



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

CONSORCIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Cuerpo Académico Recursos Fitogenéticos Tropicales

**Características morfométricas y bioquímicas de semillas de piñón
(*Jatropha curcas* L.) colectadas en cercos vivos de la Región
Frailesca, Chiapas**

TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

por

ROXANA LIZBETH SÁNCHEZ VÁZQUEZ

Directora de tesis

DRA. PILAR PONCE DÍAZ

Villaflores, Chiapas, mayo de 2013

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme todo cuanto tengo y soy e incluso la vida, por ayudarme a conseguir todo cuanto me he propuesto, por siempre estar a mi lado al igual que tu, Virgencita de Guadalupe, a quienes agradezco con fe y amor.

A MIS PAPÁS

José Antonio Sánchez y Amalia Vázquez, porque siempre han estado a mi lado aplaudiendo mis logros y señalando mis errores, por su infinito amor, apoyo y comprensión, este trabajo es más suyo que mío; los amo.

A MIS HERMANOS

Grissel, Gabriel y José de Jesús, por su cariño y apoyo que me brindaron para realizar un logro más en mi vida, por el hecho de saber que aún seguimos tan unidos como siempre y estar conmigo cuando los he necesitado.

A MI HIJO

Bayron Mauricio, por ser el incentivo, mi nuevo gran motivo de superación al acompañarme en esta aventura, porque en momentos difíciles una sonrisa suya alienta mi vida y me da la fuerza para hacer las cosas, por ti bebé, te adoro.

A MI ESPOSO

Hilber, por su cariño, paciencia y apoyo para culminar esta meta, gracias por siempre ofrecerme un hombro y el hacerme saber que cuento contigo, por esto deseo que el camino salga a tu encuentro y que la lluvia caiga suave sobre tus campos.

A G R A D E C I M I E N T O S

A la FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS; al CUERPO ACADÉMICO RECURSOS FITOGENÉTICOS TROPICALES y a la MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL, por darme la oportunidad de lograr esta meta en mi formación profesional.

Al CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), por contribuir y brindar las facilidades para lograr este posgrado, por la beca recibida durante mis estudios.

Al SISTEMA INSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS (SIINV-UNACH), por darme la oportunidad y facilidades de formar parte de este proyecto.

A la DRA. PILAR PONCE DÍAZ, a quien respeto y admiro; por la confianza al darme la oportunidad de realizar este trabajo, por sus observaciones y enseñanzas así como su amistad.

Al DR. RICARDO RENÉ QUIROGA MADRIGAL, por sus acertadas observaciones y aportación de conocimientos en el tema.

A la M.C. MARÍA DE LOS ÁNGELES ROSALES ESQUINCA, por el tiempo dedicado tanto en la revisión, como en la obtención y selección del material estudiado.

Al M.C. ROBERTO BERRONES HERNÁNDEZ, por sus conocimientos en el proceso de extracción de aceites, su tiempo y apoyo para la realización de este trabajo.

Al PERSONAL DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL y al CUERPO ACADÉMICO INGENIERÍA Y DESARROLLO AGROINDUSTRIAL, de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CHIAPAS, por apoyarme en la parte operativa de la extracción de aceite.

Al ING. HÉCTOR SAUCEDO MARTÍNEZ, por su apoyo en el análisis estadístico de los datos.

A la DRA. MARÍA ANTONIETA GOYTIA JIMÉNEZ, por el análisis de perfil de ácidos grasos de las muestras, en la Universidad Autónoma Chapingo.

A GRISSEL SÁNCHEZ, hermano y colaborador en el procesamiento de la extracción de las muestras.

A DIOS por siempre poner a las personas indicadas en mi camino; Gracias.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

CONSORCIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

CUERPO ACADÉMICO RECURSOS FITOGENÉTICOS TROPICALES

Esta tesis titulada CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y BIOQUÍMICAS DE SEMILLAS DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) COLECTADAS EN CERCOS VIVOS DE LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, formó parte del proyecto de investigación: CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y QUÍMICA DE ACCESIONES DE *Jatropha* spp. DE CHIAPAS, financiado por el Sistema Institucional de Investigación de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIINV-UNACH) (9ª Convocatoria), dirigido por la Dra. Pilar Ponce Díaz, como parte de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: *Investigación, desarrollo y transferencia de tecnología en recursos fitogenéticos tropicales*, del Cuerpo Académico Recursos Fitogenéticos Tropicales (CARFIT) y se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: *Sistemas Agrícolas Tropicales*, del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

CONSORCIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL

CUERPO ACADÉMICO RECURSOS FITOGENÉTICOS TROPICALES

Esta tesis titulada **CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y BIOQUÍMICAS DE SEMILLAS DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.)** COLECTADAS EN CERCOS VIVOS DE LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, fue realizada por la Ing. ROXANA LIZBETH SÁNCHEZ VÁZQUEZ, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, bajo la dirección y asesoría del Comité de Tesis indicado a continuación:

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTORA

DRA. PILAR PONCE DIAZ

ASESORES

DR. RICARDO RENÉ QUIROGA MADRIGAL

M.C. MA. DE LOS ÁNGELES ROSALES ESQUINCA

M.C. ROBERTO BERRONES HERNÁNDEZ
Universidad Politécnica de Chiapas



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

CONSORCIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
CUERPO ACADÉMICO RECURSOS FITOGENÉTICOS TROPICALES**

Esta tesis titulada CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y BIOQUÍMICAS DE SEMILLAS DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) COLECTADAS EN CERCOS VIVOS DE LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, presentada por la Ing. ROXANA LIZBETH SÁNCHEZ VÁZQUEZ, fue aprobada como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL, por la Comisión Revisora indicada a continuación:

COMISIÓN REVISORA

DRA. PILAR PONCE DÍAZ

DR. RICARDO RENÉ QUIROGA MADRIGAL

M.C. ROBERTO BERRONES HERNÁNDEZ
Universidad Politécnica de Chiapas

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Los biocombustibles	4
2.1.1 Características del biodiesel	4
2.1.2 Fuentes de biodiesel	5
2.2 El piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.)	8
2.2.1 Características botánicas	8
2.2.2. Usos del piñón	8
2.2.3 Cultivo de piñón	9
2.2.4 Composición química de las semillas	10
2.2.5 Toxicidad del piñón	11
2.2.6 Propiedades físicas y químicas del aceite de piñón	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Localización del área de estudio	15
3.2 Preparación de las muestras	15
3.3 Morfometría de las semillas	18
3.4 Determinación del peso de semilla	18
3.5 Extracción del aceite	18
3.5.1 Obtención de la harina	18
3.5.2 Secado de los matraces	19
3.5.3 Montaje del equipo Soxhlet	19
3.5.4 Extracción del aceite	19
3.6 Determinación de porcentaje de humedad de la harina	21
3.7 Perfil de ácidos grasos	23
3.7.1 Obtención de aceite de las muestras	23
3.7.2 Cromatografía	23
3.8 Análisis estadísticos	25
3.9 Análisis de frecuencias	25
3.10 Pruebas de correlación lineal de Pearson	25
3.11 Análisis de regresión lineal	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Morfometría de las semillas	27
4.2 Peso de las semillas	27
4.3 Contenido de humedad	30
4.4 Contenido de aceite	30
4.5 Correlación entre las características de las semillas	31

4.6 Perfil de ácidos grasos	32
4.6.1 Contenido de los principales ácidos grasos saturados.....	34
4.6.2 Contenido de los principales ácidos grasos insaturados	36
4.6.3 Análisis de frecuencias de los ácidos grasos	38
4.6.4 Análisis de Correlación del contenido de ácidos grasos.....	42
4.6.5 Análisis de regresión lineal del contenido de ácidos grasos.....	44
5. CONCLUSIONES	46
6. LITERATURA CITADA	48
7. APÉNDICE.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación de los 43 puntos de muestreo de semillas de piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.) en cercos vivos de la región VI Frailesca, Chiapas.....	17
Cuadro 2. Composición de la mezcla utilizada como patrón en el análisis cromatográfico.	24
Cuadro 3. Largo, ancho y grosor de 43 accesiones de semilla de <i>J. curcas</i> de la región Frailesca, Chiapas.....	28
Cuadro 4. Peso de semilla y contenidos de humedad y de aceite, en 43 accesiones de <i>J. curcas</i> de la región Frailesca, Chiapas.....	29
Cuadro 5. Frecuencia de accesiones ordenadas por el contenido de aceite de la semilla. Criterio de selección deseable: Contenido de aceite > 36% (Intervalo de 31.26 a 39.17%).....	31
Cuadro 6. Coeficiente de correlación (r) de Pearson entre características de las semillas de piñón (n = 39 accesiones).....	32
Cuadro 7. Contenido porcentual de ácidos grasos saturados (A), monoinsaturados (B) y poliinsaturados (C), en 39 accesiones de <i>J. curcas</i> . Nomenclatura según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Resultados promedio de tres repeticiones.....	33
Cuadro 8. Comparación de medias del perfil de ácidos grasos saturados (%), de 39 accesiones de piñón colectadas en la región Frailesca, Chiapas.....	35
Cuadro 9. Comparación de medias del perfil de ácidos grasos insaturados (%), de 39 accesiones de piñón colectadas en la región Frailesca, Chiapas.....	37
Cuadro 10. Frecuencia de accesiones ordenadas por contenido de ácido palmítico (%)....	38
Cuadro 11. Frecuencia de accesiones ordenadas por contenido de ácido linoleico (%).....	39
Cuadro 12. Frecuencia de accesiones ordenadas por contenido de ácido oleico (%).....	39
Cuadro 13. Frecuencia de accesiones ordenadas por contenido de ácidos grasos insaturados (%).....	40
Cuadro 14. Porcentaje de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en cada accesión de <i>J. curcas</i> . En negritas accesiones donde monoinsaturados > poliinsaturados. N = 39.....	41
Cuadro 15. Coeficiente de correlación (r) de Pearson del contenido de ácidos grasos saturados e insaturados de piñón (n = 39 accesiones).....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de los puntos de muestreo, en la Región Frailesca, Chiapas.....	16
Figura 2.	Molino manual para obtener la harina de piñón.....	20
Figura 3.	Equipos Soxhlet instalados.....	20
Figura 4.	Pesado de las muestras de harina de semilla de piñón.....	20
Figura 5.	Colocación de las muestras.....	22
Figura 6.	Circulación aparato Soxhlet.....	22
Figura 7.	Cartuchos con muestras extraídas.....	22
Figura 8.	Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos linoleico-palmítico.....	44
Figura 9.	Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos oleico-palmítico.....	45
Figura 10.	Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos oleico-linoleico.....	45

RESUMEN

El alto contenido de aceite de la semilla de *Jatropha curcas* L. y sus escasas propiedades para el consumo como alimento humano, lo hacen un recurso atractivo para la producción de biocombustibles. En el presente trabajo se determinaron peso y tamaño de semillas; contenido de aceite y humedad de la harina de semillas y el perfil de ácidos grasos del aceite extraído, en 43 accesiones de semillas procedente de cercos vivos de la Región Frailesca, Chiapas, en el periodo de agosto a septiembre de 2008. Las muestras se almacenaron en cuarto frío en el Laboratorio de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad Autónoma de Chiapas, en Villaflores, Chiapas. La procedencia de accesiones por municipio fue la siguiente: Villaflores (18 accesiones), Villa Corzo (16), La Concordia (6), Montecristo de Guerrero (2) y Ángel Albino Corzo (1). El método de muestreo fue completamente al azar; la distancia entre los puntos de muestreo fue de 20 km aproximadamente, en tramos de cercos vivos. La extracción de aceite se realizó mediante el método Soxhlet y el perfil de ácidos grasos se determinó mediante cromatografía de gases; para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico SAS Ver. 7.

Se encontró que la proporción largo/ancho de las semillas varió en un intervalo de 1.3 a 1.8 cm, con 1.6 cm en promedio; el peso de la semilla fluctuó entre 0.52 g y 0.86 g, siendo el promedio de 0.68 g. El contenido de aceite para la harina de semillas de *Jatropha* con testa, varió de 31.26 a 39.17%, con una media de 35.84% y la humedad de la harina fue en promedio de 7.12% con una variación de 2.57 a 8.77%. Entre los ácidos grasos saturados sobresalieron con un valor promedio: el palmítico (10.09 %) y el esteárico (3.99 %); entre los insaturados, el linoleico (31.75 %) y el oleico (28.68 %). Se encontraron diferencias estadísticas entre accesiones, en el contenido y perfil de ácidos grasos, por lo que la diversidad mostrada para estos caracteres en los materiales estudiados, permiten definir accesiones que pueden ser la base para mejoramiento genético hacia la producción de biocombustible.

Palabras clave: oleaginosas, biodiesel, contenido de aceite, ácidos grasos saturados, ácidos grasos insaturados.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda energética mundial se ha elevado considerablemente, por lo que el uso de los combustibles fósiles se ha incrementado; por ello se prevé que el petróleo, fuente principal de los combustibles, se agotará paulatinamente y que los costos de extracción se elevarán considerablemente. Por otro lado, una de los mayores problemas de impacto mundial que ha generado el consumo de petróleo y sus derivados, es la contaminación del planeta y la producción de gases efecto invernadero, los que contribuyen fuertemente al cambio climático global. Es por ello que se buscan fuentes alternativas para reemplazarlo, como la energía solar, la eólica, las mareas y los productos de biomasa, entre los que se encuentran las algas y la lignocelulosa para la producción de bioetanol y biodiesel.

Entre las ventajas ambientales en el uso de los biocombustibles, está la captura de CO₂ durante su proceso de producción y que no contienen azufre. Además, pueden diversificar la producción agrícola y económica en áreas rurales, creando fuentes de trabajo tanto para la producción de la materia prima, como en la industria bioenergética. Algunas plantas de las que es factible extraer biocombustibles son: maíz (*Zea mays* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), colza (*Brassica napus* L.), palma de aceite (*Eleaeis guineensis* Jacq.), higuierilla (*Ricinus communis* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.) y piñón (*Jatropha curcas* L.).

El piñón es originario de América Central y México; en Chiapas presenta una gran adaptabilidad y se utiliza principalmente como cerco vivo; su látex tiene usos medicinales y de la semilla se obtiene un aceite con características favorables para la producción de biodiesel. Por estas razones, el Cuerpo Académico Recursos Fitogenéticos Tropicales de la Facultad de Ciencias Agronómicas, en colaboración con otras universidades y centros de investigación, realiza investigaciones relacionadas con la agroecología del piñón, entre las que se encuentran el diagnóstico de insectos asociados, plagas y enfermedades, caracterización de la diversidad genética mediante marcadores moleculares y caracterización

morfométrica de accesiones nacionales y extranjeras en un huerto fenológico *ex situ*, del Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) San Ramón, en Villaflores, Chiapas.

La producción exitosa de biodiesel a partir de semillas de piñón, depende fundamentalmente de la cantidad y composición del aceite obtenido; en este sentido, el presente trabajo pretende contribuir a la identificación de materiales chiapanecos que pudieran utilizarse en programas de mejoramiento y propagación, para el establecimiento de plantaciones comerciales.

1.1 Objetivo general

Conocer las características morfológicas y bioquímicas de 43 accesiones de semillas de piñón (*Jatropha curcas* L.), colectadas principalmente en cercos vivos y de los cinco municipios de la Región Frailesca, Chiapas.

1.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el tamaño y peso promedio de las semillas en las accesiones colectadas.
- b) Determinar el contenido de aceite de las semillas en las accesiones colectadas.
- c) Analizar el perfil de ácidos grasos del aceite extraído de las semillas.

1.3 Hipótesis

H₀1: Las 43 accesiones de semillas de piñón, colectadas en la Región Frailesca del estado de Chiapas, tienen significativamente las mismas características morfológicas.

H₀2: Las 43 accesiones de semillas de piñón, colectadas en la Región Frailesca del estado de Chiapas, tienen significativamente igual contenido de aceite.

H₀3: Las 43 accesiones de semillas de piñón, colectadas en la región Frailesca del estado de Chiapas, tienen significativamente igual perfil de ácidos grasos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los biocombustibles

De acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en México, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2008, se describe a los biocombustibles (bioetanol, biodiesel y biogás) como aquellos obtenidos de la biomasa proveniente de las actividades agrícolas, pecuarias, silvícolas, acuícolas, domésticas, comerciales e industriales, así como de microorganismos y enzimas producidas por procesos tecnológicos sustentables, que cumplan con las especificaciones y normas de calidad (Zamarripa *et al.*, 2009).

El biodiesel se define como los metilésteres de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos a partir de la reacción de transesterificación de aceites vegetales o grasas de origen animal. La transesterificación consiste en un intercambio de un grupo alcoxi de un éster por otro alcohol simple; para esta reacción se utiliza un catalizador ácido o básico. La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel, consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas; el triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción, un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en fases posteriores de separación, se realiza la purificación y estabilización (Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2008).

2.1.1 Características del biodiesel

Al igual que el diesel del petróleo, el biodiesel funciona en los motores de combustión interna. Se puede usar en mezclas con el diesel, las más conocidas son B20 y B10; es compatible con casi todos los motores que actualmente operan con diesel y los vehículos no requieren de ninguna modificación en el motor, teniendo la misma eficiencia que el diesel común (Martínez *et al.*, 2006).

El uso de biodiesel se caracteriza por una baja emisión de contaminantes; su calidad depende de varios factores como: densidad, viscosidad cinemática, punto de inflamación, punto de nube, contenido de azufre y sus derivados, residuo carbonoso, proporción de agua y sedimentos, estabilidad a la oxidación, destilación, contaminación total, corrosión al cobre, cenizas sulfatadas, metanol, proporción de monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, glicerina libre y total; contenidos de éster metílico del ácido linoleico y ésteres metílicos poli-insaturados (con más de cuatro dobles enlaces); índice de yodo, contenido de fósforo, relación de sodio y potasio, y número de cetano (NC) (Landa, 2005).

El número o índice de cetano es una medida de la calidad de ignición de un combustible e influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor, de las variaciones de la carga y velocidad y condiciones de arranque y atmosféricas. Un bajo NC conlleva a ruidos en el motor, prolongando retraso de la ignición y aumenta el peso molecular de las emisiones (*op. cit.*).

La presencia de diversos contaminantes en el biodiesel pueden ocasionar su oxidación y la degradación potencial durante su almacenamiento. Esta oxidación suele venir acompañada de la formación de gomas insolubles que originan problemas de colmatación de filtros, y gomas solubles, que se depositan y causan fallos en las boquillas de los inyectores (*op. cit.*).

2.1.2 Fuentes de biodiesel

La producción de biodiesel ha tomado gran importancia en la Unión Europea; en 2005 la producción mundial de biodiesel fue de 4,251,000 t, siendo el principal país productor Alemania, con un 39.2% del total, seguido por Francia e Italia (ASERCA, 2007). El reto para cualquier país o región consiste en la implementación de procesos basados en materias primas autóctonas, los cuales se deben optimizar

para obtener un biodiesel con un costo de producción bajo que lo haga competitivo, y que cumpla con las especificaciones internacionales de calidad para su uso como combustible en motores diesel (Benjumea *et al.*, 2004). El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de plantas oleaginosas, de grasas animales y grasas recicladas tales como el aceite para cocinar usado o incluso los restos animales.

Las grasas son compuestos orgánicos formados de carbono, hidrógeno y oxígeno y son la fuente principal de energía en los alimentos; pertenecen al grupo de los lípidos y pueden estar en forma líquida o sólida. Todas las grasas son combinaciones de ácidos grasos saturados e insaturados (American Heart Association Nutrition Committee, 2006).

Hoyos (2009) mencionó que las grasas de origen vegetal se pueden encontrar en las semillas de plantas oleaginosas en cantidades variables: coco (65-68%), palma de aceite (45-50%), oliva (15-40%), cacahuete (45-55%), colza (40-50%), ajonjolí (44-54%), soya (18-20%), algodón (15-24%), maíz (33-39%), girasol (22-36%), cártamo (25-44%), lino (35-44%) y ricino (35-55%). Los metilésteres de los ácidos grasos de cadena larga provenientes de los aceites vegetales reducen su viscosidad, volatilidad y combustión cuando son transformados a biodiesel (Benjumea *et al.*, 2004).

Por ello, en los últimos años se ha producido biodiesel a partir de colza, girasol, palma y algas, siendo la palma la principal fuente vegetal utilizada en Malasia para la producción de biodiesel *Palm Methyl Ester* (PME) y *Palm Ethyl Ester* (PEE). En los Estados Unidos el uso del biodiesel obtenido a partir del aceite de soya reduce las emisiones de CO₂ y SO₂ en un 80 y 100% respectivamente, comparado con el diesel obtenido del petróleo (USDA/USDOE¹, 1998).

El uso de estas plantas para producción de biodiesel, que tradicionalmente han sido empleadas para el consumo humano, ha causado gran polémica mundial, ya que los objetivos de alimentación pueden ser desviados por los de producción de

¹ United States Department of Agriculture / United States Department of Energy.

combustibles, forzando un alza de precios en los alimentos y haciendo más difícil su adquisición. El principal obstáculo para la introducción del biodiesel en México está directamente relacionado con el sector agrícola, debido a que México es un país deficitario en la producción de oleaginosas. Por esta razón, se tiene que establecer un plan de desarrollo hacia la agricultura para cubrir los requerimientos de materia prima. Si se logra esto, la producción de biodiesel puede ser factible en México y habrá una gran oportunidad para el desarrollo rural de zonas marginales y/o agotadas (Medina-Juárez *et al.*, 2008).

Algunas poblaciones de *Jatropha* spp. son tóxicas para los humanos y animales (Achten *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2006; Muñoz y Jiménez, 2009), por lo que representa una excelente alternativa como cultivo oleaginoso para la producción de biodiesel, no sólo porque no compite con el sector alimenticio, sino porque al mismo tiempo permite establecer cultivos asociados en la plantación. El hecho de que el aceite de *J. curcas* no pueda ser usado con propósitos nutricionales sin una previa destoxificación, ha dado lugar a su uso preferente como una fuente de energía muy atractiva para la producción de biodiesel (Shah *et al.*, 2005) inclusive en condiciones del desierto (Ochoa *et al.*, 2008). Por otra parte, las propiedades físico-químicas del biodiesel obtenido de *J. curcas*, cumple con los estándares internacionales europeos (Francis *et al.*, 2005).

La extracción del aceite de *Jatropha curcas* se puede hacer con hexano (98% del total), con agua (38% del total), así como con enzimas, que ofrecen una alternativa no tóxica para la extracción con disolventes orgánicos, lo cual facilita el uso de la pasta residual para el consumo humano y animal (Martínez *et al.*, 2006); el rendimiento que se alcanza empleando una proteasa alcalina es del 86% mientras que la extracción con celulasas y hemicelulasas es de 73% (Wink *et al.*, 1997).

2.2 El piñón (*Jatropha curcas* L.)

2.2.1 Características botánicas

El género *Jatropha* pertenece a la familia *Euphorbiaceae* y es ampliamente conocido en varios países tropicales. *Jatropha curcas* es un árbol pequeño que se desarrolla en climas tropicales y semi-tropicales, conocido como piñón o piñoncillo; posee ramas flexibles, hojas glabras de 3 a 5 lóbulos y de 10 a 15 cm de ancho; sus flores son de color amarillo. Los frutos son drupas de aproximadamente 2 cm de diámetro, de color marrón cuando están maduras, triloculares, contienen dos o tres semillas. Las semillas tienen de 1.5 a 2.0 cm de largo y de 1.0 a 1.3 cm de ancho y representan del 53 al 79% del peso del fruto; tienen un contenido de aceite que varía entre 32 y 49% (Falasca y Ulberich, 2008; Ghosh y Singh, 2011).

2.2.2. Usos del piñón

Heller (1996) mencionó que el aceite de *Jatropha* se usó en motores en África durante la Segunda Guerra Mundial y ha sido empleado para iluminación de calles en Río de Janeiro, Brasil; también se usa como leña por su baja producción de humo, para preparar barnices después de ser quemado con óxidos de hierro, y como un excelente sustituto de aceites industriales. En Europa se usa en el hilado de lana y manufacturas textiles. Mezclado con cenizas de plátano sirve para hacer un duro jabón casero. Se ha usado como el barbasco para pescar y para el control de plagas, a menudo con buenos resultados. En Gabón, las semillas molidas y mezcladas con aceite de palma se usan para matar ratas y es altamente tóxico para los humanos. Las semillas secas, cubiertas de aceite de palma se usan como antorchas, que se mantienen encendidas incluso con fuerte viento. El jugo de la hoja tiñe las telas de color rojo y negro indeleble. La cáscara del fruto y las semillas pueden usarse como combustible.

Esta planta conocida también por sus propiedades medicinales y como laxante, actualmente ha extendido su cultivo en la India, África y Centroamérica con la finalidad de aprovechar el aceite presente en las semillas, como fuente para la obtención de biodiesel (Shah *et al.*, 2004).

2.2.3 Cultivo de piñón

El piñón es nativo de México y crece bien en condiciones de 480 a 2,380 mm de precipitación y de 18 a 28.5 °C de temperatura media (Beltrão y Cartaxo, 2006; López, 2008). Se puede implementar como una planta productiva en situaciones adversas, tierras degradadas y marginales, clima seco, y como parte de un sistema agrosilvopastoril, con las siguientes ventajas: crecimiento en casi cualquier tipo de tierra, puede sobrevivir períodos largos de sequedad; es de fácil propagación; produce frutos después del primer año, aunque con rendimientos bajos que se incrementan durante los primeros cinco años, luego se estabiliza su producción y continúa durante más de 30 años produciendo frutos de buena calidad, con una vida útil que puede alcanzar hasta los 50 años (Gübitz *et al.*, 1999).

El rendimiento de semilla varía de 0.5 a 12 t ha⁻¹ anuales, dependiendo del tipo de suelo, fertilización y condiciones de lluvia y de la densidad y manejo de la población (Francis *et al.*, 2005). Su cultivo presenta como inconveniente gran cantidad de insectos fitófagos asociados y patógenos que representan una amenaza para la producción de frutos (Torres, 2008).

En México, el INIFAP² desarrolla un programa de investigación para generar conocimiento y desarrollar tecnología de producción de materia prima para la elaboración de biodiesel utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta esencial para la planeación estratégica del desarrollo agropecuario, que permita la identificación de sitios adecuados para el

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

establecimiento de especies vegetales a través del procesamiento de información cartográfica digitalizada. El objetivo es identificar y cuantificar las áreas con características de altitud, precipitación, temperatura y pendiente adecuadas para el establecimiento de plantaciones de piñón en México (Zamarripa *et al.*, 2009).

A nivel nacional se estimaron alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo del piñón, en altitudes de 0 a 1,000 m, temperaturas entre 18 y 28°C y una precipitación pluvial entre 600 y 1,200 mm anuales. Los estados de la República Mexicana que registran mayor superficie óptima para el cultivo de piñón son: Sinaloa 557,640 ha; Tamaulipas 317,690 ha; Guerrero 282,158 ha; Chiapas 230,273 ha y Michoacán 197,288 ha (Zamarripa y Díaz, 2008).

Muchos gobiernos y organizaciones están actualmente interesados en el cultivo e industrialización de *J. curcas*, por lo que se están implementando programas de acopio de germoplasma, selección de materiales y eventualmente, mejoramiento genético de variedades. Sin embargo, para alcanzar este último objetivo se requiere el establecimiento de un programa que involucre no sólo las características agronómicas y productivas del vegetal, sino también el conocimiento de la estructura genética de la población y en último caso, los genes involucrados en las características de calidad (Ovando *et al.*, 2007).

2.2.4 Composición química de las semillas

Makkar *et al.* (1997) señalaron que la composición química de la semillas de *J. curcas*, procedentes de diferentes países presenta variación en los contenidos de proteína cruda (19-31 %), lípidos (43-59 %), fibra cruda (3.5-6.1 %) y cenizas (3.4-5.0 %). Las semillas de piñón mexicano se caracterizan por ser más grandes que las de África y Asia; en algunos casos, al incrementarse el porcentaje de aceite, disminuye el contenido de proteína y viceversa (Makkar y Becker, 1999). El contenido de proteína y grasa de las plantas de *J. curcas* provenientes de Chiapas, Puebla,

Veracruz y Morelos son significativamente más altos que los valores encontrados en semillas provenientes de países como India, Nicaragua, Costa Rica, Cabo Verde y similares a los reportados para otras semillas provenientes de México (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006).

Según Bautista (2010), el contenido de ácidos grasos totales en la harina de semillas sin testa, de 30 colectas de *Jatropha curcas* L. en la región Totonacapan (Puebla-Veracruz), varió entre 57 y 69% con un promedio de 61.67%. Makkar *et al.* (1998) reportaron valores entre 55 y 62% en harina de semillas sin testa procedente de Quintana Roo. Martínez *et al.* (2006) reportaron valores de 55 a 58% en colectas realizadas en el estado de Veracruz. Aderibigbe *et al.* (1997) no encontraron diferencia significativa entre muestras procedentes de Cabo Verde y Nicaragua (58% de ácidos grasos). Huerga *et al.* (2010) encontraron que el contenido de aceite en tres cosechas para frutos secos y frescos de semillas descascaradas fue de 39.8 a 52.5% mientras que bajo las mismas condiciones pero en semillas con cáscara fue de 25.7 a 32.3%.

2.2.5 Toxicidad del piñón

Debido a la toxicidad que presentan los ecotipos de la India (Jongschaap *et al.*, 2007) y algunos de México (Martínez, 2006), su uso en la alimentación ha sido restringido. El consumo directo de la semilla de ecotipos tóxicos en humanos provoca mareo, vómito, diarrea y en altas concentraciones, hasta la muerte (Makkar *et al.*, 1998). Entre otros limitantes en la utilización de la pasta residual como forraje, se señalan algunos componentes antinutricionales como los ésteres de forbol, identificados como el principal agente tóxico (Makkar *et al.*, 1997), inhibidores de tripsina (IT), saponinas y fitatos, que requieren tratamiento térmico como el tostado para su eliminación (Makkar, *et al.*, 1998).

El uso de solventes como el etanol al 80 y 92% o con calor constante de 100, 130 y 160 °C con humedad de 67 y 85% por una hora, elimina la toxicidad de la harina extraída (Makkar y Becker, 1999). Gross *et al.* (1997) observaron que la ingesta de harina destoxificada, no afectó el crecimiento normal de ratones y peces. Los estudios realizados a la harina integral de las semillas de *J. curcas* “tóxicas” y “no tóxicas”, han demostrado tener niveles altos de proteína disponible y aceite. El perfil de aminoácidos cubre con los requerimientos establecidos por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) excepto en lisina, que sería el aminoácido limitante (Heller, 1996; Makkar *et al.*, 1997; Trabi *et al.*, 1997).

Se han identificado colectas en los estados mexicanos de Veracruz, Quintana Roo y Puebla, con cantidades insignificantes de ésteres de forbol, consideradas como “no tóxicas”, pero que contienen inhibidores de tripsina (IT) (Makkar y Becker, 1999; Martínez *et al.*, 2006). Estos autores encontraron que las colectas de Quintana Roo presentan altos niveles de proteínas, lípidos y cenizas, mientras que el contenido de agentes antinutricionales como los IT varían desde no detectables hasta 28.7 mg/g, fitatos de 8 a 10%, saponinas de 1.8 a 2.3% y no se detectaron ésteres de forbol, considerando a estas colectas menos tóxicas que las procedentes de Veracruz.

2.2.6 Propiedades físicas y químicas del aceite de piñón

La calidad de un aceite puede ser medida según factores tanto químicos como físicos. Los químicos incluyen el perfil de ácidos grasos que determina el contenido de ácidos grasos saturados, mono-insaturados, poli-insaturados y trans, permitiendo determinar el tipo de aceite. Existen otros análisis como el índice de iodo, el índice de peróxidos, índice de ácidos grasos libres, los cuales también juegan un papel importante a la hora de evaluar la calidad de un aceite. Según Jongschaap *et al.* (2007), el contenido de aceite de piñón es de alrededor de 20-40% (w/w) en la semilla y esto depende de diferentes factores como la variedad de la semilla,

precipitación anual del lugar donde se encuentre, tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes del suelo y el método de extracción del aceite.

La latitud geográfica parece que influye más sobre la composición que sobre la cantidad de los ácidos grasos que producen las oleaginosas. Así, en latitudes mayores las cantidades relativas de ácidos grasos insaturados son más elevadas, lo que no significa que las condiciones tropicales inhiban la producción de estos tipos de ácidos. Una influencia semejante a la latitud, parece ejercer la altitud de la zona donde se cultiva la especie oleaginosa (Mazzani, 1963).

Los ácidos grasos saturados más abundantes en las plantas son el palmítico y el esteárico y entre los insaturados, el oleico y el linoleico. El palmítico es el más común en las semillas de oleaginosas, pero el oleico y el linoleico son los predominantes y representan más de 60% del peso de todos los aceites presentes en las semillas de las plantas oleaginosas (Bewley y Black, 1994; Salisbury y Ross, 2000).

La determinación del perfil de ácidos grasos también es importante para predecir la estabilidad oxidativa y el número o índice de cetano del biodiesel. En términos de la composición ideal para la obtención de biodiesel con alta estabilidad oxidativa y buen desempeño en clima frío, se recomienda presencia alta de ácidos grasos monoinsaturados como oleico (C18:1) y palmitoleico (C16:1), presencia reducida de ácidos grasos polinsaturados y contenido controlado de ácidos grasos saturados (Pinzi *et al.*, 2009). Aceites con contenido alto de ácidos grasos polinsaturados como el linoleico (C18:2), producirán biodiesel con baja estabilidad oxidativa y bajo número de cetano (Pinzi *et al.*, 2009), lo que implica la necesidad de proteger el biodiesel con antioxidantes (Dunn, 2005).

La semilla de *J. curcas* sin cáscara posee entre 43% y 59% de aceite, compuesto en un 80% de ácidos grasos insaturados y el resto de ácidos grasos saturados como el palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) (Banerji *et al.*, 1985; Heller, 1996; Gübitz *et al.*, 1999; Augustus *et al.*, 2002; Berchmans e Hirata, 2008; Oliveira *et al.*, 2009).

En este sentido, Gübitz *et al.* (1999) informaron que la cantidad de ácido linoleico puede variar entre 29 y 44% y la de oleico entre 34 y 46%, lo cual se confirmó en un análisis de perfil de ácidos grasos de aceites de *J. curcas* realizado en dos zonas de producción en Colombia (Pedraza y Cayón, 2010). Martínez *et al.* (2006) encontraron que en muestras mexicanas de semillas de *J. curcas* provenientes de Veracruz, el ácido graso más abundante fue el oleico, mientras que en muestras del estado de Morelos, fue el ácido linoleico, estas diferencias posiblemente se deben a las condiciones edáficas y climáticas.

El alto contenido de ácidos grasos insaturados puede mejorar el desempeño del aceite de *Jatropha* al ser transformado en biodiesel ya que tolera menores temperaturas, aunque disminuye la estabilidad de la oxidación. Por su proporción alta de ácidos grasos insaturados, el aceite de *J. curcas* es técnicamente mejor para la producción de biodiesel frente al aceite de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) que tiene aproximadamente 50% de ácidos grasos insaturados y 50% saturados (García de Sotero *et al.*, 2008). En el caso de *J. curcas* que presenta un porcentaje de ácido oleico alto (44.7%), es menos susceptible al proceso de oxidación con respecto al biodiesel obtenido a partir de aceite de *Jatropha cordata* y *Jatropha cardiophylla* (Gil-Montaña *et al.*, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

Se colectaron 43 accesiones de frutos sanos y maduros de *J. curcas*, en los cinco municipios que conforman la Región VI Frailesca del estado de Chiapas (Cuadro A1 y Figura 1). Las colectas se realizaron en los municipios de Villaflores (18 accesiones), Villa Corzo (16 accesiones), La Concordia (6 accesiones), Ángel Albino Corzo (1 accesión) y Montecristo de Guerrero (2 accesiones); la georreferenciación del área de estudio se localiza en un intervalo de 15°44'51.0" a 16°45'00.8" LN, y de 92°38'16.8" a 93°35'52.7" LW, entre los 531 y 1,226 m de altitud (Cuadro 1).

Las unidades de muestreo fueron cercos vivos ubicados a orillas de carretera, con una distancia de 20 km entre puntos de muestreo. Se hizo un recorrido del segmento de cerco vivo, de aproximadamente 10 a 30 m y se colectó un promedio de 1 kg de fruto maduro, de color amarillo, sin daños ocasionados por insectos. La colecta se realizó en los meses de agosto y septiembre de 2008.

Las muestras se almacenaron en frascos de plástico durante aproximadamente dos años, en el Cuarto Frío (a 4° C) del Laboratorio de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad Autónoma de Chiapas, la cual se encuentra ubicada a 7 km al Norte de la ciudad de Villaflores, Chiapas.

3.2 Preparación de las muestras

Se desinfestaron 50 g de semillas de cada accesión, con hipoclorito de sodio al 2% durante 10 min.

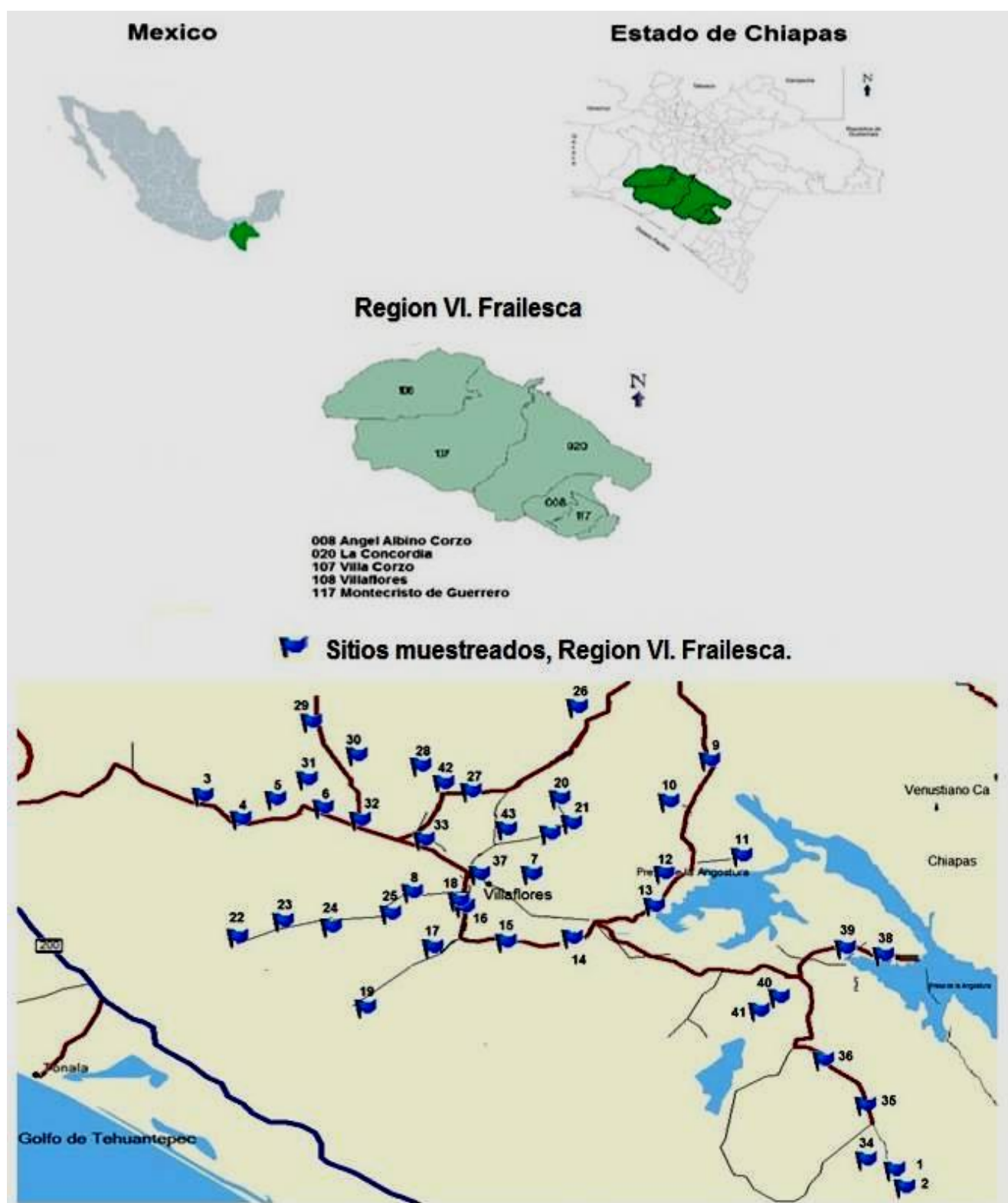


Figura 1. Localización de los puntos de muestreo, en la Región Frailesca, Chiapas, México.

Cuadro 1. Ubicación de los 43 puntos de muestreo de semillas de piñón (*Jatropha curcas* L.) en cercos vivos de la región VI Frailesca, Chiapas.

Clave	Municipio	Localidad (Km, Ranchería, Ejido, Predio, etc.)	Coordenadas geográficas¹				Altitud (m)
			gg mm ss.s		UTM²		
			Latitud N	Longitud W	Norte Y	Este X	
3	Villaflores	Champerico	16° 22' 01.8"	93° 35' 52.7"	1,809,644	436,139	950
4	Villaflores	2 km desvío Los Ángeles	16° 20' 20.9"	93° 32' 57.8"	1,806,529	441,319	680
5	Villaflores	Ejido Progreso Agrario	16° 22' 14.1"	93° 30' 16.1"	1,809,995	446,126	645
6	Villaflores	Tablón Rancho San Martín	16° 21' 23.1"	93° 26' 35.9"	1,808,412	452,655	719
8	Villaflores	Ejido Francisco Villa	16° 13' 29.5"	93° 19' 38.1"	1,793,836	465,026	596
20	Villaflores	Ignacio Zaragoza	16° 22' 17.8"	93° 08' 14.6"	1,810,047	485,328	551
21	Villaflores	Santa Inés	16° 19' 55.9"	93° 07' 19.0"	1,805,685	486,975	531
26	Villaflores	Ejido Roblada Grande	16° 30' 52.5"	93° 06' 51.7"	1,825,861	487,796	850
27	Villaflores	Rancho Santa Elena (La Jota)	16° 23' 01.1"	93° 15' 07.1"	1,811,389	473,093	663
28	Villaflores	Ejido Benito Juárez	16° 25' 22.4"	93° 18' 57.8"	1,815,740	466,257	620
29	Villaflores	Límite Villaflores-Ocozocoautla	16° 29' 27.3"	93° 27' 26.7"	1,823,294	451,181	808
30	Villaflores	Ejido Tenochtitlán	16° 26' 14.1"	93° 24' 24.1"	1,817,346	456,583	607
31	Villaflores	Rancho Las Camelias (Cristóbal Obregón)	16° 24' 04.6"	93° 27' 47.4"	1,813,380	450,545	643
32	Villaflores	Rancho El Relicario	16° 20' 15.4"	93° 23' 43.0"	1,806,322	457,780	647
33	Villaflores	Rancho Santa Rosa	16° 18' 23.6"	93° 18' 44.2"	1,802,871	466,640	714
37	Villaflores	Predio Totonilco	16° 15' 11.0"	93° 14' 24.7"	1,796,942	474,334	533
42	Villaflores	Ejido Jesús M. Gza. frente a la secundaria	16° 23' 46.2"	93° 17' 10.8"	1,812,779	469,426	637
43	Villaflores	Ejido Cuauhtémoc	16° 19' 05.5"	93° 12' 20.6"	1,804,144	478,025	564
7	Villa Corzo	Rancho El Recuerdo	16° 45' 00.8"	93° 10' 23.4"	1,851,932	481,543	618
9	Villa Corzo	Límite Villa Corzo-Chiapa de Corzo	16° 25' 48.6"	92° 56' 36.7"	1,816,520	506,029	639
10	Villa Corzo	Ejido El Parral	16° 21' 45.3"	92° 59' 33.9"	1,809,043	500,774	654
11	Villa Corzo	Ejido Jericó	16° 16' 53.4"	92° 54' 01.6"	1,800,076	510,637	625
12	Villa Corzo	Las Brisas	16° 15' 13.5"	93° 00' 07.4"	1,797,004	499,780	647
13	Villa Corzo	El Rubí	16° 12' 12.6"	93° 00' 54.4"	1,791,446	498,385	609
14	Villa Corzo	Ejido Primero de Mayo	16° 09' 04.2"	93° 07' 09.2"	1,785,660	487,254	580
15	Villa Corzo	Aserradero	16° 08' 56.3"	93° 12' 23.6"	1,785,425	477,917	663
16	Villa Corzo	Gas Villa Corzo	16° 12' 06.9"	93° 15' 39.2"	1,791,288	472,115	587
17	Villa Corzo	Rancho Alemania	16° 08' 15.2"	93° 18' 05.7"	1,784,175	467,755	610
18	Villa Corzo	Puente Río Pando	16° 12' 39.0"	93° 16' 01.8"	1,792,275	471,445	575
19	Villa Corzo	Desvío Cimarrón	16° 02' 35.5"	93° 23' 16.2"	1,773,752	458,514	721
22	Villa Corzo	El Paraíso	16° 09' 18.6"	93° 33' 12.5"	1,786,179	440,828	906
23	Villa Corzo	5 km el Paraíso (camino Sierra Morena)	16° 10' 44.0"	93° 29' 42.4"	1,788,787	44,7074	763
24	Villa Corzo	10 km el Paraíso (camino Sierra Morena)	16° 10' 46.7"	93° 25' 46.7"	1,788,854	454,073	666
25	Villa Corzo	15.6 km el Paraíso (C. Sierra Morena)	16° 11' 28.9"	93° 21' 21.0"	1,790,136	461,965	609
1	Montecristo	Cabecera municipal 3 predios	15° 44' 08.5"	92° 38' 28.0"	1,739,732	538,448	1226
2	Montecristo	Km 22	15° 44' 51.0"	92° 38' 16.8"	1,741,039	538,779	700
35	La Concordia	La Concordia 1	15° 53' 32.7"	92° 43' 34.9"	1,757,054	529,293	619
36	La Concordia	La Concordia 2	15° 57' 43.9"	92° 47' 47.0"	1,764,764	521,789	598
38	La Concordia	La Concordia-Independencia km 1	16° 07' 13.1"	92° 42' 07.1"	1,782,266	531,867	559
39	La Concordia	La Concordia-Independencia km 60	16° 08' 14.0"	92° 46' 04.6"	1,784,128	524,811	564
40	La Concordia	Independencia-Gpe. Victoria km 20	16° 03' 25.2"	92° 51' 51.3"	1,775,245	514,520	568
41	La Concordia	Independencia-Gpe. Victoria km 22	16° 02' 23.9"	92° 52' 32.0"	1,773,361	513,312	570
34	Á. Albino Corzo	Ejido Palestina	15° 48' 32.2"	92° 44' 34.4"	1,747,819	527,535	731

¹Datos registrados con GPS Marca Garmin, Modelo Map 76CSx.²UTM = *Universal Transverse Mercator*; conversión a UPS (*Universal Polar Stereographics*) con mapa datum WGS84; Huso 15; Zona Q.

3.3 Morfometría de las semillas

Con ayuda de un calibrador digital automático Autotec (Fourier Systems, México), con una resolución de 0.01 mm y una longitud máxima de 150 mm, se tomaron las medidas de largo, ancho y grosor de 10 semillas de *Jatropha* seleccionadas al azar; se promediaron los resultados para obtener la media en cada una de las accesiones.

3.4 Determinación del peso de semilla

Se pesaron 50 g de semillas de cada accesión, en una balanza analítica Pioneer con una capacidad máxima de 110 g (Ohaus Corporation, Pine Brook, NJ, USA). Posteriormente se contó el número de semillas para obtener el peso promedio individual.

3.5 Extracción del aceite

Para conocer el contenido de aceite de cada accesión, la extracción de aceite de las semillas se realizó en el Laboratorio de la Universidad Politécnica de Chiapas, en Tuxtla Gutiérrez, en un espacio adecuado para la utilización de sustancias tóxicas y volátiles, protegido con cristales y campana de extracción. La obtención del aceite se realizó por el método de Soxhlet, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-089-S (Cuadro A2).

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones de cada accesión, haciendo un total de 129 muestras.

3.5.1 Obtención de la harina

Se molieron aproximadamente 12 g de semillas con cáscara, en un molino manual (F No 4 Quaker City Mill Philadelphia), en un tiempo aproximado de 15 min (Figura 2).

3.5.2 Secado de los matraces

Los matraces redondos se metieron al horno a una temperatura de 100 °C durante 2 h, luego se dejaron enfriar durante 30 min en un desecador y se pesaron en una balanza analítica Pioneer con capacidad máxima de 110 g (Ohaus Corporation, Pine Brook, NJ, USA). Este proceso se repitió tres o cuatro veces, hasta obtener dos mediciones iguales, considerándose entonces que los matraces habían alcanzado un peso constante, y se guardaron en un desecador.

3.5.3 Montaje del equipo Soxhlet

Para cada accesión, se instalaron tres aparatos Soxhlet en soportes universales como se observa en la Figura 3, de la siguiente manera:

- a) Se conectaron las mantillas a un regulador de corriente.
- b) Con la ayuda de pinzas de tres dedos, se sostuvieron los refrigerantes.
- c) Se colocó el sistema circulatorio de agua, con una bomba conectada al refrigerante mediante una manguera y un recipiente con hielo para mantener la temperatura del agua menor a 20°C. La temperatura se monitoreaba con un termómetro digital MultiLog PRO (Fourier Systems, México), con un rango de temperaturas -20 a 110°C.

3.5.4 Extracción del aceite

Se pesaron 3 g de harina (Figura 4) y se colocaron en los cartuchos desechables, sobre una gasa y se cubrieron con otra gasa, para evitar que la muestra fuera arrastrada por el solvente en cada uno de los ciclos de extracción; posteriormente los cartuchos se colocaron en los porta cartuchos de cristal (Figura 5).

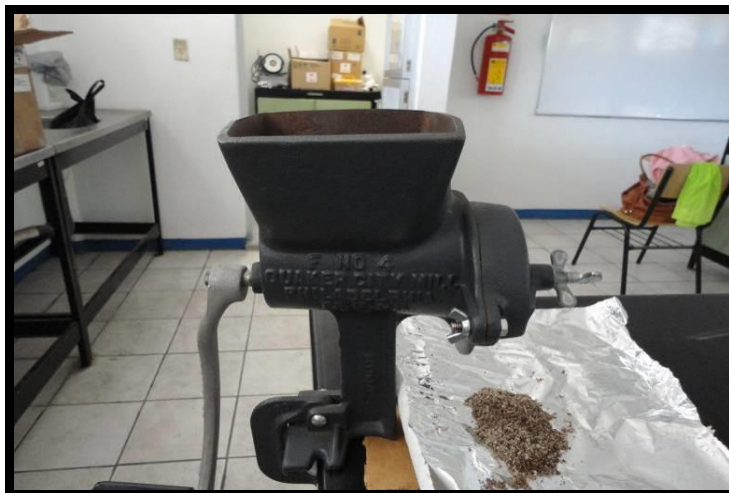


Figura 2. Molino manual para obtener la harina de piñón.



Figura 3. Equipos Soxhlet instalados para analizar las muestras por triplicado.



Figura 4. Pesado de las muestras de harina de semilla de piñón.

Se colocaron los matraces previamente sometidos a desecación, con 150 mL del solvente (éter etílico anhídrido). Se inició la circulación de agua fría por el refrigerante y se encendieron las mantillas para calentarlas, hasta obtener un flujo de dos gotas de solvente por segundo (Figura 6). Se retiraron los cartuchos después de 15 ciclos de extracción (Figura 7), para asegurar que se hubiera arrastrado todo el aceite (3 a 4 horas). Se prosiguió a realizar dos ciclos más, para recuperar aproximadamente el 60% del solvente utilizado. Los extractos obtenidos se dejaron en los matraces redondos, tapados con papel aluminio, dentro de la campana de extracción.

Al día siguiente, los matraces con los extractos se metieron al horno a una temperatura de 100 °C durante 2 h, luego se dejaron enfriar durante 30 min en un desecador y se pesaron en una balanza analítica Pioneer con una capacidad máxima de 110 g (Ohaus Corporation, Pine Brook, NJ, USA). Este proceso se repitió tres o cuatro veces, hasta obtener dos mediciones iguales, considerándose entonces que los matraces habían alcanzado un peso constante. De la diferencia entre el peso inicial y el peso final, se obtiene el porcentaje de aceite de cada muestra.

3.6 Determinación de porcentaje de humedad de la harina

Para la determinación del porcentaje de humedad, se colocaron aproximadamente 3 g de harina de cada una de las 43 accesiones, en una termobalanza Ohaus MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, New Jersey, U.S.A.), tomándose lecturas a intervalos de 10 min hasta obtener tres mediciones iguales. Este proceso varió entre 100 y 310 min, dependiendo del contenido de humedad inicial de las muestras.



Figura 6. Circulación aparato Soxhlet.



Figura 7. Cartuchos con muestras extraídas.

3.7 Perfil de ácidos grasos

El análisis de perfil de ácidos grasos de aceite obtenido de 39 accesiones de *Jatropha*, se efectuó en la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. Cada accesión se analizó por triplicado.

3.7.1 Obtención de aceite de las muestras

Se utilizó el proceso de extracción del aceite mediante el método Soxhlet (Apartado 3.5), sin someterlo a peso constante, con la finalidad de evitar el sobrecalentamiento de las muestras, que pudiera ocasionar la alteración de su composición. Se obtuvo sólo un extracto de aceite por accesión.

3.7.2 Cromatografía

Los ácidos grasos fueron determinados con un Cromatógrafo de Gases (Agilent 7890A) equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un muestreador automático (Agilent 7683B) a una temperatura de entrada y del detector de 250°C, una rampa de temperaturas de 50°C, 2 min; 30°C/min hasta 220°C, 20 min; 5°C/min hasta 255°C, 10 min. El volumen de inyección fue de 1 µL, el gas que se utilizó como acarreador fue helio, y como detectores el hidrógeno, aire y helio.

Como patrón se utilizaron 100 mg de una mezcla de 34 ácidos grasos (16 saturados, 8 monoinsaturados y 10 poliinsaturados), cuya conformación química va de 4 a 24 átomos de carbono, en concentraciones de 2 a 4% para cada uno (Cuadro 2). Los tiempos de retención (TR) indican el periodo en que sale la señal, ya que las moléculas más pequeñas salen más rápidamente.

Cuadro 2. Composición de la mezcla utilizada como patrón en el análisis cromatográfico.

Ácidos grasos	Fórmula	(%)	TR ¹ (min)
Saturados			
Ácido butírico	C4:0	4.02	2.22
Ácido caproico	C6:0	4.00	3.71
Ácido caprílico	C8:0	3.99	4.91
Ácido cáprico	C10:0	3.99	5.84
Ácido undecanoico	C11:0	2.00	6.26
Ácido laurico	C12:0	3.99	6.64
Ácido tridecanoico	C13:0	1.99	7.00
Ácido mirístico	C14:0	4.01	7.35
Ácido pentadecanoico	C15:0	2.01	7.69
Ácido palmítico	C16:0	5.98	8.03
Ácido heptadecanoico	C17:0	2.01	8.41
Ácido esteárico	C18:0	3.99	8.87
Ácido araquídico	C20:0	4.01	10.11
Ácido heneicosanoico	C21:0	2.02	10.99
Ácido tricosanoico	C23:0	2.01	13.60
Ácido lignocérico	C24:0	4.00	15.54
Monoinsaturados			
Ácido miristoleico	C14:1	2.02	7.49
Ácido cis-10-pentadecenoico	C15:1	1.99	7.82
Ácido palmitoleico	C16:1	2.00	8.14
Ácido cis-10- heptadecenoico	C17:1	1.99	8.54
Ácido oleico	C18:1	6.06	8.99
Ácido cis-11-eicosenoico	C20:1	2.00	10.30
Ácido erúcico	C22:1 n9	1.99	12.45
Ácido nervónico	C24:1 n9	2.00	16.09
Poliinsaturados			
Ácido linoleico	C18:2	4.00	9.26
Ácido cis- 11,14-eicosadienoico	C20:2	1.99	10.74
Ácido cis-13,16-docosadienoico	C22:2	2.00	13.19
Ácido gama-linolénico	C18:3 n6	1.99	9.46
Ácido linolénico	C18:3 n3	2.00	9.68
Ácido cis-8,11,14-eicosatrienoico	C20:3 n6	1.99	11.01
Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico	C20:3 n3	2.00	11.43
Ácido araquidónico	C20:4 n6	2.01	11.29
Behénico + EPA	C22:0 + C20:5	5.98	12.12
Ácido docosahexaenoico (dha)	C24:6 n3	1.99	16.19

¹TR = Tiempo de retención en minutos.

3.8 Análisis estadísticos

Los resultados de la morfometría de las semillas (largo, ancho, grosor y proporción largo/ancho) así como los de contenidos de humedad, de aceite y de ácidos grasos saturados e insaturados, se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del paquete estadístico SAS 1997, para determinar si había diferencias significativas entre accesiones. Cuando éstas existieron, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.9 Análisis de frecuencias

El análisis de frecuencias indica la clasificación de las accesiones de *Jatropha* ordenadas en grupos con base en rangos imparciales, de acuerdo a la variabilidad de datos. Los criterios usados fueron determinados por características deseables para la obtención de biocombustibles, entre las que se encuentran: alto contenido de aceite, alto contenido de ácidos grasos insaturados como el oleico y linoleico y bajo contenido de ácidos grasos saturados como el palmítico.

3.10 Pruebas de correlación lineal de Pearson

Se aplicó la prueba de correlación lineal entre las variables: contenido de humedad, contenido de aceite, largo, ancho, grosor, proporción largo/ancho, peso de las semillas y altitud. También se aplicó a los contenidos de los once ácidos grasos más frecuentes (palmítico, esteárico, lignocérico, mirístico, tricosílico, linoleico, oleico, nervónico, docosadienoico, erúcido, palmitoleico) y la altitud.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es una medida de la asociación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, que se obtiene al dividir la covarianza entre el producto de las desviaciones típicas de cada variable: $r = S_{xy}/S_x S_y$.

El coeficiente de correlación (r) es adimensional (carece de unidades de medida); sólo toma valores comprendidos entre -1 y 1 , de tal manera que:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. Indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva. 0.95 = Correlación fuerte; 0.80 = Correlación significativa; 0.70 = Correlación moderada; 0.50 = Relación parcial.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pueden existir relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. Indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

3.11 Análisis de regresión lineal

Las técnicas de regresión permiten hacer predicciones sobre los valores de cierta variable $\hat{Y}$ (dependiente), a partir de los de otra X (independiente), y se trata de encontrar una función simple (lineal) de X que permita aproximar Y mediante una recta de mínimos cuadrados:

$$\hat{Y} = a + bX$$

Donde: a = ordenada en el origen, constante b = pendiente de la recta.

El coeficiente de determinación R^2 indica el porcentaje del ajuste que se consigue con el modelo lineal y es igual al cuadrado del coeficiente de correlación (r). Es una medida de la proximidad o de ajuste de la recta de regresión a la nube de puntos. También se le denomina bondad del ajuste.

Se aplicaron análisis de regresión lineal entre los ácidos grasos más abundantes, que resultaron ser el linoleico, palmítico y oleico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Morfometría de las semillas

Las medidas obtenidas para cada accesión se muestran en el Cuadro 3. El largo de las semillas varió entre 14.52 y 19.10 mm, con promedio de 17.29 ± 1.05 mm. El ancho de las semillas varió entre 10.04 y 12.15 mm, con un promedio de 11.00 ± 0.43 mm. El grosor de las semillas varió entre 8.06 y 9.59 mm, con un promedio de 8.85 ± 0.34 mm. Cabe señalar que todos estos valores límite se encontraron en accesiones del municipio de Villaflores. Estas medidas concuerdan con las reportadas por Falasca y Ulberich (2008) y Ghosh y Singh (2011), que analizaron accesiones de Sudamérica e India, respectivamente.

La relación largo/ancho varió en un intervalo de 1.31 a 1.80, con promedio de 1.57 ± 0.11 , lo que denota que son semillas alargadas. En esta variable se encontró el mayor coeficiente de variación (6.44 %).

Los resultados obtenidos para estas cuatro variables morfométricas en las 43 accesiones de semilla, mostraron diferencia estadística significativa de acuerdo al análisis de varianza (Cuadros A3 a A6); no obstante, la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) no permitió discriminar grupos de semillas bien diferenciados por su morfometría (Cuadro 3).

4.2 Peso de semillas

El peso individual de las semillas varió entre 0.52 g y 0.86 g, siendo el promedio de 0.68 ± 0.07 g, con un coeficiente de variación aceptable (9.98 %) (Cuadro 4). No se encontró relación significativa entre esta variable y el municipio de procedencia de las accesiones, así como entre el peso de las semillas y su tamaño.

Cuadro 3. Largo, ancho y grosor de 43 accesiones de semilla de *J. curcas* de la Región Frailesca, Chiapas.

Accesión	Municipio	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Largo/Ancho
23	Villa Corzo	18.47 abcde	10.27 dc	8.57 cdefgh	1.80 a
34	Ángel Albino Corzo	18.55 abcd	10.57 bcd	8.49 defgh	1.75 ab
28	Villaflores	17.31 abcdefghij	10.04 d	8.47 efgh	1.72 abc
8	Villaflores	19.10 a	11.19 abcd	9.06 abcdefg	1.71 abcd
15	Villa Corzo	19.06 ab	11.13 abcd	8.94 abcdefgh	1.71 abcd
25	Villa Corzo	18.57 abcd	10.90 bcd	8.66 bcdefgh	1.70 abcdef
41	La Concordia	18.51 abcde	10.92 bcd	8.74 abcdefgh	1.70 abcdef
27	Villaflores	18.54 abcd	10.91 bcd	8.88 abcdefgh	1.70 abcde
7	Villa Corzo	18.10 abcdefg	10.84 bcd	9.56 ab	1.67 abcdefg
9	Villa Corzo	17.59 abcdefghi	10.58 bcd	8.62 cdefgh	1.66 abcdefg
22	Villa Corzo	18.28 abcdef	11.00 abcd	8.72 abcdefgh	1.66 abcdefg
4	Villaflores	18.28 abcdef	11.18 abcd	8.90 abcdefgh	1.64 abcdefgh
11	Villa Corzo	17.22 abcdefghij	10.53 bcd	9.03 abcdefg	1.64 abcdefgh
24	Villa Corzo	17.18 bcdefghij	10.59 bcd	8.62 cdefgh	1.62 bcdefghi
38	La Concordia	17.89 abcdefgh	11.03 abcd	8.91 abcdefgh	1.62 bcdefghi
40	La Concordia	18.30 abcdef	11.33 abc	8.72 abcdefgh	1.62 bcdefghi
32	Villaflores	18.68 abc	11.67 ab	8.90 abcdefgh	1.60 bcdefghij
18	Villa Corzo	17.04 cdefghij	10.67 bcd	8.33 fgh	1.60 bcdefghij
37	Villaflores	16.11 hijk	10.07 d	8.06 h	1.60 bcdefghij
14	Villa Corzo	18.31 abcdef	11.52 ab	8.98 abcdefg	1.59 bcdefghij
36	La Concordia	17.34 abcdefghij	10.92 bcd	8.93 abcdefgh	1.59 bcdefghij
13	Villa Corzo	17.44 abcdefghi	11.06 abcd	8.84 abcdefgh	1.58 cdefghij
43	Villaflores	17.11 cdefghij	10.83 bcd	8.45 efgh	1.58 cdefghij
10	Villa Corzo	17.40 abcdefghij	11.10 abcd	9.09 abcdefg	1.57 cdefghij
39	La Concordia	17.10 cdefghij	10.87 bcd	8.55 cdefgh	1.57 cdefghij
26	Villaflores	17.34 abcdefghij	11.19 abcd	9.59 a	1.55 defghijk
35	La Concordia	17.80 abcdefgh	11.45 ab	9.39 abcd	1.55 defghijk
20	Villaflores	16.34 ghijk	10.59 bcd	8.49 defgh	1.54 efghijk
1	Montecristo	16.86 cdefghij	10.95 bcd	9.02 abcdefg	1.54 defghijk
12	Villa Corzo	16.84 cdefghij	10.92 bcd	8.97 abcdefg	1.54 defghijk
16	Villa Corzo	17.19 bcdefghij	11.26 abc	9.29 abcde	1.53 fghijk
2	Montecristo	17.48 abcdefghi	11.50 ab	9.13 abcdef	1.52 fghijk
19	Villa Corzo	16.68 defghij	10.97 bcd	8.86 abcdefgh	1.52 fghijk
33	Villaflores	15.80 ijk	10.55 bcd	8.86 abcdefgh	1.50 ghijkl
6	Villaflores	15.76 ijk	10.70 bcd	8.66 cdefgh	1.47 hijklm
17	Villa Corzo	16.44 fghij	11.16 abcd	8.70 abcdefgh	1.47 hijklm
29	Villaflores	15.72 ijk	10.79 bcd	8.71 abcdefgh	1.46 ijklm
31	Villaflores	16.68 defghij	11.59 ab	9.15 abcdef	1.44 jklm
21	Villaflores	16.63 efghij	11.62 ab	9.00 abcdefg	1.43 jklm
30	Villaflores	16.14 hijk	11.62 ab	9.25 abcde	1.39 klm
3	Villaflores	15.53 jk	11.26 abc	8.88 abcdefgh	1.38 klm
5	Villaflores	16.36 ghijk	12.15 a	9.45 abc	1.35 lm
42	Villaflores	14.52 k	11.06 abcd	8.21 gh	1.31 m
Media		17.29	11.00	8.85	1.57
Desv. estándar		1.05	0.43	0.34	0.11
C.V. (%)		5.66	3.98	3.91	6.44

Letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Desv. estándar = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

n = 10 semillas por accesión.

Cuadro 4. Peso de semilla y contenidos de humedad y de aceite, en 43 accesiones de *J. curcas* de la Región Frailesca, Chiapas.

Accesión	Municipio	Peso de semilla (g)	Humedad (%)	Aceite (%)
32	Villaflores	0.68	6.89	39.17 a
5	Villaflores	0.70	8.09	39.08 a
9	Villa Corzo	0.69	6.95	38.81 ab
17	Villa Corzo	0.66	7.55	38.52 abc
13	Villa Corzo	0.71	7.42	38.48 abc
40	La Concordia	0.64	5.76	38.13 abcd
12	Villa Corzo	0.64	6.95	38.07 abcd
29	Villaflores	0.78	7.39	38.03 abcd
22	Villa Corzo	0.73	7.75	37.55 bcde
2	Montecristo	0.67	6.41	37.55 bcde
3	Villaflores	0.56	7.82	37.39 bcdef
24	Villa Corzo	0.69	7.49	37.37 bcdef
36	La Concordia	0.63	7.21	37.37 bcdef
25	Villa Corzo	0.76	7.49	37.23 cdef
7	Villa Corzo	0.74	7.72	37.08 cdefg
6	Villaflores	0.75	4.12	36.93 defgh
1	Montecristo	0.65	6.21	36.36 efghi
14	Villa Corzo	0.62	7.42	36.30 efghi
34	Ángel Albino Corzo	0.66	6.99	36.00 fghij
30	Villaflores	0.61	7.57	35.99 fghij
42	Villaflores	0.56	6.57	35.71 ghijk
23	Villa Corzo	0.70	7.65	35.70 ghijk
43	Villaflores	0.70	6.05	35.68 ghijk
35	La Concordia	0.63	6.99	35.66 ghijkl
8	Villaflores	0.68	7.75	35.64 ghijkl
39	La Concordia	0.78	6.21	35.52 hijkl
31	Villaflores	0.62	7.28	35.51 hijkl
19	Villa Corzo	0.69	2.57	35.42 ijklm
41	La Concordia	0.62	6.87	35.06 ijklmn
28	Villaflores	0.72	7.91	34.87 ijklmno
16	Villa Corzo	0.65	7.87	34.77 jklmno
15	Villa Corzo	0.86	7.93	34.58 jklmno
26	Villaflores	0.62	7.74	34.29 klmnop
18	Villa Corzo	0.73	7.80	34.22 klmnop
11	Villa Corzo	0.76	7.75	34.17 lmnop
10	Villa Corzo	0.72	7.13	33.99 mnop
4	Villaflores	0.52	7.45	33.77 nop
27	Villaflores	0.69	7.98	33.41 opq
20	Villaflores	0.65	8.53	33.37 opq
33	Villaflores	0.71	7.14	32.95 pq
21	Villaflores	0.69	8.77	32.16 qr
38	La Concordia	0.53	6.98	31.97 qr
37	Villaflores	0.71	6.23	31.26 r
Media		0.68	7.12	35.84
Desv. estándar		0.07	1.08	2.00
C.V. (%)		9.98	15.10	5.63

Letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Desv. estándar = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

4.3 Contenido de humedad

El porcentaje promedio de humedad de las 43 muestras de harina de semilla fue de 7.12 ± 1.08 % (Cuadro 4). Estos valores concuerdan con lo reportado por Flores y Cruz (2010) en dos variedades de *J. curcas*. El coeficiente de variación de 15.10 % indica que los valores tuvieron moderada variabilidad, siendo el mínimo de 2.57 % y el máximo 8.77 %.

El contenido de humedad de una semilla se relaciona con su grado de madurez, así como las condiciones ambientales, principalmente la temperatura y el porcentaje de humedad relativa (Cayón, 1996). Así, las variaciones de humedad encontradas entre las muestras, pudieron deberse a las condiciones a las que fueron sometidas durante su cosecha, transporte y almacenamiento. La reducción de humedad prolonga la conservación de la harina al disminuir las reacciones oxidativas y el desarrollo de microorganismos.

4.4 Contenido de aceite

Los datos de porcentaje de aceite para cada una de las 43 muestras de harina de semilla de *J. curcas* se presentan en el Cuadro 4. Este porcentaje varió entre 31.26 % y 39.17%, ambos encontrados en accesiones del municipio de Villaflores; el promedio fue de 35.84 ± 2.00 %, con un bajo coeficiente de variación (5.63 %). El análisis de varianza indicó diferencia estadística significativa entre accesiones (Cuadro A7), por lo que se procedió a la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), señalando dos accesiones de Villaflores (32 y 5) con los valores significativamente más altos. La diferencia en contenido de aceite de 7.91 % entre los valores mínimo y máximo, señalan la importancia de caracterizar accesiones con el potencial de producción de aceite para la base de mejoramiento genético en búsqueda de incrementar dicho potencial.

En el análisis de frecuencias se encontraron tres grupos; solamente cuatro accesiones tuvieron un contenido de aceite menor a 33.0 %; 21 accesiones presentaron un contenido de aceite entre 33 y 36 %, mientras que en 18 accesiones el aceite fue mayor al 36 % de su peso (Cuadro 5).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos para *J. curcas* por Gübitz *et al.* (1999) de 38 %; de Pedraza y Cayón (2010) en frutos colombianos (37 y 38 %) y los encontrados por Gil-Montaña *et al.* (2010), quienes obtuvieron un contenido de aceite promedio de 34.76% y 36.16 % en semillas argentinas de *J. cordata* y *J. cardiophylla* respectivamente.

Cuadro 5. Frecuencia de accesiones ordenadas por el contenido de aceite de la semilla. Criterio de selección deseable: Contenido de aceite > 36% (Intervalo de 31.26 a 39.17%).

Clase	Contenido de aceite (%)	No. Accesiones
1	$X \leq 33.0$	4
2	$33.0 < X \leq 36.0$	21
3	$36.0 < X$	18
Total		43

4.5 Correlación entre las características de las semillas

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson (r) realizado para las características de tamaño, humedad, peso, contenido de aceite y altitud, analizadas en 39 accesiones de *J. curcas*, no se encontraron relaciones lineales que indiquen que estas características influyan significativamente para determinar la codependencia entre ellas, es decir, tanto sus coeficientes como la probabilidad asociada, no muestran que alguna variable influya fuertemente para la alteración de otra (Cuadro 6).

Como era de esperarse, los valores de correlación (r) moderados se dieron entre las variables que determinan el tamaño, habiendo sido entre la relación largo/ancho de la semilla respecto al ancho (0.67), largo (0.71), grosor (0.75) y peso (-0.70) de la

misma, así como entre el ancho y el grosor de la semilla (0.64), todas con una probabilidad menor a 0.0001. No se encontró una relación lineal significativa entre los resultados de la humedad de la harina, el contenido de aceite, el tamaño o el peso de las semillas y la altitud donde se colectaron.

Cuadro 6. Coeficiente de correlación (r) de Pearson entre características de las semillas de piñón (n = 39 accesiones).

Correlación	Humedad (%)	Aceite (%)	Largo	Ancho	Grosor	Largo/Ancho (cm)	Peso (g)	Altitud (msnm)
Humedad (%)	1.00000	0.11967 0.4446	0.17991 0.2483	0.11428 0.4656	0.20605 0.1850	0.23345 0.1319	-0.04422 0.7783	-0.11360 0.4683
Aceite (%)		1.00000	0.04069 0.7956	0.29774 0.0525	0.13165 0.4000	0.18649 0.2312	-0.38052 0.0118	0.21997 0.1564
Largo (cm)			1.00000	0.04194 0.7894	0.18331 0.2393	0.70708 <.0001	-0.58565 <.0001	-0.12542 0.4229
Ancho (cm)				1.00000	0.63837 <.0001	0.67363 <.0001	-0.41106 0.0062	-0.02370 0.8801
Grosor (cm)					1.00000	0.75375 <.0001	-0.46508 0.0017	0.15572 0.3187
Largo/Ancho						1.00000	-0.70315 <.0001	-0.03640 0.8167
Peso (g)							1.00000	-0.14525 0.3527
Altitud (msnm)								1.00000

Valor superior de cada par de datos es el coeficiente r de Pearson y el inferior es la probabilidad asociada (P).

4.6 Perfil de ácidos grasos

De los 34 ácidos grasos analizados, solamente 23 estuvieron presentes en las 39 muestras (9 saturados y 14 insaturados) (Cuadro 7). Los resultados expuestos señalan que en el aceite analizado de *Jatropha* predominan los ácidos grasos insaturados linoleico y oleico, mientras que los saturados palmítico y esteárico se encuentran en menor proporción, en concordancia con lo encontrado por Gübitz *et al.* (1999), Gil-Montaña (2010) y Pedraza y Cayón (2010).

De los 23 ácidos grasos encontrados en las 39 accesiones de la región Frailesca, 14 constituyeron en promedio, el 99% del contenido de aceite de cada una de las accesiones analizadas, de los cuales ocho fueron saturados y seis insaturados (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 7. Contenido porcentual de ácidos grasos saturados (A), monoinsaturados (B) y poliinsaturados (C), en 39 accesiones de *J. curcas*. Nomenclatura según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Resultados promedio de tres repeticiones.

A. Ácidos grasos saturados (Cn:0)

Nombre común	Nombre sistemático	Fórmula	Contenido (%)
Palmítico	Hexadecanoico	C16:0	10.09
Esteárico	Octadecanoico	C18:0	3.99
Lignocérico	Tetracosanoico	C24:0	1.08
Tricosílico	Tricosanoico	C23:0	0.39
Tridecílico	Tridecanoico	C13:0	0.30
Mirístico	Tetradecanoico	C14:0	0.14
Araquídico	Eicosanoico	C20:0	0.11
Margárico	Heptadecanoico	C17:0	0.04
Láurico	Dodecanoico	C12:0	0.01

B. Ácidos grasos monoinsaturados (Cn:1)

Nombre común	Nombre sistemático	Fórmula	Contenido (%)
Oleico	cis-9-octadecenoico	C18:1	28.68
Nervónico	cis-15-tetracosenoico	C24:1 n9	7.05
Erúcico	cis-13-docosenoico	C22:1 n9	5.93
Palmitoleico	cis-9-hexadecenoico	C16:1	0.44
Gadoleico	cis-11-eicosenoico	C20:1	0.19
	cis-10-heptadecenoico	C17:1	0.06
Miristoleico	9-cis-tetradecenoico	C14:1	0.06
Behénico + EPA	C22:0 + C20:5	C22:0 + C20:5	0.02
	cis-10-pentadecenoico	C15:1	0.02

C. Ácidos grasos poliinsaturados (Cn:2,3)

Nombre común	Nombre sistemático	Fórmula	Contenido (%)
Linoleico	cis,cis-9,12-octadecadienoico	C18:2	31.75
Docosadienoico	cis-13,16-docosadienoico	C22:2	10.03
Eicosadienoico	cis-11,14-eicosadienoico	C20:2	0.17
Linolénico	eicosa 8:11:14-trienoico	C18:3 n3	0.13
Gama-Linolénico	cis-6,9,12-octadecatrienoico	C18:3 n6	0.07

4.6.1 Contenido de los principales ácidos grasos saturados

Los principales ácidos grasos saturados presentes en las 39 accesiones se muestran en el Cuadro 8. El más abundante fue el ácido palmítico, con un contenido que varió 3.80 a 12.90 % y promedio de 10.09 ± 2.22 %. Le siguió el esteárico que varió desde 1.25 a 5.31 % de rango y una media de 3.99 ± 0.84 %; luego el lignocérico con un rango de 0.13 a 8.26 % y promedio de 1.08 ± 1.49 %; y el tricosílico, con 0.08 a 0.82 % de rango y promedio de 0.39 ± 0.26 %.

Los siguientes ácidos grasos saturados no se detectaron en todas las accesiones: el tridecílico se encontró en 34 accesiones con un rango de variación de 0.02 a 0.74 % y una media de 0.30%; el mirístico estuvo presente en 30 accesiones con un rango de 0.01 a 1.93 % y media de 0.14%; el araquídico se detectó en 33 accesiones con un rango de 0.05 a 0.19 % y una media de 0.11%; el margárico se presentó sólo en 27 accesiones en un rango de 0.01 a 0.27 % y media de 0.04%.

Los coeficientes de variación más bajos entre muestras, se encontraron en los casos del ácido palmítico y esteárico (11.95 y 15.43 % respectivamente). Los demás variaron en un rango de 45.99% (ácido tricosílico) hasta 120.62% para el ácido margárico, denotando fuertes diferencias en la composición de las muestras. Todos los ácidos con excepción del araquídico, presentaron diferencias estadísticas significativas entre muestras (Cuadros A8-A15).

Cuadro 8. Comparación de medias del perfil de ácidos grasos saturados (%), de 39 accesiones de piñón colectadas en la región Frailesca, Chiapas.

Accesión	Palmitico	Estearico	Lignocérico	Tricosilico	Tridecilico	Mirístico	Margárico	Araquídico
22	13.41 a	4.42 abcd	0.15 e	0.14 de	0.08 fgh	0.09 c	0.04 bcd	0.16 a
23	12.90 ab	4.20 abcd	0.16 e	0.22 cde	0.00 h	0.16 bc	0.016 cd	0.15 a
13	12.80 ab	3.99 abcd	0.25 e	0.22 cde	0.22 cdefgh	0.09 c	0.00 d	0.14 a
35	12.71 ab	4.63 abcd	2.39 bcd	0.15 de	0.24 bcdefgh	0.13 bc	0.06 bcd	0.17 a
3	12.62 ab	4.57 abcd	3.22 bc	0.12 de	0.23 cdefgh	0.12 c	0.07 bcd	0.18 a
26	12.19 abc	4.82 abc	0.13 e	0.12 de	0.12 efgh	0.18 bc	0.00 d	0.16 a
10	12.02 abcd	4.98 ab	1.52 bcde	0.25 bcde	0.49 abcdef	0.15 bc	0.13 abcd	0.17 a
32	11.95 abcde	4.77 abc	0.18 e	0.16 cde	0.12 efgh	0.17 bc	0.02 bcd	0.16 a
1	11.83 abcdef	4.42 abcd	0.52 ed	0.08 e	0.45 abcdefgh	0.19 bc	0.16 abc	0.18 a
9	11.74 abcdef	3.91 abcd	0.38 ed	0.23 bcde	0.33 abcdefgh	0.00 c	0.00 d	0.14 a
28	11.71 abcdefg	3.65 abcd	0.21 e	0.21 cde	0.00 h	0.00 c	0.016 cd	0.11 a
5	11.62 abcdefgh	4.5 abcd	1.23 cde	0.17 cde	0.02 gh	0.15 bc	0.016 cd	0.16 a
17	11.33 abcdefghi	5.08 a	0.16 e	0.26 bcde	0.21 cdefgh	0.12 c	0.02 bcd	0.19 a
2	11.30 abcdefghi	4.56 abcd	0.72 ed	0.16 cde	0.00 h	0.13 bc	0.06 bcd	0.18 a
20	11.09 abcdefghi	4.58 abcd	0.14 e	0.31 bcde	0.15 efgh	0.14 bc	0.02 bcd	0.16 a
39	11.00 abcdefghi	4.21 abcd	0.93 ed	0.34 bcde	0.29 abcdefgh	0.09 c	0.05 bcd	0.11 a
25	10.95 abcdefghi	4.49 abcd	0.25 e	0.25 bcde	0.17 defgh	0.13 c	0.00 d	0.15 a
6	10.94 abcdefghij	4.01 abcd	2.08 bcde	0.28 bcde	0.00 h	0.00 c	0.016 cd	0.05 a
4	10.75 abcdefghij	4.52 abcd	8.26 a	0.10 e	0.09 efgh	0.16 bc	0.05 bcd	0.15 a
31	10.53 abcdefghij	3.97 abcd	0.38 ed	0.38 bcde	0.33 abcdefgh	0.04 c	0.02 bcd	0.12 a
18	10.39 abcdefghij	4.20 abcd	0.29 ed	0.36 bcde	0.67 abc	0.05 c	0.02 bcd	0.06 a
24	10.31 abcdefghij	3.78 abcd	3.33 bc	0.27 bcde	0.18 defgh	0.17 bc	0.01 d	0.13 a
21	9.88 abcdefghij	4.51 abcd	0.18 e	0.26 bcde	0.13 efgh	0.17 bc	0.06 bcd	0.17 a
29	9.80 abcdefghij	4.34 abcd	0.39 ed	0.54 bcde	0.00 h	0.00 c	0.00 d	0.07 a
33	9.69 abcdefghij	4.25 abcd	0.85 ed	0.45 bcde	0.37 abcdefgh	0.06 c	0.02 bcd	0.12 a
12	9.67 abcdefghij	3.85 abcd	0.7 ed	0.47 bcde	0.32 abcdefgh	0.03 c	0.02 bcd	0.11 a
16	9.67 abcdefghij	3.85 abcd	0.7 ed	0.47 bcde	0.32 abcdefgh	0.03 c	0.02 bcd	0.11 a
14	9.43 bcdefghij	4.62 abcd	0.53 ed	0.43 bcde	0.44 abcdefgh	0.00 c	0.00 d	0.17 a
15	8.64 cdefghij	3.72 abcd	0.47 ed	0.49 bcde	0.42 abcdefgh	0.00 c	0.00 d	0.00 a
19	8.17 defghijk	3.56 abcd	0.43 ed	0.50 bcde	0.55 abcde	0.07 c	0.02 bcd	0.05 a
40	8.06 defghijk	3.62 abcd	0.65 ed	0.58 abcde	0.51 abcdef	0.01 c	0.09 bcd	0.14 a
36	7.99 efghijk	3.58 abcd	0.66 ed	0.62 abcde	0.44 abcdefgh	0.11 c	0.00 d	0.05 a
37	7.89 fghijk	3.32 abcde	0.90 ed	0.70 abcd	0.38 abcdefgh	0.17 bc	0.00 d	0.00 a
38	7.77 ghijkl	3.03 bcdef	0.69 ed	0.67 abcde	0.51 abcdef	0.11 c	0.00 d	0.06 a
8	7.73 hijkl	2.64 def	3.59 b	0.82 ab	0.40 abcdefgh	0.00 c	0.06 bcd	0.00 a
11	7.58 ijkl	3.60 abcd	0.96 ed	0.51 bcde	0.74 a	0.00 c	0.27 a	0.13 a
30	6.98 jkl	2.89 cdef	0.98 ed	0.74 abc	0.49 abcdefg	0.40 b	0.00 d	0.00 a
7	4.51 kl	1.37 ef	1.00 ed	1.15 a	0.70 ab	0.00 c	0.00 d	0.00 a
27	3.80 l	1.25 f	1.30 cde	1.14 a	0.62 abcd	1.93 a	0.17 ab	0.00 a
Media	10.09	3.96	1.07	0.39	0.30	0.14	0.04	0.11
Desv. st.	2.22	0.84	1.48	0.26	0.21	0.31	0.06	0.06
C.V. (%)	11.95	15.43	59.81	45.99	47.25	58.20	120.62	55.10

Letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Desv. st. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de Variación.

4.6.2 Contenido de los principales ácidos grasos insaturados

Los principales ácidos grasos insaturados presentes en las 39 accesiones analizadas se presentan en el Cuadro 9. El más abundante fue el ácido linoleico (poliinsaturado), con una amplitud de rango de 11.37 a 43.30 % y porcentaje promedio de 31.50 ± 6.68 %. El otro ácido graso poliinsaturado presente en todas las muestras fue el docosadienoico que varió desde 2.75 a 29.35 %, con un porcentaje promedio de 9.94 ± 6.42 %.

De los ácidos grasos monoinsaturados, destacó el oleico, en un rango de 8.37 a 38.20 % y promedio de 28.44 ± 6.70 %. El ácido nervónico estuvo presente en un rango de 1.87 a 20.28 % con un contenido promedio de 6.98 ± 4.44 %; el ácido erúcico se presentó en un promedio de 5.88 ± 4.07 %, con un rango de 1.62 a 20.21 % y el palmitoleico tuvo una variación de 0.00 a 0.74 % y un contenido promedio de 0.44 ± 0.15 %.

En el análisis de varianza todos los ácidos insaturados presentaron diferencias estadísticas significativas entre muestras (Cuadros A16-A21, Cuadro 9). En los casos de los ácidos linoleico y oleico, solamente las muestras 7 (procedente de Villa Corzo) y 27 (procedente de Villaflores) presentaron una concentración menor al 12 %.

Los coeficientes de variación más bajos entre muestras, se encontraron en los casos del ácido linoleico y oleico (13.91 y 13.86 % respectivamente). Los demás variaron en un rango de 25.46 % (ácido palmitoleico) hasta 43.69 % para el ácido docosadienoico, denotando fuertes diferencias en la composición de las muestras analizadas (Cuadro 9).

Es interesante observar que las accesiones 7 y 27 presentan los más bajos porcentajes de linoleico y oleico y los más altos de ácido docosadienoico, nervónico y erúcico.

Cuadro 9. Comparación de medias del perfil de ácidos grasos insaturados (%), de 39 accesiones de piñón colectadas en la región Frailesca, Chiapas.

Accesión	Linoleico	Docosadienoico	Oleico	Nervónico	Erúxico	Palmitoleico
3	31.53 abcd	2.75 e	38.20 a	2.55 fg	2.04 f	0.74 a
26	37.26 abc	2.95 e	37.35 ab	2.05 g	1.68 f	0.56 abcdefg
35	34.05 abcd	2.98 e	36.80 abc	2.31 fg	1.98 f	0.70 ab
5	35.03 abcd	4.72 cde	36.19 abcd	2.74 efg	2.58 f	0.56 abcdf
4	32.71 abcd	2.92 e	35.88 abcd	1.87 g	1.62 f	0.50 abcdefgh
32	38.52 ab	3.45 de	35.57 abcd	2.25 g	1.76 f	0.56 abcdef
13	32.89 abcd	5.51 cde	35.04 abcde	4.03 cdefg	3.84 cdef	0.60 abc
2	35.66 abc	4.72 cde	34.64 abcde	3.79 cdefg	3.05 ef	0.41 abcdefgh
6	33.39 abcd	6.78 cde	34.39 abcde	3.65 cdefg	3.51 cdef	0.54 abcdefg
17	34.07 abcd	6.53 cde	34.26 abcde	3.77 cdefg	2.82 f	0.54 abcdefg
21	34.57 abcd	6.53 cde	33.45 abcde	4.87 cdefg	3.97 cdef	0.41 abcdefgh
25	36.26 abc	6.12 cde	33.23 abcdef	3.73 cdefg	3.27 def	0.44 abcdefgh
23	36.64 abc	5.26 cde	33.12 abcdef	3.14 defg	2.89 f	0.65 abc
9	32.49 abcd	6.18 cde	31.40 abcdefg	5.97 cdefg	6.24 cdef	0.58 abcde
10	32.33 abcd	6.2 cde	30.89 abcdefg	5.22 cdefg	3.95 cdef	0.51 abcdefgh
18	31.57 abcd	9.45 cde	30.66 abcdefg	6.13 cdefg	4.89 cdef	0.47 abcdefgh
39	33.92 abcd	7.75 cde	30.58 abcdefg	5.38 cdefg	4.17 cdef	0.48 abcdefgh
22	43.30 a	3.48 de	29.29 abcdefg	2.32 fg	2.19 f	0.56 adcdfg
24	38.29 ab	6.57 cde	29.18 abcdefg	3.51 cdefg	3.26 def	0.51 abcdefg
12	31.46 abcd	10.61 cde	28.95 abcdefg	7.01 cdefg	5.54 cdef	0.46 abcdefgh
16	31.46 abcd	10.61 cde	28.95 abcdefg	7.01 cdefg	5.54 cdef	0.46 abcdefgh
20	36.64 abc	7.50 cde	27.74 abcdefg	5.69 cdefg	4.77 cdef	0.49 abcdefgh
33	26.09 bcde	12.38 cde	27.64 abcdefg	9.36 cdefg	7.19 cdef	0.43 abcdefgh
15	29.78 abcd	11.81 cde	27.13 abcdefg	9.51 cdefg	7.34 cdef	0.35 bcdefghi
14	30.24 abcd	10.6 cde	26.68 abcdefg	8.71 cdefg	7.41 cdef	0.04 abcdefgh
1	42.25 a	4.19 de	26.28 abcdefg	4.56 cdefg	3.69 cdef	0.45 abcdefgh
19	29.2 abcd	13.70 bcde	26.14 abcdefg	9.17 cdefg	7.11 cdef	0.25 dfghi
40	26.93 bcd	15.82 abcde	25.93 abcdefg	10.26 bcdefg	6.74 cdef	0.30 cdefghi
31	37.16 abc	9.55 cde	25.24 abcdefg	6.24 cdefg	4.79 cdef	0.55 abcdefg
28	37.29 abc	8.99 cde	25.15 bcdefg	5.98 cdefg	5.74 cdef	0.47 abcdefgh
29	29.74 abcd	13.15 cde	24.30 cdefg	9.03 cdefg	7.62 cdef	0.40 abcdefgh
36	27.25 bcd	15.39 abcde	23.45 defgh	10.63 bcdefg	8.95 cdef	0.23 efghi
11	27.5 bcd	14.44 bcde	22.29 efgh	12.21 abcd	8.43 cdef	0.31 cdefghi
8	20.94 def	17.30 abcd	22.28 efgh	12.15 abcde	10.91 bc	0.39 abcdefgh
38	27.64 bcd	17.5 abcd	20.74 fghi	11.15abcdefg	8.85 cdef	0.20 ghi
37	23.88 cdef	17.56 abcd	20.47 fghi	12.70 abc	10.51 bcd	0.35 bcdefghi
30	25.28 bcdef	18.94 abc	19.54 ghi	11.71 abcdef	10.47 bcd	0.20 fghi
7	11.37 f	29.35 a	11.67 hi	20.28 a	17.85 ab	0.14 hi
27	11.98 ef	27.52 ab	8.37 i	19.50 ab	20.21 a	0.00 i
Media	31.50	9.94	28.44	6.98	5.88	0.44
Desv. st.	6.68	6.42	6.70	4.47	4.07	0.15
C.V. (%)	13.91	43.69	13.86	41.02	38.37	25.46

Letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Desv. st. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación.

4.6.3 Análisis de frecuencias de los ácidos grasos

Uno de los factores más importantes para la producción de biodiesel es conocer el perfil de ácidos grasos y la relación que exista entre el contenido de grasa saturada de cadena larga y grasa insaturada (Bamgboye y Hansen, 2008). El ácido palmítico resultó ser el más abundante de los ácidos grasos saturados en las 39 muestras de *J. curcas* analizadas, Se clasificaron cuatro grupos de las accesiones, donde la mayoría (24) presentó un rango entre 8 y 12 %; ocho accesiones tuvieron un contenido menor a 8 % y siete presentaron más de 12 % (Cuadro 10).

Cuadro 10. Frecuencia de accesiones ordenadas¹ por contenido de ácido palmítico (%). Criterio de selección deseable: Porcentaje de ácido palmítico $\leq 8.0\%$ (Intervalo = 3.80 a 13.41%).

Clase	Contenido de ácido palmítico (%)	No. accesiones
1	$X \leq 4.0$	1
2	$4.0 < X \leq 8.0$	7
3	$8.0 < X \leq 12.0$	24
4	$12.0 < X$	7
Total		39

Los ácidos grasos saturados generan un alto número de cetanos pero producen un biodiesel que se solidifica a temperaturas bajas. El aceite de palma que contiene casi el 50 % de ácidos grasos saturados, tiende a producir biodiesel solamente útil en climas cálidos (Akbar *et al.*, 2009).

El ácido linoleico, por ser el componente poliinsaturado más abundante, define el índice de cetano y es deseable una baja concentración, como en las accesiones 7 (11.37%), 27 (11.98%), 8 (20.94%), 37 (23.88%) y 30 (25.28%). En las accesiones analizadas, la mayoría (23) presentaron un contenido entre 25 y 35 %, mientras que 12 tuvieron más del 35 % (Cuadro 11).

Cuadro 11. Frecuencia de accesiones ordenadas¹ por contenido de ácido linoleico (%). Criterio de selección deseable: Porcentaje de ácido linoleico > 35% (Rango = 11.37 a 43.30%).

Clase	Contenido de ácido linoleico (%)	No. accesiones
1	$X \leq 15.0$	2
2	$15.0 < X \leq 25.0$	2
3	$25.0 < X \leq 35.0$	23
4	$35.0 < X$	12
Total		39

Los aceites de soya y girasol que presentan alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico y linolénico, tienden a producir biodiesel con baja estabilidad oxidativa que se degrada rápidamente.

Estas situaciones muestran que la calidad del biodiesel depende de la proporción de ácidos grasos del aceite usado como materia prima en su producción, que debe tener un bajo contenido de ácidos grasos saturados y poliinsaturados y ser rico en ácidos grasos monoinsaturados. Siendo el ácido oleico el más abundante de estos en las muestras analizadas, se espera que confiera en gran parte la estabilidad oxidativa del biodiesel, por lo que es deseable una alta concentración como en las accesiones 3 (38.20%), 26 (37.35%), 35 (36.80%), 5 (36.19%) y 4 (35.88%).

El análisis de frecuencias indicó que 18 accesiones tuvieron un contenido entre 20 y 30 %, mientras que 18 presentaron un contenido mayor a 30% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Frecuencia de accesiones ordenadas¹ por contenido de ácido oleico. Criterio de selección deseable: Porcentaje de ácido oleico > 30% (Rango = 8.37 a 38.20 %).

Clase	Contenido de ácido oleico (%)	No. accesiones
1	$X \leq 10.0$	1
2	$10.0 < X \leq 20.0$	2
3	$20.0 < X \leq 30.0$	18
4	$30.0 < X$	18
Total		39

Con un alto contenido de grasa insaturada se genera un número de cetanos bajo, pero se obtiene un biodiesel líquido a temperatura ambiente, lo cual es necesario para no generar taponamientos en los sistemas de inyección de los vehículos que utilicen el biocombustible. Por lo tanto, es necesario tener un balance entre el contenido de grasa saturada e insaturada en el aceite a utilizar para la generación de biodiesel. El nivel mínimo recomendable de ácidos grasos insaturados es de 60% para obtener un buen nivel de cetanos y prevenir la solidificación del biodiesel (Bamgboye y Hansen 2008). Estas especificaciones aplican perfectamente al aceite del piñón, donde se ha reportado un nivel de cetanos superior a 51, que es el mínimo requerido por los estándares europeos para la producción de biodiesel (Makkar y Becker, 2009).

En las accesiones analizadas, 18 presentaron un porcentaje de ácidos grasos insaturados mayor a 83.18 % y en 21 accesiones fue menor o igual a 83.18 % (Cuadro 13).

Cuadro 13. Frecuencia de accesiones ordenadas por contenido de ácidos grasos insaturados. El criterio de separación 83.18% corresponde a la media, en un rango de 75.43 a 90.66%.

Clase	Contenido de ácidos grasos insaturados (%)	No. Accesiones
1	$X \leq 83.18$	21
2	$83.18 < X$	18
Total		39

En este sentido, la menor proporción en la composición promedio de las 39 muestras estudiadas, correspondió a los ácidos grasos saturados (16.01 %), siendo muy parecidos los monoinsaturados (41.74 %) respecto a los poliinsaturados (41.44 %); sin embargo, el 41 % de las muestras presentaron un mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados (Cuadro 14), por lo que al menos 23 accesiones pudieran ser prometedoras en la obtención de un biodiesel con características deseables.

Cuadro 14. Porcentaje de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en cada accesión de *J. curcas*. En negritas monoinsaturados > poliinsaturados (n = 39).

Accesión	Saturados %	Monoinsaturados %	Poliinsaturados %	Total %
7	8.73	49.94	40.72	99.39
27	10.59	48.08	39.50	98.17
8	15.24	45.73	38.24	99.21
33	15.82	44.63	38.47	98.91
15	13.74	44.33	41.59	99.66
9	16.73	44.19	38.67	99.59
37	13.36	44.03	41.44	98.83
3	21.13	43.53	34.28	98.94
13	17.72	43.52	38.41	99.65
36	13.45	43.26	42.64	99.35
11	13.79	43.24	41.94	98.97
40	13.66	43.23	42.75	99.64
14	15.62	43.18	40.84	99.64
21	15.36	42.70	41.10	99.16
6	17.38	42.20	40.17	99.75
18	16.04	42.15	41.02	99.21
5	17.87	42.08	39.75	99.70
2	17.11	41.90	40.38	99.39
35	20.47	41.79	37.03	99.29
26	17.71	41.64	40.21	99.56
17	17.36	41.39	40.60	99.35
10	19.72	40.57	38.53	98.82
4	24.09	39.80	35.63	97.72
12	11.32	41.96	42.07	95.35
30	12.48	41.92	44.18	98.58
38	12.83	40.94	45.14	98.91
19	13.35	42.67	42.90	98.92
29	15.14	41.35	42.89	99.38
16	15.17	41.96	42.07	99.20
31	15.73	36.82	46.71	99.26
28	15.90	37.34	46.28	99.32
25	16.39	40.67	42.38	99.44
20	16.59	38.69	44.14	99.42
39	17.02	40.61	41.67	99.30
32	17.52	40.15	41.97	99.64
23	17.81	39.81	41.90	99.50
1	17.83	34.98	46.44	99.26
24	18.18	36.46	44.87	99.51
22	18.48	34.36	46.78	99.62
Media	16.01	41.74	41.44	99.19

4.6.4 Análisis de correlación del contenido de ácidos grasos

El análisis de correlación de Pearson (r) se realizó entre cinco ácidos grasos saturados (palmítico, esteárico, lignocérico, mirístico y tricosílico), dos poliinsaturados (linoleico y docosadienoico), cuatro monoinsaturados (oleico, nervónico, erúcico y palmitoleico) y la altitud en la que se colectaron las 39 accesiones (Cuadro 15).

De acuerdo con los resultados presentados, se obtuvieron 12 correlaciones significativas positivas ($r > 0.82$) de ácidos grasos que seguramente comparten vías de síntesis metabólicas comunes. Así, el contenido de ácido palmítico se correlacionó positivamente con su forma monoinsaturada que es el palmitoleico con un coeficiente de 0.92; también con los ácidos grasos de 18 átomos de carbono (ácido linoleico, 0.88; oleico, 0.87; esteárico, 0.85).

De la misma manera, el ácido esteárico se correlacionó positivamente con sus formas insaturadas (oleico, 0.87 y linoleico, 0.82). El ácido tricosílico se correlacionó positivamente con los ácidos insaturados docosadienoico (0.99), nervónico (0.97) y erúcico (0.96). El ácido oleico se correlacionó positivamente con el palmitoleico (0.86), siendo ambos monoinsaturados. El ácido nervónico se correlacionó positivamente con el docosadienoico (0.98) y el erúcico (0.98), y a su vez, el docosadienoico se correlacionó con el erúcico (0.97).

También se encontraron 20 correlaciones significativas negativas, es decir, que al encontrar concentración alta de un ácido, seguramente la del otro es baja. Es el caso del ácido tricosílico respecto al palmítico (-0.94), linoleico (-0.92), oleico (-0.90), esteárico (-0.89) y palmitoleico (-0.84). Lo mismo ocurre en el caso de los saturados palmítico y esteárico, así como de los insaturados linoleico y oleico, respecto al nervónico, erúcico y docosadienoico (todos con un r inferior a -0.88). El ácido palmitoleico también presentó correlación significativa negativa con los ácidos nervónico, docosadienoico y erúcico.

En el Cuadro 15 puede observarse que la altitud en la que se desarrollaron las semillas no se correlacionó significativamente con el contenido de los ácidos grasos analizados.

Cuadro 15. Coeficiente de correlación (r) de Pearson¹ del contenido de ácidos grasos saturados e insaturados de piñón y la altitud en la que se colectaron las muestras (n = 39 accesiones).

Variable	Palmítico C16:0	Esteárico C18:0	Lignocérico C24:0	Mirístico C14:0	Tricosílico C23:0	Linoleico C18:2	Oleico C18:1	Nervónico C24:1	Docosadienoico C22:2	Erúcico C22:1	Palmitoleico C16:1	Altitud
Palmítico C16:0	1.000	0.8517 <.0001	-0.0235 0.8868	-0.4062 0.0103	-0.9430 <.0001	0.8798 <.0001	0.8676 <.0001	-0.9414 <.0001	-0.9515 <.0001	-0.9155 <.0001	0.9252 <.0001	0.3582 0.0252
Esteárico C18:0		1.0000	-0.0376 0.8202	-0.4621 0.0031	-0.8948 <.0001	0.8195 <.0001	0.8687 <.0001	-0.8785 <.0001	-0.9022 <.0001	-0.9133 <.0001	0.7611 <.0001	0.2281 0.1624
Lignocérico C24:0			1.0000	0.0503 0.7607	-0.0682 0.6799	-0.1176 0.4758	0.1344 0.4144	-0.1163 0.4808	-0.1036 0.5300	-0.0860 0.6024	0.1189 0.4709	0.0472 0.7752
Mirístico C14:0				1.0000	0.3942 0.0130	-0.4036 0.0108	-0.4250 0.0070	0.3730 0.0193	0.3761 0.0183	0.4992 0.0012	-0.4337 0.0058	0.0327 0.8433
Tricosílico C23:0					1.0000	-0.9172 0.0130	-0.9017 <.0001	0.9669 <.0001	0.9865 <.0001	0.9585 <.0001	-0.8456 <.0001	-0.3663 0.0218
Linoleico C18:2						1.0000	0.7436 <.0001	-0.9085 <.0001	-0.9036 <.0001	-0.9077 <.0001	0.7362 <.0001	0.3670 0.0215
Oleico C18:1							1.0000	-0.9353 <.0001	-0.9314 <.0001	-0.9343 <.0001	0.8569 <.0001	0.1678 0.3071
Nervónico C24:1								1.0000	0.9837 <.0001	0.9787 <.0001	-0.8733 <.0001	-0.2940 0.0692
Docosadienoico C22:2									1.0000	0.9665 <.0001	-0.8816 <.0001	-0.3388 0.0349
Erúcico C22:1										1.0000	-0.8506 <.0001	-0.2640 0.1043
Palmitoleico C16:1											1.0000	0.2696 0.0969
Altitud												1.0000

¹El valor superior de cada par de datos es el coeficiente r de Pearson y el inferior es la probabilidad asociada (P).

4.6.5 Análisis de regresión lineal del contenido de ácidos grasos

En las figuras 8, 9 y 10 se muestran las gráficas que representan la regresión lineal entre los ácidos grasos más abundantes en la composición del aceite de *Jatropha*: el palmítico (saturado), oleico (monoinsaturado) y el linoleico (poliinsaturado). Se incluyen las ecuaciones que describen las rectas y los valores de R^2 que corresponden al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson r , como una medida del ajuste de los puntos respecto a la recta.

Se observa en los tres casos asociaciones positivas, indicando que cuando un ácido graso aumenta su concentración, el otro también lo hace. Las predicciones de Y en función de X se describen con una precisión de 77.3% para linoleico-palmítico, 75.4% oleico-palmítico y 55.0% oleico-linoleico, lo que se refleja en la dispersión de los puntos. Esto indica que un alto contenido de ácido oleico, que es deseable para la producción de biodiesel, se asocia también con altos contenidos de palmítico y linoleico.

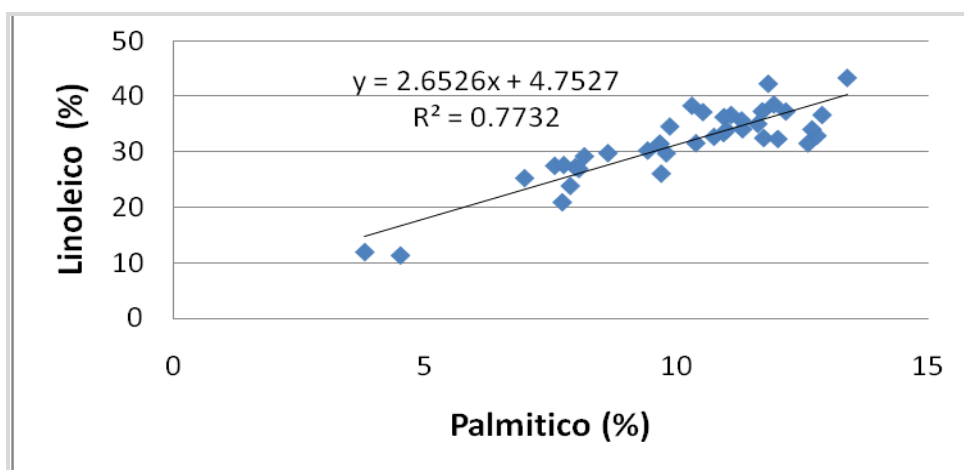


Figura 8. Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos linoleico-palmítico

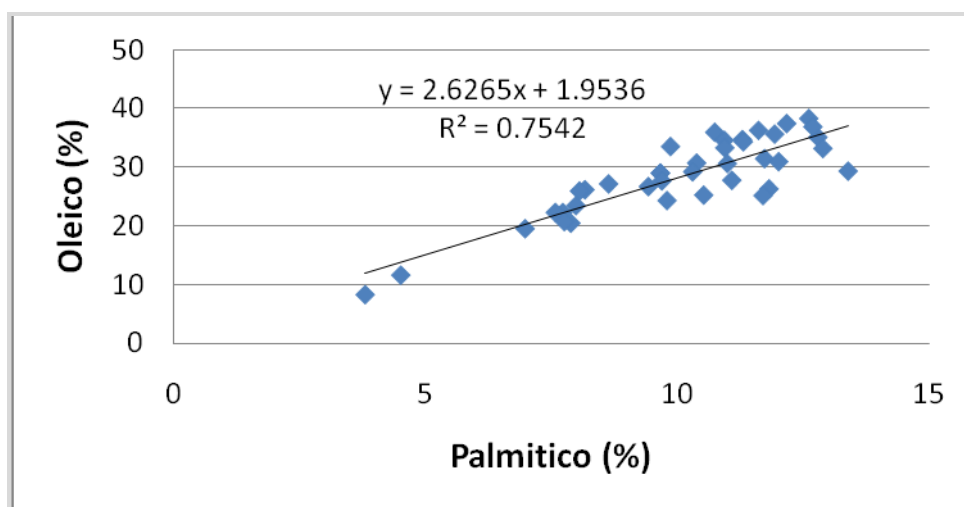


Figura 9. Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos oleico-palmitico.

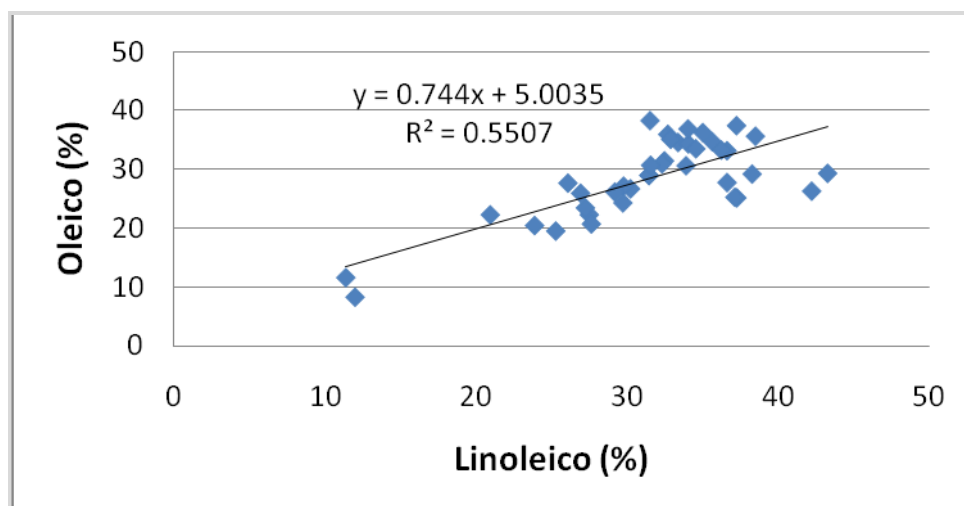


Figura 10. Análisis de regresión lineal para los ácidos grasos oleico-linoleico.

5. CONCLUSIONES

1. Las dimensiones de las semillas en las 43 accesiones colectadas en la Región Frailesca, Chiapas, presentaron diferencias estadísticas significativas, siendo en promedio 17.29 ± 1.05 mm de largo, 11.00 ± 0.43 mm de ancho y grosor de 8.85 ± 0.34 mm.
2. El peso individual promedio de las semillas fue de 0.68 ± 0.07 g y su contenido de humedad 7.12 ± 1.08 %. El contenido de aceite presentó diferencias estadísticas significativas; tuvo en promedio de 35.84 ± 2.00 %, y en 18 accesiones fue mayor al 36 % de su peso. No se encontró relación entre estas variables, ni con el municipio de procedencia de las accesiones.
3. De los 34 ácidos grasos analizados en 39 accesiones de semillas colectadas en la Región Frailesca, 14 constituyen en promedio, el 99% del contenido de grasas correspondiendo a ocho saturados y seis insaturados.
4. Entre los ácidos grasos saturados, el más abundante fue el ácido palmítico, con promedio de $10.09 \pm 2.22\%$; le siguió el esteárico con una media de $3.99 \pm 0.84\%$; luego el lignocérico ($1.08 \pm 1.49\%$) y el tricosílico ($0.39 \pm 0.26\%$). Los ácidos grasos saturados tridecílico, mirístico, araquídico y el margárico no se detectaron en todas las accesiones. Con excepción del araquídico, los demás presentaron diferencias estadísticas significativas entre accesiones.
5. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre accesiones para el contenido de ácidos grasos monoinsaturados. El más abundante en la mayoría de las muestras fue el oleico, con un promedio de $28.44 \pm 6.7\%$; le siguieron el ácido nervónico ($6.98 \pm 4.44\%$) y el ácido erúxico (5.88 ± 4.07).
6. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre accesiones para el contenido de ácidos grasos poliinsaturados. El más abundante en la mayoría de las

muestras fue el ácido linoleico ($31.5 \pm 6.68\%$), siguiéndole el docosadienoico con un porcentaje promedio de $9.94 \pm 6.42\%$.

7. Dado que la calidad del biodiesel depende de la relación entre el contenido de grasa saturada y grasa insaturada de cadena larga, es importante conocer el perfil de ácidos grasos en el aceite usado como materia prima en su producción, para predecir las características del biodiesel resultante. En las accesiones analizadas, 18 presentaron un porcentaje de ácidos grasos insaturados mayor a 83% y 23 presentaron un mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados que poliinsaturados o saturados, siendo prometedoras para la obtención de un biodiesel con características deseables.

7. La amplia variabilidad en las características morfométricas y bioquímicas de las 43 accesiones de *Jatropha* colectadas en la región Frailesca, muestra que existen materiales con características favorables para la producción de biodiesel y la necesidad de caracterizar su potencial genético para la producción comercial de aceite.

6. LITERATURA CITADA

- Alfonso B. J. 2008. Manual para el cultivo de piñón *Jatropha curcas* en Honduras. La Lima. Cortes, Honduras. pp. 3-6.
- Achten W., L. Verchot, Y. Franken, E. Mathijs, V. Singh, R. Aerts, B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32:1063-1084.
http://www.itdg.org.pe/contenido_temas.php?id=167&idcate=24
- Aderibigbe A O, C. O. L. E. Johnson, H. P. S. Makkar, K Becker, N. Foidl. 1997. Chemical composition and effect of heat on organic matter and nitrogen degradability and some antinutritional components of *Jatropha* meal. *Animal Feed Science Technology* 67:223-243.
<https://jatropha.unihohenheim.de/uploads/media/Chemical composition and effect of heat on organic matter 04.pdf>
- Akbar E., Z. Yaakub, SK. Kamarudin, M. Ismail, J. Salimon, 2009. Characteristics and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel Feedstock. *European Journal of Scientific Research*. 29(3): 396-403.
- American Heart Association Nutrition Committee. 2006. Lichtenstein, A.H., L. J. Appel, M. Brands, M. Carnethon, S. Daniels. Diet and lifestyle recommendations revision 2006. *Circulation* 114(1):82-96.
- ASERCA. 2007. Biodiesel: combustible del futuro. *Claridades Agropecuarias* 163:3-12.
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/163/ca163.pdf>
- Augustus G. S., M. Jayabalan y G. J. Seiler. 2002. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy* 23:161-164.
http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=142316
- Bamgboye A. y A. C. Hansen. 2008. Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition. *Int. Agrophysics* 22:21-29.
- Banerji R, A.R. Chowdhury, G Misra, G Sudarsanam, C S Verma, S G Srivastava (1985). *Jatropha* seed oils for energy, *Biomasa*, 8, 277-282.
http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/310/1/Bautista_Ramirez_E%20OMCSemillas%20_2010.pdf
- Bautista R., E. 2010. Tolerancia a la desecación y caracterización química de semillas de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) colectadas en el Totonacapan. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 58 P.
http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/310/1/Bautista_Ramirez_E%20OMCSemillas%20_2010.pdf
- Beltrão N. E. M. & Cartaxo, W. V. 2006. Consideraciones generales para la *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) y la necesidad urgente de investigación, desarrollo e innovación la tecnología para esta planta en las condiciones brasileñas. *Actas 3 ° Congreso Brasileño de Plantas oleaginosas, aceites, grasas y Biodiesel*. 3.
http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Biocombustibles/Gil-Montano_Extenso.pdf

- Benjumea H., P. N., J. R. Agudelo S., y G. Jaime C. 2004. Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia et Technica* 10(24):169-174. <http://gasure.udea.edu.co/docs/19.pdf>
- Berchmans H. J. y S. Hirata, S. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Biores. Techn.* 99:1716-1721. http://www.jatrophaalliance.org/fileadmin/documents/knowledgepool/BerchmansHirata_Biodiesel_production_Jatropha_High_content_free_fatty_acids.pdf
- Bewley J. D. y M. Black 1994. *Seeds. physiology of development and germination*. 2a. ed. Plenum Press, Nueva York. 445 p.
- Cayón G. 1996. Ecofisiología de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). En: Primer Curso Internacional de Palma de Aceite. Memorias. Cenipalma, Bogotá. p. 38-54.
- De la Vega L. J. 2007. *Jatropha curcas* L. Agro-Energía. Consultor Independiente, Mexico. Agro-Proyectos y Agro-Energía. 21p.
- Dunn R. O. 2005. Effect of antioxidants on the oxidative stability of methyl soyate (biodiesel). *Fuel Processing Technology*, 86:1071– 1085 http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20050101_GEN-376.pdf
- Falasca S. y A. Ulberich, 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). *Revista Virtual REDESMA*. <http://revistavirtual.redesma.org/vol4/articulo5.php?id=c1>
- Flores S., J.C. y C. J. Cruz M. 2010. Evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de dos variedades de piñón (*Jatropha curcas* L.) antes y después de un tratamiento de detoxificación. Proyecto especial. Zamorano, Honduras. 41 pp.
- Francis G., R. Edinger and K Becker. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Nat. Res. Forum* 29:12-24. http://www.corpoica.gov.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/JATROPHA_PLANTATIONS.pdf
- García de Sotero D., J. Sandoval del Águila, R. Saldaña Ramírez, G. Cárdenas de Reátegui, J. A. Soplin R., V. Sotero S., R. Pavan T. y J. Mancini F. 2008. Fraccionamiento e interesterificación del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) cultivado en la Amazonia Peruana. *Grasas y aceites* 59 (2):104-109.
- Gil-Montaña E., P.P. Alday-Lara, G. Lavandera-Barreras, L. Bringas-Alvarado, N. Gámez-Meza, y L. A. Medina-Juárez. 2010. Evaluación del potencial de semillas de *Jatropha cordata* (Ort.) Mýll. Arg. y *Jatropha cardiophylla* (Torr.) Mýll. Arg. como fuente de biodiesel. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas Biocombustibles. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. Pp. 108-123.

- http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Biocombustibles/Gil-Montano_Extenso.pdf
- Ghosh L. y L. Singh. 2011. Variation in seed and seedling characters of *Jatropha curcas* L. with varying zones and provenances. *Tropical Ecology* 52(1):113-122.
- Gross H., G Foidl, N Foidl. 1997. Detoxification of *J. curcas* press cake and oil and feeding experiments on fish and mice. En: Gübitz G. M., M. Mittelbach and M. Trabi. (eds.). *Biofuels and industrial products from Jatropha curcas*. Proceedings from a symposium held in Managua, Nicaragua, February 1997. Technical University of Graz, Graz, Austria. Pp. 179-182. www.fact-foundation.com/media_en/Index
- Gübitz G. M., M. Mittelbach and M. Trabi. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Biores. Tech.* 67(1):73-82.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852499000693>
- Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 66 p.
http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/310/1/Bautista_Ramirez_E%20OMCSemillas%20_2010.pdf
- Hoyos G. A. 2009. Análisis del perfil de ácidos grasos, Vitamina E y situación actual del etiquetado nutricional en aceites vegetales de mayor comercialización por almacenes de grandes superficies (supermercados) en Bogotá, Barranquilla y Medellín. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. p 27.
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis306.pdf>
- Huerga I., Carrizo A., Brizuela G., Querini C. 2010. Contenido y calidad de aceite obtenido de semillas de *Jatropha Curcas* cosechadas en Argentina. Instituto de Ingeniería Rural Instituto de Ingeniería Rural. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp.4-6.
- Ingeniería Civil y Medio Ambiente. 2008. Biodiesel. Madrid. s.p.
<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Biocombustibles/Biodiesel.asp>
- Jongschaap R., E. E., W. J. Corre, P. S. Bindraban and W. A. Brandenburg. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International B. V. Report 158. Wageningen, The Netherlands. 42 p. + Appendix.
<http://library.wur.nl/way/bestanden/clc/1858843.pdf>
- Landa. I. 2005. Análisis y Caracterización de Biodiesel. CEMITEC. Centro Multidisciplinar de Innovación y Tecnología de Navarra. Pamplona. España.
<http://www.cemitec.com/recursos/docs/biodiesel.pdf>
- López M., R. 2008. Potencial de producción de semilla de *Jatropha curcas* en Sinaloa. Posgrado en Geomática. Centro de Geociencias. UNAM. 14 pp.
- Makkar H P S, K. Becker, F. Sporer and M. Wink. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal Agriculture Food Chemistry* 45:3152-3127.

- Makkar H. P. S., K. Becker, B. Schmook. 1998. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Food for Human Nutr.* 52(1):31-36.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9839832>
- Makkar H. P. S. y K. Becker. 1999. Nutritional studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. *Plant Foods for Human Nut.* 53:183-192.
http://ec.europa.eu/research/agriculture/pdf/events/nutritional_studies_on_rats_and_fish_fed_diets_containing_unheated_and_heated_jatropha_curcas.pdf
- Martínez H. J. 2006. El piñón (*Jatropha curcas*) una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Yautepec, Morelos, México. s.p.
http://www.upemor.edu.mx/conacyt/informe/archivos/index.php?dir=.%2F45_EvidenciasDeGrupoPilotoActualizado%2FC45_GrupoPilotoBiologia%2FEnsayosActividadesCuestionarios%2FEnsayosBiologiaSeptiembreEBPS_5-4_Heidi_Alejandra_Rangel_Salazar_enmorelos_181110.doc
- Martínez H. J., P. Siddhuraju, G. Francis, G. Dávila O., K. Becker. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.* 96:80-89.
- Mazzani B. 1963. Plantas oleaginosas. Salvat, Barcelona. 433 p.
- Medina-Juárez L. A., Castellanos-Villegas A. E. y Gámez Meza í. 2008. Cultivos con potencial para obtener biodiesel en México, *Revista Biotecnia*, Vol. X, número 1, 3-11.
http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Biocombustibles/Gil-Montano_Extenso.pdf
- Muñoz M. y E. Jiménez. 2009. Caracterización morfométrica de cuatro ecotipos de piñón (*Jatropha curcas*) asociados con teca (*Tectona grandis*).
<http://www.cib.espol.edu.ec/catalogo/letra/C/pagina/1/indiceGeneralArticulos.aspx>. 8 p.
- Ochoa A., L. Medina, A. Castellanos, D. Nessi, G. Millán y B. Aguirre. 2008. Especies nativas de *Jatropha* como opción en el Desierto Sonorense para la producción de biodiesel. *Memorias del IV Congreso Universitario de Biología*, Hermosillo, Sonora.
http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Biocombustibles/Gil-Montano_Extenso.pdf
- Oliveira, J. S. de, P. M. Leite, L. B. De Souza, V. M. Mello, E. C. Silva, J. C. Rubim, S. M. P. Meneghetti, y P. A. Z. Suárez. 2009. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy* 33(3):449-453.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09611953408002171>
- Ovando I., V. Albores, M. Toledo, S. Ruiz, A. Vázquez, J. Jiménez, L. Adriano y M. Salvador. 2007. Producción de biodiesel en el Soconusco, Chiapas a partir de higuera (*Ricinus* sp.) y piñón (*Jatropha* sp.). *Unidades de Vinculación Docente 2ª época*. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 20 pp.

- Pedraza S., E. A. y D. G. Cayón S. 2010. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. Acta Agron. 59(1):30-36.
http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/13985/14932
- Pinzi S., I. L. García, F. J. López-Giménez, M. D. Luque de Castro, G. Dorado, M.P. Dorado. 2009. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: A review of social, economical and technical implications. Energy and Fuels 23:2325-2341.
- Salisbury F. B. y C. W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Tomo 2. Bioquímica vegetal. Edit. Thompson-Paraninfo. Madrid.
- Shah S., A. Sharma, M. N. Gupta. 2005. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. Bioresource Technology 96:121-123.
- Shah S., Sharma, S., & Gupta, M. N. 2004. Biodiesel preparation by lipase-catalyzed transesterification of *Jatropha* oil. Energy and Fuels, 18:154-159.
http://www.dictus.uson.mx/florazonasaridas/CD%20in%20Extensos/Biocombustibles/Gil-Montano_Extenso.pdf
- Torres C. A. 2008. Ficha técnica de la *Jatropha curcas* L. Cultivos energéticos.
http://www.agrointernet.com/boletin/JatrophaCurcas_FichaTecnica.pdf
- Trabi M., M G Gubitz, W Steiner, N Foidl. 1997. Toxicity of *Jatropha curcas* seeds. En: Gubitz G. M., M. Mittelbach and M. Trabi. (eds.). Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. Proceedings from a symposium held in Managua, Nicaragua, February 1997. Technical University of Graz, Graz, Austria.
http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/310/1/Bautista_Ramirez_E%20OMCSemillas%20_2010.pdf
- United States Department of Agriculture (USDA) and United States Department of Energy (USDOE). 1998. Life cycle inventory of bio-diesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report.
- Wink M., C. Koschmieder, M Sauerwein, F Sporer. 1997. Phorbol esters of *J. curcas*. Biological activities and potential applications. En: Gubitz G. M., M. Mittelbach and M. Trabi. (eds.). Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. Proceedings from the Symposium *Jatropha* 97. Managua, Nicaragua. DbV-Verlag für die Technische Universität Graz; Graz, Austria. 160-166 pp.
- Zamarripa C., A. y G. Díaz P. 2008. Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. Tuxtla Chico, Chiapas, México.
http://www.oleaginosas.org/impr_211.shtml
- Zamarripa C., A., P. A. Ruiz C., J. L. Solís B., J. Martínez H., A. Olivera S. y B. B. Martínez V. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico 12. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional

Literatura Citada

Pacífico Sur (CIRPAS), Campo Experimental Rosario Izapa (CERI). Tuxtla Chico, Chiapas, México. 46 p. ISBN: 978-607-425-203-3.

7. APÉNDICE

Cuadro A1. Ordenamiento del estado de Chiapas por nuevas Regiones Económicas, promulgadas en el Periódico Oficial del Estado No. 275 (30 de diciembre de 2010).

Región económica	Total municipios
I. Metropolitana	4
II. Valles Zoque	3
III. Mezcalapa	8
IV. De los Llanos	7
V. Altos-Tzotzil-Tzeltal	17
VI. Frailesca	5
VII. De los Bosques	13
VIII. Norte	11
IX. Istmo-Costa	4
X. Soconusco	15
XI. Sierra Mariscal	10
XII. Selva Lacandona	5
XIII. Maya	3
XIV. Tulijá-Tzeltal-Chol	7
XV. Meseta Comiteca-Tojolabal	6
Total	118

Cuadro A2. Norma Oficial Mexicana NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. *Foodstuff-determination of ether extract (Soxhlet)*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. Secretaría de Economía.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes organismos:

Cámara de Productos Alimenticios Elaborados con Leche.

Productos Pesqueros Mexicanos.

Empacadora Brener, S.A.

Diconsa.

Secretaría de Salubridad y Asistencia Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos

Laboratorio Nacional de Salubridad

Instituto Nacional del Consumidor.

Laboratorio Central de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Elías Pando, S.A.

AVISO AL PÚBLICO

Con fundamento en lo dispuesto en los Artículos 1º, 2º, 4º, 23, inciso C y 26 de la Ley General de Normas y de Pesas y Medidas, publicada en Diario Oficial de la Federación con fecha 7 de abril de 1961, esta Secretaría ha aprobado la siguiente Norma Oficial Mexicana “DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (MÉTODO SOXHLET) EN ALIMENTOS” NOM-F-89-S-1978.

0. INTRODUCCIÓN

El método Soxhlet utiliza un sistema de extracción cíclica de los componentes solubles en éter que se encuentran en el alimento.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece el procedimiento para la determinación de ácidos grasos (extracto etéreo) por el método de Soxhlet en todos los alimentos sólidos, excepto los productos lácteos.

2. REACTIVOS Y MATERIALES

- Éter etílico anhidro
 - Material común de laboratorio.
-

3. APARATOS E INSTRUMENTOS

- Extractor Soxhlet.
 - Cartucho de extracción de tamaño adecuado para el extractor.
 - Parrilla eléctrica de placa con termostato.
 - Estufa (100 a 110°C) con termostato y termómetro.
 - Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.
-

4. PROCEDIMIENTO

Transferir 5.0 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal (el dedal deberá tener un peso constante); cubrir con una porción de algodón.

Colocar el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior ajustar un matraz con cuerpos de ebullición, de 30-40 piezas de 3 mm de diámetro (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 a 110°C). Colocar el refrigerante.

Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener 2 ó 3 descargas del extractor (alrededor de 350-400 ml si se cuenta con un equipo Soxhlet con matraz de 500 ml).

Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.

Efectuar la extracción durante 4 a 6 horas (cuantificar el número de ciclos de extracción).

Suspender el calentamiento, quitar el extractor del matraz y dejar caer una gota de éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.

Evaporar suavemente el éter excedente del matraz en la mantilla de calentamiento y posteriormente secar a 100°C hasta peso constante.

5. CÁLCULOS

Porcentaje de extracto etéreo *100

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

A.1 Observaciones

A.1.1 Precaución: El éter es extremadamente inflamable. Se pueden formar peróxidos inestables cuando se almacenan mucho tiempo o se expone a la luz del sol.

Cuadro A3. Análisis de varianza para la variable Largo de Semilla.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	42	462.008	11.000	9.550	<0.0001
Error	387	445.678	1.152		
Total	429	907.686			

Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable Ancho de Semilla.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	42	78.034	1.858	4.330	<0.0001
Error	387	165.937	0.429		
Total	429	243.971			

Cuadro A5. Análisis de varianza para la variable Grosor de Semilla.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	42	47.870	1.140	4.360	<0.0001
Error	387	101.159	0.261		
Total	429	149.029			

Cuadro A6. Análisis de varianza para la variable Proporción Largo/Ancho de Semilla.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	42	5.203	0.124	12.750	<0.0001
Error	387	3.761	0.010		
Total	429	8.964			

Cuadro A7. Análisis de varianza para la variable contenido de aceite.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	42	503.947	11.999	58.510	<0.0001
Error	86	17.635	0.205		
Total	128	521.582			

Cuadro A8. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido palmítico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	559.71	14.73	10.13	<0.0001
Error	78	113.40	1.45		
Total	116	673.12			

Cuadro A9. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido esteárico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	80.06	2.11	5.66	<0.0001
Error	78	29.05	0.37		
Total	116	109.11			

Cuadro A10. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido lignocérico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	249.36	6.56	15.9	<0.0001
Error	78	32.19	0.41		
Total	116	281.55			

Cuadro A11. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido tridecílico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	5.09	0.13	6.61	<0.0001
Error	78	1.58	0.02		
Total	116	6.67			

Cuadro A12. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido mirístico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	10.64	0.28	41.02	<0.0001
Error	78	0.53	0.01		
Total	116	11.17			

Cuadro A13. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido araquídico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	0.438	0.012	3.04	<0.0001
Error	78	0.296	0.004		
Total	116	0.734			

Cuadro A14. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido margárico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	0.373	0.010	4.39	<0.0001
Error	78	0.175	0.002		
Total	116	0.548			

Cuadro A15. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido tricosílico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	7.87	0.21	6.34	<0.0001
Error	78	2.55	0.03		
Total	116	10.41			

Cuadro A16. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido linoleico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	5072.97	133.50	6.97	<0.0001
Error	78	1493.77	19.15		
Total	116	6566.74			

Cuadro A17. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido oleico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	5162.75	135.86	8.73	<0.0001
Error	78	1214.44	15.57		
Total	116	6377.19			

Cuadro A18. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido nervónico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	2282.55	60.07	7.33	<0.0001
Error	78	639.23	8.20		
Total	116	2921.78			

Cuadro A19. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido docosadienoico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	4700.21	123.69	6.55	<0.0001
Error	78	1472.09	18.87		
Total	116	6172.31			

Cuadro A20. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido erúxico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	1886.42	49.64	9.75	<0.0001
Error	78	397.29	5.09		
Total	116	2283.71			

Cuadro A21. Análisis de varianza para la variable contenido de ácido palmítoleico.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Accesiones	38	2.72	0.07	5.71	<0.0001
Error	78	0.98	0.01		
Total	116	3.70			