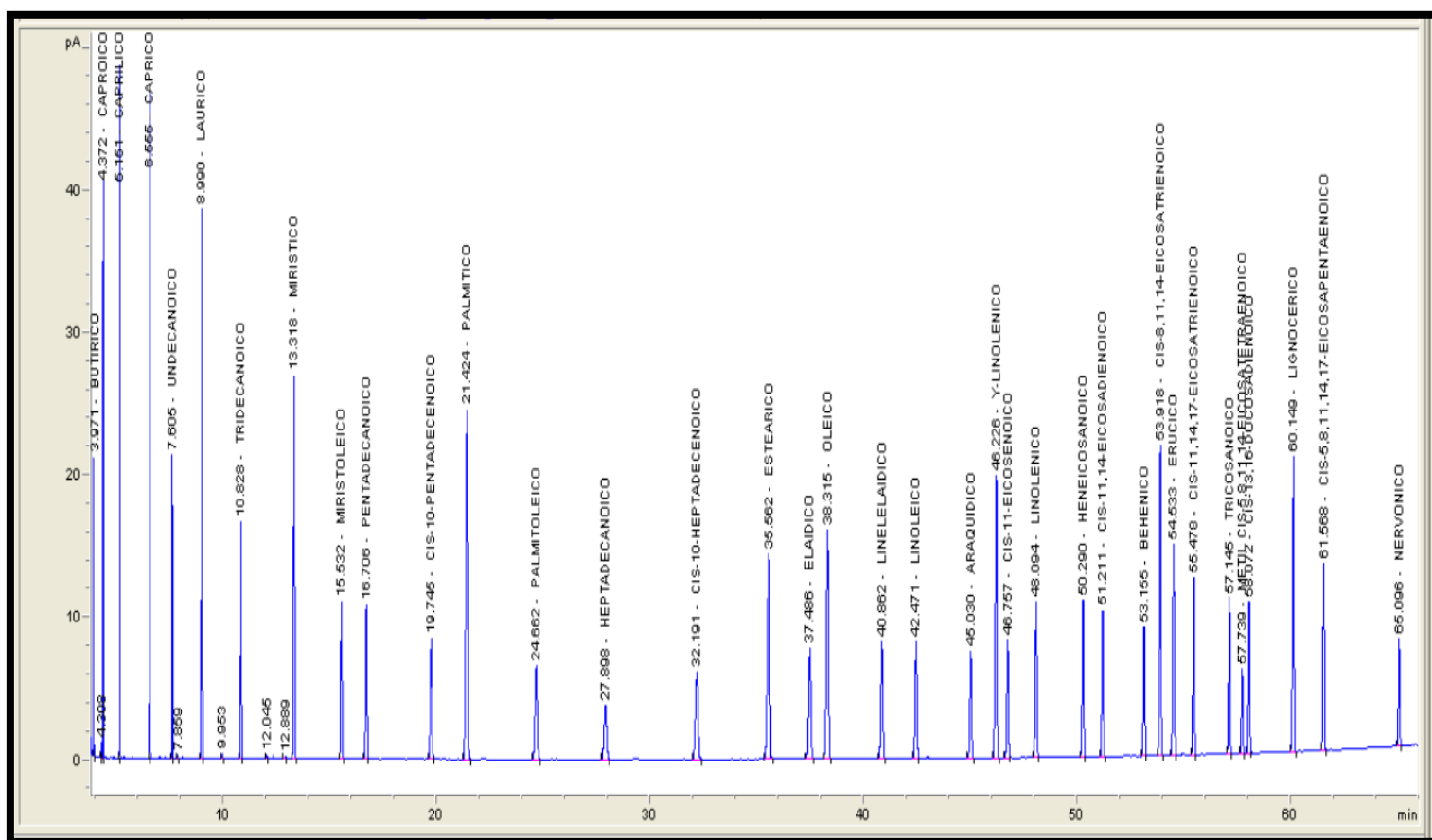
Especies	E. Soxhlet-Ultrasonido		E. Ultrasonido-Solventes		E. Soxhlet-Solventes	
	t calculado	Diferencia significativa	t calculado	Diferencia significativa	t calculado	Diferencia significativa
<i>P. aequatorialis</i>	-2,334	No	-0,272	No	-2,433	No
<i>A. natalia</i>	-6,996	No	0,701	No	-3,482	No
<i>A. dasyneura</i>	-8,545	No	-0,765	No	-5,894	No
<i>A. chambira</i>	14,870	Si	-0,071	No	5,459	Si
<i>P. canariensis</i>	0,663	No	-0,623	No	0,149	No
<i>E. guineensis</i>	0,258	No	5,220	Si	6,732	Si
<i>S. exorrhiza</i>	1,448	No	0,151	No	1,474	No

En la Tabla 6 se muestra la prueba estadística para realizar una comparación entre los métodos de extracción empleados, en donde, se interpreta según los valores obtenidos por cálculos estadísticos de los t calculados y los t estadísticos. En esta prueba se detalla si presenta o no diferencia significativa entre los métodos utilizados; si el valor de t calculado es menor al valor de t estadístico no se encuentra diferencia significativa en la implementación de una de las dos técnicas de extracción. De acuerdo a este análisis se pudo comparar las técnicas empleadas para la extracción del aceite de las semillas de las 7 especies de palmas por medio de la prueba t de Student. Donde se determinó que para las especies *Phytelephas aequatorialis*, *Aphandra natalia*, *Ammandra dasyneura*, *Phoenix canariensis* y *Socratea exorrhiza* no se encuentra diferencia significativa entre los métodos utilizados, ya que los t calculados son menores a los t estadísticos; mientras que, para *Astrocaryum chambira* se encuentra diferencia

significativa al utilizar el método Soxhlet y para *Elaeis guineensis* se encontró diferencia significativa con el método por mezcla de solventes.

## 5.2 MÉTODO CROMATOGRÁFICO

En la Figura 11 Se presenta el cromatograma obtenido a partir del estándar de metil ésteres de ácidos grasos utilizado (Supelco FAME mix C4-C24), a una concentración de 10 mg/mL.



**Figura 11. Cromatograma de estándar de 10 mg/mL metil ésteres de ácidos grasos (C4-C24)**

En la Figura 11 se observa un cromatograma que presenta una buena resolución para todos los picos de metil ésteres de ácidos grasos obtenidos. Se obtuvo repetitividad en los tiempos de retención de cada pico para cada componente de los estándares de calibración en las

3 repeticiones de cada estándar. Se demuestra una efectiva separación para los componentes del estándar en un tiempo de análisis de 83 minutos aproximadamente. Los cromatogramas de estándares de las concentraciones 1, 4 y 8 mg/mL se encuentran en el Anexo 2.

### 5.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS

**Tabla 7. Descripción de parámetros de desempeño del método cromatográfico**

Nombre Ácido Graso	Pendiente (A/%)	Intercepto en Y (pA)	Coficiente R <sup>2</sup>	Limite Detección (%)	Limite Cuantificación (%)
Butírico	21,852	0,125	0,99968	0,045	0,150
Caprónico	44,207	0,112	0,99920	0,073	0,245
Caprílico	59,989	-0,067	0,99918	0,075	0,249
Cáprico	70,872	0,330	0,99954	0,118	0,394
Undecanoico	39,350	-0,118	0,99921	0,073	0,242
Láurico	86,774	-0,317	0,99915	0,075	0,251
Tridecanoico	46,616	-0,235	0,99903	0,080	0,268
Mirístico	98,916	-0,680	0,99883	0,088	0,293
Miristoleico	48,193	-0,308	0,99894	0,084	0,279
Pentadecanoico	51,705	-0,428	0,99864	0,095	0,315
cis-10-Pentadecenoico	49,317	-0,417	0,99870	0,092	0,307
Palmítico	164,919	-1,634	0,99843	0,101	0,337
Palmitoleico	49,908	-0,557	0,99843	0,100	0,335
Heptadecanoico	33,247	-0,433	0,99630	0,156	0,521
cis-10-Heptadecenoico	54,028	-0,691	0,99826	0,130	0,434
Esteárico	115,718	-1,445	0,99818	0,108	0,360
Elaídico	55,725	-0,759	0,99806	0,107	0,358
Oleico	112,765	-1,262	0,99837	0,108	0,360
Linolelaídico	52,208	-0,652	0,99793	0,115	0,385
Linoléico	50,559	-0,609	0,99825	0,106	0,353
Araquídico	43,074	-0,493	0,99837	0,102	0,341

$\gamma$ -Linolénico	116,986	-1,469	0,99780	0,119	0,398
cis-11-Eicosenóico	45,1603	-0,494	0,99832	0,104	0,347
Linolénico	59,203	-0,771	0,99797	0,114	0,380
Heneicosanoico	56,440	-0,751	0,99777	0,120	0,399
cis-11,14-Eicosadienoico	53,199	-0,686	0,99803	0,112	0,374
Behénico	45,976	-0,573	0,99812	0,110	0,366
cis-8,11,14-Eicosatrienoico	109,412	-1,444	0,99763	0,124	0,413
Erúcico	86,257	-1,010	0,99816	0,109	0,363
cis-11,14,17-Eicosatrienoico	60,225	-0,783	0,99771	0,121	0,405
Tricosanoico	49,856	-0,345	0,99691	0,144	0,481
Metil cis-5,8,11,14-Eicosatetraenoico (Araquidónico)	28,590	-0,331	0,99828	0,105	0,350
cis-13,16-Docosadienoico	50,261	-0,669	0,99772	0,121	0,404
Lignocérico	101,387	-1,350	0,99733	0,132	0,439
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoico (EPA)	60,123	-0,780	0,99741	0,130	0,433
Nervónico	33,239	-0,349	0,99799	0,115	0,382

En la Tabla 7 se presentan los parámetros de desempeño del método cromatográfico por medio de las curvas de calibración de estándares de ácidos grasos. Entre los principales parámetros se encuentran: pendiente, intercepto con el eje Y, coeficiente de correlación lineal, límite de detección y límite de cuantificación. Se puede observar que los valores del coeficiente de linealidad  $R^2$ , mostrando que son mayores a 0,995 y cercanos a uno. Con el análisis de este parámetro de linealidad se puede determinar que las curvas de calibración son confiables para la implementación del análisis.

De los datos presentados se determina que el compuesto con menor límite de detección y cuantificación es el ácido Butírico; mientras que el ácido graso con mayor límite de detección y cuantificación es el ácido Heptadecanoico.

En el análisis de coeficiente de correlación se encuentra con menor coeficiente de correlación al ácido Heptadecanoico; mientras con mayor coeficiente se encuentra el ácido Butírico. El ácido graso con menor pendiente se encuentra el ácido Butírico; mientras que con mayor pendiente se encuentra el ácido Palmítico.

Los ácidos grasos comunes en especies de palmas descritos por Montufar y Brokamp (2011) son: láurico C12:0, mirístico C14:0, palmítico C16:0, esteárico C18:0, oleico C18:1  $\omega$ 9 y linoleico C18:2  $\omega$ 6. En donde, los coeficientes de correlación para cada curva de calibración presentada son: 0,99915; 0,99883; 0,99843; 0,99818; 0,99837 y 0,99825 para los ácidos láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoleico respectivamente. Los valores de límite de detección y cuantificación se encuentran por debajo del último punto de la curva de calibración para todos los ácidos grasos presentados. Siendo, el límite de detección de 0.075, 0.088, 0.101, 0.108, 0.108 y 0.106 %, para los ácidos láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoleico respectivamente. El límite de cuantificación para los mismos ácidos fueron 0.251, 0.293, 0.337, 0.360, 0.360 y 0.353 % respectivamente. Las curvas de calibración de los todos los ácidos grasos se encuentran en el Anexo 1.

**Tabla 8. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Phytelephas aequatorialis* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Porcentaje (%)	
		Soxhlet	Ultrasonido
<b>Láurico</b>	C12:0	2,10	1,89
<b>Mirístico</b>	C14:0	2,77	2,57
<b>Palmítico</b>	C16:0	36,88	35,92
<b>Esteárico</b>	C18:0	5,45	4,76
<b>Oleico</b>	C18:1 $\omega$ 9	49,98	51,70
<b>Linoléico</b>	C18:2 $\omega$ 6	2,83	3,16
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>47,20</b>	<b>45,14</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>49,98</b>	<b>51,70</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>2,83</b>	<b>3,16</b>

En la Tabla 8 se observa que la especie *Phytelephas aequatorialis* tiene un alto contenido de ácidos grasos saturados y monoinsaturados representando más del 96% de la composición total. Se puede determinar que entre los ácidos mayoritarios se encuentran el ácido oleico y el ácido palmítico, dando más del 80% del contenido de ácidos grasos en esta especie; mientras que, en proporción minoritaria se encuentran los ácidos láurico, mirístico, esteárico y linoleico, otorgando el porcentaje restante. La cuantificación realizada a partir del aceite obtenido por las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido no presenta diferencia significativa ya que se obtienen resultados similares en los dos casos de estudio, como se muestra en el análisis estadístico presentado en la Tabla 9. Los cromatogramas obtenidos para esta especie para las dos técnicas de extracción se encuentran en representados en las Figuras 12 y 13.

Los resultados obtenidos de la composición de ácidos del aceite de esta especie no se pueden comparar con otros estudios ya que no se encuentra información detallada sobre la composición de ácidos grasos presentes en el endospermo, destacando la importancia del estudio sobre la determinación de ácidos grasos de esta especie.

**Tabla 10. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Phoenix canariensis* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación
				(Nehdi, et al, 2010)
		Porcentaje (%)		
<b>Cáprico</b>	C10:0	0,38	0,39	0,11
<b>Láurico</b>	C12:0	24,04	24,27	10,24
<b>Mirístico</b>	C14:0	11,51	11,66	7,51
<b>Palmítico</b>	C16:0	9,85	9,76	9,83
<b>Oleico</b>	C18:1 $\omega$ 9	34,59	34,37	50,00
<b>Linoléico</b>	C18:2 $\omega$ 6	18,64	18,55	19,23
<b>Araquídico</b>	C20:0	0,99	1,02	0,19
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>46,77</b>	<b>47,10</b>	<b>27,88</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>34,59</b>	<b>34,37</b>	<b>50,00</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>18,64</b>	<b>18,55</b>	<b>19,23</b>

En la Tabla 10 se observa que la especie *Phoenix canariensis* tiene un alto contenido de ácidos grasos saturados, seguido de ácidos grasos monoinsaturados y por último de ácidos grasos poliinsaturados. Al compararlo con el estudio realizado por (Nehdi, et al, 2010), donde se empleó una extracción Soxhlet por 8 h y diferente método de esterificación se cuantificó los ácidos grasos del aceite un equipo de una versión más antigua y diferente columna, a pesar de las variantes expuestas en cada caso de estudio se muestra cierta similitud con relación a la cuantificación de varios ácidos grasos.

Se determina que los ácidos grasos de mayor proporción son los ácidos: oleico, láurico y linoleico respectivamente, otorgando más del 78% del contenido de ácidos grasos presentes en esta especie; mientras que los ácidos en menor proporción se encuentran el ácido cáprico, mirístico, palmítico y araquídico respectivamente. Se puede determinar mediante un análisis estadístico presentado en la Tabla 9, que la cuantificación del aceite de la semilla extraído por las dos diferentes técnicas no presentan diferencia significativa, ya que muestran porcentajes cercanos para cada ácido graso identificado. Los cromatogramas obtenidos para esta especie utilizando las dos técnicas de extracción se encuentran en representados en las Figuras 14 y 15.

**Tabla 11. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Ammandra dasyneura* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Láurico	C12:0	0,57	0,56
Mirístico	C14:0	1,04	1,00
Palmítico	C16:0	22,53	22,75
Estearico	C18:0	1,67	1,83
Oleico	C18:1 $\omega$ 9	38,63	38,55
Linoléico	C18:2 $\omega$ 6	31,25	31,27
Araquídico	C20:0	0,99	0,89
cis-13,16 Docosadienoico	C22:2	1,29	1,17
Araquidónico	C20:4 $\omega$ 6	1,16	1,12
Lignocérico	C24:0	0,87	0,87
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>27,67</b>	<b>27,90</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>38,63</b>	<b>38,55</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>33,70</b>	<b>33,56</b>

En la Tabla 11 se observa que la especie *Ammandra dasyneura* presenta un alto contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados dando porcentajes altos para cada grupo; encontrando en mayor proporción los ácidos grasos monoinsaturados, al contener el 38,63 y 38,55%. No se presenta información complementaria de otros estudios, por lo cual, no se puede realizar un análisis comparativo en cuanto a la composición de ácidos grasos, mostrando la importancia del estudio sobre la determinación de estos compuestos.

Se observa que los ácidos grasos mayoritarios encontrados en esta especie de palma están el ácido oleico, linoleico y palmítico respectivamente, representando más del 80% de la composición total de la especie; mientras que los ácidos grasos minoritarios se encuentran el ácido láurico, mirístico, estearico, araquídico, cis-13,16 docosadienoico, araquidónico y lignocérico. Además, se puede determinar mediante el análisis estadístico mostrado en la Tabla

9, que la cuantificación de los ácidos grasos del aceite extraído de la semilla de esta especie no presenta diferencia significativa al emplear uno de las dos técnicas de extracción, debido a que los porcentajes de ácidos grasos son similares para cada caso. Los cromatogramas obtenidos para esta especie empleando las dos técnicas de extracción se encuentran en representados en las Figuras 16 y 17.

**Tabla 12. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Aphandra natalia* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Láurico	C12:0	1,44	1,98
Mirístico	C14:0	5,05	6,00
Palmítico	C16:0	19,60	20,90
Esteárico	C18:0	2,95	2,74
Oleico	C18:1 $\omega$ 9	31,19	30,83
Linoléico	C18:2 $\omega$ 6	13,60	13,57
Araquídico	C20:0	4,92	3,97
Linolénico	C18: 3 $\omega$ 3	4,39	3,59
Behénico	C22:0	3,95	3,39
cis-11,14,17-eicosatrienoico	C20:3 $\omega$ 3	3,51	2,90
cis-13,16-docosadienoico	C22:2	2,62	2,10
EPA	C20:5 $\omega$ 3	1,97	1,77
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>37,91</b>	<b>38,98</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>31,19</b>	<b>30,83</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>26,11</b>	<b>23,94</b>

Mediante la Tabla 12 se observa que en la especie *Aphandra natalia* los ácidos grasos saturados se encuentran en mayor proporción en relación a los demás grupos, dando el 37,91 y 38,98%; sin embargo, la porción de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados es

altamente representativa, indicando simultáneamente que el grupo de los ácidos grasos monoinsaturados está representado por un solo ácido graso en comparación a los demás grupos. No se detalla información sobre la composición de ácidos grasos por otros estudios, dando un aporte investigativo sobre la determinación de la composición en esta especie.

Se encuentran que los ácidos grasos mayoritarios son el ácido oleico, palmítico y linoleico respectivamente, otorgando más del 65% de la composición total de ácidos grasos; mientras que los ácidos grasos minoritarios se encuentra el ácido láurico, mirístico, esteárico, araquídico, linolénico, behénico, cis-11,14,17-eicosatrienoico, cis-13,16-docosadienoico y cis-5,8,11,14,17-eicosapentanoico (EPA). Se observa adicionalmente que en los resultados obtenidos, mediante el análisis presentado en la Tabla 9, no presentan diferencia significativa en cuanto a la cuantificación de los ácidos grasos del aceite extraído de la semilla de la especie al emplear cualquier técnica de extracción, determinando que las dos técnicas son útiles para el análisis de ácidos grasos. Los cromatogramas obtenidos para esta especie empleando las dos técnicas de extracción se encuentran en representados en las Figuras 18 y 19.

**Tabla 13. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Elaeis guineensis* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación (Montufar y Brokamp, 2011)
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
<b>Caprílico</b>	C8:0	2,83	2,83	2,90
<b>Cáprico</b>	C10:0	3,14	3,15	3,10
<b>Láurico</b>	C12:0	47,86	48,04	48,10
<b>Mirístico</b>	C14:0	16,76	16,77	16,00
<b>Palmítico</b>	C16:0	8,66	8,65	8,40
<b>Esteárico</b>	C18:0	2,40	2,24	2,30
<b>Oleico</b>	C18:1 ω9	16,40	16,39	16,40
<b>Linoleico</b>	C18:2 ω6	1,95	1,92	2,60
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>81,65</b>	<b>81,69</b>	<b>80,80</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>16,40</b>	<b>16,39</b>	<b>16,40</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>1,95</b>	<b>1,92</b>	<b>2,60</b>

En la Tabla 13 se observa que la composición mayoritaria de ácidos grasos en la especie *Elaeis guineensis* está dada por los ácidos grasos saturados con un 81,65 y 81,69%; mientras que en la composición restante se encuentra la presencia de un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados con respecto a los ácidos grasos poliinsaturados. Cabe recalcar que el grupo de MUFA esta manifestado por un solo ácido graso como se lo encuentra en la mayoría de los casos representados. En el análisis presentado por Montufar y Brokamp (2011) se encuentra alta correlación con los valores determinados sobre la composición de los grupos de ácidos grasos presentes en esta especie.

Se encuentran representados los ácidos grasos mayoritarios, los cuales fueron los ácidos láurico, mirístico y oleico respectivamente, representando más del 75% del contenido total; mientras los de ácidos grasos de menor composición en la semilla de esta especie son los ácidos caprílico, cáprico, palmítico, esteárico y linoleico. Por otro lado, al evaluar estadísticamente las

técnicas de extracción utilizadas, mediante el análisis expuesto en la Tabla 9, y la posterior caracterización del perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla, no se encuentra diferencia significativa entre las técnicas de extracción utilizadas ya que los resultados obtenidos presentados son similares. Los cromatogramas obtenidos para esta especie para las dos técnicas de extracción se encuentran representados en las Figuras 20 y 21.

**Tabla 14. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Astrocaryum chambira* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación (Montufar y Brokamp, 2011)
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
<b>Caprílico</b>	C8:0	2,62	2,76	1,30
<b>Cáprico</b>	C10:0	2,72	2,69	1,50
<b>Láurico</b>	C12:0	61,25	62,11	50,90
<b>Mirístico</b>	C14:0	22,96	22,98	28,20
<b>Palmítico</b>	C16:0	3,89	3,74	6,50
<b>Esteárico</b>	C18:0	1,75	1,34	2,60
<b>Oleico</b>	C18:1 ω9	3,46	2,98	6,20
<b>Linoléico</b>	C18:2 ω6	1,36	1,40	2,60
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		<b>95,18</b>	<b>95,62</b>	<b>91,00</b>
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		<b>3,46</b>	<b>2,98</b>	<b>6,20</b>
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		<b>1,36</b>	<b>1,40</b>	<b>2,60</b>

En la Tabla 14 se puede observar que la composición de ácidos grasos presentes en la especie *Astrocaryum chambira* está mayormente representada por ácidos grasos saturados con el 95,18 y 95,62%. El porcentaje restante en los grupos de monoinsaturados y poliinsaturados son representados por un solo ácido graso. Se logró comparar la composición de ácidos grasos expuesta en el análisis presentado por Montufar y Brokamp (2011), demostrando una alta similitud entre los porcentajes de cada ácido graso, sin embargo, se encuentran diferencia significativa en el porcentaje descritos para cada grupo.

Se puede determinar que la composición de ácidos grasos mayoritarios está representada por los ácidos láurico y mirístico, otorgando más del 80% de la composición total de ácidos grasos presentes en la semilla; mientras que entre los ácidos grasos minoritarios son los ácidos caprílico, cáprico, palmítico, esteárico, oleico y linoléico. De igual manera, para el análisis estadístico entre las técnicas de extracción implementados mostrada en la Tabla 9, se determinó que no presenta diferencia significativa sobre la caracterización del perfil de ácidos grasos presentes en la muestra. Los cromatogramas obtenidos para esta especie para las dos técnicas de extracción se encuentran representados en las Figuras 22 y 23.

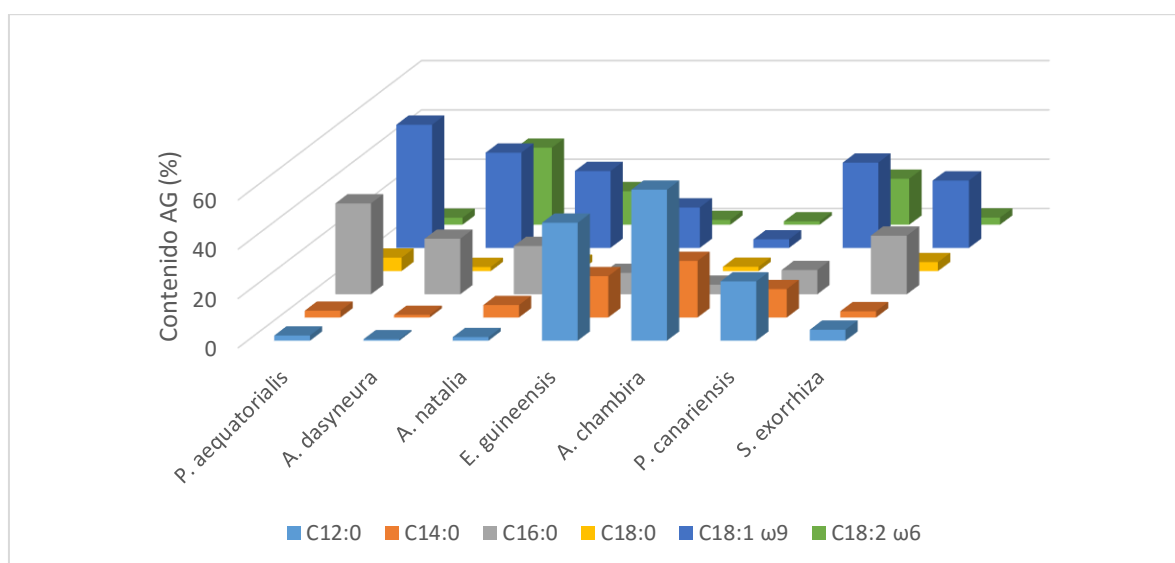
**Tabla 15. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Socratea exorrhiza* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Undecanoico	C11:0	0,85	0,81
Láurico	C12:0	4,45	4,47
Mirístico	C14:0	2,53	2,57
Palmítico	C16:0	23,78	24,36
Palmitoleico	C16:1 $\omega$ 7	2,63	1,98
Esteárico	C18:0	3,62	3,81
Oleico	C18:1 $\omega$ 9	27,34	27,89
Linoléico	C18:2 $\omega$ 6	2,89	2,19
Araquídico	C20:0	8,92	8,87
Linolénico	C18:3 $\omega$ 3	3,00	2,88
cis-11,14-Eicosadienoico	C20:2	0,71	0,65
cis-11,14,17-eicosatrienoico	C20:3 $\omega$ 6	2,51	2,46
Tricosanoico	C23:0	1,60	1,55
Araquidónico	C20:4 $\omega$ 6	4,19	3,97
Lignocérico	C24:0	1,37	1,42
EPA	C20:5 $\omega$ 3	2,00	1,86
Nervónico	C24:1	1,44	1,44
<i>Total Ac. Graso Saturados</i>		<b>47,13</b>	<b>47,86</b>
<i>Total Ac. Graso Monoinsaturados</i>		<b>31,41</b>	<b>31,31</b>
<i>Total Ac. Graso Poliinsaturados</i>		<b>15,31</b>	<b>14,01</b>

En la Tabla 15 se observa que la especie *Socratea exorrhiza* presenta una cantidad considerable de ácidos grasos saturados, dados por el 47,13 y 47,86% de su composición total, sin embargo, también se encuentra un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y en menor porcentaje se encuentran los ácidos grasos poliinsaturados. Se encuentra la composición de los ácidos grasos presentes en la semilla de la especie, donde los ácidos grasos con mayor porcentaje se encuentran el ácido palmítico, oleico y araquídico dando más del 50% de la composición total de ácidos grasos; mientras que el porcentaje restante se reparte entre los

ácidos minoritarios como son los ácidos undecanoico, láurico, mirístico, palmitoleico, esteárico, linoleico, araquídico, linolénico, cis,11,14-icosadienoico, cis-11,14,17-icosatrienoico, tricosanoico, lignocérico, EPA y nervónico. Por otro lado, no se encontró diferencia significativa entre los dos métodos de extracción empleados, mediante el análisis mostrado en la Tabla 9, ya que los resultados obtenidos presentan alta similitud al efectuar la caracterización de la composición de ácidos grasos. Los cromatogramas obtenidos para esta especie para las dos técnicas de extracción se encuentran en representados en las Figuras 24 y 25.

No se detalla información bibliográfica sobre la composición de ácidos grasos presentes en la semilla, impidiendo realizar la comparación de los resultados obtenidos. Comprobando el gran aporte investigativo a este estudio sobre la composición química de la especie.

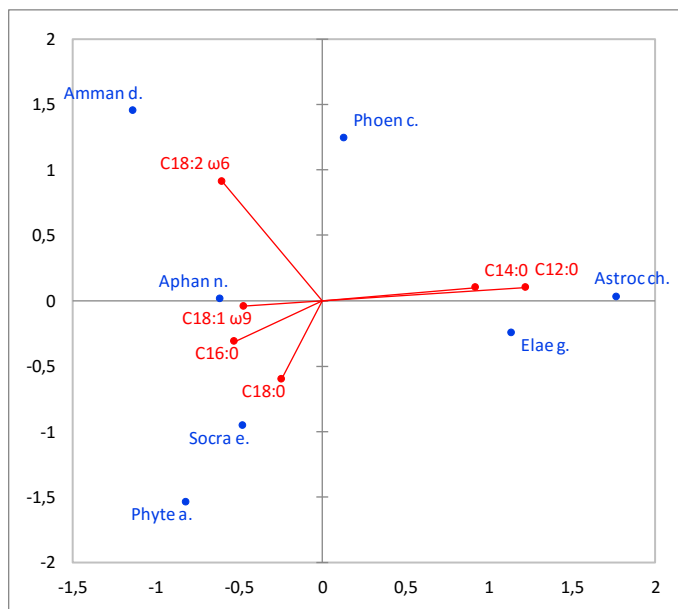


**Figura 26. Representación gráfica de los principales ácidos grasos presentes en los aceites de las semillas de las 7 especies analizadas.**

En la Figura 26, se muestra el análisis del aceite de las semillas de las especies de palmas para los ácidos grasos comunes donde se encuentran los ácido láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoléico. Mediante el estudio realizado por Zhang et al. (2008), muestran que la extracción asistida por ultrasonido es efectiva para la cuantificación de ácidos grasos, sin embargo, se demuestra que con la aplicación del ultrasonido se encuentra poca afectación, por lo que es necesario evaluar efectos como potencia ultrasónica, tiempo de extracción,

temperatura de extracción y relación del disolvente para medir el rendimiento de extracción del aceite. En el estudio realizado por Ariza et al. (2011) describen la aplicación de diferentes tipos de extracción mostrando la extracción con hexano como la más efectiva y se determinó de igual manera que la extracción por centrifugación causó una mínima modificación en la calidad del aceite obtenido, por lo cual se sugiere evaluar las condiciones como fuerza centrífuga, temperatura y tiempo para mejorar la eficiencia de la extracción.

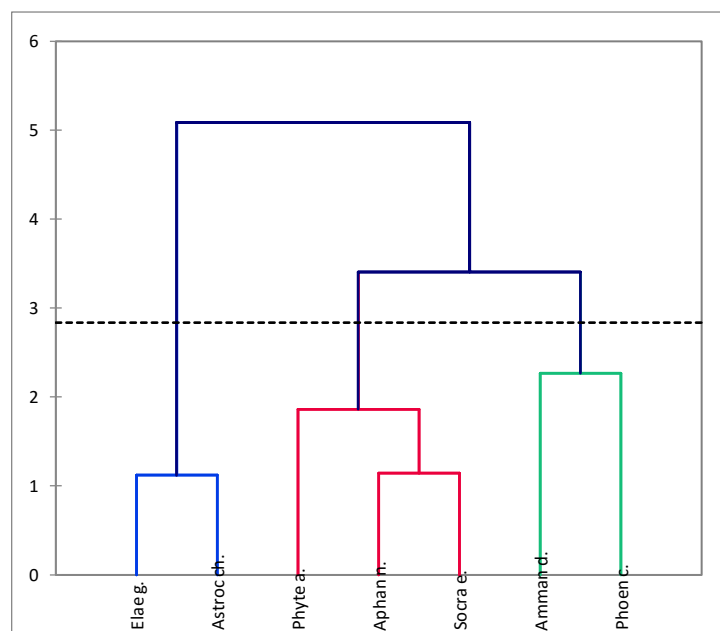
Mientras que en el estudio Teng et al. (2016), determinan los factores importantes para una mejor eficiencia en la extracción de aceites empleando las técnicas Soxhlet y asistida por ultrasonido, al evaluar condiciones como tiempo de extracción, temperatura de extracción y condiciones óptimas de sonicación para la técnica de ultrasonido. Se obtuvieron grandes diferencias en la aplicación de estas dos técnicas, donde al implementar la técnica de extracción Soxhlet se obtuvo mayor contenido de ácidos grasos saturados, mientras que al emplear la técnica de extracción asistida por ultrasonido se obtuvo mayor contenido de ácidos grasos insaturados. Al comparar los resultados obtenidos del presente trabajo con los resultados obtenidos por Teng et al. (2011), se puede determinar que existen diferencias en cuanto a la cuantificación de ácidos grasos, por lo que se debe evaluar más a fondo todas las condiciones óptimas de extracción. Con respecto a la cuantificación de ácidos grasos se muestran otras técnicas aplicables para su determinación, en donde en el estudio realizado por Kamatou, G. y Viljoen, A. (2017), se recomienda el uso de técnicas combinadas como las técnicas de GCxGC-TOF-MS y GC-MS/FID que presentan una alta sensibilidad, donde la técnica GCxGC-TOF-MS permite el análisis de mayor número de esteres metílicos en relación a la otra técnica, mostrando un análisis más complementario en cuanto a la composición de ácidos grasos para cada especie.



**Figura 27. Posición relativa de 7 muestras de aceite de palmas en un espacio definido por análisis de componentes principales PCA.** Representación del análisis de componentes principales, el cual fue constituido con la información de 6 ácidos grasos como: C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, C18:1  $\omega$ 9 y C18:2  $\omega$ 6. Los dos primeros componentes representan el 96,35% de varianza total. Las abreviaturas son: Phyte a.: *Phytelephas aequatorialis*; Amman d.: *Ammandra dasyneura*; Aphan n.: *Aphandra natalia*; Phoen c.: *Phoenix canariensis*; Elae g.: *Elaeis guineensis*; Astroc ch.: *Astrocaryum chambira* y Socra e.: *Socratea exorrhiza*.

Por medio de este análisis se determina de manera visual y fácil el principal ácido graso presente en las especies de palmas analizadas, donde *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* presentan alto contenido de ácido láurico, *Ammandra dasyneura* entre ácido linoleico y oleico, *Aphandra natalia* de ácido oleico, y las especies *Phoenix canariensis*, *Phytelephas aequatorialis* y *Socratea exorrhiza* no presentan patrones de agrupamiento definidos hacia un ácido graso específico, esto se debe a que presenta porcentajes cercanos para cada ácido graso y evitando así su correcta interpretación.. Este análisis estadístico es muy útil para la interpretación de datos numéricos presentes para cada especie con un cierto número de variables, manejando criterio de variabilidad. El resultado se muestra reflejado en un plano de correlaciones mostrando la tendencia de cada variable, donde las variables que se encuentran más alejadas de los puntos o centros de proyección tienen mayor número de posibilidades hacia

una tendencia específica de cada componente. Sin embargo, las interpretaciones efectuadas en este análisis son comprometidas debido a las varias posibilidades que se puede encontrar de acuerdo a una matriz de correlación (Fahmy, 2017).



**Figura 28. Análisis UPGMA de 7 muestras de aceites de palma.** Análisis de grupos en donde se resaltan 3 grupos de composición relativamente similares encentrándose: *Aphandra natalia*, *Socratea exorrhiza* y *Phytelephas aequatorialis* por su alto contenido de ácido oleico y palmítico; *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* por su alto contenido de ácido láurico y mirístico; *Ammandra dasyneura* y *Phoenix canariensis* con su alto contenido de ácido oleico y linoleico. Este análisis se efectúa para clasificar a un cierto número de individuos en grupos homogéneos de acuerdo a sus características.

Este análisis estadístico permite establecer grupos clasificados de acuerdo a las similitudes entre las características presentadas, sin embargo, este es un análisis que no permite emplearlo para una posible clasificación taxonómica, debido a que solo se evalúa una variable y no se toma en cuenta otros factores importantes (biológicos y químicos). Además, con los

resultados obtenidos con el análisis de componentes principales se puede determinar la validez de los grupos formados, siendo útil este análisis como una herramienta complementaria útil en el análisis de ácidos grasos, ya que se reportaron patrones similares de agrupamiento por el análisis PCA (Figura 27) como los resultados obtenidos por este análisis UPGMA. Por otro lado, se recomienda un análisis más exhaustivo de la familia, género y especie que permita determinar una relación entre las diversas familias, debido a que los factores que alteran la composición de cada especie son factores extrínsecos e intrínsecos como: posición geográfica, clima, tipo de cultivo, reacciones entre principios activos, tipo de suelo, entre otros. Este es uno de los métodos Cluster utilizados en el área de la biología que permiten establecer grupos de acuerdo a las propiedades que presenta cada sujeto de estudio. Los grupos que presentan mayor correlación entre especies son los que están por debajo de 1 en la escala; mientras a mayor escala se encuentre menor correlación entre las especies expuestas (Fahmy, 2017).

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

Se obtuvo los porcentajes de grasa para las siguientes especies: *Phytelephas aequatorialis* (0,56%); *Aphandra natalia* (1,13%); *Ammandra dasyneura* (0,74%); *Astrocaryum chambira* (49,19%); *Phoenix canariensis* (8,37%); *Elaeis guineensis* (50,75%) y *Socratea exorrhiza* (0,91%). Siendo, las especies *Elaeis g.*, *Astrocaryum ch.* y *Phoenix c.* con mayor contenido de aceite respectivamente.

La extracción del aceite de las semillas de 7 especies de palma por los métodos de extracción Soxhlet, asistida por ultrasonido y solventes fue exitosa. Sin embargo, se puede determinar que el método de extracción con mejor eficiencia es el método Soxhlet.

Al evaluar estadísticamente no presentó diferencia significativa los resultados obtenidos en la determinación del contenido de grasa utilizando los métodos de extracción Soxhlet, asistida por ultrasonido y mezcla de solventes para la mayoría de especies; exceptuando *Astrocaryum chambira* donde se encontró diferencia en la utilización del método Soxhlet y *Elaeis guineensis* que presentó diferencia al emplear el método por mezcla de solventes.

Las composiciones de ácidos grasos para las especies de menor contenido de aceite son las siguientes: para la especie *Phytelephas aequatorialis* 50,84  $\pm$  0,86% ácido oleico, 36,40  $\pm$  0,48 % ácido palmítico, 5,11  $\pm$  0,35% ácido esteárico. *Ammandra dasyneura* 38,59  $\pm$  0,04% ácido oleico, 31,26  $\pm$  0,01% ácido linoleico, 22,64  $\pm$  0,11% ácido palmítico. *Aphandra natalia* 31,01  $\pm$  0,18% ácido oleico, 20,25  $\pm$  0,65% ácido palmítico, 13,59  $\pm$  0,02% ácido linoleico. *Socratea exorrhiza* 27,62  $\pm$  0,28% ácido oleico, 24,07  $\pm$  0,29 % ácido palmítico, 8,90  $\pm$  0,03 % ácido araquídico.

Las composiciones de ácidos grasos de las especies con mayor contenido de aceite se encuentran: *Elaeis guineensis*  $47,95 \pm 0,09\%$  ácido láurico,  $16,76 \pm 0,01\%$  ácido mirístico,  $16,40 \pm 0,01\%$  ácido oleico,  $8,66 \pm 0,01\%$  ácido palmítico. *Astrocaryum chambira*  $61,68 \pm 0,43\%$  ácido láurico,  $22,97 \pm 0,01\%$  ácido mirístico,  $3,22 \pm 0,24\%$  ácido oleico. *Phoenix canariensis*  $34,48 \pm 0,11\%$  ácido oleico,  $24,15 \pm 0,11\%$  ácido láurico,  $11,58 \pm 0,07\%$  ácido mirístico,  $9,80 \pm 0,05\%$  ácido palmítico.

Se determina que las semillas de las especies de palma poseen alto contenido de ácidos grasos saturados, sin embargo, la presencia del contenido de ácidos grasos monoinsaturados está representado por un solo componente, lo que difiere de los grupos ácidos grasos saturados y poliinsaturados.

Las especies que presentan alta similitud correspondiente a la composición de ácidos grasos se encuentran las especies de *Elaeis guineensis* con *Asrocaryum chambira* y las especies *Aphandra natalia* con *Socratea exorrhiza*, determinados mediante el análisis UPGMA.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear otras técnicas de extracción como variantes a las expuestas como son: extracción asistida por microondas o extracción por fluidos supercríticos; siendo la última una técnica que reporta mayor eficiencia en la extracción de aceites.

Se sugiere emplear otros tipos de transesterificación, evaluando los factores que afectan a la conversión de ácidos grasos a ésteres metílicos y su posterior análisis por GC-FID.

Para un análisis del perfil de ácidos grasos o metil ésteres exhaustivo se sugiere la técnica de cromatografía de gases con espectrometría de masas de tiempo de vuelo (GC-TOF-MS) en comparación a la técnica empleada por GC-FID.

Se recomienda análisis más detallado sobre la tipo y calidad del suelo, genética, cantidad e intensidad de luz, contaminantes, humedad y presencia de bacterias para determinar la

variación del contenido de ácidos grasos presentes en las especies de palma analizada, determinando así el factor más influyente y su comportamiento con relación a las variables planteadas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Agilent Technologies, Inc. (2013). *Understanding the Inlets*. Agilent. Recuperado de:

<http://www.agilent.com/cs/library/eseminars/public/Understanding%20the%20Inlets%20How%20to%20Choose%20the%20Right%20One.pdf>.

Altieri, M. y Nicholls, C. I. (2000). *Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental*. Primera Edición. México D.F: PNUMA

Apichatmeta, K., Sudsiri, Ch. y Ritchie, R. (2017). Photosynthesis of Oil Palm (*Elaeis guineensis*), *Scientia Horticulturae* 214, pp. 34–40.

Arias, P. (2011), *Extracción de grasa por micro Soxhlet frente a la técnica convencional macro Soxhlet en productos alimenticios de mayor consumo en la ciudad de Quito* (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Ariza, J., López, F., Coyotl, J., Ramos. M., Díaz, J. y Martínez, A. (2011). Efectos de diferentes métodos de extracción sobre el perfil de ácidos grasos en el aceite de aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass). *Revista Venelozana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2 (2). 263-276.

Armbruster, D. y Terry, P. (2008). Limited of Blank, Limit of Detection and Limit of Quantitation. *Clin Biochem Rev*. 29 (1) pp. 49-52.

Bagnato, C. (2013). Técnicas biofísicas para el estudio de lípidos en membranas. *ResearchGate*. 10, pp. 1-34.

Barquero, M. (2006). *Principios y Aplicaciones de la Cromatografía de Gases*, Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Benjumea, P., Agudelo, J. y Ríos, L. (2009). *Biodiesel: Producción, Calidad y caracterización. Medellín*. Editorial Universidad de Antioquia. Antioquia. Colombia.
- Berg, J., Tymoczko, J. y Stryer, L. (2007). *Biochemistry Sixth Edition*. W. H. Freeman and Company, New York, United States.
- Biofuels Taskforce (2005). Report of the Biofuels Taskforce to the Prime Minister. Australian Government. Commonwealth of Australia. Recuperado de: [http://www.soe-townsville.org/data/biofuel\\_pm\\_report.pdf](http://www.soe-townsville.org/data/biofuel_pm_report.pdf)
- Blanco, A. (2006). *Química Biológica*. Octava Edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. Argentina
- Boll, T., Svenning, J. C., Vormisto, J., Normand, S., Grández, C. y Balslev, H. (2005). “Spatial distribution and environmental preferences of the piassaba palm *Aphandra natalia* (Arecaceae) along the Pastaza and Urituyacu rivers in Perú”, *Forest Ecology and Management* 213, pp. 175–183.
- Bravo, M. (2015), *Determinación del perfil de ácidos grasos en embutidos y mayonesas de mayor consumo en el Distrito Metropolitano de Quito por cromatografía de gases* (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Cañizo, J. (2011), *PALMERAS Todos los géneros y 565 especies Tercera Edición*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Cárdenas, L. (2017). *Alcance al Informe Técnico del Análisis Espacial para la Proyección de Especies de Palmeras para Colombia, Ecuador y Perú*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito. Ecuador
- Cazes, J. (2004). *Analytical Instrumentation Handbook, Third Edition*. CRC Press. Florida, United States.

- Cenipalma (2013). Guía sobre el aceite de palma y sus propiedades. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. Recuperado de: <http://www.portalpalmero.com/sites/default/files/Gu%C3%ADa%20aceite%20de%20palma%20y%20aplicaciones.pdf>
- CEPAL (2009). *Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe*. CEPAL-Colección de Documentos de proyectos. Copyright Naciones Unidas
- Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Costa, C., Saldarriaga, G., Lozano, R. y Suárez, R. (2007). Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire. IDEAM Editores. Bogotá.
- Da Porto, C., Porretto, E. y Decorti, D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonic Sonochemistry*. 20 (4). 1076-1080.
- do Espiritu Santo, R. (2006). *La agroenergía en la matriz energética*. Instituto Interamericano de Cooperación con la Agricultura (IICA), Buenos Aires, Argentina.
- Dufey, A., Vermeulen, S. y Vorley, W. (2007). Biofuels: Strategic Choices for Commodity Dependent Developing Countries. Common Fund for Commodities (CFC). Recuperado de: <http://www.common-fund.org/download/actualiteit/07Biofuels.pdf>
- Dussert, S., Guerin, Ch., Andersson, M., Joët, T., Tranbarger, T., Pizot, M., Sarah, G., Omore, A., Durand-Gasselin, T. y Morcilo, F. (2013). "Comparative Transcriptome Analysis of Three Oil Palm Fruit and Seed Tissues That Differ in Oil Content and Fatty Acid Composition". *Plant Physiology* 162, pp. 1337-1358.

- Ekman, J. (2011), [Arecaceae] *Socratea exorrhiza*, La selva Biological reserve, Costa Rica: PBase Recuperado de: <http://www.pbase.com/perisoreus/image/133754636>,
- EPOA (2014). Historia del Aceite de Palma. European Palm Oil Alliance. Recuperado de: <https://www.palmoilandfood.eu/sites/default/files/EuropeanPalmOilAlliance-Factsheet2014-ES-DEF.pdf>
- Fahmy, T. (2017). XLSTAT. Recuperado de: <https://help.xlstat.com/customer/es/portal/articles/2062222>
- García, A. y Barron, A. (2014). *Principles of Gas Chromatography*. OpenStarx-CN. Recuperado de: <http://www.techbooksyard.com/download/?file=647>
- García, D., Sandoval, J., Saldaña, R., Cárdenas, G., Soplín, J., Sotero, V., Pavan, R. y Mancini, J. (2008). Fraccionamiento e interesterificación del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) cultivado en la amazonia peruana, *Grasas y aceites*, 59 (2), pp. 104-109.
- García, N., Galeano, G., Mesa, L., Castaño, N., Balslev, H. y Bernal, R. (2015). Management of the palm *Astrocaryum chambira* Burret (Arecaceae) in northwest Amazon. *Acta. Bto. Bras.* 29 (1), 45-57.
- Garvett, M. L., Vizcaya, F. y Melean, C. A. (2011). Objetivos de sostenibilidad agrícolas referida a la tendencia en los patrones de producir etanol a partir del maíz y de la caña de azúcar en Venezuela como materia prima. Recuperado de: [http://www.mp.gob.ve/c/document\\_library/get\\_file?p\\_1\\_id=10240&folderId=4366311&name=DLFE-7759.pdf](http://www.mp.gob.ve/c/document_library/get_file?p_1_id=10240&folderId=4366311&name=DLFE-7759.pdf)
- Genaro, A. (2003), *Remington: Farmacia, Volumen I*, Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina.

- Goldsmith, G. y Zahawi, R. (2007). The function of stilt roots in the growth strategy of *Socratea exorrhiza* (Arecaceae) at two neotropical sites. *Rev. boil. Trop.* 55, pp. 3-4.
- Gómez D. P. (2010). Suramérica y la seguridad energética: Una visión a la luz del sistema político internacional. *Dikaion*, 19 (1), pp. 195-217
- Gómez, M., Pérez, R. y Sarmiento, A. (2014). El aceite de palma africana *Elaeis guineensis*: Alternativa de recurso energético para la producción de biodiesel en Colombia y su impacto ambiental, *Prospect*, 12 (1), 90-98,
- Gomis, V. (2008). *Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial*. Universidad de Alicante, Alicante, España
- Gonçalves, C., Rodrigues, Ch., Marcon, E. y Meirelles, A. (2016). Deacidification of palm oil by solvent extraction. *Separation and Purification Technology* 160 pp. 106-11.
- Green Palm. (2016). *Palm oil producing nations*, GreenPalm, Book y Claim, Recuperado de: <http://greenpalm.org/about-palm-oil/where-is-palm-oil-grown-2>
- Grob, R. y Barry, E. (2004). *Modern Practice of Gas Chromatography*. John Wiley & Sons, Inc. Pennsylvania, United States.
- Grupo Spurrier (2013). *Biocombustibles*. Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. Quito. Ecuador.
- Halim, R., Danquah, M. K. y Webley P.A. (2012). Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: A review, *Biotech. Adv.* 30, pp. 709-732,
- Hansen, S., Pedesen-Bjergaard. S. y Rasmussen, K. (2011). *Introduction to Pharmaceutical Chemical Analysis*. John Wiley & Sons. Pennsylvania, United States.

- Harris, D. (2007), *Análisis químico cuantitativo Tercera Edición*, Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Hernández, A. (2016). La Palma Corojo, un Recurso Natural para la Producción Sostenible de Aceite. *Cultivos Tropicales*. 37 (4) pp. 13-33.
- Hernández, L. y González, C. (2002). *Introducción al análisis instrumental*. Editorial Ariel. Barcelona, España.
- Herrera, W., Hernández, C. y Montealegre, Y. (2010). Plantas Oleaginosas del Caquetá, Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*. 3 (1) pp. 28-39.
- Horwitz W. y Latimer G., (1997), *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18<sup>o</sup> edición, Ed. AOAC International, Maryland, United States.
- Horwitz W. y Latimer, G. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International 18<sup>th</sup> Edition*, Ed. AOAC International, Maryland, United States.
- Hoyos, A. (2009). *Análisis del perfil de ácidos grasos, vitamina E y situación actual del etiquetado nutricional en aceites vegetales de mayor comercialización por almacenes de grandes superficies (Supermercados) en Bogotá, Barranquilla y Medellín*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Kamatou, G. y Viljoen, A. (2017). Comparison of fatty acid methyl esters of palm and palmist oils determined by GCxGC-TOF-MS and GC-MS/FID *South African Journal of Botany*, 112, pp. 483-488.
- Keneni, Y. y Marchetti, J. (2017). Oil extraction from plant seeds for biodiesel production. *AIMS Energy*. 5 (2). 316-340.

- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*. 86 (10). 1059-1070.
- Koziol, M. y Borgtoft, H. (1993). *Phytelephas aequatorialis* (Arecaceae) in human and animal nutrition. *Economic Botany*. 47, pp. 401-407.
- Kronborg, M., Grández, C., Ferreira, E. y Balslev, H. (2008). “*Aphandra natalia* (Arecaceae) – a little known source of piassaba fibers from the western Amazon”. *Rev. peru. boil.* 15 (1) pp. 103-113
- Kulkarni, G. y Dalai, A. (2006). Waste cooking oil - an economical source for biodiesel: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45, 2901–2913.
- Lippincott-Schwartz, J. (2008). *Current Protocols in Cell Biology*. Pennsylvania: John Wiley and Sons.
- Lopes, G., Ghazani, S., Corazza, M., Marangoni, A. y Hoffmann R. (2018) Assessment of subcritical propane, supercritical CO<sub>2</sub> and Soxhlet extraction of oil from sapucaia (*Lecythis Pisonis*) nuts *The Journal of Supercritical Fluids*, 133 (1). pp. 122-132.
- López J. H. (2008). Geopolítica del petróleo y crisis mundial. *Dyna*, 75 (156), pp. 1-7.
- Luque-García, J. y Luque de Castro, M. (2004). Ultrasound.assisted Soxhlet extraction: an expeditive approach for solid simple treatment Aplicatioin to the extraction of total fat from oleaginous sedes. *Journal of Chromatography*. 1034. 237-242.
- Macía, M. (2004). Multiplicity in palm used by the Huaorani of Amazonian Ecuador. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 144, pp. 149-159.
- Marín, M., Millán, B. y Kahn, F. (2012). Anatomy and physicochemical properties of the chambira fiber, *Revista Peruana de Biología* 19, pp. 3-9.

- McNair, H. y Miller, J. (2011). *Basic Gas Chromatography Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Pennsylvania, United States.
- Meléndez, M. y Ponce, W. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids (OxG), in tropical America. *Pesq. Agropec. Trop.* 46 (1). pp. 102-110.
- Mendow, G., Veizaga, N., Sánchez, B. y Querini, C. (2011). Biodiesel production by two-stage transesterification with ethanol. *Bioresource Technology*. 102, pp. 10417-10413.
- Mohamad, F., Xu, X. y Guo, Z. (2014). Comparison of Fatty Acid Methyl an Ethyl Esters as Biodiesel Base Stock: A Review on Processing and Production Requirements. *J Am Oil Chem Soc.* 91, pp. 525-531.
- Mongay, C. (2011). *Quimiometría*. Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Montoya, C., Cochard, B., Flori, A., Cros, D., Lopes, R., Cuellar, T., Espeout, S., Suaputra, I., Villeneuve, P., Pina, M., Ritter, E., Leroy, T. y Billotte, N. (2014). Genetic Architecture of Palm Oil Fatty Acid Composition in Cultivated Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Compared to Its Wild Relative *E. oleifera* (H.B.K) Cortés. *Plos One*. 9 (5), 1-13.
- Montúfar, R. y Brokamp, G. (2011). Palmeras aceiteras del Ecuador: estado del arte en la investigación de nuevos recursos oleaginosos provenientes del bosque tropical. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. pp. 93-118.
- Montúfar, R., Brokamp, G. y Jácome, J. (2013), Tagua. *Phytelephas aequatorialis*. En: Palmas Ecuatorianas: biología y uso sostenible (R. Valencia, R. Montúfar, H. Navarrete, y H. Balslev, eds) pp. 187-201. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. ISBN: 987-9942-13-263-5
- Murillo, J. (2004). “Producción de biodiesel a partir de aceite de palma”. *Palmas*, 25 (4), pp. 31-42.

- Nehdi, I., Omri, S., Khalil, M. y Al-Resayes, S. (2010). Characteristics and chemical composition of date palm (*Phoenix canariensis*) seed and seed oil. *Industrial Crops and Products*. 32, pp. 360-365.
- Obahiagbon, F. (2012). A Review: Aspects of the African Oil Palm (*Elaeis guineensis jacq.*) and the Implications of its Bioactives in Human Health. *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2, 106-119.
- Orwa C., Mutua, A., Kindt R., Jamnadass R. y Anthony, S. (2009) Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 (<https://www.worldagroforestry.org/publication/agroforestry-database-tree-species-reference-and-selection-guide-version-40>)
- Pádua, M., Paiva, L., Labory, C., Alves, E. y Stein, V. (2013). Induction and characterization of oil palm (*Elaeis guineensis Jacq.*) pro-embryogenic masses. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85 (4), 1545-1556.
- Pane, A., Allatta, C., Sammarco, G. y Cacciola S. (2007). First report of bud rot of Canary Island date palm caused by *Phytophthora palmivora* in Italy. *Plant Disease*, 91 (8), 1059.
- Peredo-Luna, H., Palou-García, E. y López, M. (2009). Aceites esenciales: métodos de extracción, *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* 3-1, pp. 24-32.
- Poole, C. (2012). *Gas Chromatography*. Elsevier. Boston, United States.
- Prabhakaran, K.P. (2010). 7-Oil Palm (*Elaeis guineensis Jacquin*). *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*, pp. 209-236.
- ProEcuador (2016). *Palm oil and Products Sector Analysis*, Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Recuperado de: [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/PROEC\\_PALM-OIL-SECTOR-ANALYSIS.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/PROEC_PALM-OIL-SECTOR-ANALYSIS.pdf)

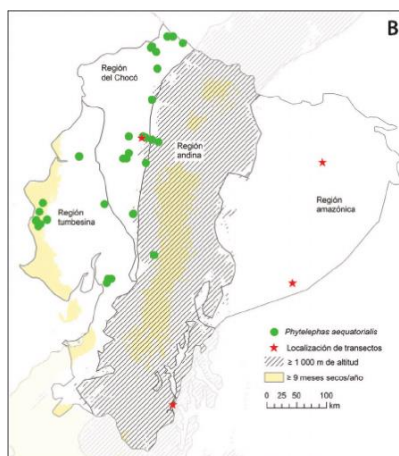
- Quiroga, E. (2012). *Una solución tecnológicamente viable para la reducción de las emisiones de vehículos de inyección electrónica secuencial, propulsados a gas natural* (Tesis de Maestría). Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, Argentina.
- Rebolledo, J. (2009). *Validación de la metodología analítica para la determinación de ácidos grasos en aceites de oliva extra virgen* (Disertación de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- REN21 (2009). *Renewables Global Status Report: 2009 Update*. Paris, REN21 Secretariat. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Recuperado de: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/RE_GSR_2009_Update.pdf)
- Sasidhara, S., Logeswaran, S. y Yoga, L. (2012). Wound Healing Activity of *Elaeis guineensis* Leaf Extract Ointment. *Int. J. Mol. Sci.* 13 (1) pp. 336-347.
- Senwal, S., Arora, A., Badoni, E. y Tuli, D. (2011). Biodiesel production using heterogeneous catalysts. *Bioresource Technology*. 102, pp. 2151-2161.
- Siciliano, C., Belsito, E., De Marco, E., Di Gioia, M., Leggio, A. y Liguori, A. (2013). Quantitative determination of fatty acid chain composition in pork meat products by high resolution H-NMR spectroscopy, *Food Chemistry*, 136, pp. 546-554.
- Sierra, I., Gómez, S., Pérez, D. y Morante, S. (2009), *Análisis instrumental: algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al espacio europeo de educación superior*. Editorial Netbiblo. La Coruña, España.
- Skoog, D., Holler, F. y Crouch, S. (2007), *Principles of Instrumental Analysis*. Six Edition, Pennsylvania: Thomson Brooks/Cole, , United States.
- Skoog, D., Holler, J. y Nieman, T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. Quinta Edición. Madrid: McGraw-Hill

- Sparkman, D., Penton, Z. y Kitson, F. (2011). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide*. Academic Press. San Diego. United States.
- Teijón, J. y Garrido, A. (2006). *Fundamentos de bioquímica estructural*. Editorial Tebar. Madrid. España.
- Teng, H., Chen, L., Huang, Q., Wang, J., Lin, Q., Liu, M., Young Lee, W. y Song, H. (2016). Ultrasonic-Assisted Extraction of Raspberry Seed Oil and Evaluation Its Phtsicochemical Properties, Fatty Acid Compositions and Antioxidant Activities. *Plos One*. 1-17.
- Vijayasarathy, P. (2011). *Engineering Chemistry Second Edtion*. PHI Learning Pvt. Ltd. New Delhi. India.
- Valenzuela, B. y Morgado, T. (2005). Las grasas y aceites en la nutrición humana: Algo de su historia. *Rev. Chil. Nutr.* 32 (2) pp. 88-94.
- Velásquez, G. (2006). *Fundamentos de alimentación saludable*. Editorial Universidad de Antioquia. Antioquia. Colombia.
- Vergara, D. (2015), *Diversidad Genética de Phytelephas aequatorialis Spruce en la provincia de Manabí* (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Yurchenko, S., Sats, A., Poikalainen, V. y Karus, A. (2016). Method for determination of fatty acids in bovine colostrum using GC-FID. *Food Chemistry*. 212, pp. 117-122.
- Zarrilli, S. (2006). *El Mercado Emergente de Biocombustibles: Consecuencias Normativas, Comerciales y de Desarrollo*, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. New York, Estados Unidos.

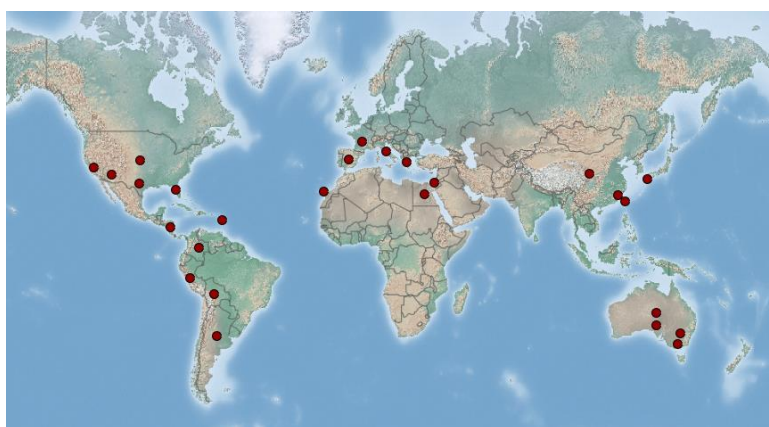
Zhang, Z., Wang, L., Li, D., Jiao, S., Chen, X. y Mao, Z. (2008). Ultrasound-assited extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology*. 1 (1). 192-198.

Zotz, G. y Vollrath, B. (2003). The epiphyte vegetation of the palm *Socratea exorrhiza* - correlations with tree size, tree age and bryophyte cover, *Journal of Tropical Ecology* 19, pp. 81-90.

## 8. FIGURAS

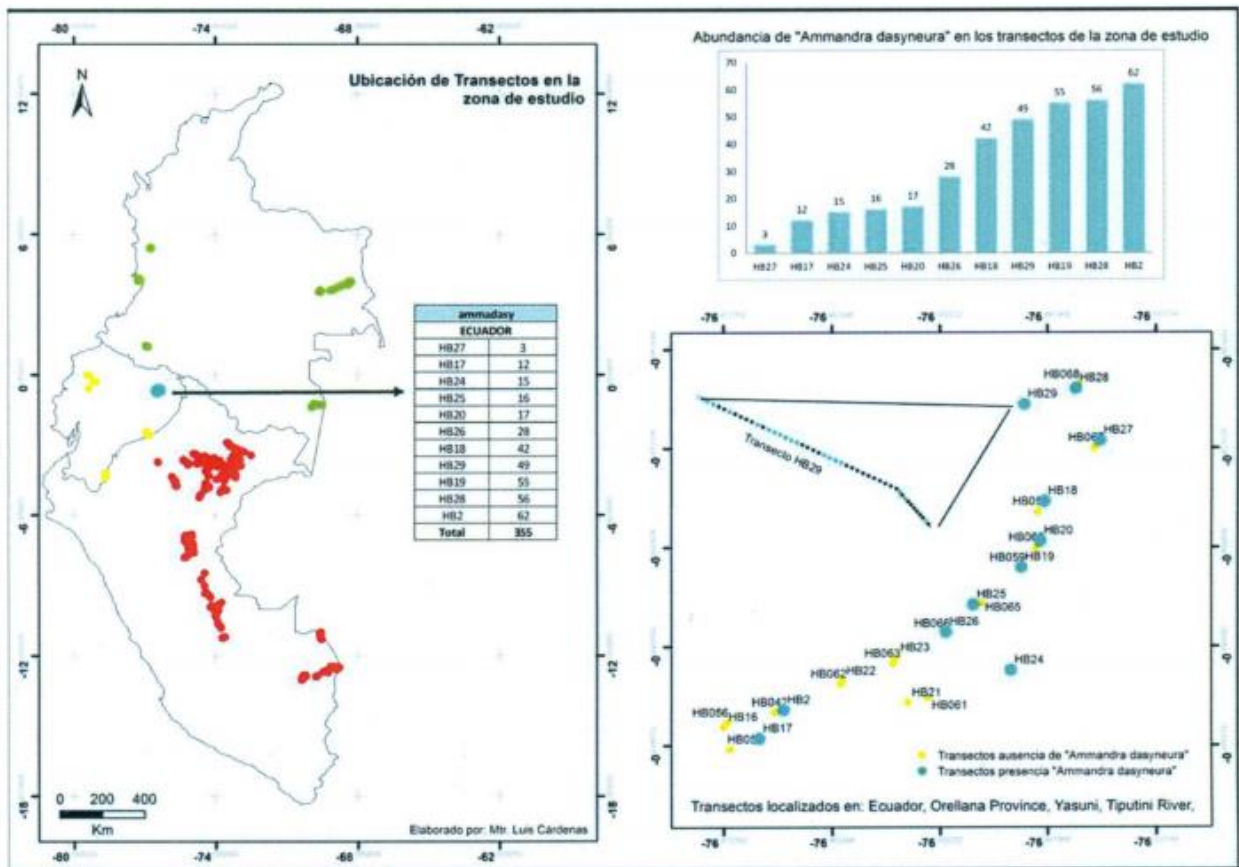


**Figura 4. Distribución de la especie *Phytalephas aequatorialis* en el Ecuador.** Abundancia de la tagua (*Phytalephas aequatorialis*) en los transectos establecidos de la consta (Santo Domingo de los Tsáchilas) y en la Amazonía (Kapawi, Nangaritza y Yasuní). Coordenadas geográficas tomadas de la base de datos de los herbarios QCA (Quito, PUCE), AAU (Universidad de Aarhus, Dinamarca) y MO (Tropicos, Missouri Botanical Garden) (Montúfar y Brokamp, 2013).

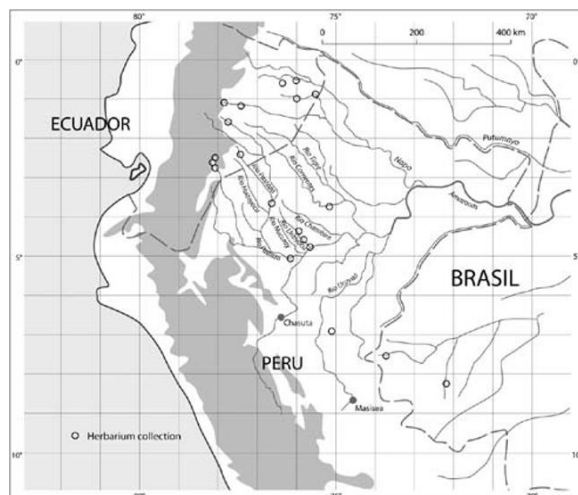


**Figura 5. Distribución de la especie *Phoenix canariensis*.** El área de distribución nativa se encuentra en las riveras, donde probablemente el agua desempeña el papel de dispersión de las

semillas. Esta especie se planta como ornamental en muchas regiones climáticas mediterráneas del mundo. Presente en Europa continental, todo el Mediterráneo, África, Asia occidental, California, Centro y Sudamérica (Pane et al, 2007).



**Figura 6.** Distribucion de la especie *Ammandra dasyneura*. Localizada a la especie en Ecuador en las provincias de Orellana, Yasuní, rio Tiputini de acuerdo a los transectos detallados (Cárdenas, 2017).

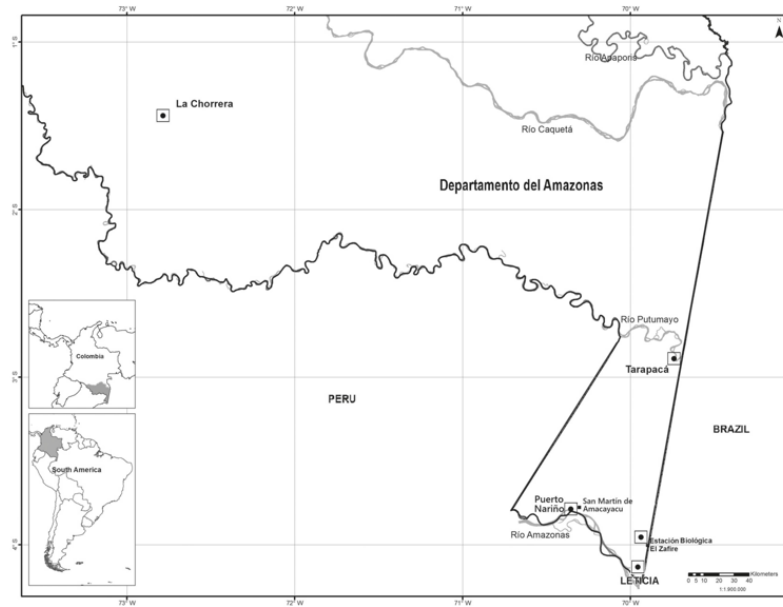


**Figura 7. Distribución de la especie *Aphandra natalia*.** Esta especie se ubica en la cuenca occidental del Amazonas desde las estribaciones de los Andes en Ecuador a través de la parte norte de la Amazonía peruana hasta el estado de Acre en Brasil. Los ríos y caudales nombrados en el mapa son lugares de donde provienen las fibras de esta especie (Kronborg et al, 2008).



**Figura 8. Distribución de la especie *Elaeis guineensis*.** Esta especie es nativa de países como Camerún, Costa de Marfil, República Democrática del Congo, Ghana, Guinea, Sierra Leona y Uganda. Su rango exótico se distribuye en países como China, Colombia, Congo, Costa Rica, Ecuador, Honduras, India, Indonesia, Kenia, Madagascar, Malasia, Nigeria, Papua Nueva

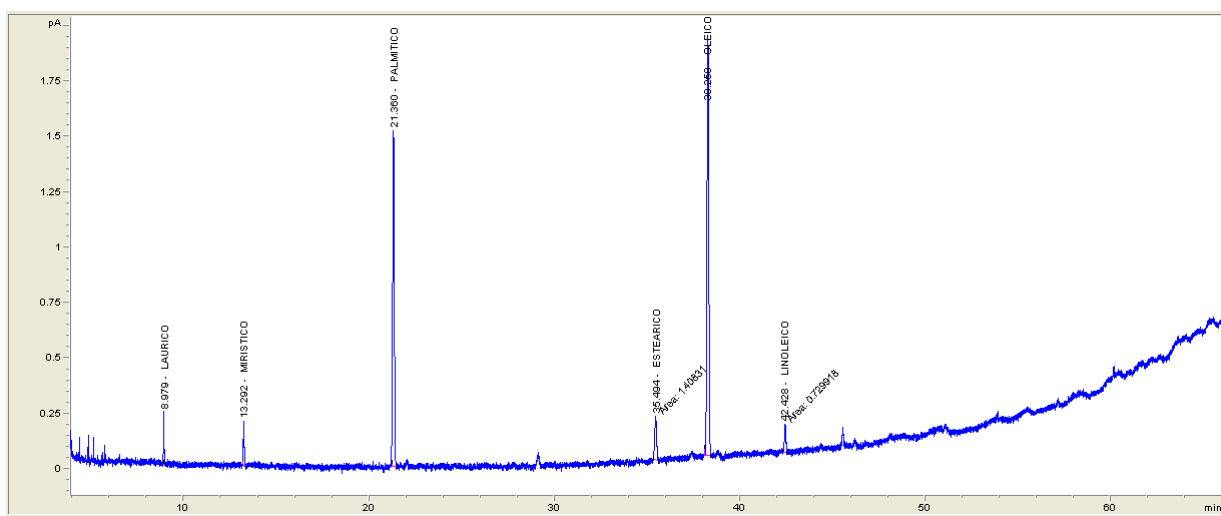
Guinea, Filipinas, Singapur, Islas Salomón, Sri Lanka, Tanzania, Togo, Venezuela y Zanzíbar (Orwa et al, 2009).



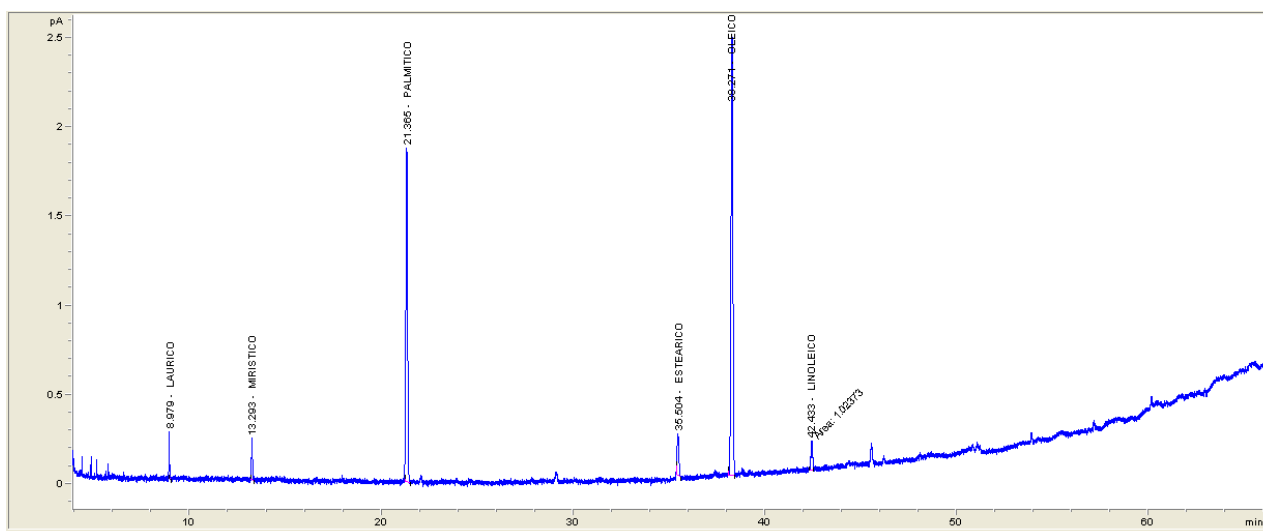
**Figura 9. Distribución de la especie *Astrocaryum chambira*.** Esta especie está ubicada en la Amazonía colombiana, se registran cosechas en San Martín de Amacayacu, Tarapacá, La Chorrera y en la Estación Biológica El Zafiro cerca de Leticia (García et al, 2015).



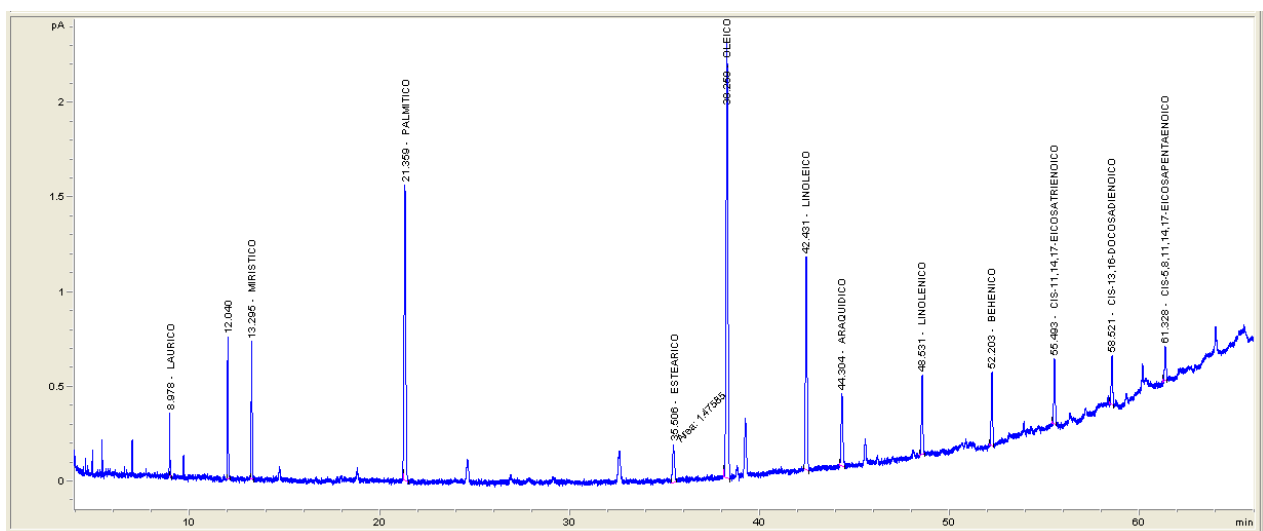
**Figura 10. Distribución de la especie *Socratea exorrhiza*.** Esta especie es nativa de las selvas tropicales de América Central y del Sur, en países como Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guayana Francesa, Guyana, Nicaragua, Panamá, Perú, Suriname y Venezuela, creciendo en bosques de zona húmeda. Se usa para la obtención de alimentos, materiales de construcción y medicina (Goldsmith y Zahawi, 2007).



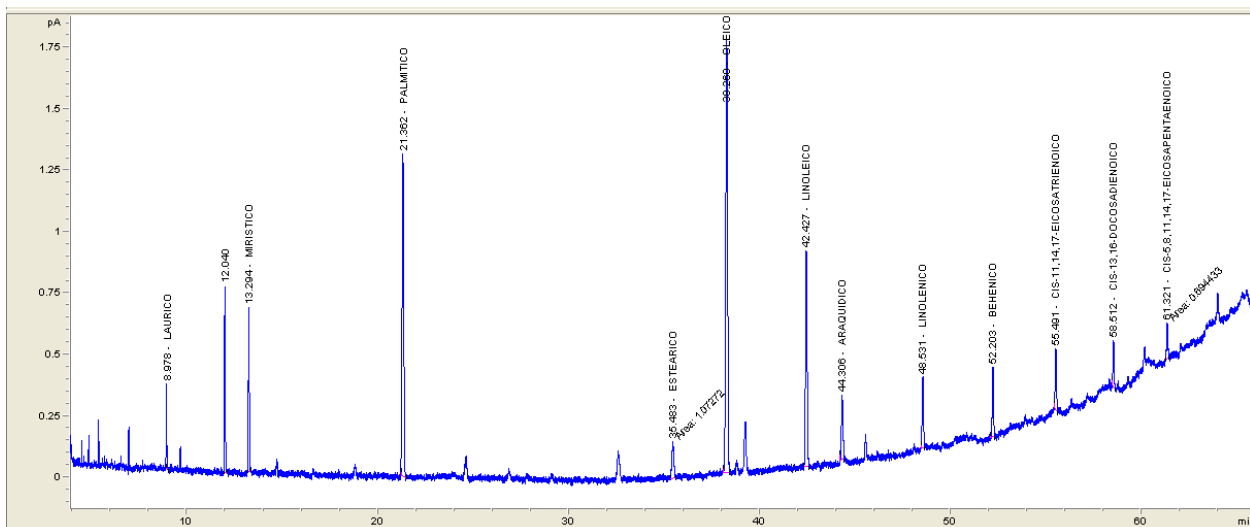
**Figura 12. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phytalephas aequatorialis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet**



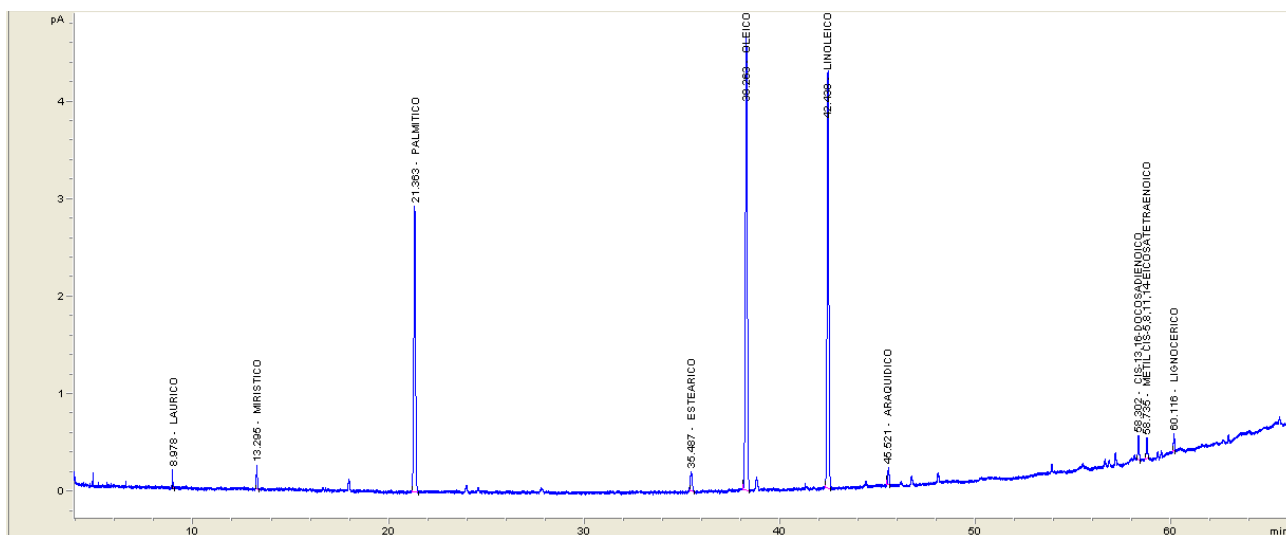
**Figura 13. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phytelephas aequatorialis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido**



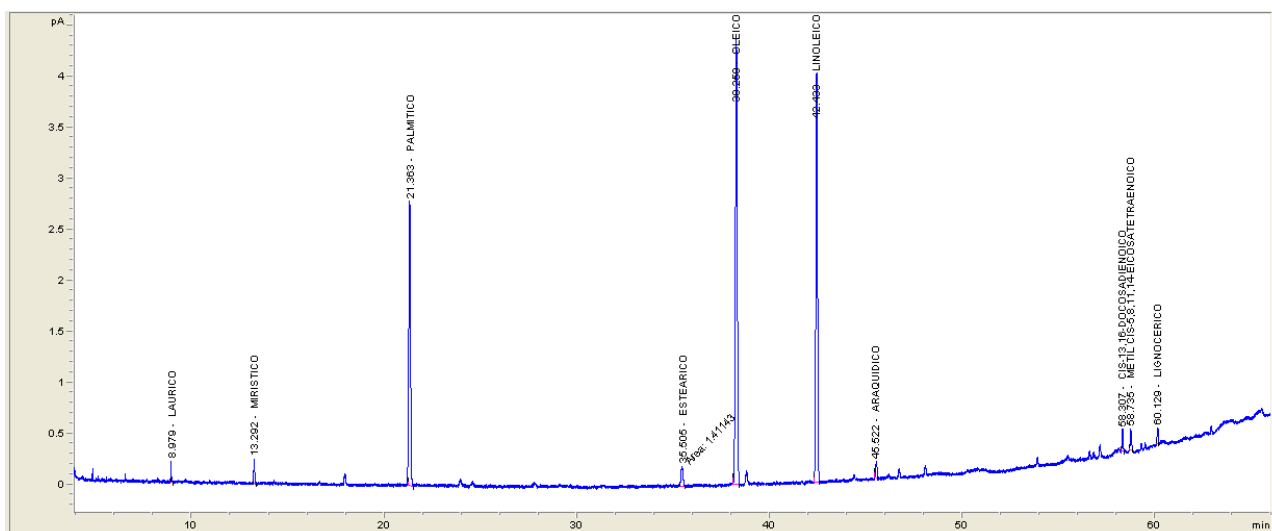
**Figura 14. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Aphandra natalia* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet**



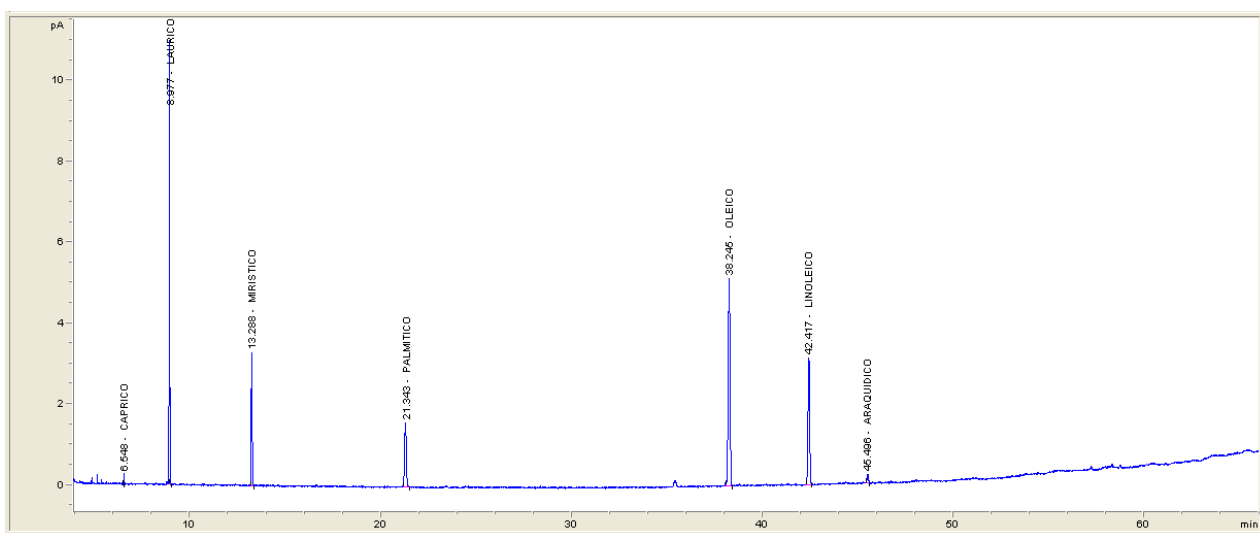
**Figura 15. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Aphandra natalia* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido**



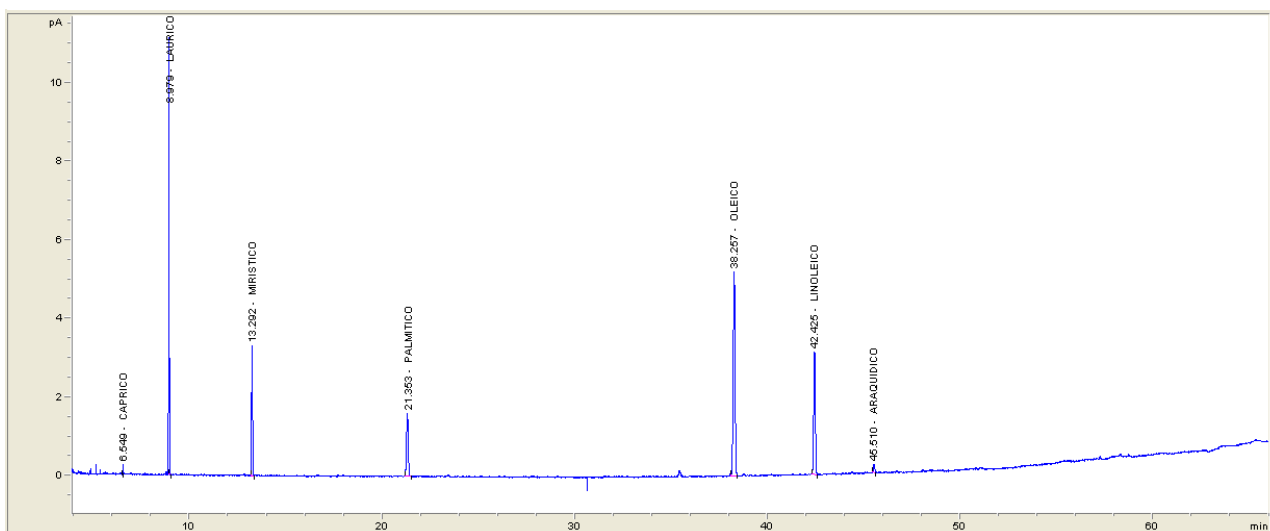
**Figura 16. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Ammandra dasyneura* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet**



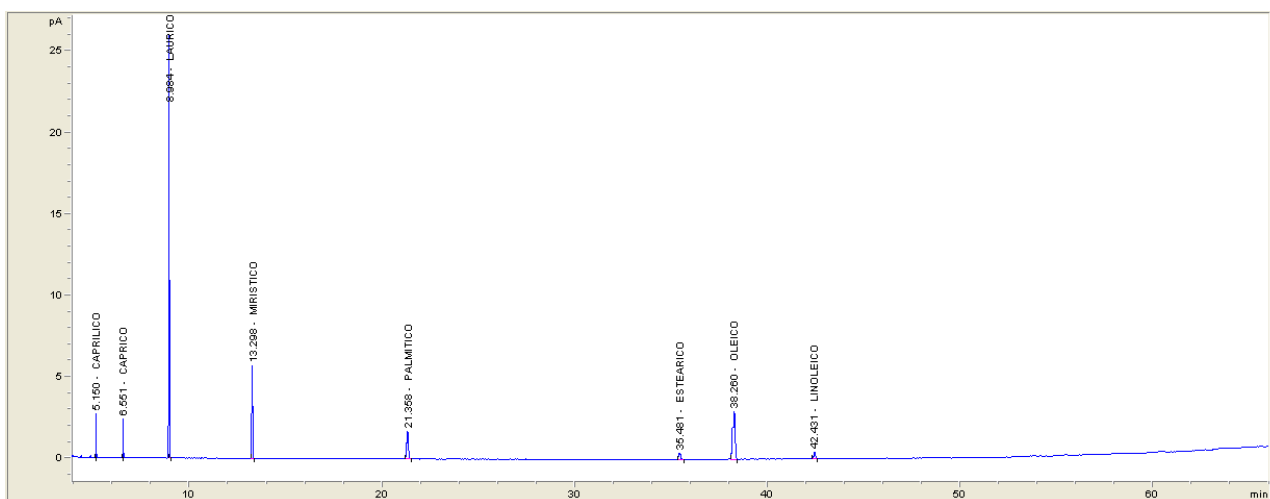
**Figura 17. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Ammandra dasyneura* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido**



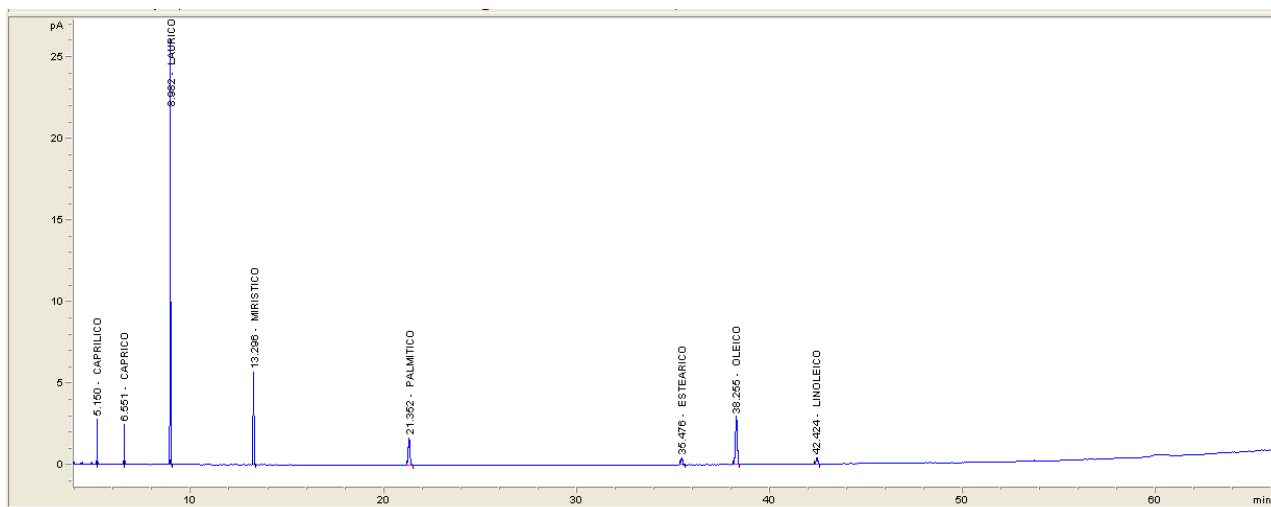
**Figura 18. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phoenix canariensis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet**



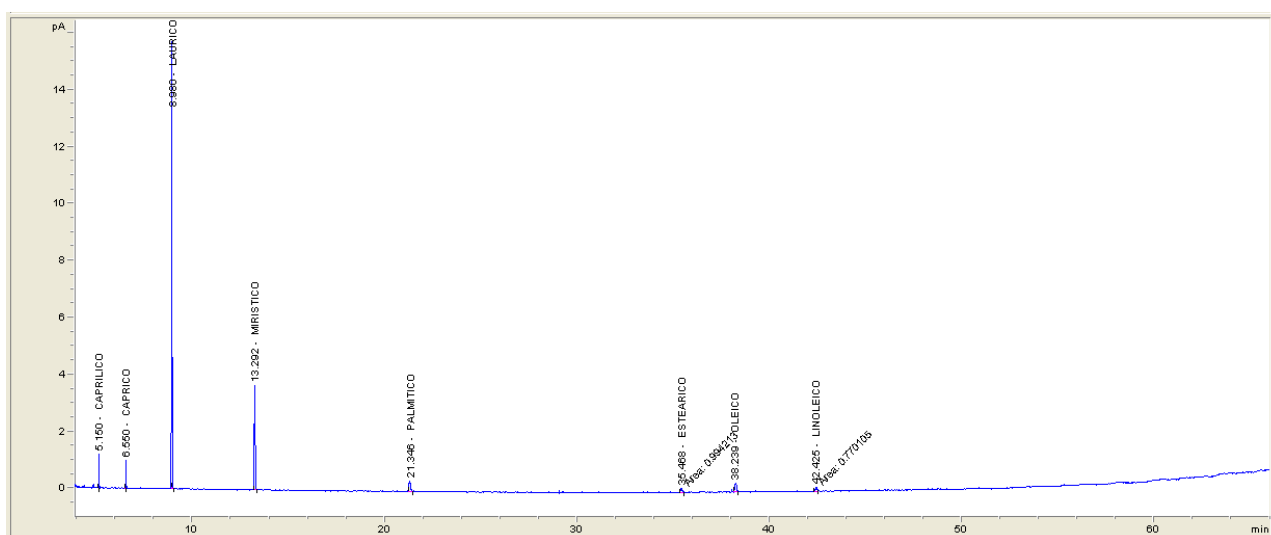
**Figura 19. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Phoenix canariensis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido**



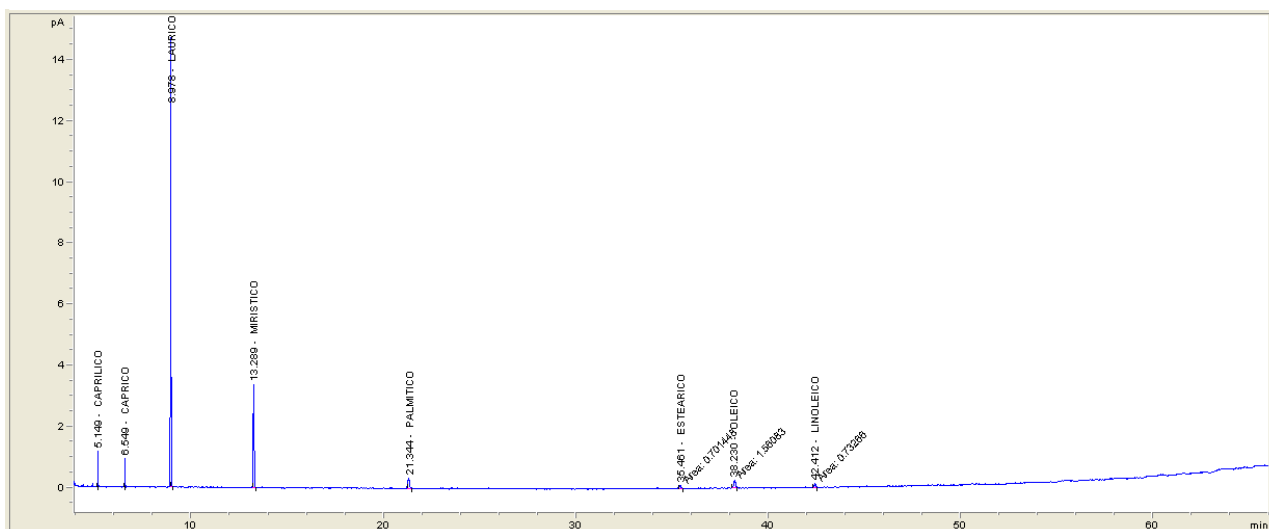
**Figura 20. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Elaeis guineensis* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet**



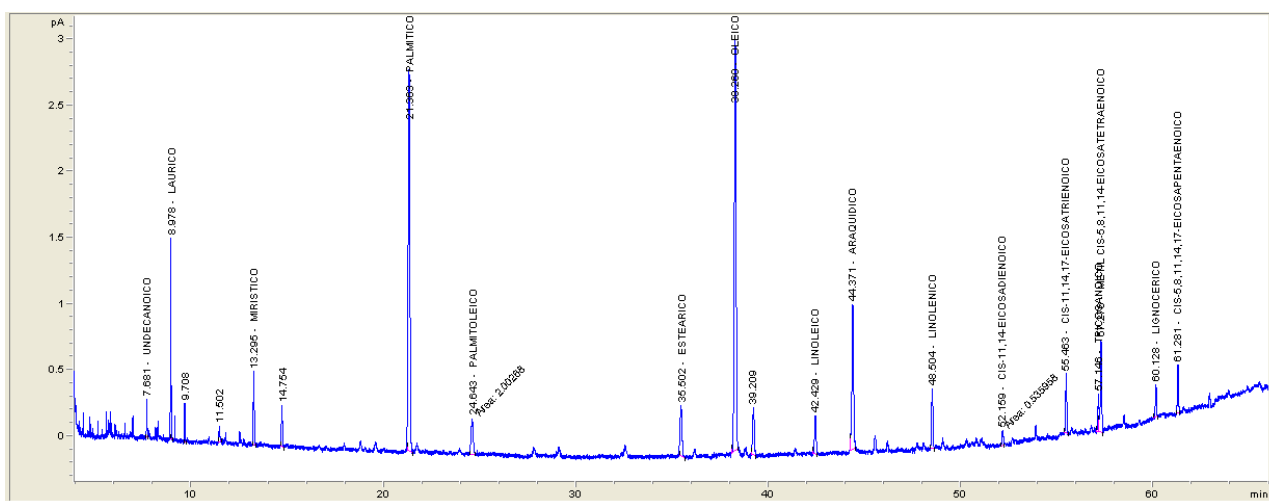
**Figura 21.** Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Elaeis guineensis* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido



**Figura 22.** Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Astrocaryum chambira* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet

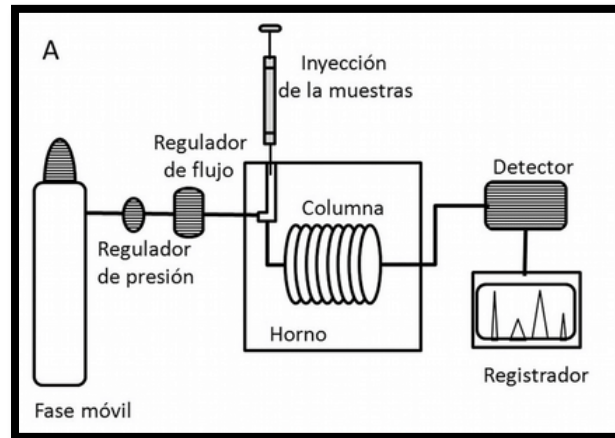


**Figura 23.** Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Astrocaryum chambira* del aceite obtenido por método de extracción asistida por ultrasonido

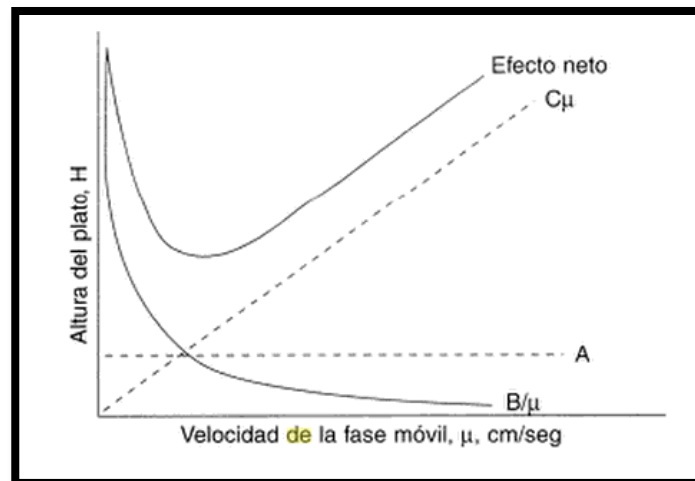


**Figura 24.** Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de especie *Socratea exorrhiza* del aceite obtenido por método de extracción Soxhlet





**Figura 2. Esquema equipo cromatógrafo de gases (Bagnato, 2013).** El primer módulo proporciona flujo constante del gas (fase móvil), el segundo permite introducir vapores de la muestra a la corriente del flujo de gas, el tercero contiene la longitud necesaria de la fase estacionaria, el cuarto mantiene la temperatura de la columna a niveles apropiados o establece una secuencia de temperatura si es necesario, el quinto detecta los componentes de la muestra de acuerdo a la elución de la columna y el sexto emite una señal legible proporcional a la cantidad de cada componente (Gomis, 2008).



**Figura 3. Representación gráfica de la ecuación de van Deemter.** Siendo la ecuación  $AEPT = A + B/\mu + C\mu$ . Donde  $\mu$  es la velocidad lineal (cm/seg.); AEPT como altura efectiva de platos

teóricos, A se denomina al coeficiente de trayecto múltiple; B al coeficiente de difusión longitudinal y C al coeficiente de transferencia de masa (Genaro, 2003).

## 9. TABLAS

**Tabla 1. Consumo de biocombustibles utilizados en el sector de transporte (CEPAL, 2009)**

<b>País</b>	<b>Biocombustible (%)</b>
<b>Brasil</b>	21,57
<b>Cuba</b>	3,06
<b>Nicaragua</b>	4,24
<b>Guatemala</b>	2,74
<b>Argentina</b>	1,12
<b>Ecuador</b>	0,92
<b>México</b>	0,07

**Tabla 2. Descripción de ácidos grasos saturados más comunes con su respectiva nomenclatura y procedencia (Velásquez, 2006).**

<i>Nombre del ácido graso</i>	<i>Denominación</i>	<i>N.º de carbonos</i>	<i>Alimentos fuente</i>
<b>Butírico</b>	Butanoico	4	Mantequilla de vaca
<b>Capróico</b>	Hexanoico	6	Mantequilla de vaca
<b>Caprílico</b>	Octanoico	8	Aceite de coco
<b>Cáprico</b>	Decanoico	10	Aceite de coco
<b>Láurico</b>	Dodecanoico	12	Aceite de coco y palma
<b>Mirístico</b>	Tetradecanoico	14	Aceite de coco y palma
<b>Palmítico</b>	Hexadecanoico	16	Aceite de palma y grasa animal
<b>Esteárico</b>	Ocatadecanoico	18	Mantequilla de cacao y grasa animal
<b>Arcaico</b>	Eicosanoico	20	Mantequilla de maní

**Tabla 3. Descripción de ácidos grasos insaturados más comunes con su respectiva nomenclatura y procedencia (Velásquez, 2006).**

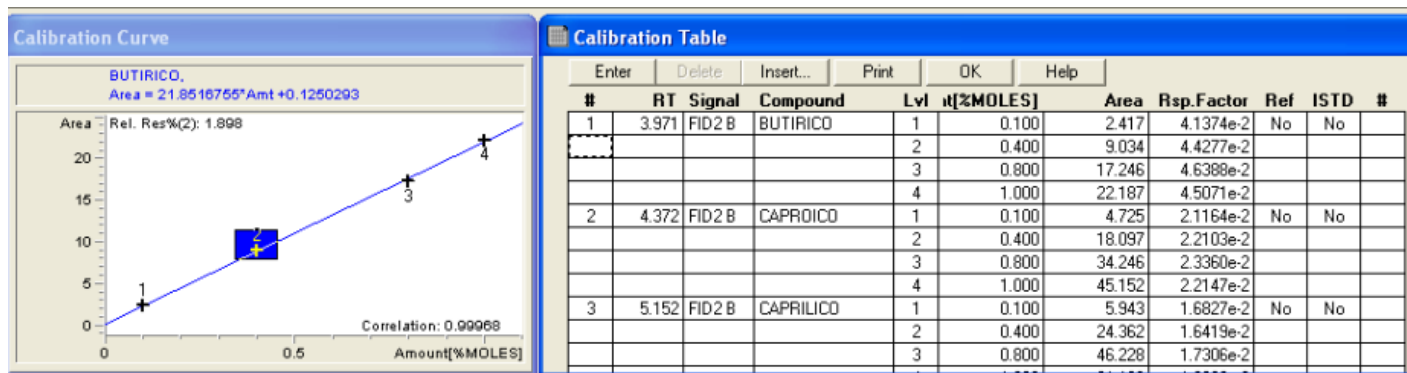
Nombre del Ácido Graso	Denominación	Número de carbonos	Número de dobles enlaces	Alimentos fuente
Caproleico	9-decenoico	10	1	Mantequilla
Lauroleico	9-docecenoico	12	1	Mantequilla
Miristoleico	9-tetradecenoico	14	1	Mantequilla
Palmitoleico	9-hexadecenoico	16	1	Aceite de pescado y grasa de res
Oleico	9-octadecenoico	18	1	Aceite de oliva y canola
Elaídico	9-octadecenoico	18	1	Margarinas
Vaccénico	11-octadecenoico	18	1	Margarinas
Linoleico	9, 12-octadecadienoico	18	2	Aceite de girasol, maíz y soya
Linolénico	9, 12, 15-octadecatrienoico	18	2	Aceite de soya, maíz y canola
Gadoleico	9-eicosenoico	20	1	Aceites de pescado

**Tabla 9. Determinación de diferencia significativa entre las técnicas Soxhlet y asistida por ultrasonido para la cuantificación de ácidos grasos por medio de la prueba de distribución t de Student (t estadístico 4,302).**

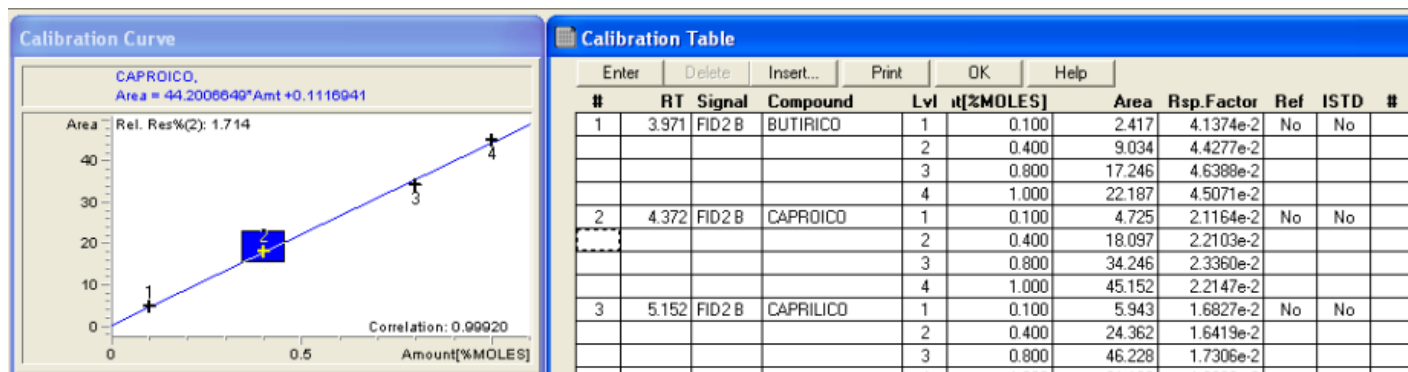
Especies	A. Grasos Saturados		A. Grasos Monoinsaturados		A. Grasos Poliinsaturados	
	t calculado	Diferencia significativa	t calculado	Diferencia significativa	t calculado	Diferencia significativa
<i>P. aequatorialis</i>	-1,742	No	-5,391	No	-2,553	No
<i>A. natalia</i>	-3,475	No	-2,373	No	3,927	No
<i>A. dasyneura</i>	-8,308	No	-8,483	No	-7,716	No
<i>A. chambira</i>	-5,321	No	-5,651	No	-8,368	No
<i>P. canariensis</i>	-3,998	No	-9,230	No	-8,658	No
<i>E. guineensis</i>	-8,273	No	-9,932	No	-6,267	No
<i>S. exorrhiza</i>	-5,882	No	-8,126	No	-6,485	No

## 10. ANEXOS

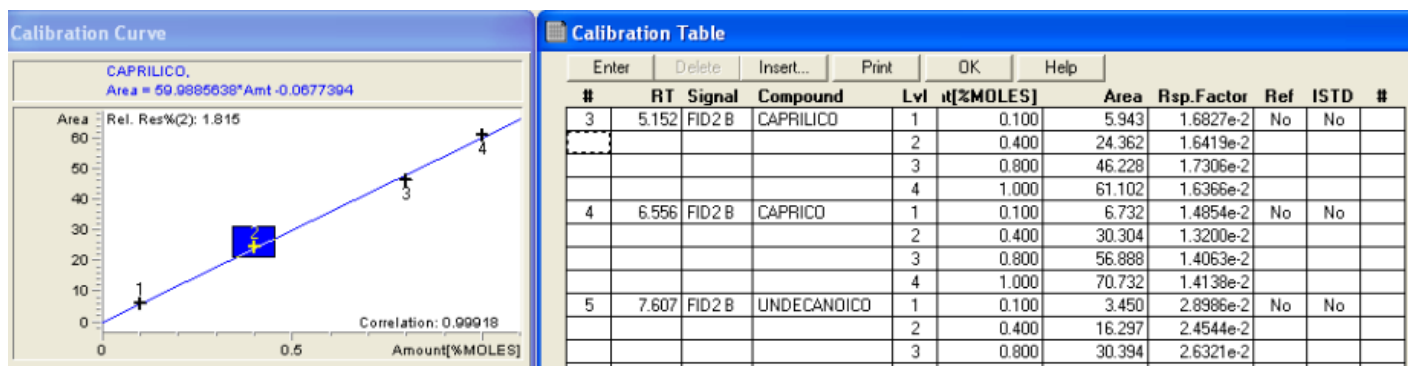
### Anexo 1. Curvas de calibración de los ácidos grasos del estándar Supelco FAME-mix



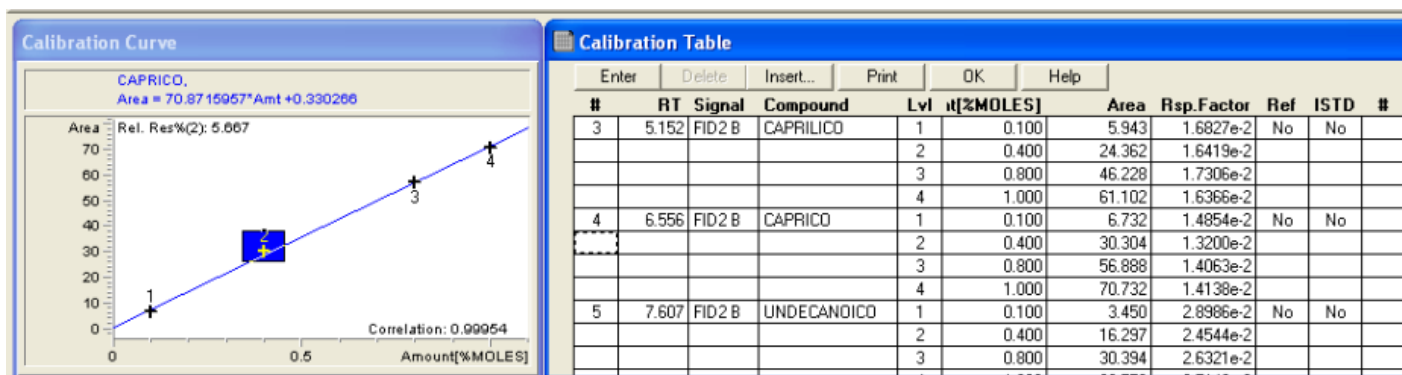
### Curva de calibración del ácido butírico C4:0



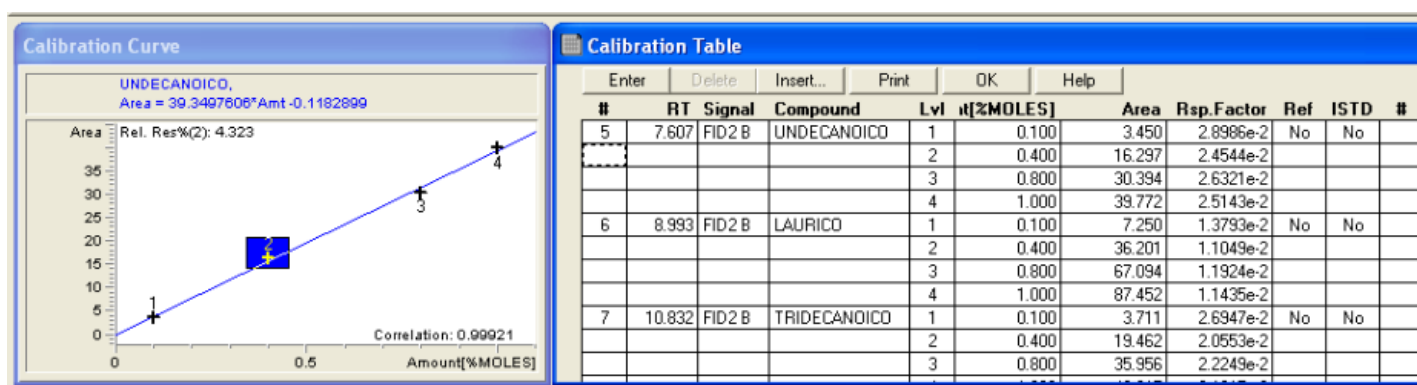
### Curva de calibración del capríico C6:0



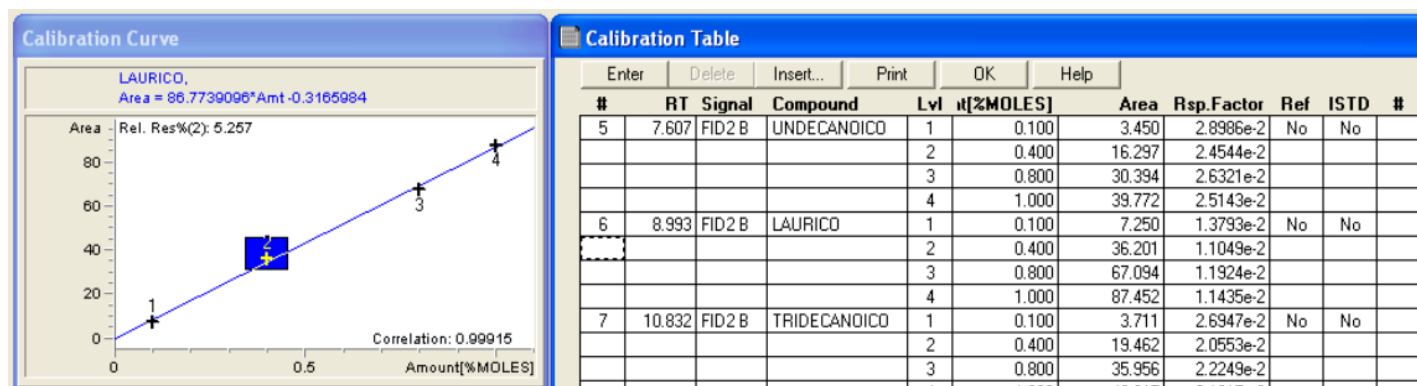
### Curva de calibración del ácido caprílico C8:0



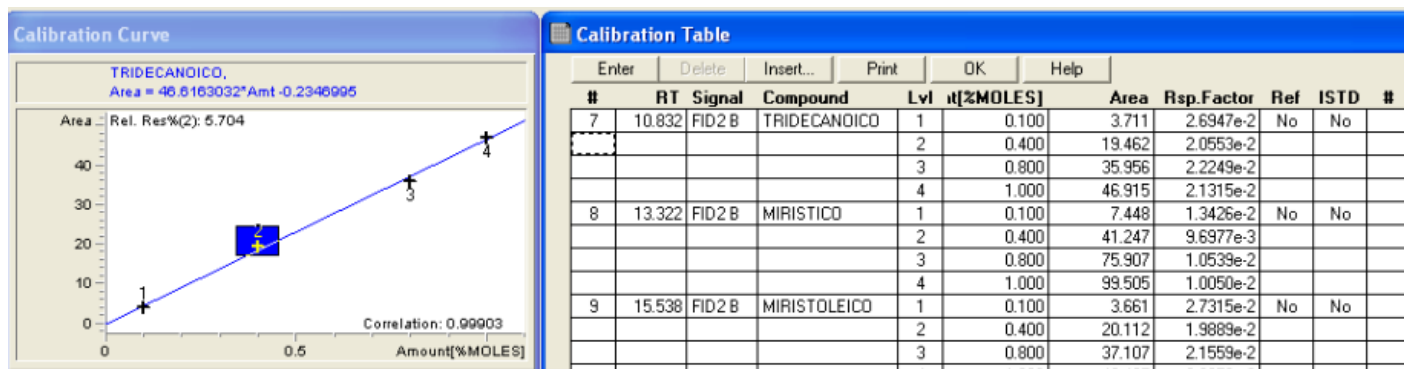
Curva de calibración del ácido cáprico C10:0



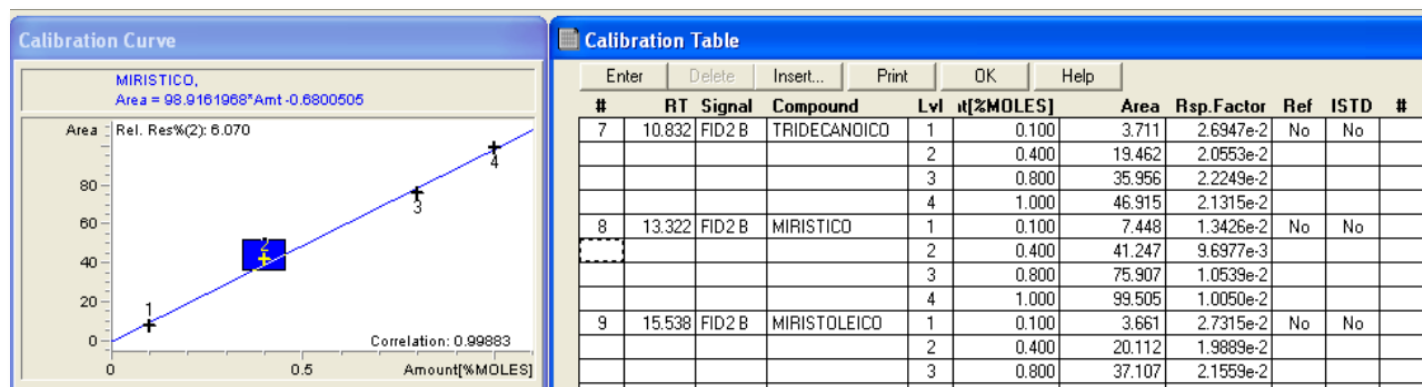
Curva de calibración del ácido undecanoico C11:0



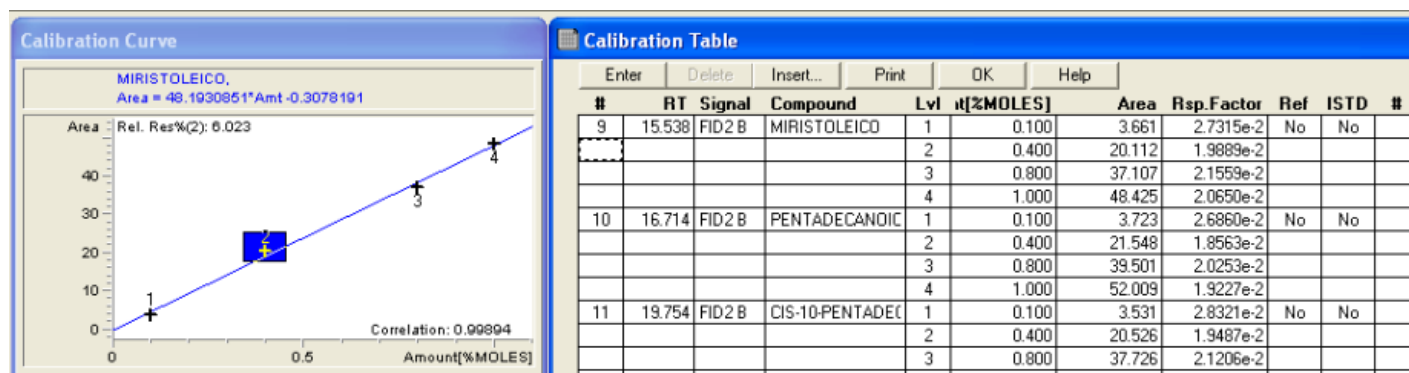
Curva de calibración del ácido láurico C12:0



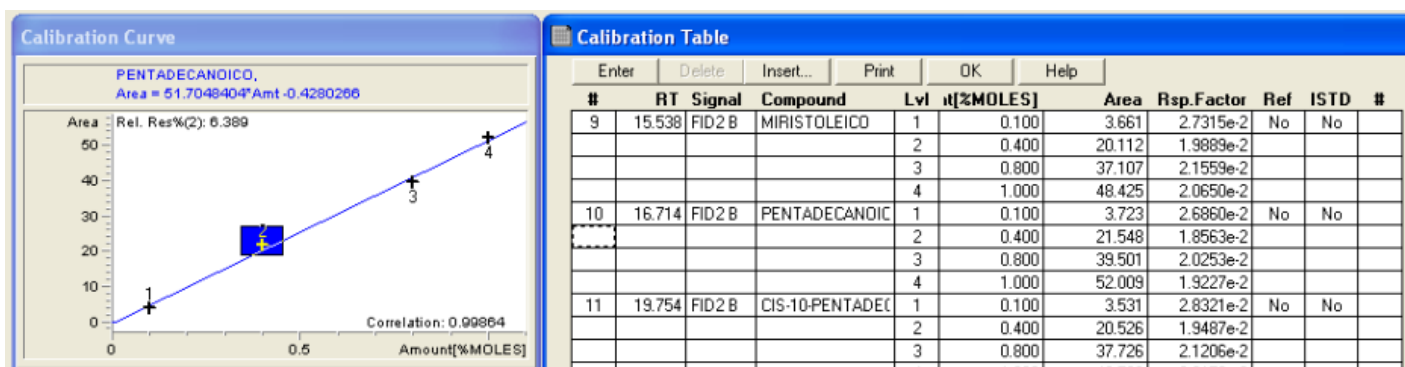
Curva de calibración del ácido tridecanoico C13:0



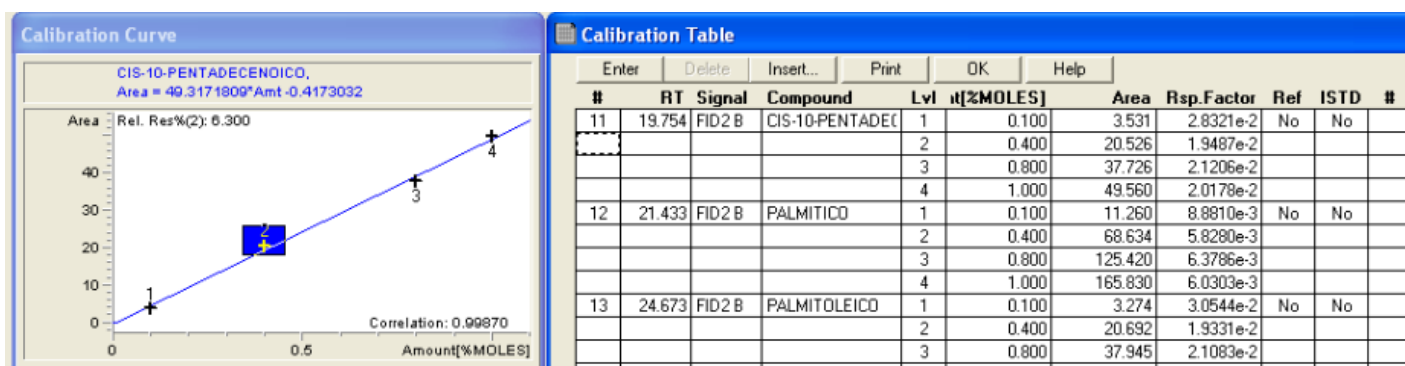
Curva de calibración de ácido mirístico C14:0



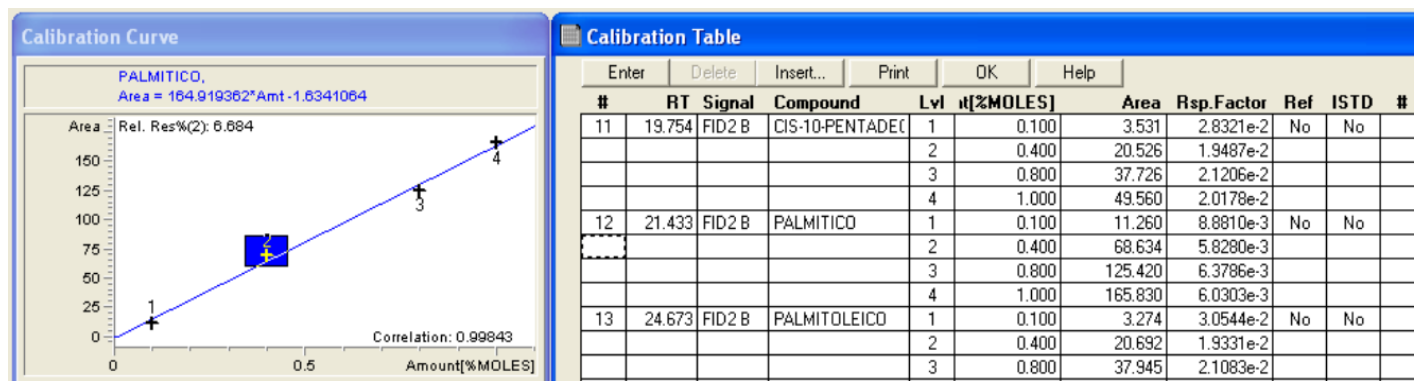
Curva de calibración del ácido miristoleico C14:1



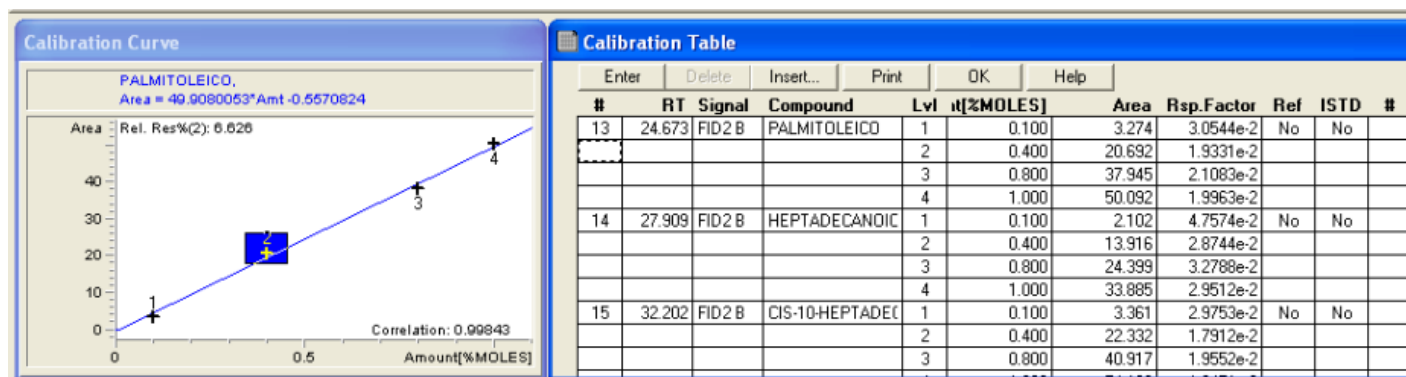
**Curva de calibración del ácido pentadecanoico C15:0**



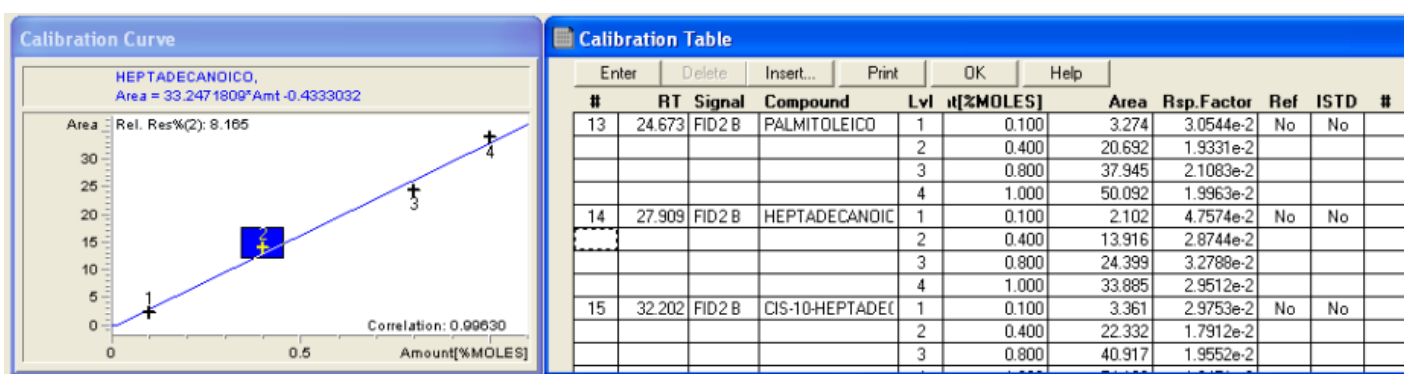
**Curva de calibración del ácido Cis-10-pentadecenoico C15:1**



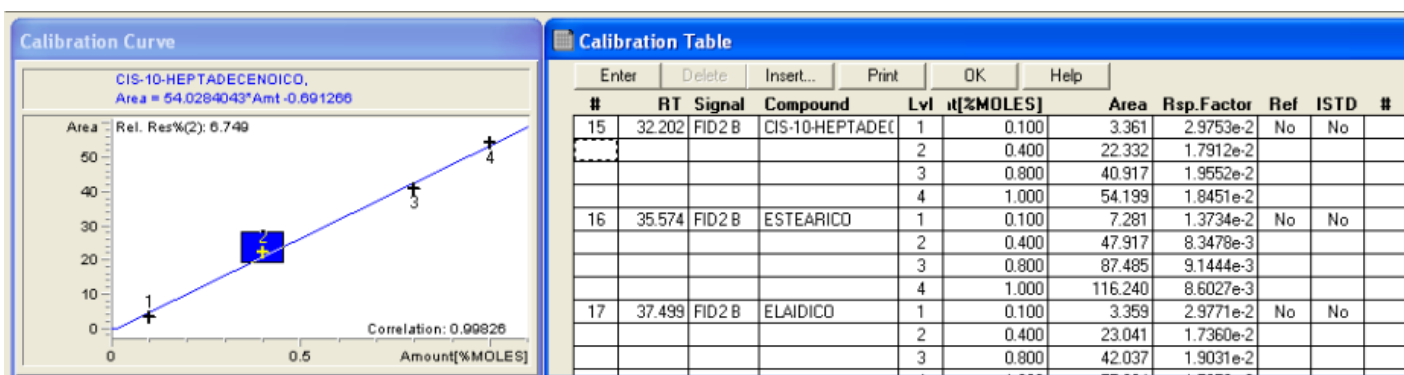
**Curva de calibración del ácido palmítico C16:0**



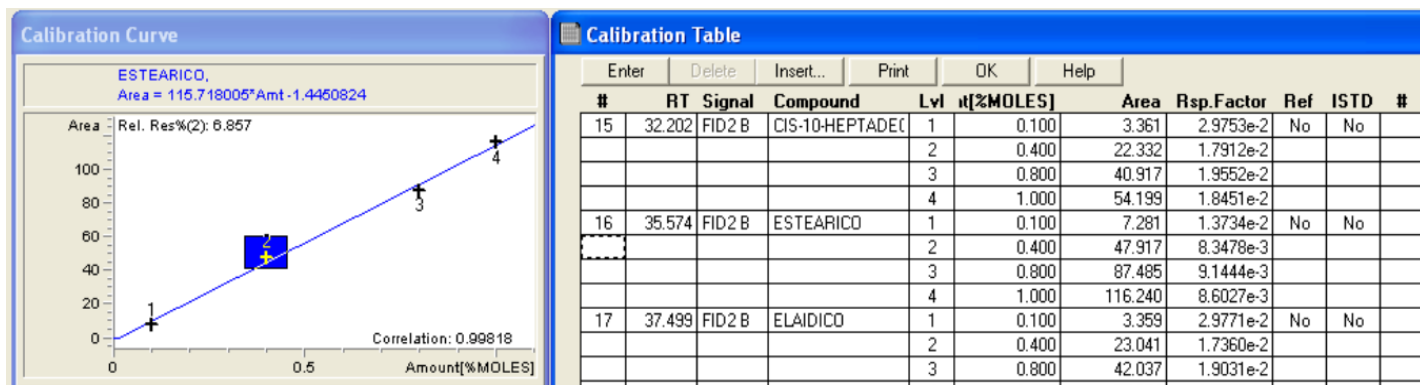
Curva de calibración del ácido palmitoleico C16:1



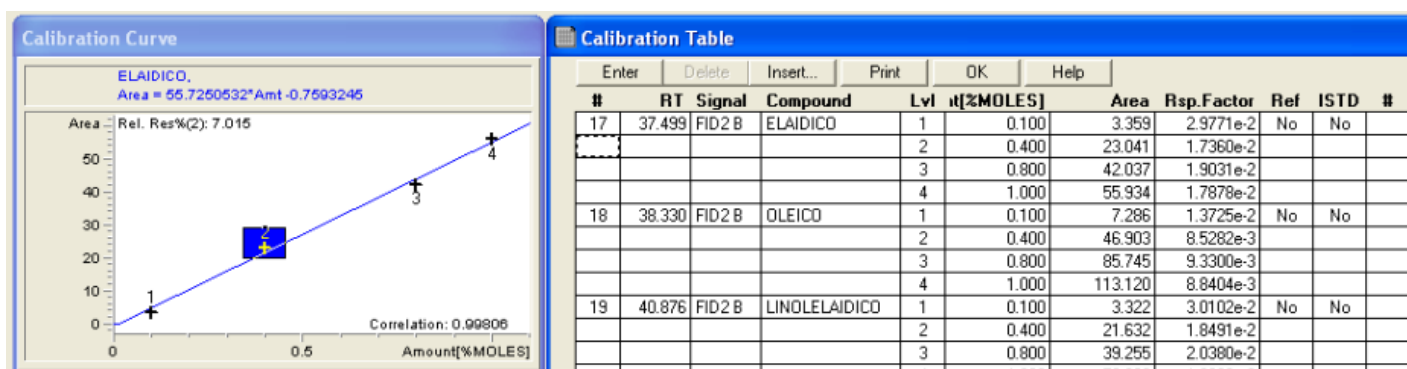
Curva de calibración del ácido heptadecanoico C17:0



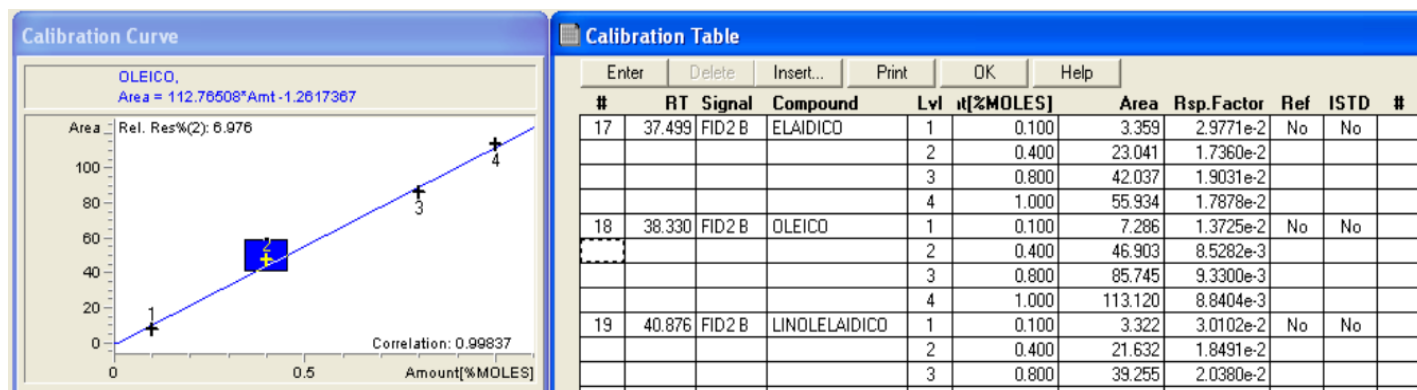
Curva de calibración del ácido Cis-10-heptadecenoico C17:1



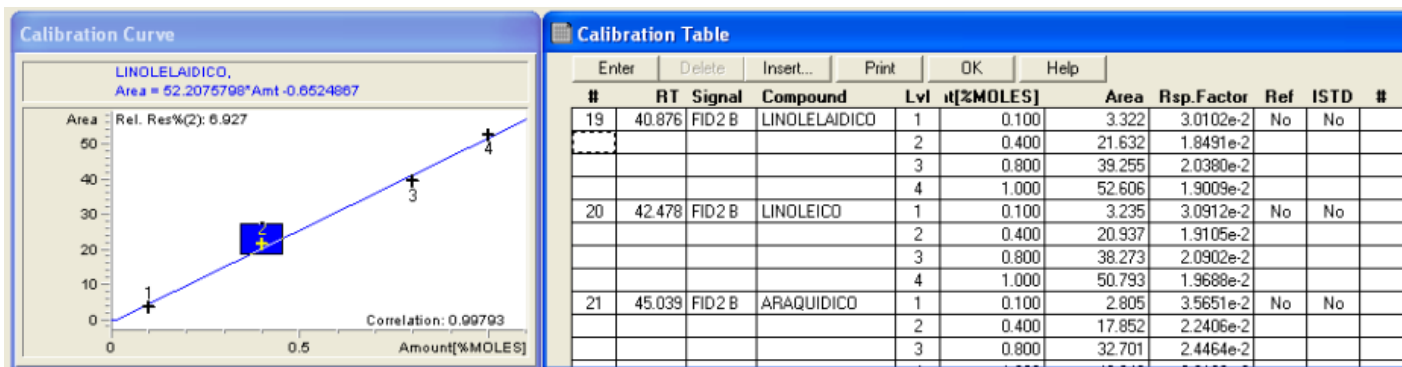
Curva de calibración del ácido esteárico C18:0



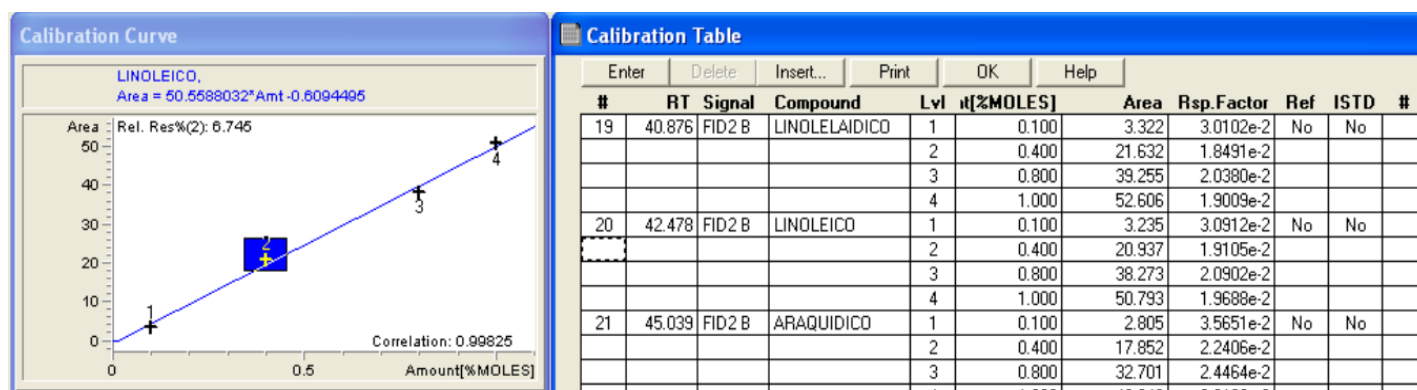
Curva de calibración del ácido elaídico C18:1 ω9t



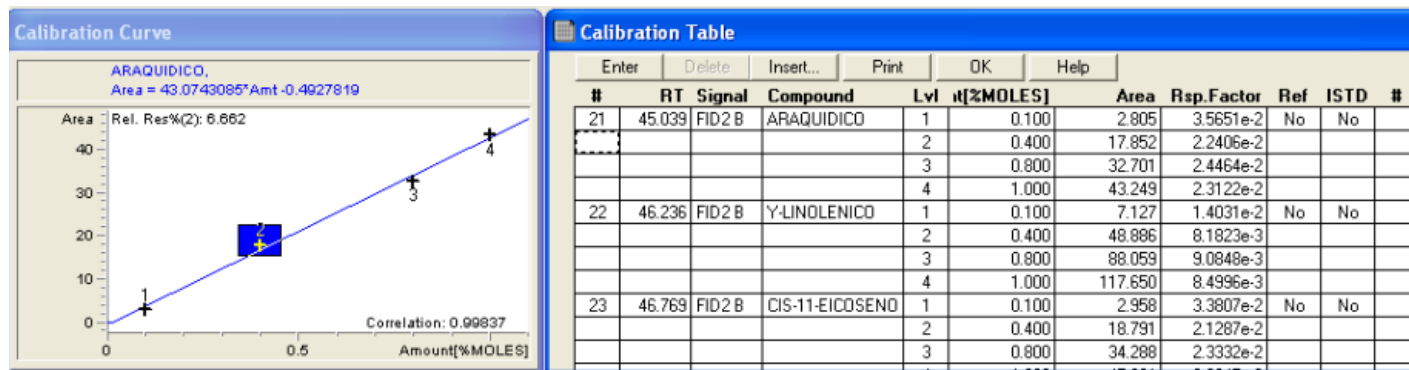
Curva de calibración del ácido oleico C18:1 ω9



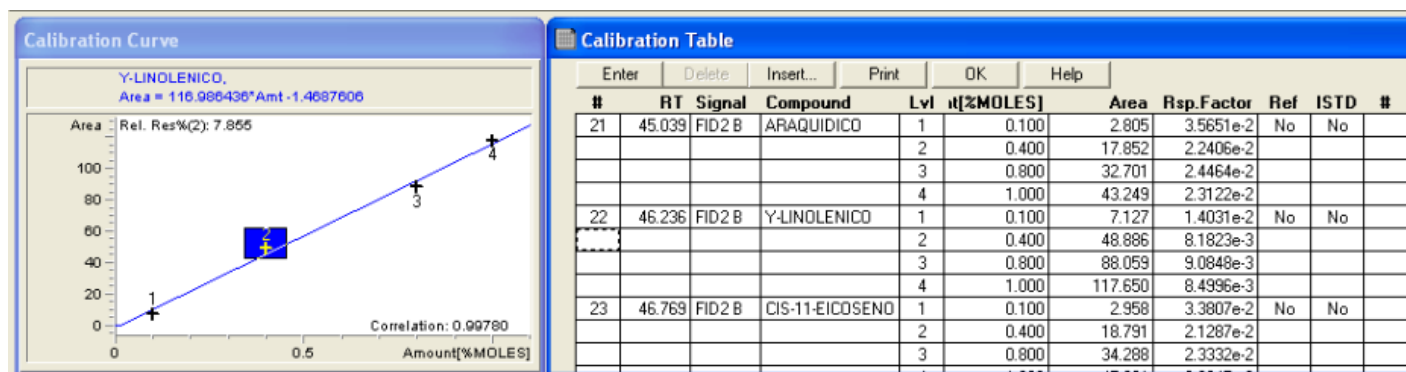
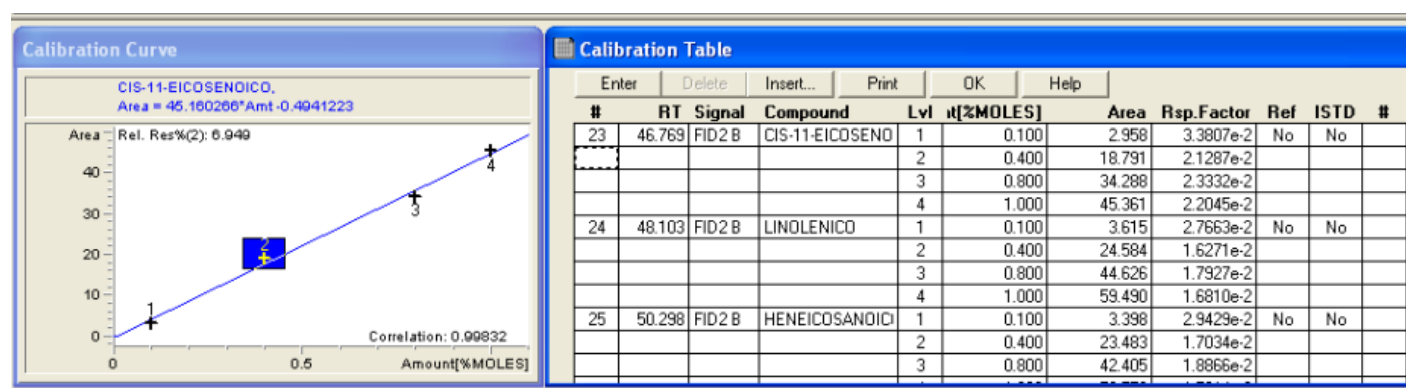
Curva de calibración del ácido linolelaídico C18:2 ω6



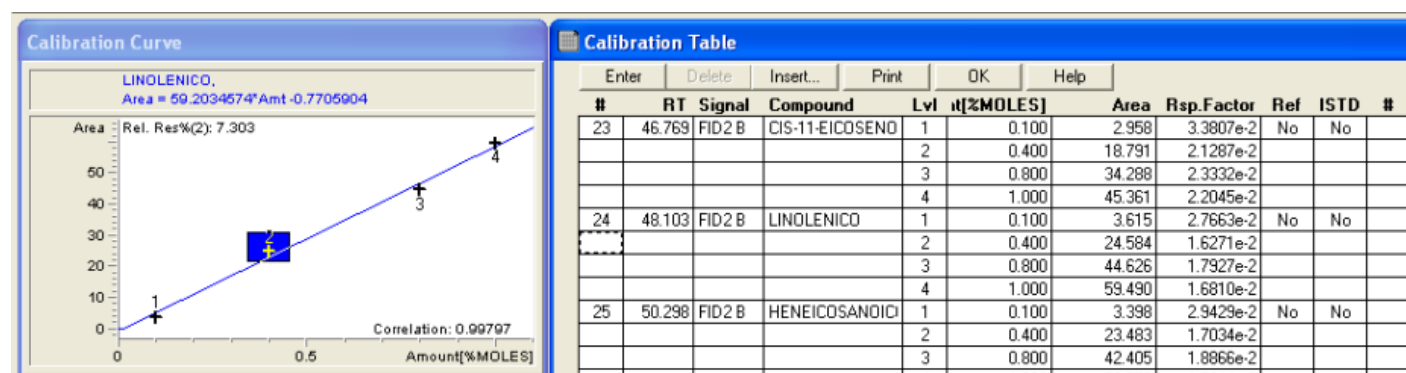
Curva de calibración del ácido linoleico C18:2 ω6

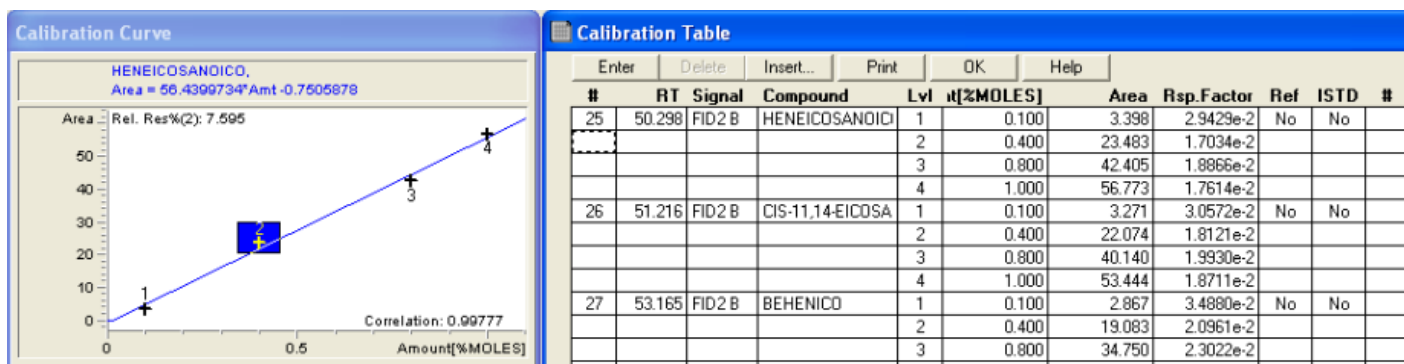


Curva de calibración del ácido araquídico C20:0

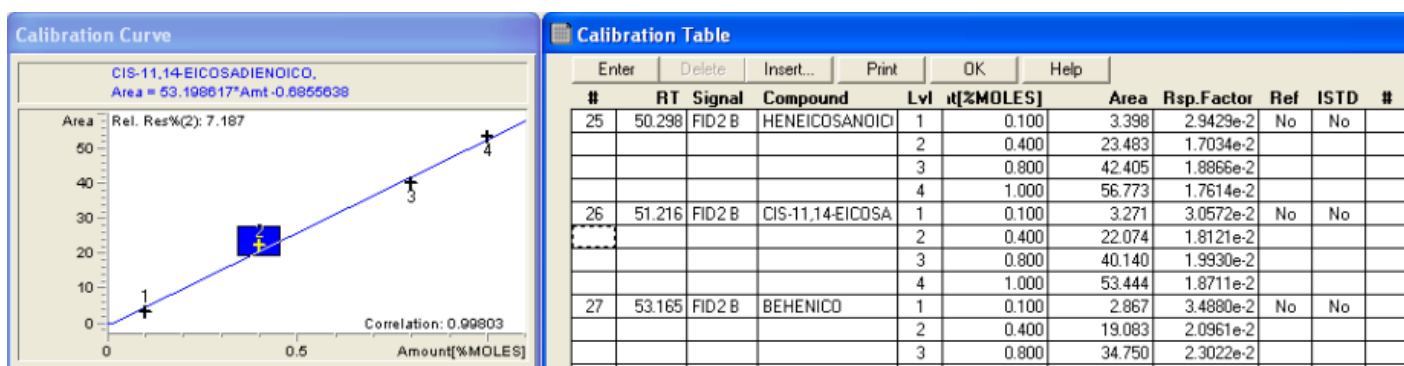
Curva de calibración del ácido  $\gamma$ -linolénico C18:3  $\omega$ 6

Curva de calibración del ácido Cis-11-eicosenónico C20:1

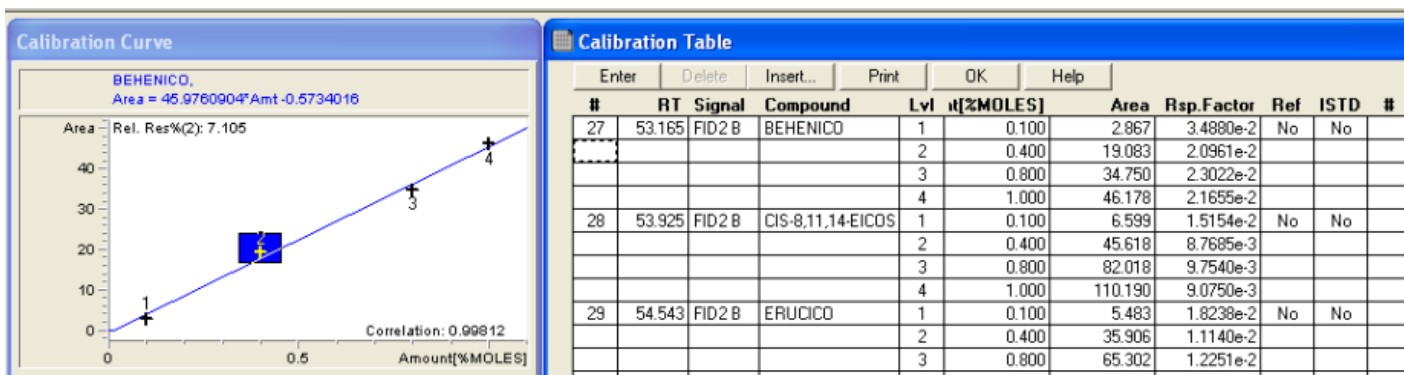
Curva de calibración del ácido linolénico C18:3  $\omega$ 3



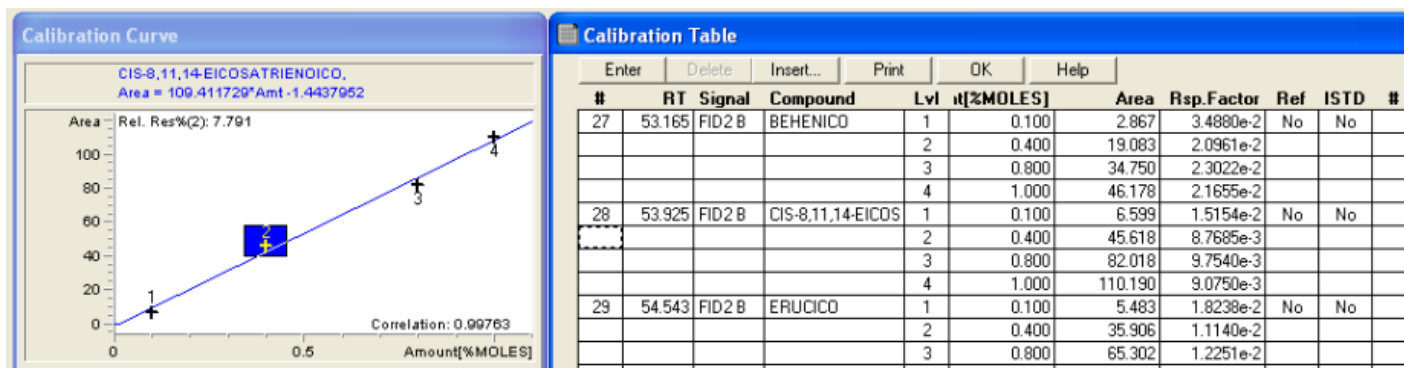
Curva de calibración del ácido heneicosanoico C21:0



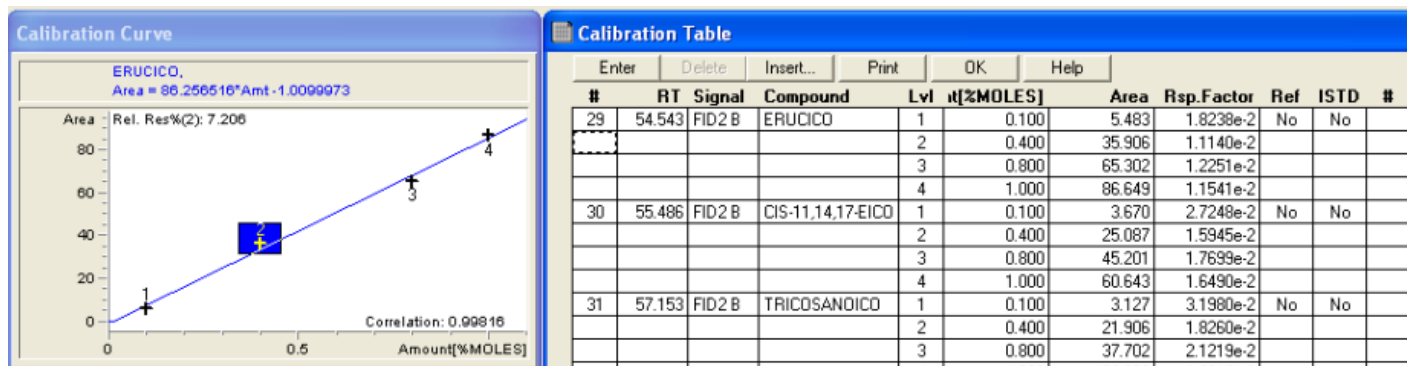
Curva de calibración del ácido Cis-11,14-Eicosadienoico C20:2



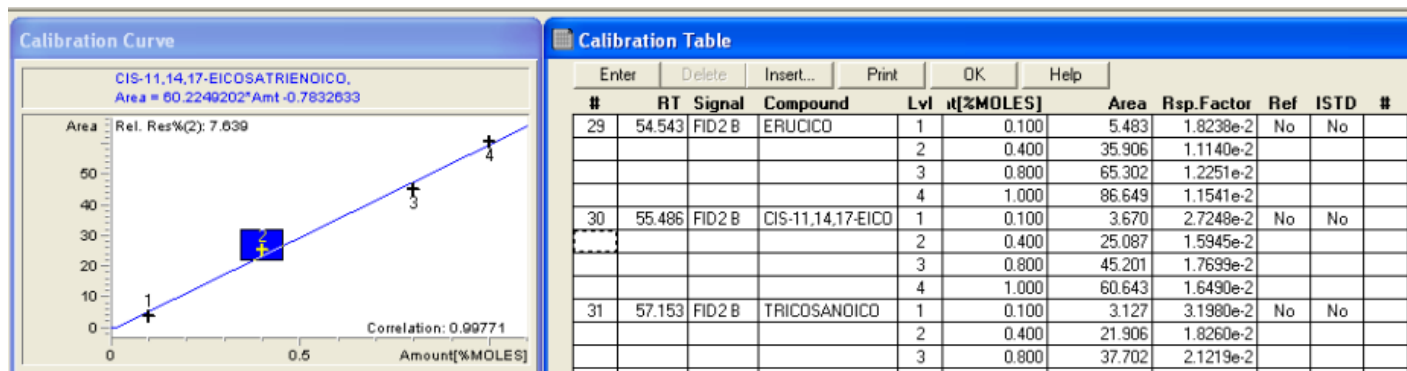
Curva de calibración del ácido behénico C22:0



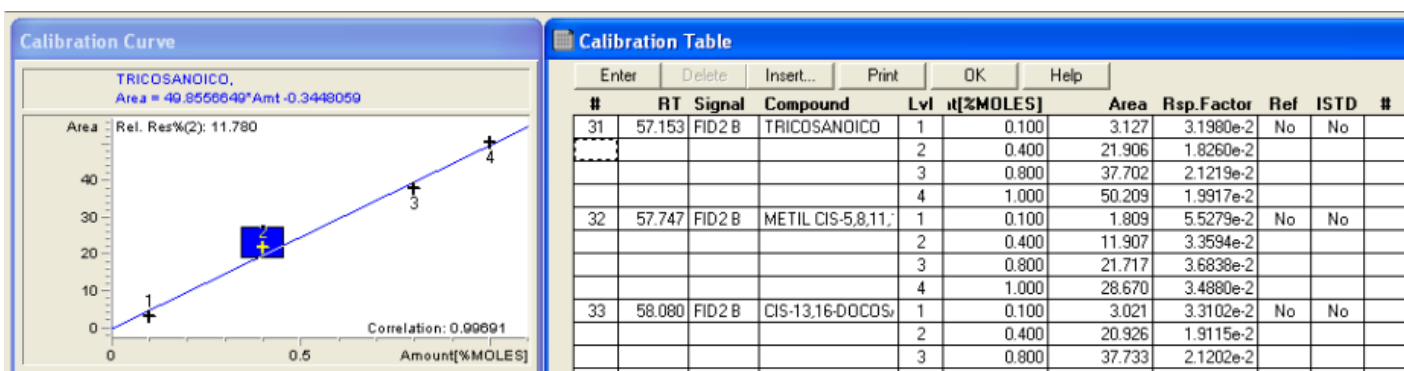
Curva de calibración del ácido Cis-8,11,14-eicosatrienoico C20:3 ω6



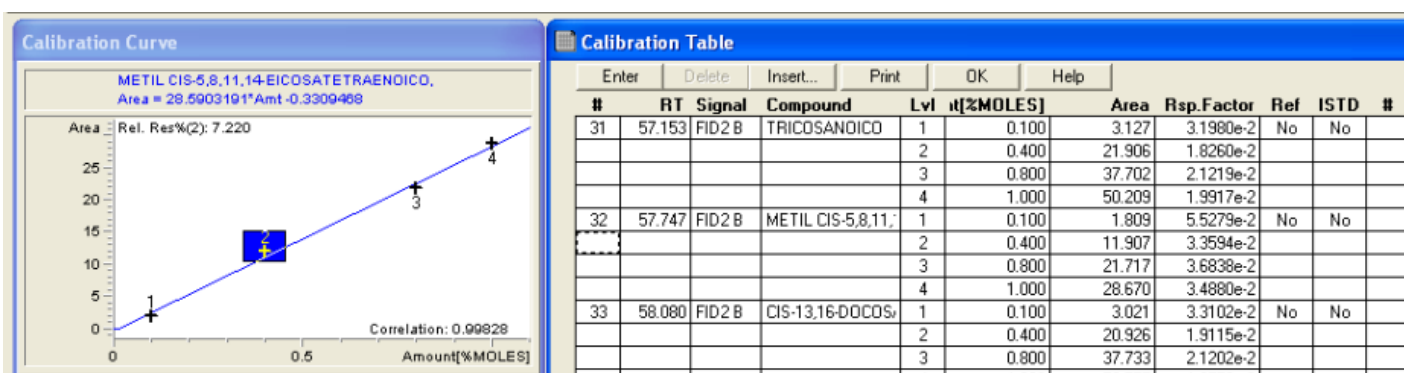
Curva de calibración del ácido erúico C22:1 ω9



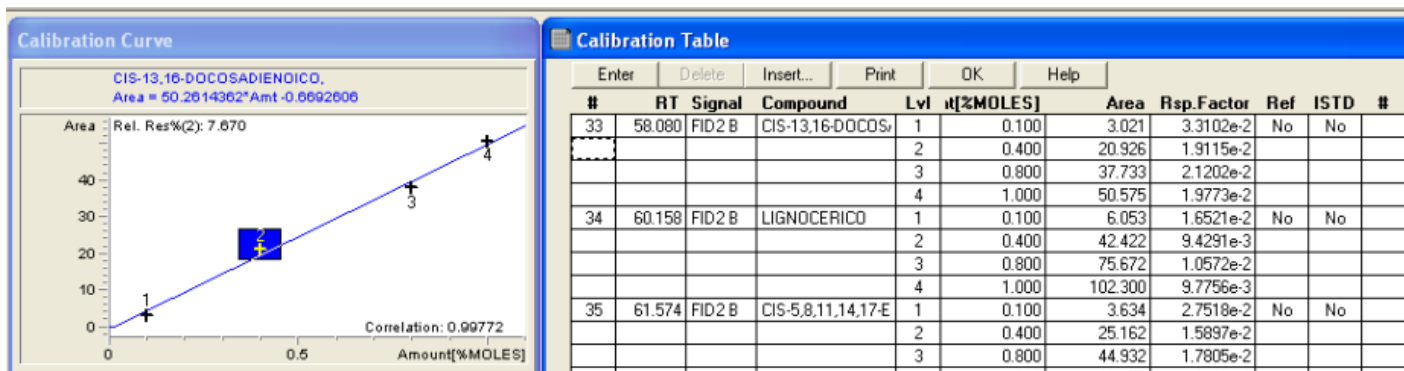
Curva de calibración del ácido Cis-11,14,17-eicosatrienoico C20:3 ω3



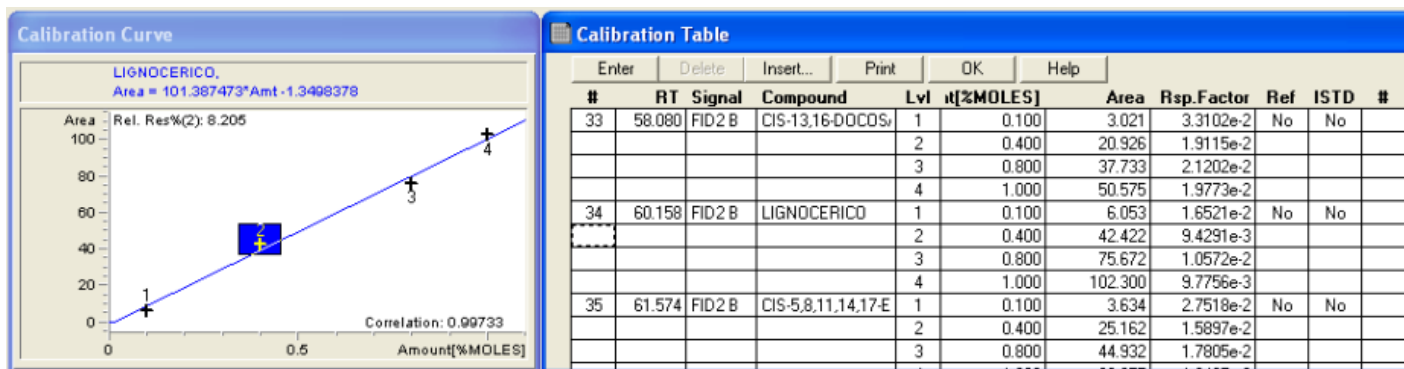
Curva de calibración del ácido tricosanoico C23:0



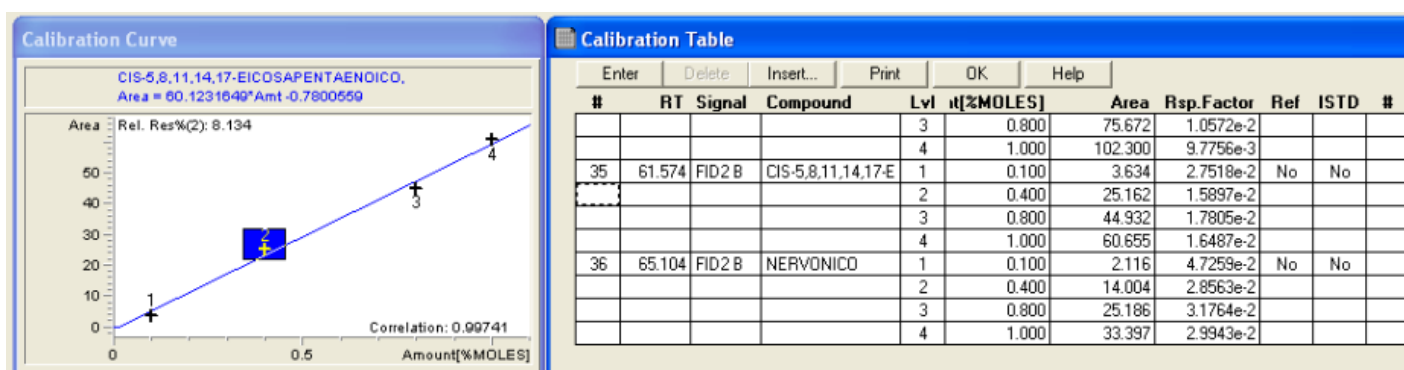
Curva de calibración del ácido Metil Cis-5,8,11,14-icosatetraenoico C20:4 ω6



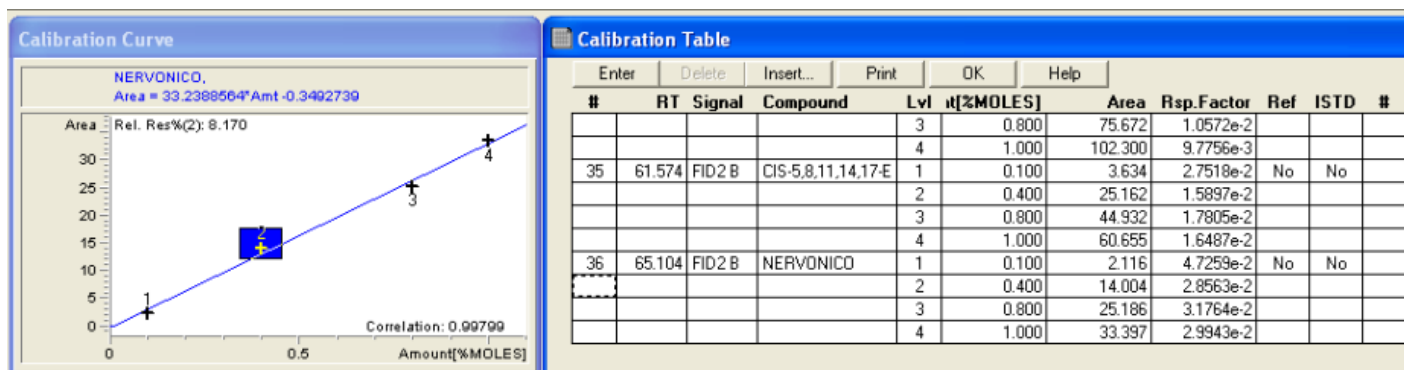
Curva de calibración del ácido Cis-13,16-docosadienoico C22:2



Curva de calibración del ácido lignocérico C24:0

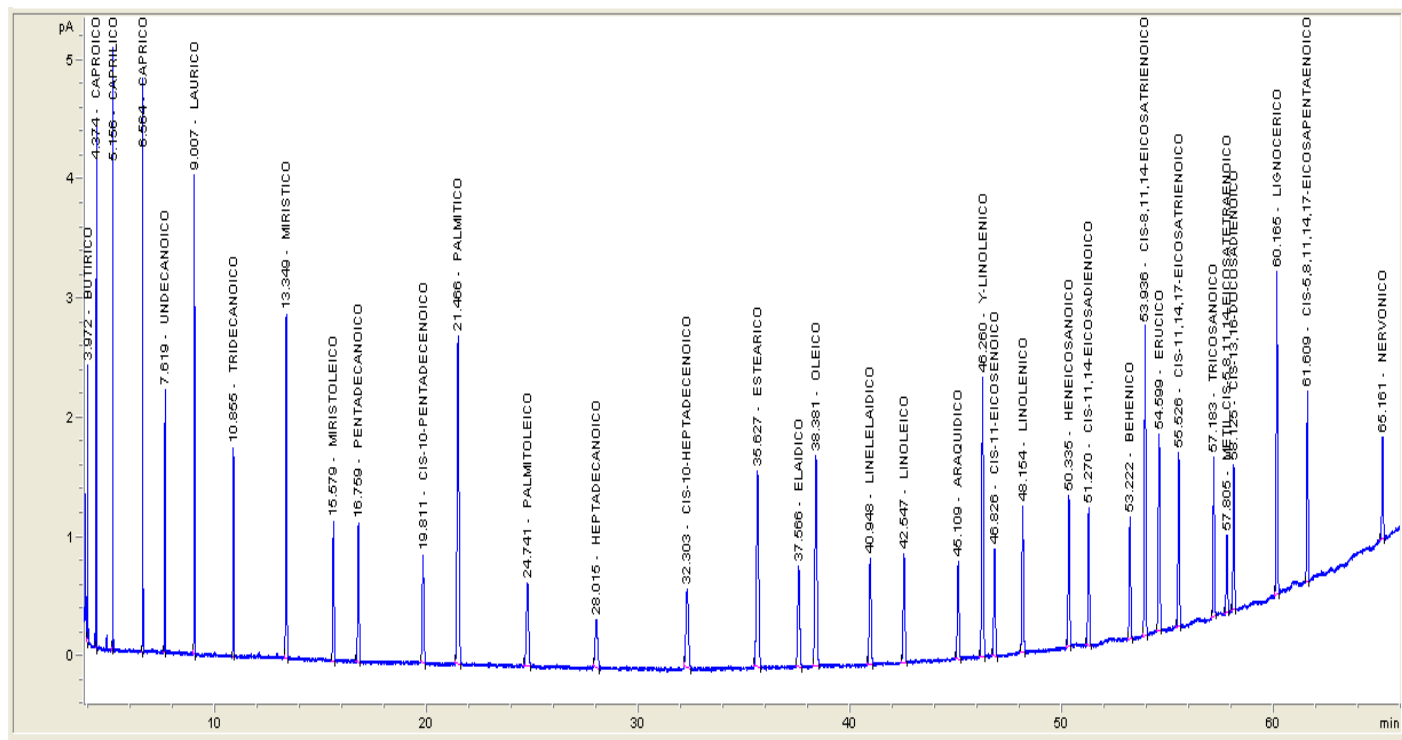


Curva de calibración del ácido Cis-5,8,11,14,17-icosapentaenoico C20:5 ω3

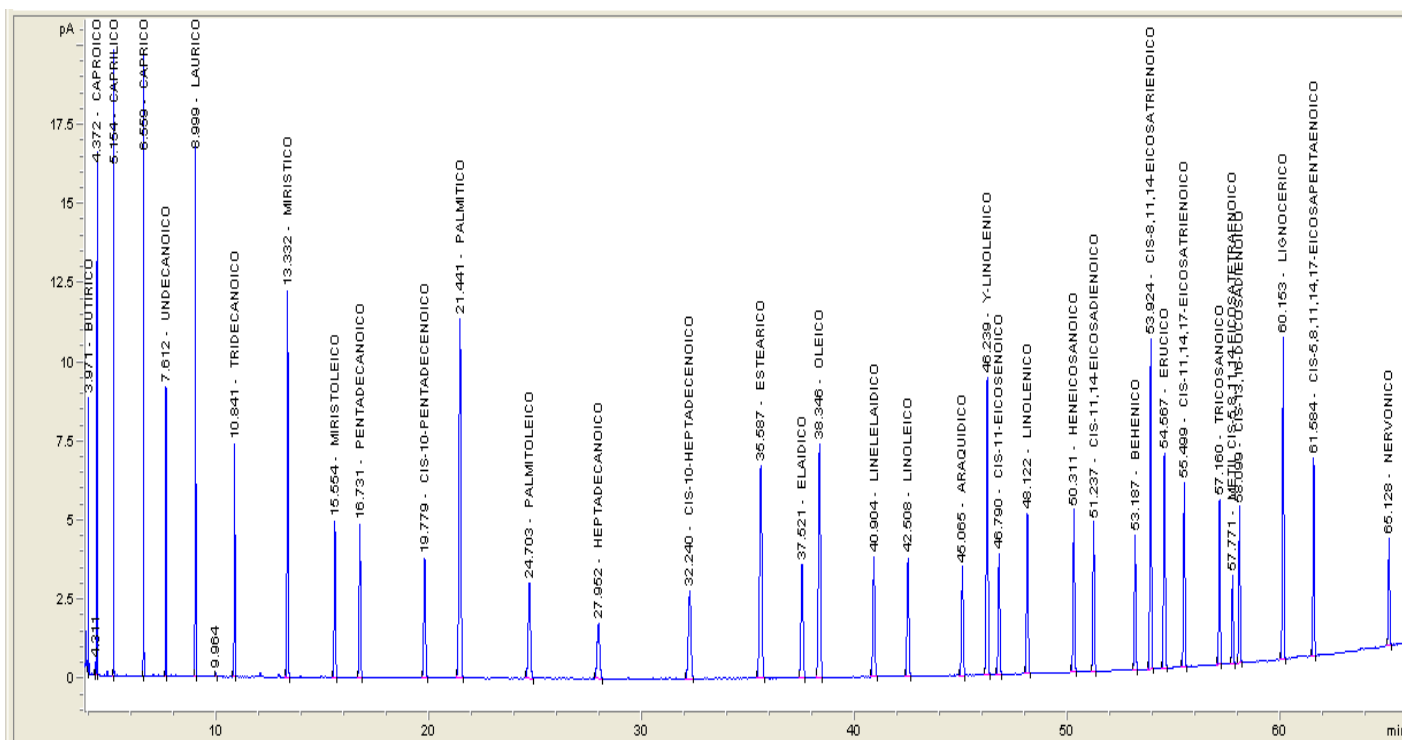


Curva de calibración del ácido nervónico C24:1

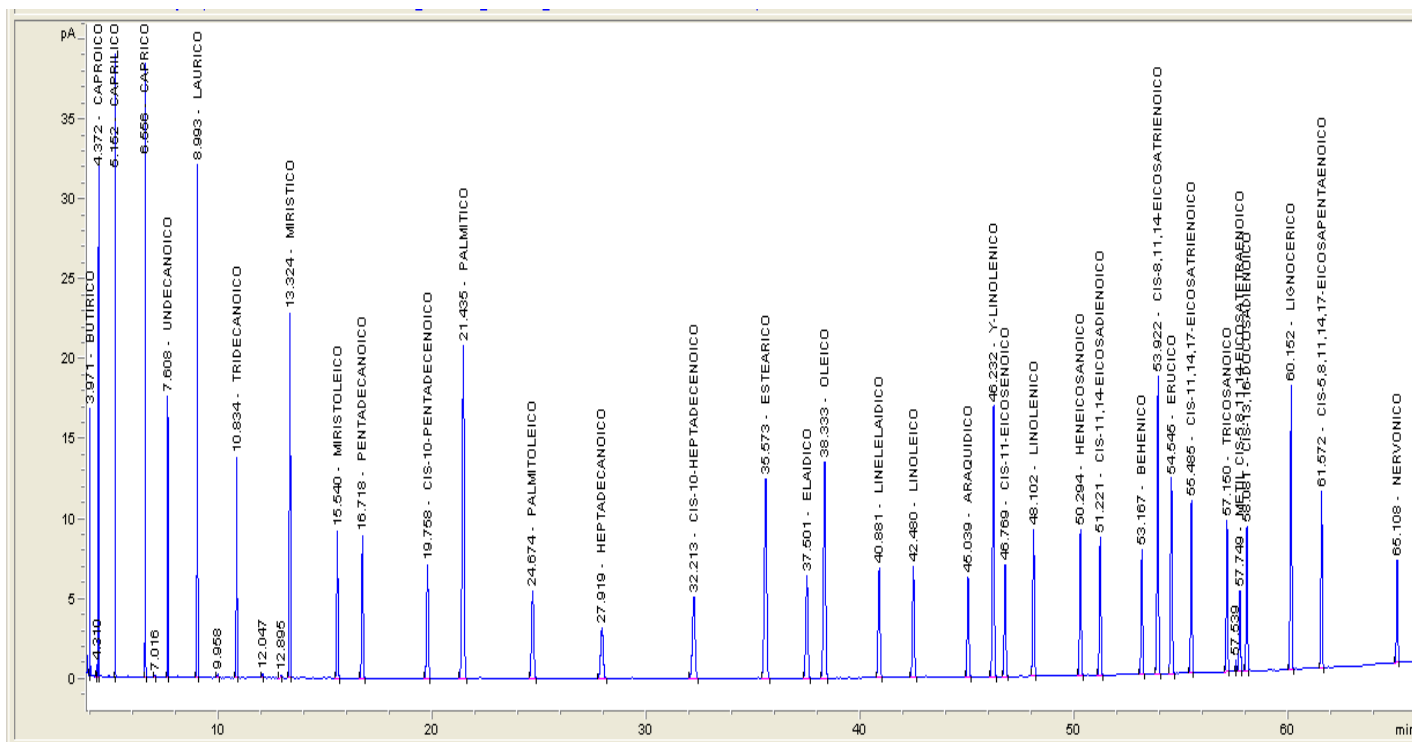
## Anexo 2. Cromatogramas de estándares de metil ésteres de ácidos grasos



Cromatograma de estándar de 1 mg/mL metil ésteres de ácidos grasos (C4-C24)



Cromatograma de estándar de 4 mg/mL metil ésteres de ácidos grasos (C4-C24)



**Cromatograma de estándar de 8 mg/mL metil ésteres de ácidos grasos (C4-C24)**

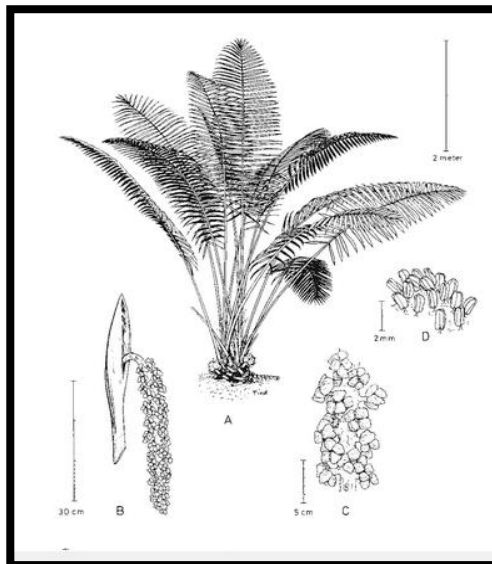
### **Anexo 3. Representación gráfica especies vegetales analizadas**



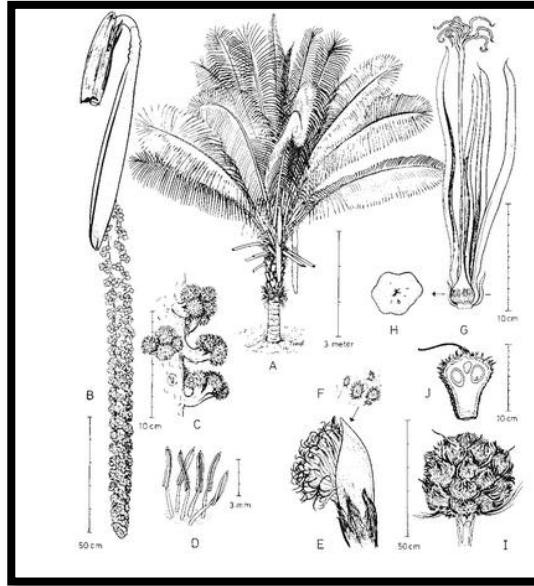
**Especie de palmera *Phytelephas aequatorialis* (Cañizo, 2011)**



Especie de palmera *Phoenix canariensis* (Cañizo, 2011)



Especie de palmera *Ammandra dasyneura* (Cañizo, 2011)



Especie de palmera *Aphandra natalia* (Cañizo, 2011).



Especie de palmera *Elaeis guineensis* (Cañizo, 2011)

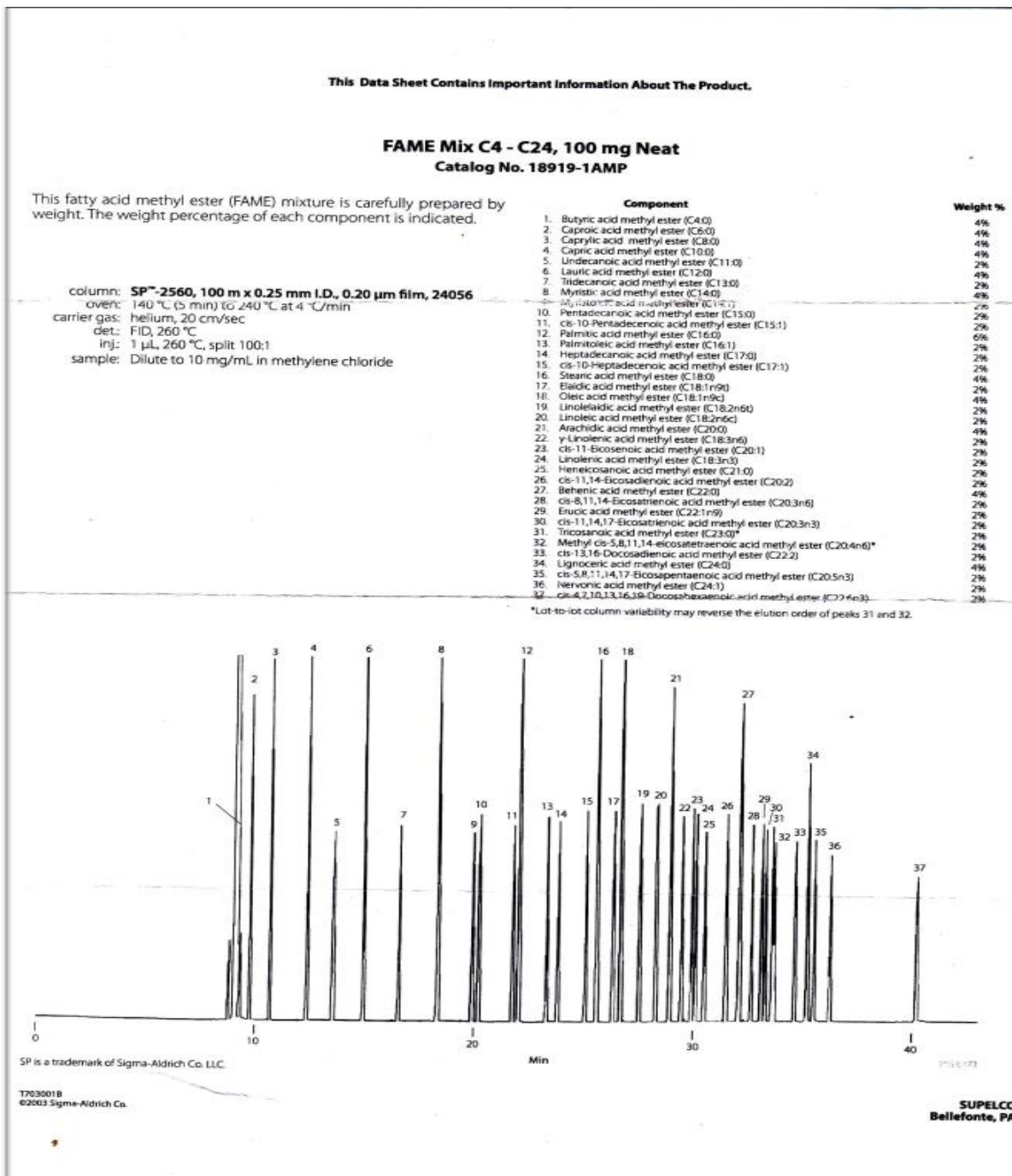


Especie de palmera *Astrocaryum chambira* (Marín, Millán y Kahn, 2012)



Especie de palmera *Socratea exorrhiza* (Ekman, 2011)

## Anexo 4. Certificado de la composición del estándar de metil ésteres de ácidos Supelco FAME-MIX C4-C24



# Certificate of Composition

DESCRIPTION: F.A.M.E. Mix, C4-C24

CATALOG NO.: 18919-1AMP  
LOT NO.: LC-24593V

MPG. DATE: Jan 2017  
EXP. DATE: Jan 2020

ANALYTE	CAS NO.	PURITY (1)	WEIGHT% (2)	SUPELCO LOT NO.
MYRISTOLEIC ACID METHYL ESTER	56219-06-8	99.3	2.04	LC24934V
CIS-10-PENTADECENOIC ACID METH	90176-52-6	99.0 (a)	1.99	LC21251
LINOLELAIDIC ACID METHYL ESTER	2566-97-4	99.9	1.99	LC21969
GAMMA-LINOLENIC ACID METHYL ES	16326-32-2	98.8	1.99	LC17723
METHYL CIS-5,8,11,14-EICOSATET	2566-89-4	99.9	1.99	LC15184
ALL CIS-4,7,10,13,16,19-DOCOSA	2566-90-7	99.9	2.00	LC06943
METHYL CIS-5,8,11,14,17-EICOSA	2734-47-6	99.9	2.00	LC10715
METHYL BUTYRATE	623-42-7	99.9	3.99	LC18522
METHYL HEXANOATE	106-70-7	99.9	3.99	LC20111
METHYL OCTANOATE	111-11-5	99.9	3.99	LC13561
METHYL DECANOATE (CAPRATE)	110-42-9	99.9	4.00	LC04160
METHYL UNDECANOATE	1731-86-8	99.5	1.99	LC03679
METHYL LAURATE	111-82-0	99.9	3.99	LB97659
METHYL TRIDECANOATE	1731-88-0	99.5	2.03	LC18832
METHYL MYRISTATE	124-10-7	99.9	3.99	LC16280
METHYL PENTADECANOATE	2432-64-1	99.6	1.99	LB84181
METHYL PALMITATE	112-39-0	99.9	6.03	LC17089
METHYL HEPTADECANOATE	1731-92-6	99.9	2.00	LC05285
METHYL STEARATE	112-61-8	99.9	3.99	LC13654
METHYL HENEICOSANOATE	6064-90-0	99.6	2.00	LC08970
METHYL BEHENATE	929-77-1	99.9	4.01	LC20287
METHYL TRICOSANOATE	2433-97-8	99.6	1.99	LC06065
METHYL PALMITOLEATE (METHYL CI	1120-25-8	99.9	2.02	LC20929
CIS-9-OLEIC ACID METHYL ESTER	112-62-9	99.9	3.98	LC22386
METHYL LINOLEATE	112-63-0	98.9	2.00	LC06225
METHYL ERUCATE (CIS-13-DOCOSEN	1120-34-9	99.5	1.99	LC24141V
METHYL NERVONATE	2733-88-2	98.4	2.02	LC17242
METHYL ARACHIDATE	1120-28-1	99.9	4.00	LC05925
METHYL LIGNOCERATE	2442-49-1	99.9	3.98	LC10925

(1) Determined by GC-FID unless otherwise noted.

(a) Resale Item.

(2) Weight percent of analyte, calculated by using analyte weights. The total may not equal 100% due to rounding. Weight concentrations may not remain stable after opening, even if resealed. NIST-Traceable weights are used to verify balance calibration with the preparation of each lot.

*Duane Funk*

Duane Funk  
Quality Manager

Supelco warrants that its products conform to the information contained in this publication. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. Please see the latest catalog or order invoice and packing slip for additional terms and conditions of sale.

Supelco is a Sigma-Aldrich Company. Sigma-Aldrich Corp. is a subsidiary of Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

**SUPELCO**  
Solutions within.™

595 North Harrison Road  
Bellefonte, PA 16823-0048 USA  
Phone (814) 359-3441

# Certificate of Composition

DESCRIPTION: F.A.M.E. Mix, C4-C24

CATALOG NO.: 18919-1AMP  
LOT NO.: LC-24593V

MFG. DATE: Jan 2017  
EXP. DATE: Jan 2020

ANALYTE	CAS NO.	PURITY (1)	WEIGHT% (2)	SUPELCO LOT NO.
TRANS-9-ELAIDIC ACID METHYL ES	1937-62-8	99.9	1.99	LC15380
METHYL LINOLENATE	301-00-8	99.0	2.00	LC22644
METHYL CIS-11 EICOSENOATE	2390-09-2	99.6	2.01	LC13359
CIS-10-HEPTADECENOIC ACID METH	75190-82-8	99.9	2.00	LC19859
CIS-11,14-EICOSADIENOIC ACID M	2463-02-7	99.9	2.00	LC13790
CIS-11,14,17-EICOSATRIENOIC AC	55682-88-7	99.3	2.00	LC20739
CIS-8,11,14-EICOSATRIENOIC ACI	21061-10-9	99.9	1.99	LC22571
CIS-13,16-DOCOSADIENOIC ACID M	61012-47-3	99.8	2.03	LC19746

(1) Determined by GC-FID unless otherwise noted.

(a) Resale Item.

(2) Weight percent of analyte, calculated by using analyte weights. The total may not equal 100% due to rounding. Weight concentrations may not remain stable after opening, even if resealed.

NIST-Traceable weights are used to verify balance calibration with the preparation of each lot.

*Duane Funk*

Duane Funk  
Quality Manager

Supelco warrants that its products conform to the information contained in this publication. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. Please see the latest catalog or order invoice and packing slip for additional terms and conditions of sale.

Supelco is a Sigma-Aldrich Company. Sigma-Aldrich Corp. is a subsidiary of Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

**SUPELCO**  
Solutions within.™

595 North Harrison Road  
Bellefonte, PA 16823-0048 USA  
Phone (814) 359-3441

**Anexo 5. Cálculo modelo del límite de detección y cuantificación para el ácido butírico**

$$y = 21.8516755x + 0.1250293$$

$$\sigma_{\frac{y}{x}} = \sqrt{\frac{(2.417 - 2.310)^2 + (9.034 - 8.866)^2 + (17.246 - 17.606)^2 + (22.187 - 21.977)^2}{(4 - 2)}}$$

$$\sigma_{\frac{y}{x}} = 0.327$$

$$C_{LD} = \frac{3\sigma}{S} ; C_{LD} = \frac{3(0.327)}{21.8516755} ; C_{LD} = 0.045 \%$$

$$C_{LQ} = \frac{10\sigma}{S} ; C_{LQ} = \frac{10(0.327)}{21.8516755} ; C_{LQ} = 0.150 \%$$

**PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)**  
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, Steven Israel Gómez Aguas, C.I. 172337168-6, autor del trabajo de graduación titulado:  
“Análisis del contenido de grasa y perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de siete especies de palmas de la Estación Científica Yasuní-PUCE por cromatografía de gases con detector de ionización de llama”, previa a la obtención del grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 20 de diciembre del 2017

Sr. Steven Israel Gómez Aguas

C.I. 172337168-6