

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



CONTENIDO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN SEMILLA DE *Pouteria sapota*
(jacq.) H.E. Moore & Stern DE DIVERSAS REGIONES AGROCLIMÁTICAS

PRESENTA

ANGELICA OLIVO RIVAS



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

"TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS AGRICOLAS"

COMITÉ TUTORIAL

DRA. BEATRÍZ GUILLERMINA ARRIETA RAMOS

DR. RAÚL MEDINA TORRES

DR. ANGEL VILLEGAS MONTER

DR. JUAN APOLINAR AGUILAR CASTILLO

XALISCO, NAYARIT. DICIEMBRE 2005

Xalisco, Nayarit, Diciembre 9 de 2015

DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
P R E S E N T E

Los que suscriben, integrantes del Comité Tutorial para asesorar la tesis titulada: **Contenido y perfil de ácidos grasos en semilla de Pouteria sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn de diversas regiones agroclimáticas**, que presenta la **C. Ing. Angelica Olivo Rivas** para obtener el grado de Maestra en Ciencias con la opción terminal en Ciencias Agrícolas. Jamos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención del grado.

Sin otro asunto que tratar reciba un saludo cordial.

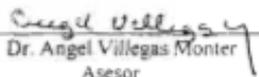
A T E N T A M E N T E



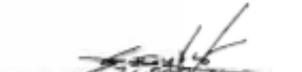
Dra. Beatriz Guillermina Arrieta Ramos
Director



Dr. Raúl Medina Torres
Co-director



Dr. Angel Villegas Monter
Asesor


Dr. Juan Apólinar Aguilar Castillo
Asesor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/288/15.

Xalisco, Nayarit, 10 de diciembre de 2015.

ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 09 de diciembre del presente, enviado por los CC. **Dra. Beatriz Guillermina Arrieta Ramos, Dr. Raúl Medina Torres, Dr. Ángel Villegas Monter y Dr. Juan Apolinar Aguilar Castillo**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza a la **C. Angélica Olivo Rivas**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p/- Expediente

Amefin

CONTENIDO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN SEMILLA DE *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern DE DIVERSAS REGIONES AGROCLIMÁTICAS

Angelica Olivo Rivas

Universidad Autónoma de Nayarit, 2015

Se determinó contenido y perfil de ácidos grasos en semillas de *Pouteria sapota* de 12 genotipos, provenientes de cuatro Estados de la República Mexicana: Guerrero (Cid2), Chiapas (árbol A, C, Lima), Veracruz (Árbol 1, 2, 5, Tío, compadre, estrellita) y Nayarit (Jesús, Chapalilla). Así, como el efecto de dos tamaños de partículas (fina < 2mm y gruesa > 2 mm) con dos métodos de extracción (soxhlet y ultrasonido). Se realizó análisis de varianza y prueba de medias por Tukey. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas para genotipo, método de extracción, tamaño de partícula y para las interacciones genotipo/método de extracción e interacción método de extracción/tamaño de partícula. La mayor cantidad de ácidos grasos (32.2 %) se obtuvo con soxhlet. Con tamaño de partícula fino (< 2mm) se obtuvo mayor recuperación de ácidos grasos (30.1 %). El genotipo con mayor contenido de ácidos grasos fue Cid 2 (47.17 %) de Guerrero. Los embriones de mayor peso fueron de Nayarit (29.57 g) presentaron 17.57 a 20.89 % de ácidos grasos. Los ácidos grasos insaturados más abundantes fueron oleico 51.12 % en Árbol C (Chiapas) a 56.72 % en Jesús (Nayarit) y saturados esteárico 28.24 % para Lima (Chiapas) hasta 32.94 % Árbol C (Veracruz). El genotipo afectó el contenido de ácidos grasos. Por lo que, es importante realizar más trabajos con

diversos genotipos, para tratar de explicar las posibles causas. Por otra parte, el método de extracción afecta el contenido de ácidos grasos extraídos de semilla de *P. sapota*, pero no el perfil. La semilla de *P. sapota* muestra potencial como alternativa para la industria, debido al alto contenido de ácido oleico, el cual es deseable en términos de nutrición y por la estabilidad en el proceso de freído.

Palabras Clave: extracción asistida por ultrasonido, soxhlet, tamaño de partícula, *Pouteria sapota*.

**Fatty Acid Content and Profile in *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern
Seeds from Several Agroclimatic Regions**

Angelica Olivo Rivas

Universidad Autónoma de Nayarit, 2015

The fatty acid content and profile was determined in the seeds of 12 genotypes of *Pouteria sapota*, from four states in the Mexican Republic: Guerrero (Cid2), Chiapas (tree A, C, Lima), Veracruz (tree 1, 2, 5, Tio, compadre, estrellita), and Nayarit (Jesus, Chapalilla). Also, the effect of two particle sizes (fine <2mm and coarse >2mm) with two extraction methods (soxhlet and ultrasound) were tested. A variance analysis and a Tukey mean test were done. The variance analysis showed highly significant statistical differences for genotype, extraction method, particle size, and the genotype/extraction method and extraction method/particle size interactions. The highest amount of fatty acids (32.2%) was obtained using soxhlet. Using the fine (<2mm) particle size, the greater fatty acid recuperation (30.1%) was obtained. The genotype with the highest content of fatty acids was Cid2 (47.17%) from Guerrero. The embryos with the highest weight were those from Nayarit (29.57 g) with 17.57 to 20.89% fatty acids. The most abundant unsaturated fatty acid was oleic acid, 51.12% in Tree C (Chiapas) to 56.72% in Jesus (Nayarit), while the most abundant saturated acid was stearic acid, 28.24% for Lima (Chiapas) to 32.94% Tree C (Veracruz). Genotype affected fatty acid content. Therefore, it is important to carry out further research with diverse genotypes to try to explain the possible causes. On the other hand, the extraction method affects the content of fatty acids extracted from *P. sapota*

seeds, but not their profile. The *P. sapota* seed shows potential as an alternative for industry given its high content of oleic acid, which is desirable regarding nutrition and its stability in the frying process.

Key words: ultrasound assisted extraction, soxhlet, particle size, *Pouteria sapota*.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, por ser mi guía contaste.

A mis padres Silvestre Olivo Guerrero y Antonia Rivas Valenzuela, muchas gracias papás porque sus consejos me ayudaron a tomar decisiones correctas, porque sus esfuerzos han hecho que no me falte nada y porque su amor me ha enseñado a lograr una meta más en mi vida.

A mis hermanos: Sandi, Marisol, Jazmín, Selene y Dulce por todo el cariño y apoyo incondicional brindado para conseguir este logro.

A mi esposo Marco Antonio Nieves Valeriano por tu amor, paciencia y apoyo durante todo este tiempo.

Angelica

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nayarit por darme la oportunidad de crecer mediante mi formación académica en esta titulación.

Al Colegio de Posgraduados por darme la oportunidad de realizar la investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo recibido durante el estudio de Maestría.

A la Red de Recursos Genéticos y productividad de México (REDGENMEX AC) por el financiamiento para llevar a cabo la presente investigación.

Al Dr. Angel Villegas Monter por su apoyo en la realización de la presente tesis, por su paciencia, dedicación y sugerencias durante el trascurso de la investigación.

A la Dra. Beatriz Guillermina Arrieta por la dirección en la realización de la presente tesis, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. Abel Muñoz y Juan Apolinar Castillo por sus observaciones y sugerencias en estadística para mejorar el presente estudio.

Al Dr. Marco Soto, la Dra. María Magdalena Crosby e I.Q. Margarita Crosby por su disposición y apoyo brindado durante la investigación.

Al Dr. Raúl Medina Torres por su apoyo en los seminarios y en la investigación.

A los productores de Nayarit, Guerrero, Veracruz, Chiapas por permitirme trabajar con sus materiales y contar con su apoyo.

A mis amigos (as) y a todas aquellas personas que me brindaron su amistad y estuvieron conmigo durante el proceso de crecimiento y formación.

Angelica

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS HIPÓTESIS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Recursos Fitogenéticos.....	5
Valor agregado de los recursos genéticos.....	5
El mamey como recurso genético.....	6
El Mamey.....	7
Importancia económica de mamey.....	7
Usos.....	8
Descripción botánica.....	10
Selecciones de mamey.....	12
Diversidad de mamey.....	13
Requerimientos edafoclimáticos.....	14
La semilla.....	14
Desarrollo de la semilla.....	14
Importancia económica de las semillas.....	15
Tejidos de almacenamiento en la semilla.....	16
Sustancias de almacenamiento en la semilla.....	16
Almacenamiento de ácidos grasos en la semilla.....	18
Tipos de lípidos de almacenamiento.....	19
Ácidos grasos.....	20
Importancia de los ácidos grasos.....	21
Factores que afectan el contenido de ácidos grasos en la semilla.....	21
Ambientales.....	22
Genotipo.....	22
Extracción de ácidos grasos.....	24
Factores que afectan la recuperación de ácidos grasos.....	25
Método de extracción.....	25
Extracción por solvente.....	25
Soxhlet.....	28
Ultrasonido.....	29
Secado de la muestra.....	29
Tamaño de partícula.....	30
Ácidos grasos en mamey.....	31

MATERIALES Y MÉTODOS	34
Material vegetal.....	34
Secado de la muestra.....	35
Tamaño de partícula.....	36
Extracción de ácidos grasos.....	37
Obtención de los metil ésteres de los ácidos grasos extraídos de mamey.....	39
Perfil de ácidos grasos.....	40
Tratamientos y diseño experimental.....	41
Análisis estadístico.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
Contenido de ácidos grasos.....	42
Perfil de ácidos grasos.....	48
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
APÉNDICE	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Contenido nutrimental en 100 g de pulpa de zapote mamey.....	9
2	Variables más utilizadas en la caracterización de zapote mamey (Pouteria sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn), en el suroeste del estado de Morelos.....	13
3	Ubicación geográfica de los genotipos de mamey.....	34
4	Análisis de varianza factorial por método de extracción y tamaño de partícula en la extracción de ácidos grasos en semilla de 12 genotipos de zapote mamey.....	42
5	Contenido de ácidos grasos en semillas de zapote mamey extraídos por dos métodos y tamaños de partículas.....	43
6	Contenido de ácidos grasos extraído por dos métodos en 12 genotipos de zapote mamey.....	45
7	Composición de ácidos grasos obtenidos en 12 genotipos de zapote mamey.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Estructura de una molécula de triglicérido (Srivastava y Prasad, 2000).....	17
2	Triturado de muestra seca de zapote mamey en mortero.....	36
3	Tamaño de partículas (fina < 2mm y gruesa > 2 mm).....	36
4	Proceso de extracción de ácidos grasos por soxhlet.....	38
5	Proceso de extracción de ácidos grasos por ultrasonido.....	39
6	Interacción entre método de extracción/tamaño de partícula (fino <2 mm; grueso >2 mm).....	47
7	Interacción entre genotipo/método de extracción en el contenido de ácidos grasos en semilla de zapote mamey.	48

ÍNDICE DE CUADROS EN EL APÉNDICE

Cuadro	Descripción	Página
A1.	Perfil de ácidos grasos obtenidos por soxhlet en 12 genotipos de zapote mamey.....	67
A2.	Perfil de ácidos grasos obtenidos por ultrasonido en 12 genotipos de zapote mamey.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS EN EL APÉNDICE

Figura	Descripción	Página
A.1	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol A (Chiapas) extraídos por soxhlet.....	68
A.2	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Lima (Chiapas) extraídos por soxhlet.....	68
A.3	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol C (Chiapas) extraídos por soxhlet.....	69
A.4	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Cid 2 (Guerrero) extraídos por soxhlet.....	69
A.5	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Chapalilla (Nayarit) extraídos por soxhlet.....	70
A.6	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Jesús (Nayarit) extraídos por soxhlet.....	70
A.7	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 1 (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	71
A.8	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 2 (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	71
A.9	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 5 (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	72
A.10	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Compadre (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	72
A.11	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Tío (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	73
A.12	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Estrellita (Veracruz) extraídos por soxhlet.....	73
A.2	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol A (Chiapas) extraídos por ultrasonido.....	75
A.3	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Lima (Chiapas) extraídos por ultrasonido.....	75

A.4	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol C (Chiapas) extraídos por ultrasonido.....	76
A.5	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Cid 2 (Guerrero) extraídos por ultrasonido.....	76
A.6	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Chapalilla (Nayarit) extraídos por ultrasonido.....	77
A.7	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Jesús (Nayarit) extraídos por ultrasonido.....	77
A.8	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 1 (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	78
A.9	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 2 (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	78
A.10	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 5 (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	79
A.11	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Compadre (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	79
A.12	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Tío (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	80
A.13	Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Estrellita (Veracruz) extraídos por ultrasonido.....	80

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey (*Pouteria sapota*) es originario del Sur de México y América Central, en México se considera un importante recurso fitogenético debido a que el fruto se utiliza para consumo en fresco y forma parte de la vegetación nativa de la selva en el Sureste del país (Pennington, 1990); se distribuye desde el Nayarit hasta Chiapas en el Pacífico y desde Tamaulipas hasta Campeche en el Golfo de México, donde se le encuentra en forma silvestre y cultivado en asociación con otros frutales (Villegas y Mora, 2008).

La importancia de zapote mamey radica en el valor comercial de sus frutos y uso en la alimentación humana. El fruto es considerado exótico y debido a sus características organolépticas y nutricionales se consume en fresco (Azurdia, 2006). Además, de la semilla se extraen ácidos grasos, utilizados en productos farmacéuticos, como ungüentos, y en la industria cosmética para: perfumería, jabones, cremas y acondicionadores para el cabello (Solís *et al.*, 2001; 2003). También, se ha realizado producción experimental de biocombustible a partir de aceite de semillas de zapote mamey (Laiz *et al.*, 2009).

El contenido de ácidos grasos de la semilla de zapote mamey fluctúa entre 40 y 60 % de lípidos, puede ser utilizada como fuente potencial no convencional de ácidos grasos, ya que hasta la fecha es un residuo del procesamiento industrial y del consumo doméstico (Solís *et al.*, 2001; Laiz *et al.*, 2009). Sin embargo, no se encontró información con relación a la variación en el contenido de ácidos grasos debido al

genotipo y origen; a pesar de la importancia que tienen, tal como se ha observado en otras especies (Grosso *et al.*, 2002).

Otro aspecto importante, con relación a las semillas de zapote mamey, es el perfil de ácidos grasos. Solís y Durán de B (2003) encontraron que contiene del total de ácidos grasos, 40 % de ácidos saturados (esteárico, palmítico, y en cantidades menores araquídico y behénico), 50% de monoinsaturados (oleico) y alrededor del 8% de poliinsaturados (linoleico). En 2005, estos autores estudiaron la pulpa de fruto, señalan que esta especie es de interés para la industria alimenticia debido a que contiene 11.3 % de proteína, 27.7 % de fibra y 44.4 % de lípidos; además, por cada 100 g de aceite corresponden: 8.71 g de ácido palmítico, 34.41 g esteárico, 47.06 g oleico y 5.12 g linoleico.

Solís *et al.* (2015) determinaron el contenido de aceites en base húmeda, en frutos inmaduros y en base seca de frutos maduros de zapote mamey, y encontraron menor cantidad de lípidos (28.31 %) en la etapa de inmadurez fisiológica; mientras que, en frutos maduros los lípidos presentaron 44.41 % en promedio. Los ácidos grasos presentes en frutos fueron: linoleico, palmítico, esteárico y oleico 5.6, 10.7, 26.5 y 53.5 g de FA 100 g⁻¹, respectivamente; mientras que en semillas de frutos inmaduros fue de 10.7, 10.5, 28.6, y 48.6 g de FA 100 g⁻¹.

Es importante señalar que en este trabajo la cuantificación y determinación de tipos de ácidos grasos se realizó utilizando semilla de genotipos de origen desconocido.

Es posible que los propietarios de los árboles realicen la selección, tomando en cuenta calidad de pulpa, y el tamaño de fruto, e ignoran el contenido y tipo de ácidos grasos de

la semilla. Para ello, es necesario destacar la importancia de estos recursos fitogenéticos, para evitar la eliminación de materiales con potencial y que se pierda parte de la variabilidad genética (Hernández y González, 2010). Además, puede representar una alternativa para el desarrollo agrícola, como fuente de materia prima para la industria. Con base a lo anterior se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Determinar contenido y perfil de ácidos grasos en semillas de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern], de cuatro Estados de la República Mexicana, con dos métodos de extracción y dos tamaño de partícula.

Objetivos específicos

- Determinar contenido y perfil de ácidos grasos en semillas de 12 genotipos de mamey.
- Evaluar dos tamaños de partícula con dos métodos de extracción de ácidos grasos en el contenido.

Hipótesis

- El contenido y perfil de ácidos grasos está definido por el genotipo.
- El tamaño de partícula y el método de extracción influyen en el rendimiento de ácidos grasos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Recursos Fitogenéticos

Los recursos fitogenéticos son la base de la seguridad alimentaria y están relacionados con el género humano, no solo para la supervivencia, sino para el desarrollo cultural y social, por lo que se han convertido en una prioridad científica, sobre todo aquellos poco estudiados y con potencial (Nuñez *et al.*, 2004).

La diversidad genética de plantas no se produce al azar, es un proceso selectivo preferentemente localizado en áreas específicas (Picca *et al.*, 2004). Mesoamérica es un centro de diversidad genética, el hogar de un número significativo de especies poco conocidas (silvestres y cultivadas), y ampliamente reconocidas como plantas útiles para la población. Hoy en día estas especies están en peligro de extinción ante la degradación de su ambiente natural y desarrollo de sistemas de producción basado en alta tecnología (Hernández, 2013).

La variabilidad genética es fundamental en diversos ambientes, cuanto mayor sea el número de especies presentes dentro de un ecosistema, mayor será la probabilidad de algunos individuos puedan enfrentar condiciones variables con éxito (adaptación al cambio climático) (Berretta *et al.*, 2010). Por lo que es necesario concientizar para realizar conservación de los recursos naturales.

En la actualidad, los esfuerzos se han concentrado en técnicas de conservación *ex situ*, éstas se deben complementar con aquellas *in situ*. Esta última se realiza protegiendo el material vegetal del sitio donde crece de manera natural (Borys y Leszczyńska, 2001),

sin embargo, es necesario considerar que: "*La conservación racional tanto in situ como ex situ de los recursos fitogenéticos empieza con el estudio y preparación del inventario de los recursos existentes*" (Hernández, 2013).

Valor agregado de los recursos genéticos

Dar valor agregado consiste en toda acción tendiente a agregarle valor al recurso, para lo cual es necesario conocerlo, caracterizarlo, evaluarlo y explorar nuevas alternativas de uso. El desarrollo de germoplasma específico para atender nichos de mercados especializados es una forma de dar valor agregado. Los nuevos desafíos que plantea la agricultura pueden ser atendidos de manera diferente, a través del uso de recursos fitogenéticos de nuevas especies o especies ya conocidas que pueden ser utilizadas con distintos objetivos, en este sentido, se necesitará explorar germoplasma que se adapte a sistemas agrícolas con restricciones o exigencias diferentes. Algunas de estas necesidades incluyen entre otros, la exploración de cultivos alternativos para nuevos productos, como es el caso de los biocombustibles, sin afectar la disponibilidad de alimentos (Paredes *et al.*, 2010).

El mamey como recurso genético

El mamey forma parte de los recursos fitogenéticos de México, ésta especie fue utilizada por los nativos de las culturas mesoamericanas para la alimentación humana, medicinal y maderable (Azurdia, 2006).

El centro de origen de ésta especie está ubicado en el sur de México y América Central (Yucatán, Belice, Guatemala, Norte de Honduras y Nicaragua) (Pennington, 1990; Granados, 1995); en México, actualmente se distribuye desde el estado de Morelos hasta Chiapas y Yucatán, en donde se le puede encontrar en forma silvestre y cultivado en asociación con otros frutales, y fue introducido a países del continente americano como: Brasil, Cuba, Puerto Rico, Estados Unidos, y países asiáticos como Malasia, Filipinas e Indonesia (Nascimento *et al.*, 2008).

En México, el mamey presenta diversidad genética amplia y hay necesidad de caracterizar los materiales sobresalientes para ser aprovechados (Rodríguez *et al.*, 2012), así como generar variedades que favorezcan al cultivo, ya que tiene potencial económico y en muchas regiones es una alternativa para la diversificación de la agricultura con desarrollo agroindustrial de alto valor comercial (Dominguez *et al.*, 2010).

El mamey

Importancia económica de mamey

En México existen pocas huertas comerciales de zapote mamey. Esta situación se refleja en escasas estadísticas oficiales que hagan referencia a aspectos como su distribución, la superficie cultivada e importancia económica; como sucede en otros frutales tropicales más tecnificados como mango, aguacate, papayo, etc. (Villegas *et al.*, 2005).

En Yucatán se cultivan dos selecciones principales: Magaña 1 y 2, provenientes de selecciones del Sr. Carlos Magaña aunque hay más de 11 (Cituk *et al.*, 2008).

Para 2014 se reportaron 1,251 ha cultivadas, de las que se cosecharon 13,089.50 t de fruta, en ese año las entidades federativas con mayor superficie y producción fueron Yucatán (492.5 ha), Guerrero (390.5 ha), Michoacán (234.5 ha) y Chiapas (134 ha). (SIACON, 2014).

Usos

El zapote mamey es una especie con potencial como fuente de materias primas. Está fruto, es apreciado por sus características organolépticas (Solís y Durán de B, 2005).

El uso más frecuente del zapote mamey es para consumo en fresco como fruta de temporada, y es también excelente para confeccionar batidos, helados, jaleas y conservas (Azurdía, 2006; Orfanedes *et al.*, 2012). Recientemente se ha comercializado como concentrado o pasta, los cuales tienen buena aceptación entre los consumidores (Díaz *et al.*, 2008). El fruto destaca por su valor nutrimental, contenido energético alto que en madurez fisiológica presenta sólidos solubles totales mayores a 32 % (Alía *et al.*, 2002). También contiene carotenoides (Vitamina A), minerales (calcio y potasio), así como buena cantidad de aminoácidos, etc., los cuales favorecen la digestión (Solís y Durán de B, 2005). En el Cuadro 1, se detalla el contenido nutrimental del mamey. El contenido de proteína (Cuadro 1) es mayor que en aguacate (1.5 g), plátano y banano, (1.1g), así como la naranja y guayaba (1.0 g). De igual manera supera en carbohidratos a casi todas las especies indicadas, respecto del contenido de grasas; con excepción del aguacate (15 g), supera a las demás especies

que tienen de 0.2 a 0.4 g. otro aspecto que destaca, es el contenido de potasio, vitamina A, triptófano, metionina y lisina que son elevados en relación con otros frutales de importancia económica y comercial (Villegas et al., 2005).

Cuadro 1. Contenido nutrimental en 100 g de pulpa de zapote mamey.

Calorías	107-133.0 Kcal
Proteínas	1.70-1.90 g
Grasas	0.50 g
Carbohidratos	28.00-34.00 g
Fibra	1.40-3.20 g
Vitamina A	60.00-90.00 U. I.
Tiamina	0.01-0.04 mg
Riboflavina	0.02-0.04 mg
Niacina	1.51-2.58 mg
Ácido ascórbico	20.00-40.00 mg
Triptófano	19.00 mg
Metionina	12.00 mg
Lisina	90.00 mg
Calcio	38.00-46.00 mg
Fósforo	28.00-121.00 mg
Hierro	1.00-2.62 mg
Sodio	6.00 mg
Potasio	226.00 mg
Cenizas	0.70-1.20 g

Fuente: Morton, 1987; Balerdi *et al.*, 1996.

Existen algunos reportes del uso medicinal para disolver cálculos renales, reumatismo y desórdenes digestivos (Azurdía, 2006), la madera consistente y rojiza es utilizada para fabricar muebles finos y el látex en algunos lugares se emplea para remover verrugas, hongos de la piel; tiene valor comercial para la industria (Laiz *et al.*, 2009; Niembro *et al.*, 2010).

En México y Centro América se utilizan semillas molidas para dar sabor amargo y aroma característico al chocolate y téjate; mientras que, Costa Rica las usaron durante la colonia para pisar la ropa blanca (Morera, 1994); y, los ácidos grasos extraídos de la

semilla son utilizados en la industria cosmética; como fuente de esencias para perfumería, jabones, cremas, acondicionadores para el cabello y productos farmacéuticos; ungüentos, sedantes para los ojos y oídos, entre otros productos (Solís *et al.*, 2001; 2003) e incluso se ha realizado la producción experimental de biocombustible a partir de aceite de mamey (Laiz *et al.*, 2009).

Descripción botánica

El zapote mamey pertenece a la familia de las Sapotáceas. El árbol llega a tener hasta 50 m de altura, con 1 m de diámetro del tronco. La copa del árbol puede tener forma piramidal, cónica, cilíndrica o circular; con ramas gruesas y follaje denso (Azurdía, 2006). Son árboles excelentes para patios y jardines debido a su follaje brillante y atractivo (Orfanedes *et al.*, 2012). Las hojas tienen forma ovalada o lanceolada y se concentra en el ápice de las ramas con ápice obtuso o redondo, a veces apiculado, y base aguda. En el lado adaxial son de color verde oscuro y brillantes; en el abaxial son de color más claro, con nervaduras laterales prominentes y reticuladas perpendiculares a las laterales; pueden medir de 10 a más de 30 cm de largo y 3-8 cm de ancho (Ibarra, 2005). Miramontes *et al.* (2011) encontraron que en Alpoyeca, Guerrero, el promedio de longitud de las hojas evaluadas fue 15.4 cm y 3.9 cm de ancho; y que el crecimiento vegetativo, en las partes apicales del brote, lugar donde se ubica las hojas en la selección 'Magaña 1' fue la que presentó mayor crecimiento (72 cm), seguida por 'Magaña 2' (65 cm) y finalmente 'El Regaio' con 62 cm. También observaron que las hojas caen al final de cada ciclo en árboles adultos.

En las Sapotáceas las flores aparecen comúnmente en inflorescencias compactadas, aunque también pueden ser solitarias, son pequeñas, bisexuales, actinomorfas, hipogíneas. Las flores presentan 4 a 5 y hasta 12 sépalos libres, o ligeramente fusionados en la parte basal e imbricados y en dos verticilos de 2, 3 y hasta 4 verticilos, que normalmente no persisten en el fruto; de 4 a 8 pétalos se alternan con los sépalos; 4 a 25 estambres, dispuestos en 1 a 3 verticilos y fusionados en la parte basal, pero en raras ocasiones se encuentran libres. El gineceo es supero con 1 y hasta 30 carpelos con un óvulo por cada lóculo, unido por una placentación basal; el estigma es capitado a ligeramente lobular y los estilos se encuentran fusionados (Cronquist, 1981).

El fruto es una baya, pesa entre 0.3 y 2.7 kg; son de forma redonda, ovoide o elíptica con epicarpio (cáscara) rugosa, leñosa y firme de color café oscuro con apariencia de corteza. La pulpa del fruto maduro puede ser de color rosa-salmón, naranja, rojo, rojo-oscuro, con fibras, la textura varía entre suave y uniforme a finamente granulada (Alcántar, 2006). El mesocarpio es dulce, camoso, de color naranja a rojo, con cantidades pequeñas de látex cuando es inmaduro.

La semilla es el óvulo maduro. Sus dos partes esenciales son la cubierta seminal, desarrollada de los tegumentos del óvulo, y el embrión que se desarrolla de la ovocélula fecundada. A menudo el embrión está embebido en el endospermo o acompañado por él. El endospermo es un tejido de almacenamiento de reservas que se deriva de la segunda fecundación que ocurrió en el saco embrionario. Por lo general la nucela no prevalece en la semilla madura, pero en algunas plantas forman un tejido especial de almacenamiento denominado perispermo. Generalmente no existe, ni siquiera el vestigio reconocible del saco embrionario (Coombe, 1976; Esau, 1976).

Regularmente el fruto tiene una semilla; sin embargo, en algunos casos se pueden encontrar hasta cinco. La cubierta (testa) de la semilla puede ser delgada o papirácea, o dura o pétreo, en el caso del zapote mamey la testa es pétreo. La cicatriz que marca el lugar en donde se adhiere la semilla sésil a la placenta se denomina hilio o hilo de color café claro, presenta un embrión plano convexo (Azurdia, 2006). Las semillas se pueden romper y germinar dentro de los frutos maduros (germinación prematura) y la radícula se extiende hasta la superficie de la semilla. La almendra es grasosa, color blanquecina con rosa, amarga y con acentuado olor a almendras (Solís *et al.*, 2001).

Selecciones de mamey

Debido a que esta especie es propagada por semilla ha propiciado una variación genética importante en esta especie. En áreas tropicales de México y Centroamérica existen individuos no caracterizados, que por su alta variabilidad genética podrían tener características comerciales valiosas. En el suroeste del estado de Morelos y en Guerrero, México, se han hecho importantes trabajos de selección en parámetros con características agronómicas deseables y existe variabilidad en características morfológicas (tamaño, forma del fruto, calidad y color de la pulpa) (Gaona *et al.*, 2005; Espinos *et al.*, 2005).

Algunas plantas de semilla producen frutos de alta calidad, de las que se han seleccionado tipos superiores y, aun cuando no existen variedades registradas de mamey, existen selecciones propagadas por injerto ya establecidas en huertos (Espinoza *et al.*, 2005). En Florida, se tienen materiales con características sobresalientes: Copan, Magaña, Mayapan, Tazumal, Florida, Lara, Chenox, Abuelo,

Piloto, Pace, Flores, Viejo; Pantini representa la variedad con mayor superficie plantada en Florida (Balerdi y Crane, 2012).

En el Cuadro 2 se presentan algunas características morfológicas usadas para la selección de genotipos.

Cuadro 2. Variables utilizadas en la caracterización de zapote, en el suroeste del estado de Morelos.

	Características	
	Fruto	Semilla
Peso, longitud	Carbohidratos	No. de semilla
Grosor de pupa	Proteína	Longitud
Grosor de cáscara	Acidez	Diámetro
Peso de pulpa	Sacarosa	Peso
Consistencia de pulpa	Azúcares totales	
Color	Azúcares reductores	
Sólidos solubles	pH	

Fuente: Gaona *et al.* (2005)

Diversidad de mamey

Existe diversidad en frutos de mamey en forma, tamaño, color de pulpa, peso, dulzor, número de semillas, forma de semillas y color. Esta diversidad genética permite que se puedan obtener variedades sobresalientes, mediante selección con base en las características organolépticas, agronómicas y morfológicas (Rodríguez *et al.*, 2012).

El conocimiento de la variabilidad genética de las especies permite el desarrollo de programas orientados a la conservación de germoplasma de forma *in situ* o *ex situ*, así como ampliar el uso de material vegetal trascendente (Azurdia, 2006), y proporcionar a los productores amplia selección de plantas que puedan adaptarse a distintas condiciones de cultivo (Carrara *et al.*, 2002).

Requerimientos edafoclimáticos

Los árboles de mamey prosperan en diferentes tipos de suelos, mejor en pesados; y drenados, manto freático elevado o subsuelos impermeables que impidan el desarrollo radical. Se ha reportado que el mamey se limita a climas tropicales o subtropicales por arriba de los 610 m, es poco común encontrarlo a 914 m, raro a los 1220 m; y a 1500 m el árbol crece lentamente y el fruto tarda en llegar a la madurez fisiológica. Los árboles jóvenes son sensibles al frío y las hojas largas pueden ser dañadas por vientos (Carrara *et al.*, 2002).

La semilla

La semilla es el principal órgano reproductivo de la mayoría de las plantas superiores, desempeña una función importante en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, porque regeneran los bosques y sustituye a lo largo del tiempo de unas especies por otras (Doria, 2010).

Desarrollo de la semilla

Durante el desarrollo de la semilla, la planta transfiere al embrión recursos en forma de reservas que le permitan germinar y desarrollar durante las primeras etapas de establecimiento de la plántula; esto incrementará las posibilidades de sobrevivir hasta convertirse en un organismo autótrofo independiente, capaz de utilizar la energía lumínica; por lo tanto, un aspecto clave son las reservas químicas que posee, así aquellas más grandes, con mayor contenido de reservas tendrán más posibilidades de

desarrollarse y producir plántulas de mayor tamaño con más hojas y raíces lo que favorecerá su establecimiento cuando se encuentran en sitios con recursos limitados (Doria, 2010).

Muchos aspectos de la reproducción de las plantas, tales como el tamaño, cantidad y el potencial reproductivo de las semillas han sido durante mucho tiempo un motivo de preocupación (Schaal, 1990) y se ha encontrado que la masa de estas varía considerablemente entre especies en los diversos hábitats y las diferentes etapas de la descendencia; sin embargo dentro de una especie, el tamaño de la semilla ha sido por mucho tiempo considerado como el componente más estable en el rendimiento reproductivo. Las especies que presentan semillas grandes compensan la disminución en la producción de semillas con el aumento en la supervivencia durante el establecimiento de las plántulas (Moles y Westoby, 2004); sin embargo, estudios han detectado variación en tamaño de semillas entre las poblaciones de una especie.

Importancia económica de las semillas

Debido a que las semillas contienen sustancias de reserva son una fuente de alimento para animales y el humano, que depende del consumo de granos. Estas reservas en ocasiones determinan la importancia económica de una especie (Doria, 2010), tal es el caso de maíz, frijol, trigo, algodón cebada, girasol, aguacate, nogal, canola, sésamo, guanábana, uva, mamey, kiwi, entre otras.

Tejidos de almacenamiento en la semilla

Las semillas acumulan reservas en diferentes tejidos, generalmente en el endospermo, sin embargo en ocasiones éste no se forma y las reservas son transferidas al embrión y acumuladas en los cotiledones, que pueden llenar gran parte del interior de la semilla madura. La reservas energéticas que se encuentran en las semillas pueden ser: grasas, carbohidratos y proteínas; en las dicotiledóneas son los cotiledones los que proporcionan nutrimentos al embrión, y estas semillas tienen menos endospermo (Doria, 2010).

Sustancias de almacenamiento en la semilla

Las sustancias de reserva en la semilla son características de cada especie, las principales son: almidón, lípidos y proteínas. Otros compuestos que también se encuentran en las semillas son ácidos nucleicos, ácidos orgánicos, alcaloides, fenoles, vitaminas, hormonas y pigmentos (Li *et al.*, 2006).

Las especies, durante su evolución, seleccionaron diferentes tipos de sustancias de almacenamiento. Se encuentran, principalmente, polímeros de hidratos de carbono, el almidón es la forma principal de almacenamiento, seguido de fructanos y polisacáridos en la pared celular, la ventaja del almidón y fructanos como compuestos de almacenamiento es que están formados principalmente de glucosa y fructosa. Estos hidratos de carbono se incorporan rápidamente en el metabolismo de la generación de energía. Que culmina en la producción rápida de ATP (Buckeridge *et al.*, 2000).

También se encuentran proteínas de reserva en embriones y células vegetativas de plantas, que son sintetizadas durante el desarrollo de la semilla e hidrolizadas durante la maduración, imbibición y germinación de éstas, y proporciona una de las principales fuentes de carbono, nitrógeno y azufre, para el crecimiento y desarrollo de la plántula (Wang *et al.*, 2001).

Los lípidos de almacenamiento, se encuentran principalmente en forma de triglicéridos, importantes en la señalización y desarrollo de semillas, sobre ellos actúan las lipasas que liberan glicerol y ácidos grasos (Baud y Lepiniec, 2010). En la Figura 1 se muestra una estructura típica de triglicéridos (Srivastava y Prasad, 2000), que se compone de tres ácidos grasos unidos a un esqueleto de glicerol, y representan una fuente renovable de las materias primas que pueden ser fácil y económicamente extraídos de la semilla (Cahoo *et al.*, 2007). La composición de triglicéridos en semillas, determina las propiedades de los ácidos grasos durante su desarrollo; y por lo tanto, su utilidad como ácidos grasos comestibles con aplicaciones industriales.

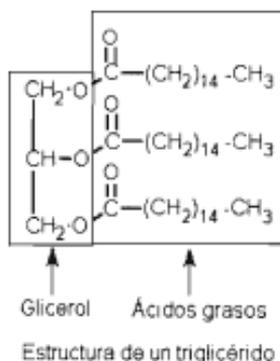


Figura 1. Estructura de una molécula de triglicérido (Srivastava y Prasad, 2000).

Almacenamiento de ácidos grasos en la semilla

La abundancia y ubicación de los cuerpos oleosos en los tejidos de la semilla pueden variar dependiendo de la especie. Los ácidos grasos se pueden encontrar en el endospermo de algunas semillas como en *Cuphea glutinosa*, en forma de cuerpos lipídicos u oleosos (Baud y Lepiniec, 2010). La acumulación de aceite en granos ocurre principalmente en el escutelo del embrión, este constituye una pequeña parte de la estructura de la semilla; por lo tanto el aceite representa sólo del 2 al 3 % del peso seco de la semilla de cebada (*Hordeum vulgare*) o granos de trigo (*Triticum aestivum* L.). En maíz (*Zea mays*), el contenido alto de ácidos grasos en algunas variedades, se debe a una estructura de embrión ampliada. La avena (*Avena sativa*) es el único cereal que acumula cantidades sustanciales de ácidos grasos en el endospermo y representa del 3 al 18 % del peso seco de las semillas dependiendo del cultivar (Baud y Lepiniec, 2010).

En soya (*Glycine max*), girasol (*Helianthus annuus*), semillas de lino (*Linum usitatissimum*), cártamo (*Carthamus tinctorius*) y en Brassicaceae se almacenan cantidades grandes de aceites en el tejido del embrión que ocupan la mayor parte del espacio disponible entre los tegumentos de la semilla (Ramírez et al., 2010). Mientras que, en jobo (*Simmondsia chinensis*), los ácidos grasos se acumulan en forma de ceras líquidas compuestas de éteres de alcoholes de cadena larga y ácidos grasos (Baud y Lepiniec, 2010).

Las semillas del género *Cuphea* poseen reservas grasas y proteicas, sus semillas producen abundantes aceites, ricos en triglicéridos saturados de cadena media corta tales como ácidos cápricos y láurico (Di Santo et al., 2012). Se ha observado que

especies de *Arabidopsis thaliana* contienen más o menos 60 % de ácidos grasos totales en los cotiledones, 30 % en la radícula y el hipocótilo, y el 10 % restante se sitúa en el endospermo residual (Li *et al.*, 2006). En canola (*B. napus*), los cotiledones contienen 90 % de ácidos grasos totales, la radícula y el hipocótilo 6 % y el 4 % se ubica en el endospermo (Baud y Lepiniec, 2010; Pederssetti *et al.*, 2010). En semilla de aguacate (*Persea americana*) los ácidos grasos se encuentran almacenados en la mayor parte en el embrión en forma de elaioplastos o en esferosomas y contienen aproximadamente el 50 % de ácidos grasos en la semilla (Garcla *et al.*, 1999).

Tipos de lípidos de almacenamiento

La mayor parte de los ácidos grasos se esterifican con glicerol para formar glicéridos por lo que en general, se componen de ésteres de glicerol de ácidos grasos llamados triglicéridos. En la mayoría de las plantas, los productos finales en la biosíntesis de ácidos grasos son cadenas de 16 a 28 carbonos; sin embargo, algunas especies acumulan ácidos grasos de 8 a 14 carbonos (Luján *et al.*, 2013).

Los ácidos grasos de las semillas se componen de ácidos grasos saturados e insaturados, los cuales determinan sus propiedades funcionales, además del valor nutracéutico. Así, pueden ser: mono o poliinsaturados en diferentes grados o ser ácidos grasos saturados. Algunos ejemplos son: oleico, monoinsaturado; linoleico (18:2), linolénico (18:3), poliinsaturado; y, saturados: palmítico (16:0) y, esteárico (18:0) (Luján *et al.*, 2013).

Los ácidos grasos saturados más encontrados como sustancia de almacenamiento son palmítico (16 carbonos) y esteárico (18 carbonos), en menor cantidad se encuentran

araquído (20 carbonos) y behénico (22 carbonos); los ácidos grasos insaturados más comunes: oleico, linoleico y linolénico, contienen 18 átomos de carbono con 1, 2 y 3 insaturaciones, respectivamente (Luján *et al.*, 2013). Aunque, los ácidos palmíticos, oleicos y esteáricos son los más comunes en los aceites vegetales, la gama de ácidos grasos presentes en cantidad apreciable en los aceites que se usan comúnmente, va, desde el ácido acetonóico que se encuentra en niveles de 5 a 10 % en el aceite de coco, hasta el ácido erúxico, que puede estar en niveles superiores a 50 % en ciertas variedades de aceite de cártamo (*Carthamus tinctorius*) (Beltagl y Mohamed, 2010).

En las especies se pueden encontrar más de un tipo de ácido graso. En soya se acumulan cinco tipos de ácidos grasos: ácido palmítico (16:0), ácido esteárico (18:0), ácido oleico (18:1) y ácido linolénico (18:3) (Clemente y Cahoon, 2009); y *Chupea hookeriana* acumula hasta 75 % de caprilato (18:0) y caparato (10:0) (Champpey y Bilyeu, 2006).

Ácidos grasos

Los ácidos grasos vegetales comestibles son productos alimenticios constituidos principalmente por glicéridos de ácidos grasos obtenidos únicamente de fuentes vegetales. Y pueden contener pequeñas cantidades de otros lípidos, tales como fosfátidos, de constituyentes insaponificables y de ácidos grasos libres naturalmente presentes en la grasa o el aceite (CODEX STAN 210-1999). Los aceites vírgenes se obtienen, sin modificar los ácidos grasos, por procedimientos mecánicos y por aplicación de calor.

Importancia de los ácidos grasos

Los ácidos grasos tienen potencial de ser utilizados en las diversas industrias de la rama alimenticia, farmacéutica o cosmética, consumidoras de aceites vegetales naturales (Solís *et al.*, 2005). En los últimos años, la creciente demanda de aceites y materias primas de origen vegetal, condujeron a un interés renovado en la investigación sobre el contenido de ácidos grasos en las semillas (Baud y Lepiniec, 2010). En la actualidad, además, la obtención de grasas y ácidos grasos vegetales a partir de los residuos y desperdicios agrícolas y agroindustriales, de nulo o bajo valor de cambio le da valor agregado y pueden ser una buena opción para la síntesis de biocombustible.

Factores que afectan el contenido de ácidos grasos en la semilla

Los factores que afectan el contenido pueden ser de dos tipos: ambientales y el genotipo.

Ambientales

Las plantas desarrollan diferentes estrategias frente a las diversas condiciones ambientales, tales como variar el número y el tamaño de los frutos, lo que altera la cantidad y la calidad de reservas y en consecuencia su importancia económica (Di Santo *et al.*, 2012).

El contenido de ácido grasos en las plantas está relacionado con la temperatura y la velocidad del viento, Garay *et al.*, (2012) mencionaron que en regiones donde la temperatura es más elevada el contenido de aceites es mayor debido a que en la semilla se almacena la energía en forma de ácidos grasos para impulsar el inicio del desarrollo de la planta. Por otra parte la velocidad del viento baja la temperatura de las

hojas, ocasionando un cambio térmico que disminuye el contenido de agua y por consecuencia aumenta el contenido de aceite.

Además se encontró que a temperaturas elevadas, especialmente las que ocurren durante la noche, causan reducción en el porcentaje de ácido linoleico en girasol, esto parece ser debido al efecto de la temperatura en la actividad de las enzimas responsables de la conversión de ácido oleico a linoleico, lo cual está relacionado con el estrés por calor en la biosíntesis de ácidos grasos, y puede confundirse con estrés de humedad (Rodríguez y González, 2007). De la misma forma, en soya, la composición de los ácidos grasos es influenciada por el ambiente en el que las plantas se desarrollan. Así, la fecha de siembra afectó la composición de ácidos grasos por altas temperaturas ya que en niveles bajos de ácido linoleico y linolénico aumenta el contenido de oleico (Cuniverti *et al.*, 2000).

También se demostró que al someter algunas plantas oleaginosas como soya, girasol y colza a estrés hídrico por déficit de agua en el desarrollo reproductivo de la planta (periodo de floración) disminuyó el contenido de ácidos grasos y aumenta el porcentaje de proteína (Ghassemi y Farshbaf, 2012).

Genotipo

El mejoramiento en la producción y tipo de ácidos grasos deseados en cultivos oleaginosos se llevó a cabo por mejoramiento tradicional o selección solo o combinado con técnicas mutagénicas. Actualmente el uso de la ingeniería genética permitió alterar la cantidad de ácidos grasos producidos en girasol y soya, y se investiga la posibilidad de alterar el tipo de ácidos grasos producidos (Rodríguez y González, 2007). El tamaño

y arreglo de las estructuras esenciales de las semillas y composición química, también son factores que afectan el almacenamiento en semillas ricas en ácidos grasos y proteínas (Doria, 2010).

En el caso de árboles frutales, se realizó un trabajo en frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.) provenientes de diferentes regiones, encontraron que los frutos de Tabasco tendieron a presentar menor concentración de ácido oleico en comparación con los de Huatusco, sin embargo no asociaron este resultado con factores agroclimáticos (Cruz *et al.*, 2006). De la misma forma en Jatrofa o piñón (*Jatropha curcas* L.) provenientes de dos regiones de Colombia: Puerto Aceitico (Vichada) y San Vicente de Chucurí (Santander), encontraron variaciones en el contenido de ácidos grasos linoleico y oleico entre zonas; aunque, de nuevo, no lo asociaron con factores agroclimáticos (Pedraza y Cayón, 2010). Sin embargo, Grosso *et al.* (2002) evaluaron los contenidos de aceites en semilla de maní de 26 genotipos de especies silvestres, encontraron que el ácido oleico mostro mayor concentración que el linoleico en los genotipos de las variedades *A. correntina*, *A. villosa*, *A. kuhlmanni* y *A. valida*, donde los resultados de la composición porcentual mostraron un amplio rango de variación entre los genotipos que asocian a condiciones climáticas y de temperatura del suelo durante la maduración de las semillas.

Goytia *et al.* (2011) caracterizaron por forma, tamaño, peso de semilla y contenido de ácidos grasos, 151 accesiones de higuera (*Ricinus communis* L.), colectadas en el Estado de Chiapas, México, de acuerdo a su distribución, para lo cual establecieron cuatro zonas climáticas: Región 1) clima lluvioso tropical sin estación seca con 14 accesiones; Región 2) sabana tropical con inviernos secos con 33 accesiones; Región

3) sabana tropical con inviernos menos secos con 84 accesiones, y Región 4) lluvioso tropical con 20 accesiones. Se encontró una amplia variación en tamaño (de 0.05 a 2.49 cm²), peso (desde 7 hasta 123.9 g por cada 100 semillas) y contenido de ácidos grasos (desde 12.20 a 64.84 %). Aunque las correlaciones entre precipitación, temperatura máxima, temperaturas media y contenido de aceites no fueron significativas, las correlaciones entre peso de 100 semillas fueron negativas y significativas solo para la Región 4 (lluvioso tropical). Es importante notar que las semillas más pesadas se encontraron en la Región 4 (lluvioso tropical) pero las semillas con mayor contenido de ácidos grasos se centraron en la Región 3 (sabana tropical) la más seca y cálida de las cuatro.

Extracción de ácidos grasos

El mecanismo de extracción involucra dos fenómenos físicos: difusión a través de la membrana celular y lavado de los contenidos celulares una vez que las paredes se han roto (Vinatoru, 2001).

La extracción de ácidos grasos en la mayoría de los casos requiere de un acarreador o solvente. La extracción del soluto de la partícula sólida por medio de solvente sucede en una serie de etapas que Aguilera (1990) divide en:

- a) Entrada del solvente a la matriz del sólido.
- b) Solubilización y/o ruptura de los componentes.
- c) Transporte del soluto hacia el exterior de la matriz del sólido.
- d) Migración del soluto extraído a la superficie externa del sólido dentro del volumen de la solución.

- e) Movimiento del extracto con respecto al sólido (desplazamiento del extracto).
- f) Separación y descarga del extracto y sólido.

Factores que afectan la recuperación de aceites

La recuperación de aceites es afectada por la calidad de la almendra (humedad, impurezas), condiciones de almacenamiento, limpieza y secado del material vegetal, molienda (tinturado), solventes, el método de extracción y la velocidad del extractor (tiempo de resistencia) (Tafurth, 2000).

Método de extracción

El método de extracción puede afectar el rendimiento de ácidos grasos y aunque existen numerosas técnicas para su extracción, en zapote mamey las más utilizadas son:

- Extracción sólido-líquido (con disolventes, soxhlet)
- Extracción mecánica (ultrasonido)

Extracción por solvente

Se basa principalmente en la selección de solventes, temperatura o agitación, con el fin de incrementar la solubilidad de los materiales y la tasa de transferencia de masa (Gao y Liu, 2005).

El solvente tiene la finalidad de incrementar la solubilidad de los materiales y la tasa de transferencia de masa. Debido a que los compuestos se separan con base en la solubilidad por dos líquidos inmiscibles, usualmente agua y un solvente orgánico

(Azuola y Vargas, 2007), es importante la selección del solvente. Los solventes más comunes son: el éter de petróleo, metanol, etanol, acetona, sulfuro de carbono (este último presenta el peligro de inflamabilidad), hexano e hidrocarburos clorinados. El hexano es el más utilizado tradicionalmente (Trevejo y Maury, 2002).

Lafont *et al.* (2011) evaluaron diferentes métodos de extracción de ácidos grasos de almendras (*Anacardium occidentale L.*). El procedimiento consistió en someter las muestras a procesos de extracción mecánica o prensado y a extracción con solventes al aplicar dos métodos: inmersión e inmersión-percolación. En la extracción por prensado se pesaron 100g de muestra. La extracción por disolvente se realizó de dos maneras: por inmersión o reflujo sencillo y percolación-inmersión o reflujo con soxhlet se utilizaron tres solventes diferentes para cada caso: hexano (Merck; 99.0%), acetato de etilo (Merck, 99.5 %) y éter de petróleo (Panreac, 99.0 %); cada solvente se trabajó a sus temperaturas respectivas de ebullición así: hexano (67°C), acetato de etilo (45°C) y éter de petróleo (57°C). Se utilizaron 100 g de muestra. El rendimiento obtenido en la extracción por el método de prensado fue de 68.12 (\pm 0.45) %, lo que indica una eficiencia pobre; sin embargo, cuando utilizaron hexano como solvente con el método de reflujo sencillo o inmersión presentó rendimiento de 77.88 (\pm 1.57) %; y, con el método de inmersión-percolación se obtuvo rendimiento de 97.78 (\pm 1.12) %. Es necesario destacar que el tipo de solvente también afectó el rendimiento y las características organolépticas del aceite extraído. Cuando se obtuvo con hexano, presentó un color amarillo transparente y brillante, además de ser inodoro; mientras que el rendimiento obtenido utilizando éter de petróleo fue de 60.49 (\pm 0.78) % presentó color amarillo opaco y muy desagradable, lo que dementó la calidad.

Esto coincide con lo reportado por Ariza *et al.* (2011) quienes evaluaron tres métodos de extracción para ácidos grasos en aguacate, extraído con disolvente (hexano) a temperatura ambiente, extracción con disolvente (hexano) a temperatura de 70°C mediante el método soxhlet y por centrifugación. Al comparar los tres métodos de extracción el mejor fue por centrifugación. Sin embargo su rendimiento fue 38.3 %, menor en comparación con los ácidos grasos extraídos con disolvente a 70°C con soxhlet y con disolvente a temperatura ambiente (78 y 58 % de aceite, respectivamente). Cardona *et al.* (2012) evaluaron tres métodos de extracción en ácidos grasos de Milpesillos (*Oenocarpus mapora*) que consistieron en, sólido-líquido (ESL), extracción mecánica con prensa expeller (EPE) y extracción asistida por microondas (EAM); con solventes: éter de petróleo, acetona y hexano. En la extracción con sólido-líquido se utilizó 10 g de muestra con éter de petróleo por 6 h. Para el segundo método se utilizó una prensa expeller con 70 g de material a diferentes velocidades de rotación (45 y 60 rpm) y temperaturas de (40, 60 y 90°C); el material extraído fue calentado 4 h a 70°C. Y por último extracción asistida por microondas, 100 g de muestra y solvente orgánico (n-hexano, acetona) en una relación 2:3, el tiempo de extracción fue de 15 min. Para EPE la separación fibra/aceite fue efectiva a 60 rpm y 40°C, el rendimiento fue 48.3 % comparado con la ESL (62 %) indica una eficiencia de proceso mecánico del 78 %. Los rendimientos obtenidos en la EAM presentan eficiencia del proceso del 60 % y del 42 % para hexano y acetona, respectivamente; valores menores que para la EPE. Así, es importante que la metodología de extracción de ácidos grasos contemple no sólo el método, la importancia de tiempos y solventes para obtener el máximo rendimiento.

Soxhlet

Este método se utiliza para la extracción de compuestos de naturaleza lipídica que se encuentran contenidos en un sólido. La extracción se realiza por medio de un solvente afín. El equipo está integrado por un extractor; condensador especial de tipo bulbo y matraz (Azuola y Vargas, 2007).

De acuerdo a Navas (2009) éste método resultó superior al de prensado para extraer ácidos grasos de semilla de uva de las variedades Syrah y Tintorera. Cuando utilizó la prensa obtuvo rendimiento de aproximadamente 5.7 g de aceite por 100g⁻¹ de semilla, lo que representa eficiencia de extracción del 67 % si se toma en cuenta que la recuperación total de ácidos grasos extraído por el método soxhlet fue de 8,9 g 100g⁻¹.

Lafont *et al.* (2014) realizó extracción de aceites de semilla de siete variedades de soya por el método Soxhlet. En cuanto al porcentaje de recuperación de ácidos grasos, el mayor valor obtenido fue con la variedad Ariari-1 (22,08 %), que superó a los demás cultivares, y le siguen la Cimarrona (20,41 %) y Soysk-7 (20,49 %).

De la misma forma Lafont *et al.* (2013) compararon dos métodos de extracción de aceite a partir de las almendras del árbol de Olleto (*Lecythis minor* DC). Para extraer el aceite las almendras se trituraron y sometieron a procesos de prensado y extracción con solventes. En la extracción por prensado se pesaron 50 g de muestra, y la extracción por solvente se realizó mediante un proceso de percolación-inmersión en un equipo de soxhlet, para el cual se tomaron 50 g de muestra y 300 mL de hexano, con tiempo aproximado de 4.5 h de reflujo. Para la extracción por los métodos de prensado y de solvente; es evidente que el valor de 71.9 % (± 0.25) % obtenido por prensado presenta un rendimiento mucho menor que 93.71 (± 0.39) % obtenido en la extracción con el solvente hexano.

Extracción asistida por ultrasonido

Este método se utiliza para extracción de flavonoides, isoflavonas y lípidos. Es un método de extracción que utiliza sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender los compuestos del material vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida, al solvente (Gao y Liu, 2005).

En éste método, al reducir el tamaño de las partículas del material vegetal, se aumenta el área de exposición al solvente y a la cavitación producida (Azuola y Vargas, 2007).

El ultrasonido además facilita la rehidratación del tejido cuando se utilizan materiales secos pues abre los poros, lo cual a su vez incrementa el transporte en masa de los constituyentes solubles por difusión y procesos osmóticos (Vinatoru, 2001).

Gao y Liu (2005) demostraron que la extracción por ultrasonido en *Suaresia medusa Maxim* tiene ventajas de eficiencia y simplicidad sobre métodos tradicionales como extracción por solventes a temperatura ambiente, reflujo térmico y soxhlet. Según este estudio, el ultrasonido tuvo una eficiencia 70 veces mayor que la extracción por solventes, 11 veces mayor que la extracción por destilación y 35 veces mayor que la extracción por soxhlet (Azuola y Vargas, 2007).

Secado de la muestra

Esta operación se realiza con el objetivo de bajar el contenido de humedad en la materia prima, hasta el porcentaje óptimo requerido, según Solfs *et al.* (2001) debe ser inferior a 10 % para evitar la degradación del color y el aumento de ácidos grasos libres.

De acuerdo Trevejo y Maury (2002) encontraron que el tiempo y método de secado influye en la extracción de aceites del fruto de *Poroqueiba sencea* T. (Umarí). El secado se hizo a 70°C por diferentes periodos de tiempo: 13, 12 y 10 h. Los rendimientos expresados con base en 100 kg de fruta fueron de 14.7 kg de ácidos grasos de Umarí amarillo y de 15.8 kg de Umarí negro. Los parámetros de secado con los que se obtuvo mejores resultados fueron: para el epicarpio + mesocarpio, 70° C por un tiempo de 13 h; para el endocarpio, 70° C por 12 h y para la almendra, 70° C por 10 h.

En contraste Lares *et al.* (2012) evaluaron el efecto del secado y el tostado sobre las propiedades físicas; como el perfil de ácidos grasos. Obtuvieron rendimiento de extracción 30.67 a 32.00 % estos resultados variaron por el efecto de tostado, y no encontraron diferencias significativas en el proceso de secado ni el perfil de ácidos grasos.

Tamaño de partícula

Estudios realizados demuestran que el tamaño de partícula es una variable importante en el proceso de extracción. Al disminuir el tamaño de partícula, se facilita la extracción de los ácidos grasos por la ruptura de los componentes que lo contienen, además, al incrementa la superficie de contacto del disolvente con la materia seca molida lo que permite una mayor recuperación (Trevejo y Mauri, 2002).

Mieres *et al.* (2010) encontraron que el tamaño de partícula fue la variable más importante, en la recuperación de aceites de uva por el método de soxhlet. Estos autores probaron diferentes tamaños de partícula, 250 µm, 500 µm y 850 µm; tiempos, 3, 5 y 7 h; tamaño de muestra, 7, 10 y 13 g; y, un gradiente de temperatura de 140 a

180°C. La cantidad de muestra y el tiempo de extracción no presentaron diferencias en el porcentaje de recuperación de ácidos grasos, pero si el tamaño de partícula. La mayor recuperación se obtuvo con partículas de 250 µm.

Ácidos grasos en mamey

El embrión de la semilla representa aproximadamente el 6 % del peso total del fruto, tiene la siguiente composición: proteínas 11.3 %, fibras 25.7 % y ácidos grasos 44.4 %, d. b. (en base peso seco) (Solís y Durán de B, 2005). Se considera que es una fuente potencial no convencional de ácidos grasos, por ser, hasta ahora, un residuo del procesamiento industrial y del consumo doméstico, al contener entre 40 y 60 % de ácidos grasos (Solís *et al.*, 2001) por lo que tiene potencial como fuente alternativa de grasas y ácidos grasos de origen vegetal.

De acuerdo a Ibarra (2012), Moo *et al.* (2013) y Solís y Durán de B (2003) los principales tipos de aceites presentes en los cotiledones de mamey son: ácido palmítico 7.67 %, ácido esteárico 26.67 %, ácido oleico 56.87 % y ácido linoleico 8.81 %, y en cantidades menores linolénico 0.22 %, araquido 0.66 %, y behénico 0.60 %. Sin embargo la cuantificación y determinación de los tipos de ácidos grasos se realizó con semilla de fenotipos desconocidos.

En el caso de frutos de mamey la madurez fisiológica influye en el contenido de ácidos grasos. Solís *et al.* (2015) determinaron el rendimiento de aceites, la extracción se hizo con un equipo Soxhlet; utilizaron hexano; la extracción se llevó a cabo por 6 h a partir de semillas deshidratadas y molidas. Se consideró la extracción en base húmeda para frutos inmaduros y en base seca en frutos maduros. Los factores a considerar fueron:

frutos inmaduros y maduros. Se encontró que la almendra es la que contiene mayor cantidad de ácidos grasos, con valores altos en la etapa de inmadurez fisiológica fue de (28.31 %); en frutos maduros los ácidos grasos presentaron un promedio de 44.41 % (d.b) en almendra. Para ácidos grasos los principales fueron: palmítico, esteárico, oleico y linoleico (10.7, 26.5, 53.5 y 5.6 g de FA 100 g⁻¹ de ácidos grasos para frutos maduros, respectivamente, para frutos inmaduros fue de 10.5, 28.6, 48.6, y 10.7 g de FA 100 g⁻¹ de ácidos grasos).

El método de extracción afectó la extracción de ácidos grasos de mamey. Solís *et al.* (2001) determinaron el rendimiento de aceite extraído por lixiviación, en un sistema de flujo cruzado con etapas múltiples de contacto con aparato tipo soxhlet, el disolvente orgánico utilizado fue hexano; se consideró la extracción en base húmeda, base seca y los factores considerados fueron: relación sólido/líquido o cantidad de gramos de almendra (10, 15 y 20 g) a extraer con 300 mL de hexano, tiempo de extracción (30, 60 y 90 min), y tamaño de la partícula (1, 1.205 y 1.41 mm). Encontraron que mediante la extracción en base húmeda, las semillas contenían 7.1 % de humedad, y el porcentaje de aceite recuperado fue de 35.1 % en comparación con 49.3 % cuando se realizó en base seca. Además se encontró que el tiempo de extracción es un factor determinante en el porcentaje de aceite recuperado, observaron que cuando las fases estuvieron en contacto por 90 min se incrementó en casi 6 % en comparación con 30 min de extracción. Por otra parte, para el tamaño de partícula existe una relación inversa entre variables, entre mayor es la partícula menor es la cantidad de ácidos grasos recuperados. Por último, el efecto de la cantidad de sólido (g de almendra) para un volumen constante de disolvente (300 mL) sobre los ácidos grasos recuperado fue

menor que en los factores anteriores, sin embargo, las variables presentaron relación inversa entre cantidad de sólido y aceite recuperado, debido a que la saturación del solvente tiene efecto negativo en la transferencia al acercarse a las condiciones de equilibrio. El alto contenido de ácido oleico es deseable en términos de nutrición y por la estabilidad en el proceso de freído.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizó semilla de zapote mamey de 12 genotipos provenientes de cuatro estados de la República Mexicana: Guerrero (Cid2), Chiapas (árbol A, C, Lima), Veracruz (Árbol 1, 2, 5, Tío, Compadre, Estrellita) y Nayarit (Jesús, Chapalilla,) que fueron recolectados durante el periodo 2014-2015.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de los genotipos de mamey.

Origen	Genotipo	Localidad	Ubicación Geográfica		Altitud (m)
			Latitud	Longitud	
Chiapas	Árbol A	La Lima	05° 60' 72.00"	16° 61' 24.10"	30
	Lima	La Lima	14° 59' 10.30"	92° 27' 14.00"	15
	Árbol C	La Lima	05° 60' 65.90"	16° 61' 20.90"	30
Guerrero	Cid 2	La Huamichilera	17° 40' 13.90"	98° 31' 32.00"	937
Nayarit	Chapalilla	Chapalilla	21° 11' 13.00"	104° 38' 15.00"	880
	Jesús	Tepic	21° 30' 19.60"	104° 54' 08.80"	963
Veracruz	Árbol 1	Martínez de la Torre	20° 06' 22.70"	97° 06' 37.70"	96
	Árbol 2	Martínez de la Torre	20° 06' 53.80"	97° 57' 45.40"	35
	Árbol 5	Martínez de la Torre	20° 03' 52.80"	96° 56' 29.70"	30
	Compadre	Limón Chiquito	20° 40' 51.26"	97° 17' 09.93"	21
	Tío	Limón Chiquito	20° 40' 45.30"	97° 17' 00.80"	25
	Estrellita	Limón Chiquito	20° 40' 47.54"	97° 17' 05.58"	18

Las semillas se recolectaron de árboles ubicados en traspatio de acuerdo a la época de cosecha: Chiapas (septiembre-octubre), Guerrero (marzo-abril), Nayarit (septiembre-octubre), Veracruz (junio-agosto); los cuales fueron georreferenciados con GPS (Garmin etrex, Taiwan).

Secado de la muestra

Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica, y se extrajeron las semillas, cuando los frutos estaban en madurez de consumo. Las semillas se lavaron con agua y jabón para eliminar restos de pulpa y prevenir incidencia de hongos. Después que se eliminó el exceso de humedad se pesaron en forma individual en balanza digital. Cookinex ZX-500 (500 g); se midió largo y ancho de semilla con vernier digital marca Truper® (Truper Inc., México); se separó manualmente la testa del embrión; se pesaron por separado (testa/embrión), posteriormente los cotiledones se cortaron en rodajas finas y se pusieron a secar en estufa (TECSA HDT-17) con circulación de aire forzado por 72 h, hasta peso constante; la temperatura de secado varió de acuerdo al método de extracción 70 °C soxhlet (Álvarez *et al.*, 2001) y 50 °C ultrasonido (Tafurth, 2000). Las muestras secas, se trituraron en mortero de porcelana (Figura 2.)



Figura 2. Triturado de muestra seca de zapote mamey en mortero.

Tamaño de partícula

Los tamaños de partícula se obtuvieron de acuerdo a la metodología utilizada por Mieres *et al.* (2010), que consistió en hacer pasar la muestra triturada por un tamiz No. 10 (U.S.A Standard Test Sieve- ASTM E-11 Specification) al plato recolector; las partículas que pasaron la malla se consideraron granulometría fina ($< 2\text{ mm}$) y, lo que quedó sobre la malla, granulometría gruesa ($> 2\text{ mm}$) (Figura 3).

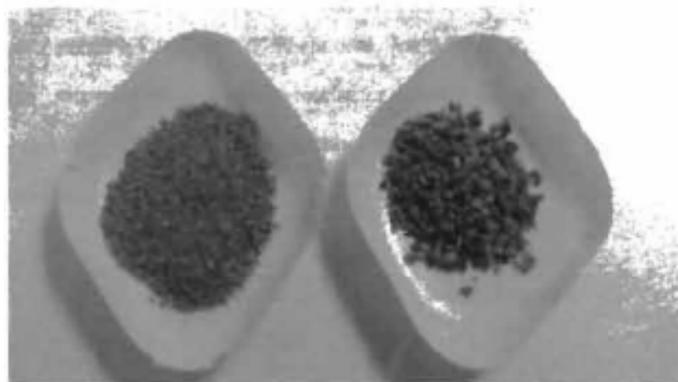


Figura 3. Tamaño de partículas (fina $< 2\text{ mm}$ y gruesa $> 2\text{ mm}$).

Extracción de ácidos grasos

Para la extracción de ácidos grasos con base a peso seco se evaluaron dos métodos: químico (soxhlet) y mecánico (ultrasonido).

El proceso de extracción de ácidos grasos se realizó por medio del método soxhlet de la AOAC (2006) 963.15; en el cual se utilizó como solvente éter de petróleo (JALMEX®), por un tiempo de 4 h, luego se colocaron 5 g de muestra en papel filtro (Whatman No. 2) doblado en forma un cartucho, el cual se introdujo a la cámara al interior del extractor (LABCONCO, 64132, Kansas City). Posteriormente se pusieron seis perlas de sílice de ebullición en cada matraz. Enseguida cada matraz se conectó al extractor soxhlet y al refrigerante. Y se procedió a calentar los matraces conteniendo 150 mL de éter de petróleo a una temperatura de 70 °C; el proceso es cíclico, por lo que se calentó por 4 h para extraer todos los ácidos grasos de la muestra, pasado este tiempo se recuperó el solvente a medida que se condensó en la cámara de extracción. Se enfriaron los matraces que contenían los ácidos para luego colocarlos en un matraz de fondo plano de 250 mL. Y finalmente, los ácidos grasos fueron separados del solvente utilizando un sistema de rotavapor al vacío (IKA® RV10), y se determinó el porcentaje de ácidos grasos. Los ácidos extraídos se colocaron en frascos ámbar de 10 mL en refrigeración (Figura 4).



Figura 4. Proceso de extracción de ácidos grasos por soxhlet.

Para ultrasonido también se utilizaron 5 g de muestra, se vertió en un tubo falcón con capacidad de 50 mL, posteriormente se agregó 10 mL de solvente n-Hexano marca JALMEK® a temperatura de ebullición (69 °C). Los tubos se colocaron a baño ultrasónico (BRANSAN B-220,) con agua destilada con hielo a 20 KHz con potencia de 100 W y tiempo de sonicación 10 min de y 5 min de apagado, se repitió el mismo paso; luego se centrifugo a 3500 rpm por cinco minutos en centrifuga (Eppendorf Centrifuge 5804) hasta separar las dos fases (muestra/ solvente), se extrajo la fase orgánica (superior) y se filtró en un matraz de fondo plano de 250 mL con papel filtro Whatman No. 2 para evitar impurezas. El matraz se cubrió con papel aluminio para evitar degradación. Este proceso se repitió dos veces más de acuerdo a la metodología

propuesta por Hromadkov y Ebringerov (2003) con modificación en el volumen de solvente (30 mL). Finalmente, se separó el solvente de los ácidos grasos por medio de un sistema de rotavapor al vacío IKA® RV10. Los ácidos grasos obtenidos fueron colocados en frascos ámbar en refrigeración. El contenido de ácidos grasos, se cuantificó por diferencias de peso previo y posterior a la extracción; y se expresó en porcentaje en base seca (Figura 5).



Figura 5. Proceso de extracción de ácidos grasos por ultrasonido.

Obtención de los metil ésteres de los ácidos grasos extraídos de mamey

Para obtener la muestra a inyectar, se pesaron 50 mg de aceite y se agregó la solución A [2 mL de potasa metabólica (2.3 % = 2.3 g en 100 mL de metanol)], y posteriormente se transfirió a un vial de 4 mL. Se calentó en (baño maria) a ebullición (65- 75 °C) durante 10 min, se enfrió y se añadió la solución B [1 mL de trifloruro metanólico (BF₃): 1 gota de H₂SO₄ concentrado. Este proceso se repitió y posteriormente se transfirió a otro vial (o tubo de ensaye), se añadieron 3 mL de hexano 1 µL, se agitó

hasta que se separaron las dos fases y se obtuvo por decantación la fase orgánica, se colocó en un vial que contenía una pizca de sulfato de sodio para luego volver a decantar en un vial de 1.5 mL. Se tomó 1 μ L y se inyectó al cromatógrafo con dilución 50:50.

Perfil de ácidos grasos

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se obtuvieron de acuerdo al método de la AOAC (2005) 963.22, 969.33 Capítulo 41 para aceites y grasas; se utilizó trifloruro de boro (BF_3). Para la determinación se utilizó con cromatógrafo (HP®, Modelo 6890), equipado con inyector manual y detector de ionización de llama (FID). Con una columna capilar (Supelco SP™- 2660) de 100 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y espesor de película de 0.2 μ m. Como gas acarreador se utilizó helio a flujo de 0.8 mL/ minuto; el volumen de inyección de muestra fue 1 μ L en modo Split 1:10. Las condiciones de temperatura fueron: rampa inicial de 140 °C con incremento de 3 °C hasta alcanzar la temperatura final de 235 °C; la temperatura del inyector fue de 250 °C y la del detector de 260 °C. El tiempo total por cada corrida fue de 60 min. Se utilizó una mezcla de ésteres metílicos estándar de 37 componentes (Supelco FAME Mix 47885-U) para verificar tiempos de retención.

El procedimiento empleado para la cuantificación de los ácidos grasos presentes en el aceite fue por porcentaje de área.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño de tratamientos factorial 12 x 2 x 2. Los factores fueron: 12 genotipos, dos métodos de extracción y dos tamaños de partícula. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y prueba de medias por Tukey, con nivel de significancia de ($P \leq 0.05$ %), los datos se procesaron con el paquete estadístico SAS® V 9.4 (Statistical Analysis System, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de ácidos grasos

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas para genotipo, método de extracción, tamaño de partícula y para las interacciones genotipo/método de extracción método de extracción/tamaño de partícula, (Cuadro 4).

Las demás interacciones no resultaron estadísticamente significativas.

Cuadro 4. Análisis de varianza factorial para método de extracción y tamaño de partícula en la extracción de ácidos grasos en semilla de 12 genotipos de zapote mamey.

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
GN ²	11	5561.58	505.60	8.88	0.0001
MT ^y	1	7266.84	7266.84	127.62	0.0001
TP ^x	1	3133.10	3133.10	55.02	0.0001
GN*MT	11	1915.66	174.15	3.06	0.0010
MT*TP	1	279.37	279.37	4.91	0.0283
GN*TP	11	674.98	61.36	1.08	0.3833
GN*MT*TP	11	491.65	44.70	0.78	0.6547

GN²= genotipo, MT^y = método de extracción, TP^x = tamaño de partícula.

Con relación al método de extracción, la prueba de medias indica que con soxhlet se extrae mayor cantidad de ácidos grasos; y superó estadísticamente a ultrasonido, en 12.3 % (Cuadro 5). En relación al tamaño de partícula, la prueba de medias muestra que el tamaño de partícula fina superó estadísticamente al grueso en 8.08 % (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido de ácidos grasos en semillas de zapote mamey extraídos por dos métodos y tamaños de partículas.

Método de extracción	Media (mg en 5 g de muestra)	Tamaño de partículas	Media (mg en 5 g de muestra)
Soxhlet	32.21 a ²	Fino	30.10 a
Ultrasonido	19.91 b	Grueso	22.02 b
DSH	2.15		2.15
CV	28.95		28.95

²Valores con la misma letra en cada columna indican que son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$ %). Fino (< 2mm), Grueso (> 2 mm), DSH (diferencia significativa honesta), CV (coeficiente de variación).

La mayor cantidad de ácidos grasos se obtuvo con soxhlet, y se observó que es el método más eficiente, debido posiblemente a la separación del solvente y ácidos grasos posterior a la extracción, además del contacto y la aplicación de temperatura (70 °C) en el proceso, por eso es el método más utilizado en diversas especies como marañón, uva y nuez de macadamia (Lafont *et al.*, 2011; Navas, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011).

El contenido medio de ácidos grasos obtenido en este trabajo cuando se utilizó soxhlet por 4 h a 70 °C fue de 32.2 %,.. Aunque se reportaron valores de 40.0 al 44.4 % estos investigadores utilizaron periodos de 6 h a 70 °C (Moo *et al.*, 2013; Solís *et al.*, 2015). Las diferencias observadas pueden ser atribuidas al tiempo de extracción y a los diversos genotipos utilizados en este trabajo. Solís *et al.* (2015) encontraron que al aumentar la temperatura y tiempo de contacto se obtiene mayor recuperación de ácidos grasos en semilla de zapote mamey. Esto coincide con Rodríguez *et al.* (2010) quienes en semillas de calabaza observaron que el rendimiento se incrementó de 52.5 a 72 % al incrementar el tiempo de 120 a 300 min.

Cuando se utilizó la extracción por ultrasonido se obtuvo sólo 19.9 %; sin embargo, la extracción por ultrasonido (medios mecánicos), tiene la ventaja de que existe menor degradación y presencia de ácidos grasos libres, debido al poco tiempo de exposición al calor y luz (Paiva y Sánchez, 2013). Marrero *et al.* (2014) reportaron extracción de 26.5 % ácidos grasos en semilla de *Moringa oleifera* por ultrasonido. Sin embargo, desde el punto de vista industrial, la extracción de ácidos grasos con ultrasonido, puede ser una técnica valiosa debido a que utiliza menos solvente y tiempo de extracción.

Con tamaño de partícula fino (< 2mm) se obtuvo mayor recuperación de ácidos grasos. Esto se debe a que se facilita la extracción de ácidos grasos por la ruptura de las estructuras que lo contienen, además, al incrementar la superficie de contacto del solvente con los tejidos, permite mayor recuperación. Ya que a mayor superficie de contacto se facilita la difusión de los ácidos grasos (Farias y Matos, 2009).

La prueba de medias demostró que Cid 2 de Guerrero con 47.17 % superó estadísticamente a los genotipos Jesús, y Chapalilla (Nayarit), Árbol 1, 2, 5 y Estrellita (Veracruz), pero resultó igual a Árbol C, A, Lima (Chiapas) y Tío (Veracruz); mientras que para ultrasonido, los genotipos Tío (Veracruz), Árbol A, C y Lima (Chiapas), superaron estadísticamente a Jesús (Nayarit) y Estrellita (Veracruz) pero son iguales a los demás genotipos (Cuadro 6). El genotipo Jesús presenta menor cantidad de ácidos grasos extraídos por ambos métodos, aspecto importante ya que no se encontró la misma cantidad de ácidos grasos en los genotipos. Así, en Árbol A fue 8.65 % menos, para Cid 2 fue de 28.95 % y Árbol C 19.38 %, se desconoce la causa de las diferencias.

Cuadro 6. Contenido de ácidos grasos extraído por los métodos soxhlet y ultrasonido en 12 genotipos de zapote mamey.

Origen	Genotipos	Contenido medio de ácidos grasos (%)			
		Soxhlet	Ultrasonido	Genotipo	Estado
Chiapas	Árbol A	34.12 abcd ²	25.47 a	29.80 ab	31.30
	Árbol C	43.65 ab	24.27 a	33.96 a	
	Lima	35.30 abc	24.97 a	30.14 ab	
Guerrero	Cid 2	47.17 a	18.22 abc	32.70 a	32.70
Nayarit	Chapalilla	25.25 cd	16.52 abc	20.89 cd	17.57
	Jesús	20.47 d	8.05 c	14.26 d	
Veracruz	Árbol 1	25.75 cd	16.97 abc	21.36 bcd	25.16
	Árbol 2	29.70 bcd	23.73 ab	26.72 abc	
	Árbol 5	29.95 bcd	21.35 ab	25.65 abc	
	Compadre	31.22 bcd	20.00 ab	25.61 abc	
	Tío	32.65 abcd	25.47 a	29.06 abc	
	Estrellita	31.30 bcd	13.77 bc	22.54 bcd	
DSH					8.86
CV					28.95

²Valores con la misma letra en cada columna indican que son estadísticamente iguales. DSH (diferencia significativa honesta), CV (coeficiente de variación).

Respecto al contenido por genotipos (Cuadro 6), el Árbol C (Chiapas) y Cid 2 (Guerrero), fueron superiores estadísticamente a Jesús y Chapalilla (Nayarit), Árbol 1 y Estrellita (Veracruz), pero igual a los demás genotipos. Pero la eficiencia en extracción no fue la misma para todos los genotipos en función del método utilizado, en Cid 2,

disminuyó 28.95 (soxhlet/ultrasonido), mientras que Chapalilla y Árbol 1, fue 8.28 y 8.78 % respectivamente.

Los embriones de mayor peso fueron de Nayarit con 29.57 g, que presentaron en promedio 17.57 % de ácidos grasos, seguido por Chiapas 22.01 g y 31.30 %, Veracruz (16.63 g) con 25.16 %, y los de menor peso Guerrero con 13.989 g y 32.70 %, lo anterior muestra el efecto del origen de los genotipos por lo que será interesante estudiar con mayor detalle este factor en zapote mamey. En éste sentido, Goytia *et al.* (2011) caracterizaron 151 accesiones de higuera de acuerdo al peso de los embriones y contenido de ácidos grasos en la semilla, encontraron que el peso de los embriones fluctuó de siete hasta 123.9 g por cada 100 embriones y el contenido de ácidos grasos de 12.20 a 64.84 %.

El genotipo con mayor contenido de ácidos grasos extraído por soxhlet fue Cid 2 (47.17 %), mientras que con ultrasonido fue árbol A (25.47 %). Pero la eficiencia en extracción no fue la misma para todos los genotipos en función al método utilizado. Puesto que cada genotipo se comporta de manera diferente durante el proceso de extracción. Este efecto también fue observado en uva (Mieres *et al.*, 2010) por lo que, es importante realizar más trabajos con diversos genotipos, para tratar de explicar las posibles causas. Es necesario destacar que los trabajos previos llevados a cabo en zapote mamey, fueron realizados a partir de material vegetal no identificado, y el efecto del genotipo en el rendimiento de ácidos grasos es importante como ha sido reportado previamente en otras especies. Lafont *et al.* (2014) realizaron extracción de ácidos grasos de semilla de siete variedades de soya por Soxhlet, y encontraron que la variedad Cimarrona, 20.41 %, Soysk-7, 20.49 % y Ariari-1 presentó 22.08 %.

En la interacción entre el método de extracción/tamaño de partícula (Figura 6) se observa que aunque con ambos métodos se extrae mayor cantidad de ácidos grasos, en soxhlet tiene mayor influencia el tamaño de partícula.

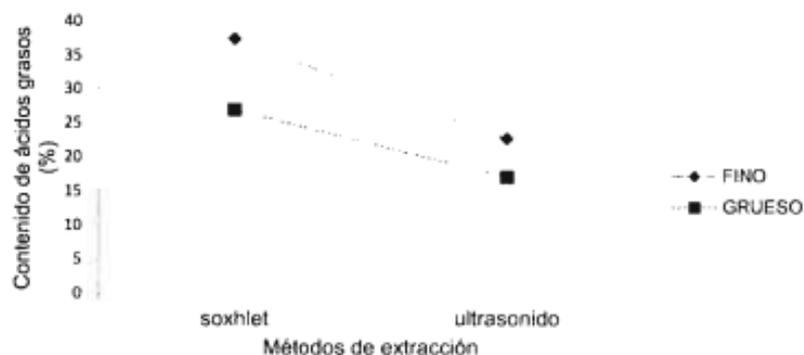


Figura 6. Interacción entre método de extracción/tamaño de partícula (fino <2 mm; grueso >2 mm).

Debido a que no se encontraron trabajos en zapote mamey, la comparación se hace con otras especies. Mieres *et al.* (2010) encontraron que el tamaño de partícula fue la variable más importante, en la recuperación de ácidos grasos en semilla de uva por soxhlet, con partícula de 250 μm obtuvieron 16 %, en comparación con 500 μm , 850 μm (9 y 13 % respectivamente). Mientras que, Navas (2010) en semilla de uva utilizó tamaños de partículas <0.125, 0.125-0.25, 0.25-0.4, 0.4-0.6 y 0.6-1.0 mm, reportó contenidos de ácidos grasos de 1.4 %, 2.6 %, 19.3 %, 27.6 % y 48.9 %, respectivamente.

También se reportó que en semilla de granada el tamaño de partícula tiene efecto en el rendimiento de ácidos grasos cuando se utiliza ultrasonido como método de extracción.

Goula (2013) utilizó tamaño de partículas 0.2, 1.8 y 3.4, mm, reportó rendimientos 40.2 %, 35.5 % y 29.8 %, respectivamente de ácidos grasos.

Vilkhu *et al.* (2008) señalaron que el ultrasonido indujo cavitación y demostraron que incrementa la permeabilidad de los tejidos vegetales así como disrupción y microfracturas de la pared celular lo que facilitó la liberación del contenido y rompimiento de las paredes celulares y de ésta forma se incrementó el número de células directamente expuestas a la extracción por solvente.

La interacción, genotipo/método de extracción se muestra en la Figura 7. En todos los genotipos, el método soxhlet incrementó el contenido de ácidos grasos.

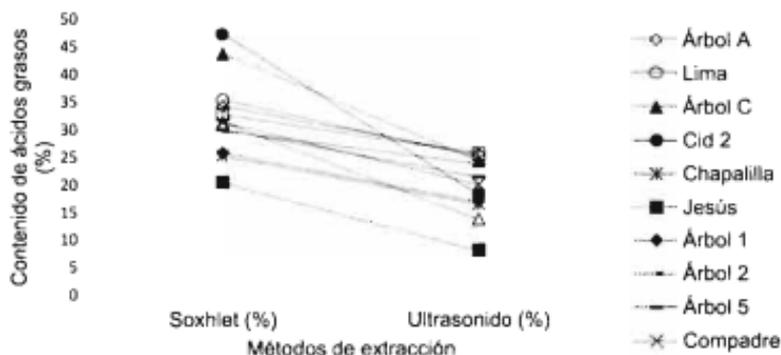


Figura 7. Interacción entre genotipo/método de extracción en el contenido de ácidos grasos en semilla de zapote mamey.

Sin embargo en el caso de Cid 2 (Guerrero) el incremento fue 28.95 %; en contrasta, con Chapalilla (Nayarit) donde únicamente fue de 8.72 %.

La eficiencia en la extracción no fue la misma en los genotipos en función al método utilizado. Espinosa *et al.* (2010) realizaron extracción de ácidos grasos en semilla de calabaza por soxhlet, y encontraron que la variedad *C. argyrosperma*, 40.1 %, *C. ficifolia* y *C. pepo* L. presenta 44.1 %. Por lo tanto, cada genotipo se comporta diferente durante el proceso de extracción (Mieres *et al.*, 2010).

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos extraídos se presenta en Cuadro 7.

Cuadro 7. Composición de ácidos grasos obtenidos en 12 genotipos de zapote mamey.

Origen	Genotipo	Contenido medio de ácidos grasos (%)			
		Oleico C18:1	Esteárico C18:0	Linoleico C18:2	Palmitico C16:0
Chiapas	Árbol A	52.67	27.17	9.53	9.02
	Árbol C	51.12	32.94	5.47	9.56
	Lima	55.71	28.24	5.03	10.21
Guerrero	Cid 2	53.38	23.49	10.75	10.59
Nayarit	Chapalilla	54.25	26.10	10.21	8.24
	Jesús	56.72	23.78	9.96	8.32
Veracruz	Árbol 1	54.17	26.25	8.03	10.38
	Árbol 2	56.40	24.57	8.34	9.66
	Árbol 5	56.27	24.00	8.56	10.08
	Compadre	54.40	24.51	11.61	8.32
	Estrellita	54.52	25.02	9.25	9.81
	Tlo	52.41	24.93	11.40	10.19

Independientemente del método de extracción, las semillas de zapote mamey mostraron mayor cantidad de ácido oleico que varió de 51.12 % en el genotipo Árbol C

(Chiapas) a 56.72 % en Jesús (Nayarit); el contenido de esteárico de 23.49 % para Cid 2 (Guerrero) hasta 32.94 % Árbol C (Veracruz); el ácido linoleico fue de 5.03 % para Lima (Chiapas) a 11.61 % Compadre (Veracruz). Para el ácido palmítico 8.24 % Chapalilla (Nayarit) y 10.59 % Cid 2 (Guerrero).

El método de extracción no modificó el perfil de ácidos grasos en genotipos de zapote mamey provenientes de cuatro Estados de la República Mexicana. Por tal motivo el análisis se realizó sin tomar en cuenta el método de extracción. Las semillas de zapote mamey de los 12 genotipos evaluados tiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados: ácido oleico (51.12 a 56.72 %), ácido esteárico (28.24 a 32.94 %), ácido linoleico (5.03 a 11.61 %), ácido palmítico (8.24 a 10.59 %), lo que representa potencial para usos industriales.

Limachi *et al.* (2009) señalan que los ácidos insaturados (linoleico) tienen ingredientes nutracéuticos esenciales para el crecimiento y cuidado de la piel. Es un ácido esencial para la dieta humana, ya que no se sintetiza en las células y debe ser ingerido en la alimentación por su importancia constituyente de estructuras y membranas celulares (Navas, 2010). Además, participa en la síntesis de prostaglandinas y niveles bajos de colesterol; regula las funciones secretoras, digestivas, reproductivas, procesos inmunológicos y de circulación sanguínea, por lo que su consumo reduciría el riesgo de desarrollar problemas cardíacos y circulatorios (Hinzpeter *et al.*, 2006; Beveridge *et al.*, 2005). Estos ácidos grasos tienen diferentes usos industriales, como el oleico en la formulación cosmética y alimenticia (Lafont *et al.*, 2011), y el palmítico como factor de consistencia o acidificación en emulsiones. Por otro lado, el esteárico en la fabricación de velas, plásticos y es deseable en la industria farmacéutica (Dubinsky, 2008).

Estos resultados son similares con lo reportado por Moo *et al.* (2013) y Solís y Durán de B. (2003) en zapote mamey, quienes reportan 56.87 % de ácido oleico, 26.67 % esteárico, 8.81 % linoleico y 7.67 % palmítico. En este estudio se encontró que zapote mamey tiene mayor proporción de ácidos grasos saturados 32.94 % de esteárico, en comparación con 1.50 % en canola, 1.30 % girasol y 4.14 % soya. El contenido de ácido esteárico es deseable en la industria farmacéutica y contribuye a mejorar la salud cardiovascular (Dubinsky, 2008). En cuanto a los ácidos monoinsaturados, se reporta que el contenido en zapote mamey es 56.72 % de oleico, e inferior a 21.30 % girasol y 22.21 % soya. Sin embargo, 59 % en canola y 69.50 % oliva contiene mayor cantidad de este ácido graso (Limachi *et al.*, 2009). El alto contenido de ácido oleico es deseable en términos de nutrición y por la estabilidad en el proceso de freído ya que es un ácido (omega 9) de interés para la industria alimenticia. Por lo que muestra posibilidades de competir en el mercado de las oleoginosas (Ariza *et al.*, 2011).

En el caso de árboles frutales, en trabajo realizado en frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.) provenientes de diferentes regiones, encontraron que los frutos de Tabasco tendieron a presentar menor concentración de ácido oleico (35.5 %) en comparación con los de Huatusco (41.7 %), aunque no asocian este resultado con factores agroclimáticos (Cruz *et al.*, 2007). Sin embargo, Grosso *et al.*, (2002) evaluaron los contenidos de aceites en semilla de maní de 26 genotipos de especies silvestres, encontraron que el ácido oleico mostró mayor concentración que el linoleico en los genotipos de las variedades A. valida (41.7 %), A. correntina (42.3 %), A. Kuhlmanni (43.0 %) y A. villosa (47.7 %), y los resultados de la composición porcentual

mostraron amplio rango de variación entre genotipos que asocian a condiciones climáticas y temperatura del suelo durante la maduración de las semillas.

Debido a lo anterior, los ácidos grasos de semillas de zapote mamey son una excelente alternativa para la industria alimentaria y farmacéutica, por el contenido alto de ácido oleico y esteárico. Sin embargo, sería interesante estudiar la posibilidad de utilizar estas semillas, que actualmente constituyen un residuo de bajo valor, en la extracción de ácidos grasos y determinar sus efectos nutricionales, así como sus posibilidades en el mercado de las oleaginosas.

CONCLUSIONES

El mejor método de extracción de ácidos grasos en semilla de zapote mamey fue soxhlet. El tamaño de partícula fino incrementó el rendimiento de ácidos grasos, independientemente del método. El genotipo con mayor contenido de ácidos grasos extraído por soxhlet fue Cid 2. Los embriones de mayor peso fueron de Nayarit. El genotipo afectó el contenido de ácidos grasos. Por lo que, es importante realizar más trabajos con diversos genotipos, para tratar de explicar las posibles causas. Por otra parte, El método de extracción afectó el contenido de ácidos grasos extraídos de semilla de zapote mamey, pero no el perfil.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, J.M. 1990. Microestructural principles of food procession and engineering. Elsevier Applied Science, Londres Inglaterra. 432 pp.
- Alcántar, R.N. 2006. Caracterización morfológica del zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] del centro occidente de Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 121 pp.
- Alla, T.I., Colinas, L.M.T., Martínez, D.M.T. y Soto H.M.R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] durante postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura 8: 263-271.
- Álvarez, R.A.R., Solís, F.J.A. y Durán-de-B, C. 2001. Coeficientes de difusividad aparente durante la extracción de aceite de almendra de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Revista Tecnología Ciencia Educación. 16:20-27.
- AOAC. 2005. Official Methods of analysis of AOAC International (17th Ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- AOAC. 2006. Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. (25ta. Ed.). Washington, USA.
- Ariza, O.J.A., López, V.F., Coyotl, H.J., Ramos, C.M.A., Díaz, R.J. y Martínez, Z.A. 2011. Efecto de diferentes métodos de extracción sobre el perfil de ácidos grasos en el aceite de aguacate (*Persea Americana* Mill. Var. Hass). RVCTA. 2: 263-276.

- Azuola, R., y Vargas, P. 2007. Extracción de sustancias asistida (EUA) por ultrasonido. *Tecnología en Marcha*. 20 (4): 30-40.
- Azurdlá, C. 2006. Tres especies de zapote en América Tropical (*Pouteria campechiana*, *P. sapota* y *P. viridis*). Southampton Center For Underutilized Crops, Universidad de Southampton. Southampton, UK. 216 pp.
- Balardi, C., y Crane, F.J.H. 2012. El mamey sapote en Florida. Departamento de Ciencias Hortícolas. Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de Florida. 10 pp.
- Balardi, C.F., Crane, J.H., and Campbell, C.W. 1996. The mamey sapote. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. FC 308 pp.
- Baud, S. and Lepiniec, L. 2010. Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Progress in Lipid research*. 49(3):235-249.
- Berretta, A., Rivas, M., Ortega, P.R., Palomino, H.G., González, H.V.A. y Livera, de Cajamarca, N.M.T. 2010. Utilización de los Recursos Fitogenéticos. En: *Estrategia en los Recursos Fitogenéticos para los Países del Cono Sur*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Montevideo, Uruguay. Pp. 97-116.
- Beveridge, T., Girard, B., Koppit and Drover, C. 2003. Yield and composition of grape seed oils extracted by supercritical carbon dioxide and petroleum ether, varietal effects. *Journal Agrix Food Chemistry*.53:1799-1804.

- Borys, M., y Leszczyńska, W.H.B. 2001. El Potencial Frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX. Toluca, México. 99 pp.
- Buckeridge, S.M., dos Santos, P.H. and Tiné, M.A.S. 2000. Mobilization of storage cell wall polysaccharides in seed. *Plant Physiology Biochemistry*. 38:141-156.
- Cahoon, E.B., Shockey, J.M., Dietrich, C.R., Gidda, S.K., Mullen, R.T. and Dyer, J.M. 2007. Engineering oil seeds for sustainable production of industrial and nutritional feed stocks: solving bottlenecks in fatty acid flux. *Current Opinion in Plant Biology*. 10: 236-244.
- Cardona, J.J.E., Carrillo, B.M.P., Mosquera, D.M., Gutiérrez, B.R.H. y Hernández, G.M.S. 2012. Evaluación de métodos de extracción del aceite de milpesillos (*Oenocarpus mapora*). *Vitae*. 19: 183-185.
- Carrara, S., Ledesma, N., Wasieleski, J. and Campbell, R.J. 2002. Morphological diversity of mamey zapote at Fairchild Tropical Garden, Florida, USA. *Proceedings of the Interamerican Tropical Horticulture*. 46: 32-34.
- Cituk, C.D.E., Tun, J.M., Reyes, Z.V.O., Canché, T.B., Chacón, A.C. y Magaña, C.R. 2008. El cultivo y diagnóstico nutricional del mamey en Yucatán. En: El zapote mamey en México: avances de investigación. Alfa, T., I., A. M., Villegas, V. López, M.R., Andrade, C.M.D., Acosta, O.G.T., Villegas, D.S., Guillén. Universidad Del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos México. Pp. 41-46.
- Clemente, E.T.B., and Cahoon, E. 2009. Soybean Oil: Genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiology*. 151: 1030-1040.

- CODEX STAN 210-1999. (s.f.). Norma del CODEX para aceites vegetales especificados.
- Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Reviews Plant Physiology* 27:507-528.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, New York, EEUU. 1262 pp.
- Cruz, C.J.G., del Ángel, C.O.A., de la Cruz, J.M. y Joaquín, M.M.C. 2006. Características morfológicas y bioquímicas de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Ness.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 141-147.
- Di Santo, M.E., Cardinali, F.J., y Thevenon, M.A. 2012. Estudio anatómico y distribución de las reservas proteicas y lipídicas en semillas de diferentes tamaños de *cuphea glutinosa* (Lythraceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 47(3/4): 341-350.
- Díaz, M.J. 2008. Poscosecha e industrialización de selecciones de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq). H.E. Moore & Stearn] en Yucatán. El zapote mamey En: México: avances de investigación. Cuernavaca, Morelos. México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Pp. 167-178.
- Dominguez, B., Martínez, A.M. y Alía, I.T. 2010. Caracterización de la maduración de ecotipos de zapote mamey (*Pouteria sapota*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*. 11(2): 122-129.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31:74-85.

- Dubinsky, T. J., Cuevas, C., Dighe, M. K., Kolokythas, O., and Hwang, J. H. 2008. High-intensity focused ultrasound: current potential and oncologic applications. *American Journal of Roentgenology*. 190(1): 191-199.
- Esau, K. 1976. *Anatomía Vegetal*. 3ª. Ed. Traducido del inglés por: J. Pons Rosell. Ed. Omega. Barcelona, España. 779 pp.
- Espinos, Z.S., Saucedo, V.C., Villegas, M.A. e Ibarra, E.M.E. 2005. Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn) en Guerrero, México. *Proceedings of the Interamerican Society Tropical Horticulture*. 48: 135-138.
- Espinosa, S.T., Medina, J.L.A., Hueda, R.E., Villanueva, V.C., Montesinos, L.O.A. y Gómez, C.A. 2010. Comparación de aceites de semilla de calabaza de tres especies y ocho aceites comerciales mediante un método multivariado. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 2: 75-80.
- Farías, C.A.M, y Matos, C.A. 2009. Influencia de la temperatura y tamaño de partícula en el proceso de extracción de aceite de semilla de uva (*Vitis vinifera*). *Revista de Investigación Universitaria* 1: 31-37.
- Gao, M., and Liu, C.Z. 2005. Comparison techniques for the extraction of flavonoids from cultures cells of *Saussure medusa* Maxim. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 21:1461-1463.
- Gaona, G.A., Álvarez, V.J.E., Alla, T.I., López, V.M. y Acosta, D.C.M. 2005. El cultivo del zapote mamey en la región suroeste del estado de Morelos. *Investigación Agropecuaria*. 2: 14-19.



- Garay, R., Hidalgo, E., Alegría, J.A. y Mendieta O. 2012. Determinación de periodos fisiológicos en la maduración y calidad del piñón blanco (*J. curcas*. L.). *Información Tecnológica*. 23 (4): 53-64.
- García, F.J.A., Ramos, G.M.D.R., y Mora G.J. 1999. Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5:123-128.
- Ghassemi, G.K., and Farshbaf, S.J. 2012. Influence of water deficit on oil and protein accumulation in soybean grains. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2(3):46-52.
- Goula, A.M. 2013. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil-kinetic modeling. *Journal of Food Engineering*. 117:492-498.
- Goytia, J.M.A., Gallegos, G.C.H. y Núñez C.C.A. 2011. Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 41-48.
- Granados, J.C. 1995. Algunas selecciones nuevas de zapote (*Pouteria sapota*) en Guatemala. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 39:115-118.
- Grosso, N.R., Nepote, V., Giannuzzo, N. y Guzmán, C.A. 2002. Composición porcentual de ácidos grasos y de esteroides de algunos genotipos de especies silvestres de maní. *The Journal of the Argentine Chemical Society*. 40(4/6):45-53.

- Hernández, Y., y González M. 2010. Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento *in vitro* de frutales perenes. Cultivos Tropicales (en línea) 31 (4): 00.
- Hernández, V.A.E. 2013. Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Revista Bio Ciencias. 2(3):113-118.
- Hinzpeter, I., Shene, C. y Masson, L. 2006. Alternativas biotecnológicas para la producción de ácidos grasos poliinsaturados omega-3. Grasas y Aceites. 66: 336-342.
- Hromádková, Z., Ebringerová, A. 2003. Ultrasonic extraction of plant materials- investigation of hemicellulose release from buckwheat hulls. Ultrasonics sonochemistry. 10:127-133.
- Ibarra, E.M.E. 2005. Morfología de hojas y fenología en selecciones de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern) de Alpoyecá Guerrero y Cazones Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 60 pp.
- Ibarra, E.M.E. 2012. Morfología de frutos, perfil de ácidos grasos en semilla y diversidad genética molecular en selecciones de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern). Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados. 65 pp.
- Lafont, J.J., Calle, A.E. y Durango, C.L. 2013. Composición química del aceite de almendras producidas por el árbol olleto (*Lecythis minor* DC). Información Tecnológica. 24:59-68.

- Lafont, J.J., Durango, L.C. y Aramendíz, H. 2014. Estudio químico del aceite obtenido a partir de siete variedades de soya (*Glycine max* L.). Información Tecnológica. 25(2): 79-86.
- Lafont, J.J., Páez, S.M. y Portacio, A.A. 2011. Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (Aimendra) del marañón (*Anacardium occidentale* L.). Información Tecnológica. 22: 51-58.
- Lalz, S.J.C., Tovar, M.R., Durán, B.M.C. y Solís, F.J.A. 2009. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Producción de biodiesel por transesterificación alcalina de aceite crudo de "aimendras" de zapote mamey (*Pouteria sapota*). Tecnología, Ciencia, Educación. 24:48-56.
- Lares, A.M.C., Gutiérrez, R., Pérez, E. y Álvarez, C. 2012. Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola. 12 (2):439-446.
- Li, Y., F., Beisson, Poilard, M. and Ohlrogge, J. 2006. Oil content of *Arabidopsis* seeds: The influence of seed anatomy, light and plant-to-plant variation. Phitochemistry. 67: 904-915.
- Limachi, V.I., Farfan, O., Sterner, O. y Giménez, T.A. 2009. Estudios preliminares de la caracterización química de ácidos grasos del aceite de frutos de *Berthollieta excelsa* por cromatografía de gases. BIOFARBO. 17: 47-53.

- Luján, Z.A., Pacheco, C.A. y Rojano, A.B. 2013. Potencial nutracéutico del aceite de la almendra de choibá o almendro de la montaña (*Dipteryx oleifera* Benth.). Revista Cubana de Plantas Medicinales. 18:368-380.
- Marrero, D.D., Murillo, R.V. González, C.V.L. y Gutiérrez, A. J. 2014. Composición de ácidos grasos del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* que crecen en la Habana, Cuba. Revista Cubana de plantas medicinales 19: 197-204.
- Mieres, P.A., Andrade, A., García y Londoño, L. P. 2010. Extracción del aceite de la semilla de uva variedad "Criolla negra" y su caracterización. ANALES. 12: 193-206.
- Moles, A.T., and Westoby, M. 2004. Seedling survival and seed size: synthesis of the literature. *Journal of Ecology*. 92: 372-383.
- Moo, H.V., Estrada, M.I. Estrada, L.R., Cuevas, L.F.G., and Sauri, D.E. 2013. Chemical composition of crude oil from the seeds of pumpkin (*Cucurbita* spp.) and mamey sapota (*Pouteria sapota* Jacq.) grown in Yucatan, Mexico. *CyTA Journal of Food*. 11: 324-327.
- Morton, J. 1987. Sapote. *Fruits of warm climates*. Julia F. Morton, Miami. Pp 398-402.
- Nascimento, V.E., Geraldo, A.B.G. y Hojo, R.H. 2008. Caracterización fisicoquímica de frutos de mamey. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 30 (40): 953-957.
- Navas, H.P.B. 2009. Composición química del aceite virgen obtenido por extracción mecánica de algunas variedades de uva (*Vitis vinifera* L.) con énfasis en los componentes minoritarios. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 59 (2): 214-219.

- Navas, H.P.B. 2010. Caracterización físico-química del aceite de semillas de uva extraído con solvente en frío. *Revista Facultad Agronómica*. 27:270-288.
- Niembro, R.A., Vázquez, M.T. y Sánchez, O.S. 2010. Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación estratégica. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración del Bicentenario de la Independencia Nacional y el Centenario de la Revolución Mexicana, Xalapa, México. 252 pp.
- Orfanedes, S.M., Crane, H.J. y Balardi, F.C. 2012. Frutos tropicales y subtropicales para los patios y jardines: alternativas a los cítricos. University of Florida. Pp. 1-8.
- Paiva, R.B.M., y Sánchez, G.J.A. 2013. Capacidad antioxidante del aceite de semilla de uva "*Vitis vinifera*", Distrito de Cascas, la Libertad. *Cientifi-k*. 2: 45-54.
- Pedessetti, M.M., Palú, F., Da Silva, E.A., Rohling, J.H., Cardozo, F.L. y Dariva, C. 2010. Extraction of canola seed (*Brassica napus*) oil using compressed propane and supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Engineering*. 102: 189-196.
- Pedraza, S.E.A., y Cayón, S.D.G. 2010. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agronómica*. 59:30-36.
- Pennington. 1990. Monograph 52 Sapotaceae. En: *Flora Neotropica*. The New York Botanical Garden. Pp. 493-497.
- Picca, A., Helgera, M., Salomón, N. y Carrera A. 2004. Marcadores moleculares. In: *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal*. 2004. Echenique V., C. Rubistein, L. Mroginski (eds.) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. Pp. 61-68.

- Ramírez, H.A.P., García, J.M.A. y Reyes, M.H.V. 2007. Determinación maternal del contenido de aceite en semilla de girasol. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 39-49.
- Rodríguez, M.A., Tejacal, I.A., Martínez, V.L., Zaragoza, S.E., y Avilés, H.E. 2012. Caracterización molecular de sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn). *Revista de Facultad de Agronomía*. 29(3):339-354.
- Rodríguez, M.J., Hernández, S.B., Herman, L.E., Gómez, A.C.A., García, H.S., Martínez, S.C.E. 2010. Effect of some variables on oil extraction yield from Mexican pumpkin seeds. *Journal of Food*. 12: 9-15.
- Rodríguez, M.P.S., Silva, R.A.S., Carrillo, I.M.L. 2011. Caracterización fisicoquímica del aceite de nuez de Macadamia (*Macadamia integrifolia*). *Journal of Food*. 9:58-64.
- Rodríguez, R.P., y González, R.O. 2007. Plantas transgénicas: una revisión de los principales cultivos básicos en México. *e Gnosis*. 5:1-22.
- SAS. 2013. SAS 9.4. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, North Carolina. U.S.A.
- SIACON. 2014. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. <http://w3.siap.sagarpa.gob.mx:8080/siapp-app/> (Consultado: 09 de abril 2014).
- Soils, F.J.A. and Durán de B, M.C. 2003. Characterization of eutectic mixtures in different natural fat blends by thermal analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 105:742-748.

- Solis, F.J.A. and Durán de B, M.C. 2005. Recovery Fast and oils from agro-industrial wastes and by-Products for use in industrial applications. *Journal of Applied Sciences*. 5: 983-987.
- Solis, F.J.A., Ayala, T.R.C., Fernández, S.A.D., and Durán de B, M.C. 2015. Mamey sapote seed oil (*Pouteria sapota*). Potential, composition, fractionation and thermal behavior. *Grasas y Aceites*. 66:1-10.
- Solis, F.J.A., Tapia, S. y Durán de B, M.M.C. 2001. Aceite de almendra de zapote mamey, un análisis de rendimientos y condiciones de extracción. *Información Tecnológica*. 12: 23-28.
- Srivastava, A., and Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable and sustainable energy reviews*. 4(2): 111-133.
- Tafurth, Y.I.O. 2000. Factores que influyen en el rendimiento y eficiencias para la extracción de aceite de palmiste. *PALMAS*. 21:312-320.
- Trejejo, C.E., y Maury, L.M.I. 2002. Extracción y caracterización del aceite de *Paraqueiba sericea* Tulasne (UMARI). *Revista Amazonica de Investigación Alimentaria*. 2(2):1-18.
- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons and Bates, L.D. 2008. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry-A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 161-169.
- Villegas, M.A., Ibarra, E.M., y Espinoza, Z. S. 2005. Expectativas de las sapotáceas en México. XVIII Curso de Actualización Frutícola. Del 5-7 de octubre de 2005. Coatepec de Harinas, México.

- Villegas, M.A., y A.J.A Mora. 2008. Propagación vegetativa del zapote mamey. El Zapote Mamey en México: Avances de Investigación. Morelos, México. Pp. 1-16.
- Vinatoru, M. 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry*. 8: 303-313.
- Wang, W., Alché, J.D.D., Castro, A.J., Rodríguez, G.M.I. 2001. Characterization of seed storage proteins and their synthesis during seed development in *Olea europaea*. *International Journal of Developmental Biology*.45:63-64.

APÉNDICE

Cuadro A.1 Perfil de ácidos grasos obtenidos por soxhlet en 12 genotipos de zapote mamey

Genotipo	Ácidos grasos (%)								
	Oleico	Estearico	Linoleico	Palmitico	Mirístico	Heptadecanoico	Araquídico	cis-11- eicosanoico	Linoléico
	C 18:1	C 18:0	C 18:2	C 16:0	C 14:0	C 17:0	C 20:0	C 20 (1) n- 11	C 18:3
Tío	52.1	26.34	11.27	9.47	0.19	0	0.39	0.06	0.19
Lima	55.42	28.74	5.06	9.9	0.15	0.09	0.43	0.1	0.11
Cld 2	54.55	24.71	9.03	10.7	0.17	0.08	0.43	0.11	0.22
Jesús	56.55	24.55	9.66	7.94	0.22	0.29	0.51	0.11	0.17
Chapallita	55.07	26.62	10.22	7.12	0.11	0.11	0.42	0.15	0.18
Compadre	54.4	23.05	11.64	9.92	0.22	0.13	0.35	0.08	0.21
Estrella	53.12	26.61	9.82	9.02	0.09	0.11	0.78	0.15	0.31
Árbol A	50.83	31.28	6.94	9.21	0.93	0.08	0.73	0.08	0.12
Árbol 1	55.8	24.72	8.11	10.52	0.1	0.08	0.34	0.13	0.2
Árbol 5	55.88	24.57	8.92	9.73	0.12	0.07	0.44	0.08	0.2
MEDIA	54.25	26.43	8.78	9.47	0.2	0.1	0.47	0.1	0.19

Figura A.1 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol A (Chiapas)
extraídos por soxhlet

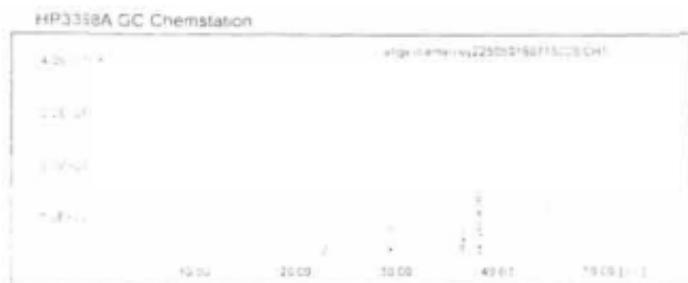
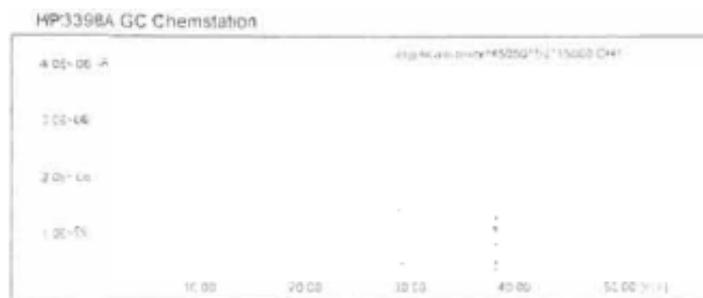


Figura A.2 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Lima (Chiapas)
extraídos por soxhlet



**Figura A.3 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol C (Chiapas)
extraídos por soxhlet**



**Figura A.4 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Cid 2 (Guerrero)
extraídos por soxhlet**

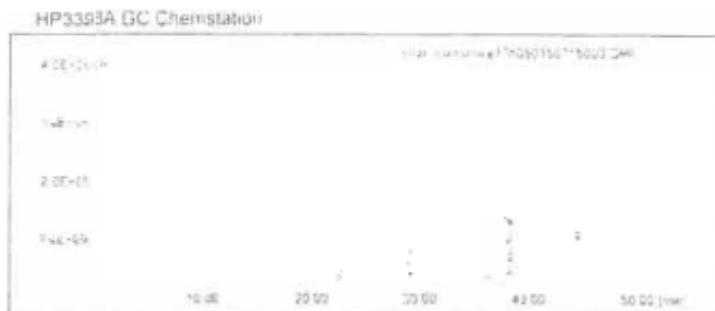


Figura A.5 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Chapalilla (Nayarit) extraídos por soxhlet

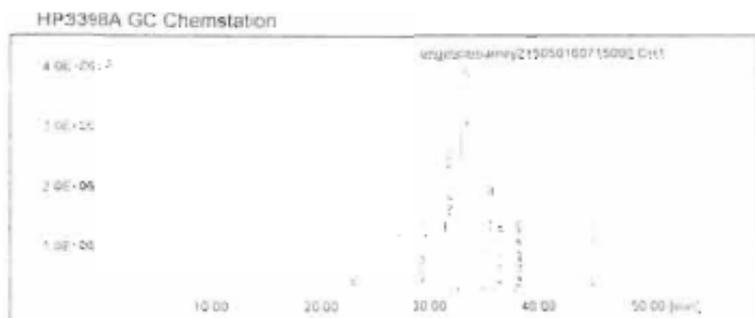


Figura A.6 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Jesús (Nayarit) extraídos por soxhlet

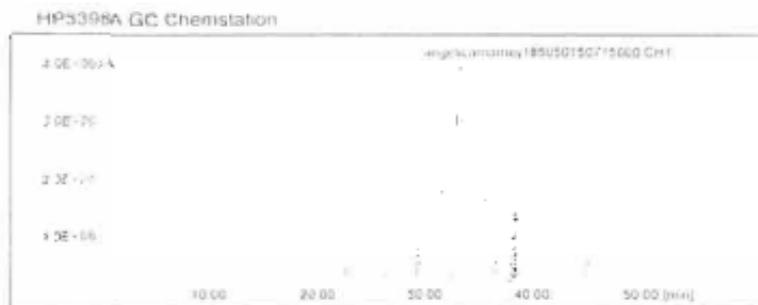


Figura A.7 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 1 (Veracruz)
extraídos por soxhlet

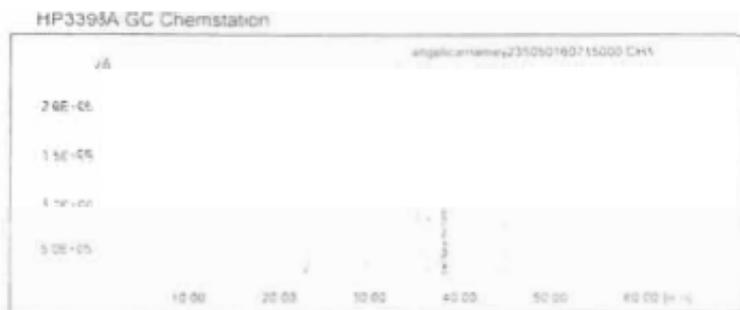


Figura A.8 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 2 (Veracruz)
extraídos por soxhlet

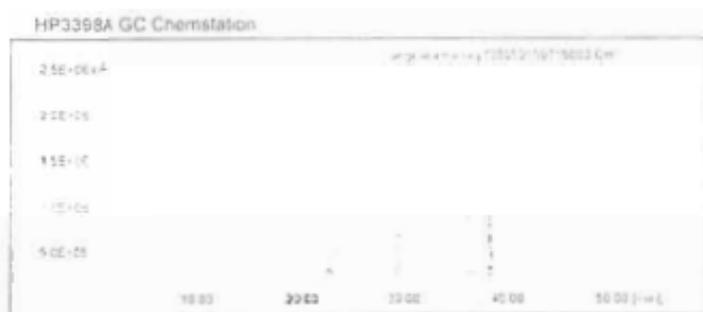


Figura A.9 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 5 (Veracruz)
extraídos por soxhlet

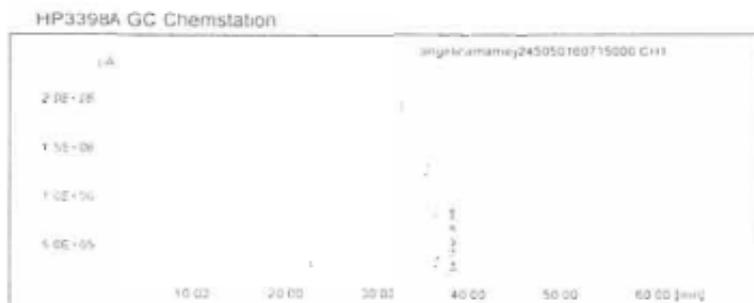


Figura A.10 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Compadre
(Veracruz) extraídos por soxhlet

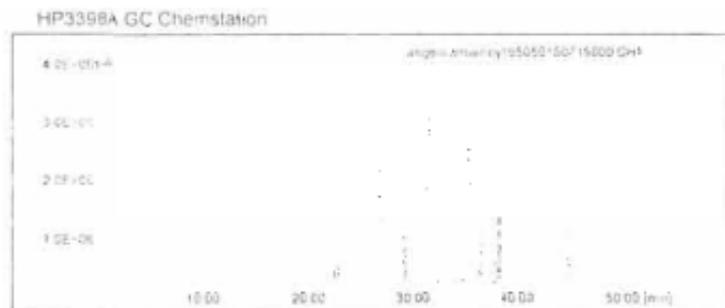


Figura A.11 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Tío (Veracruz)
extraídos por soxhlet

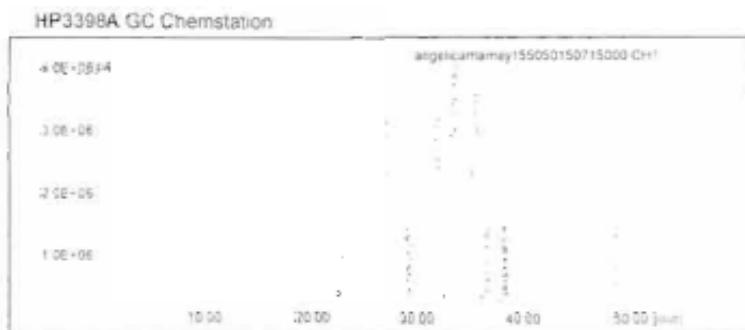
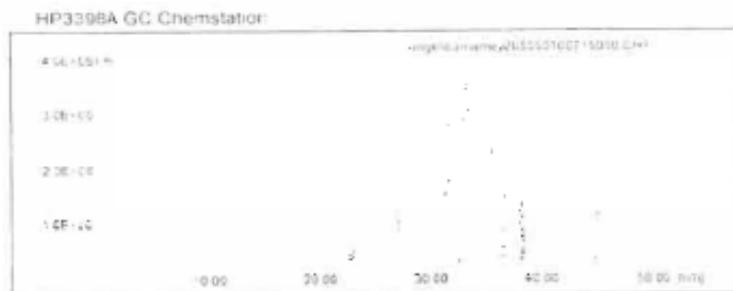


Figura A.12 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Estrellita (Veracruz)
extraídos por soxhlet



Cuadro A.2 Perfil de ácidos grasos obtenidos por ultrasonido en 12 genotipos de zapote mamey

Genotipo	Ácidos grasos (%)											
	Oléico	Essárico	Linoléico	Palmitico	Mirístico	Heptadecanoico	Arquíduico	ácid. 11- eicosáenoico	Linoléico	Lignocérico	Arquíduico	Tricosáenoico
	C 18:1	C 18:0	C 18:2	C 16:0	C 14:0	C 17:0	C 20:0	C 20 (1) n-11	C 18:3	C 24:0	C 20:4	C 23:0
Arbol 2	57.3	24.06	7.53	9.67	0.04	0.06	0.63	0.11	0.21	0	0	0
Arbol C	50.40	34.32	5.37	8.63	0.06	0.06	0.75	0.13	0.12	0	0	0
Tlo	52.71	23.62	11.63	10.9	0.04	0.08	0.27	0.12	0.19	0.63	0	0
Lerna	55.99	27.74	5	10.52	0.1	0.06	0.43	0.06	0.11	0	0	0
Cal 2	52.71	22.20	12.46	10.48	0.1	0.46	0.59	0.06	0.2	0.45	0.71	0
Jucón	56.88	23.01	10.25	8.69	0.00	0.09	0.49	0.09	0.16	0.24	0	0
Chapetla	53.42	25.56	10.16	9.35	0.09	0.07	0.34	0.13	0.19	0.62	0	0
Compadre	54.39	25.87	11.57	8.72	0.32	0	0.45	0.09	0.16	0	0	0.32
Esmerita	55.62	23.42	8.67	10.59	0.19	0.2	0.39	0.16	0.23	0.2	0	0
Arbol A	54.71	23.06	12.15	8.82	0.15	0.07	0.63	0.12	0.21	0.12	0	0
Arbol 1	52.54	27.78	7.85	10.23	0.19	0.35	0.44	0.09	0.15	0.29	0	0
Arbol 5	56.66	23.43	8.19	10.43	0.31	0.08	0.64	0.07	0.2	0	0	0
MEDIA	54.42	26.4	9.23	9.59	0.14	0.13	0.51	0.1	0.16	0.21	0.06	0.03

Figura A.2 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol A (Chiapas)
extraídos por ultrasonido

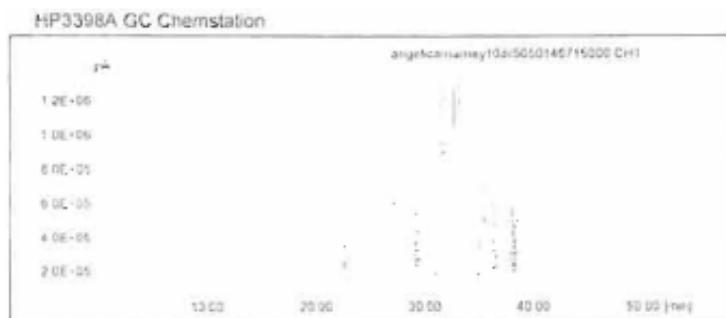


Figura A.3 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Lima (Chiapas)
extraídos por ultrasonido

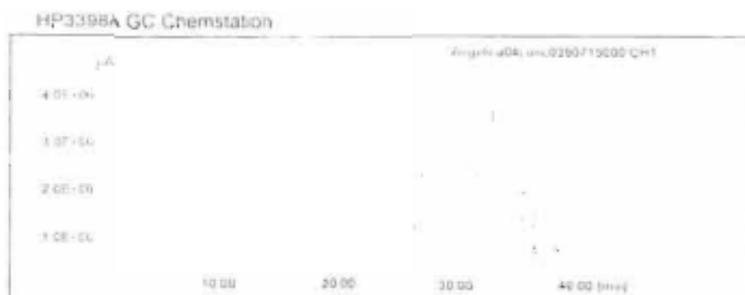


Figura A.4 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol C (Chiapas)
extraídos por ultrasonido

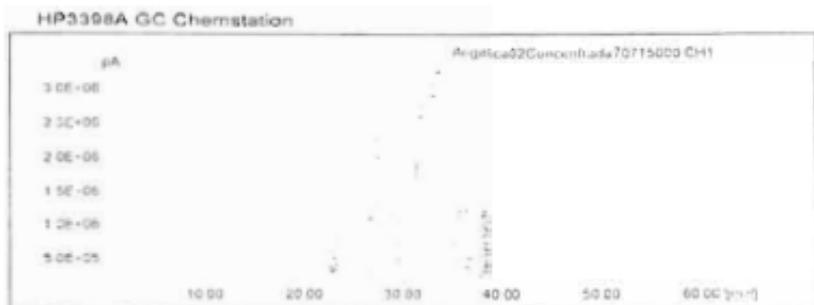


Figura A.5 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Cid 2 (Guerrero)
extraídos por ultrasonido



Figura A.6 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Chapalilla (Nayarit)

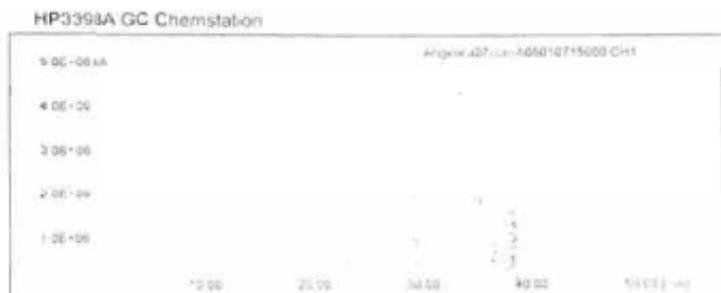


Figura A.7 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Jesús (Nayarit) extraídos por ultrasonido



Figura A.8 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 1 (Veracruz)
extraídos por ultrasonido

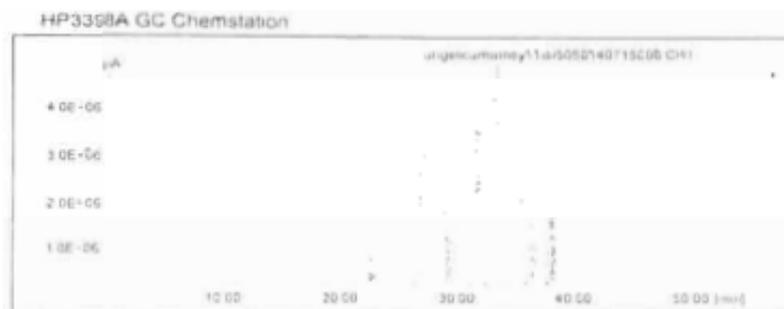


Figura A.9 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 2 (Veracruz)
extraídos por ultrasonido

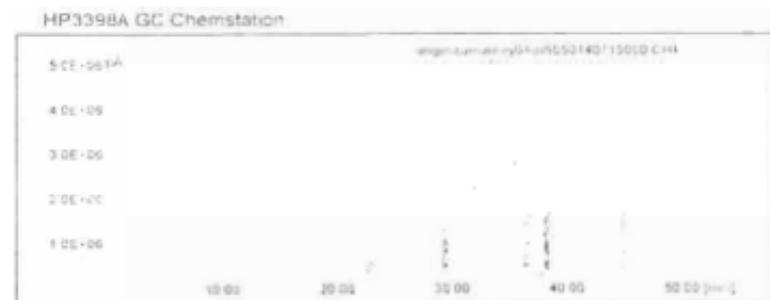


Figura A.10 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo árbol 5 (Veracruz) extraídos por ultrasonido

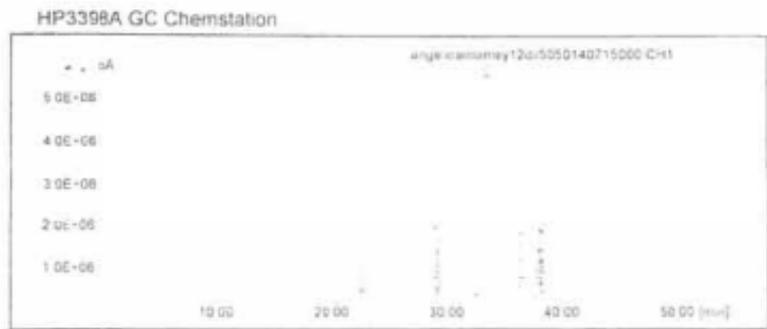


Figura A.11 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Compadre (Veracruz) extraídos por ultrasonido

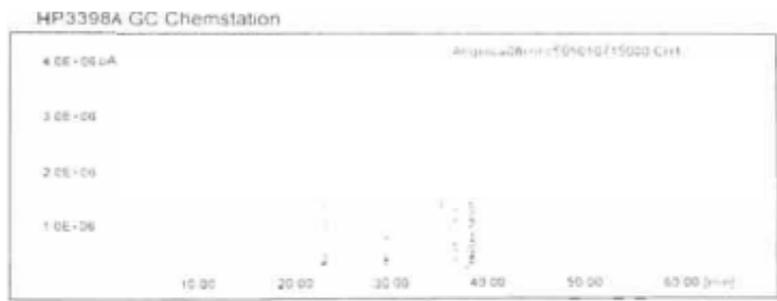


Figura A.12 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Tio (Veracruz)
extraídos por ultrasonido

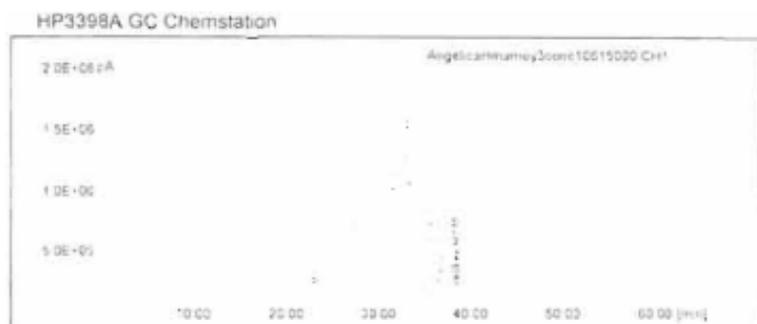


Figura A.13 Cromatograma del perfil de ácidos grasos del genotipo Estrellita (Veracruz)
extraídos por ultrasonido

