

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL



Obtención y evaluación de la estructura,
composición e inducción oxidativa de un
aceite vegetal de fuente no convencional

POR:

GUADALUPE SALINAS CASTAÑÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial
para obtener el título de:

Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Obtención y evaluación de la estructura, composición e inducción oxidativa de un aceite vegetal de fuente no convencional

POR

GUADALUPE SALINAS CASTAÑÓN

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Obtención y evaluación de la estructura, composición e inducción oxidativa de un
aceite vegetal de fuente no convencional**

T E S I S

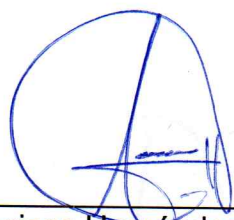
Presentada por

GUADALUPE SALINAS CASTAÑÓN

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

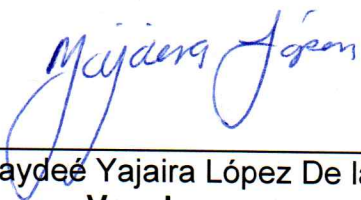
A P R O B A D A



M.P. Francisco Hernández Centeno
Presidente



Dra. María Hernández González
Vocal



M.C. Haydeé Yajaira López De la Peña
Vocal



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez
Vocal suplente



Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Obtención y evaluación de la estructura, composición e inducción oxidativa de un
aceite vegetal de fuente no convencional**

T E S I S

Presentada por

GUADALUPE SALINAS CASTAÑÓN


y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

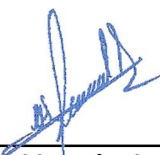
Fue dirigida por el siguiente comité:



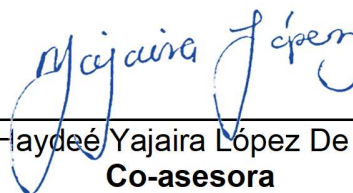
M.P. Francisco Hernández Centeno
Asesor Principal



Dr. Juan Manuel Tirado Gallegos
Asesor Principal Externo



Dra. María Hernández González
Co-asesora



Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Co-asesora

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

DEDICATORIAS

La presente tesis, está dedicada a Dios por poner a las personas adecuadas en mi camino:

A mis padres, que a cada paso que doy están a mi lado.

A mi familia: mis hijas, mi hermano, mis sobrinos.

Especialmente a mi maestro y amigo, Francisco.

A cada uno de ustedes: infinitamente agradecida por todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento eterno a mi Alma Mater por la gran oportunidad que me dio y brindarme cobijo en sus aulas.

A cada uno de mis maestros, quienes me dieron parte de sus conocimientos.

A mis compañeros de clases y amigos por ser parte de mi formación.

Agradecimiento especial para mis asesores y cada una de las personas que apoyaron para la realización de esta tesis.

Al Laboratorio de Carbohidratos, Empaques y Alimentos Funcionales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. – unidad Cuauhtémoc, en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, por las facilidades otorgadas para la realización de los análisis de inducción oxidativa por calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Al Departamento de Nutrición Animal de la UAAAN, por las facilidades y apoyo técnico otorgado en la determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
CONTENIDO	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. HIPÓTESIS	13
4. OBJETIVOS	14
4.1. General.	14
4.2. Específicos.....	14
5. REVISIÓN DE LITERATURA	15
5.1. Lípidos.....	15
5.1.1. Definición	15
5.1.2. Estructura	16
5.1.3. Función biológica y nutricional.....	16
5.1.4. Usos en la industria alimentaria y no alimentaria.....	17
5.1.5. Fuentes de obtención	18
5.1.6. Aceites de origen animal	18
5.2. Oferta y demanda de aceites de origen vegetal	18
5.3. Parámetros de calidad de los aceites: estabilidad oxidativa	21
5.4. Fuentes no convencionales de aceite vegetal.....	22
5.5. La calabacilla loca (<i>Cucurbita foetidissima</i> Kunth)	23

5.5.1. Clasificación taxonómica	25
5.5.2. Distribución geográfica	25
5.5.3. Las semillas de calabacilla loca.....	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS	28
6.1. Obtención de aceite de semillas de calabacilla loca (ASCL).....	28
6.2. Refinación del ASCL	28
6.3. Determinación de espectrogramas de infrarrojo (IR)	29
6.4. Determinación del perfil de ácidos grasos.....	29
6.5. Determinación de la estabilidad oxidativa	30
6.6. Análisis estadístico.....	31
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
7.1. Obtención de aceite	32
7.2. Análisis del espectro infrarrojo (FTIR).....	32
7.3. Perfil de ácidos grasos.....	34
7.4. Estabilidad oxidativa.....	36
8. CONCLUSIONES	40
9. LITERATURA CITADA	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional mexicana de aceites y grasas comestibles y su pronóstico de crecimiento (Seale & Associates, 2017)	19
Figura 2. Importaciones mexicanas de aceites vegetales en el periodo 2010 – 2014 (Legiscomex, 2015, con información de la Secretaría de Economía).	20
Figura 3. Planta de calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i> HBK) (Melaragno, 2011).....	25
Figura 4. Espectrogramas IR de ASCL crudo y refinado.....	33
Figura 5. Tiempos de inducción oxidativa (DSC) a diferentes temperaturas para el ASCL crudo.....	37
Figura 6. Tiempos de inducción oxidativa (DSC) a diferentes temperaturas para el ASCL refinado.....	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías de lípidos y ejemplos típicos.....	15
Cuadro 2. Clasificación taxonómica para la calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i> HBK)	25
Cuadro 3. Perfil de los principales ácidos grasos presents en el ASCL crudo y refinado, así como la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados.	35
Cuadro 4. Tiempos de inducción oxidativa a diferente temperature para ASCL crudo y refinado.	36

RESUMEN

La creciente demanda de aceites vegetales ha orillado al estudio de fuentes no convencionales. La calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth) sería una fuente alternativa, ya que se ha reportado un alto contenido de aceite en las semillas de sus frutos. Se recolectaron frutos de esta especie en la zona sureste del municipio de Saltillo, Coahuila, donde se localizaron frutos en baldíos y orillas de caminos, principalmente; se extrajeron las semillas y se realizó el acondicionamiento previo a la extracción. Se realizó la extracción por método de arrastre con solvente y la refinación del aceite por método combinado. Se determinó la estructura química por FTIR-ATR, composición (perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases) y estabilidad térmica de éste (por calorimetría diferencial de barrido). El rendimiento de aceite crudo fue de 34%, los espectrogramas de infrarrojo de ambos aceites (crudo y refinado) revelaron la presencia de grupos funcionales correspondientes a ácidos grasos, sin detectarse grupos funcionales ajenos. En cuanto a su composición, se obtuvo el perfil de ácidos grasos, donde predominaron los ácidos grasos insaturados: 73.26% en aceite crudo y 63.28% en el refinado. El proceso de refinación del aceite tuvo un efecto de disminución de la estabilidad oxidativa. Los resultados indicaron que tanto el aceite crudo como el refinado podrían ser una alternativa de consumo.

Palabras clave: *aceite vegetal, ácidos grasos, espectrograma IR, inducción oxidativa*

1. INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales son compuestos orgánicos obtenidos a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumulan como fuente de energía y donde también cumplen un papel importante en el funcionamiento y la estructura de las células (Saldaña y Martínez-Monteagudo, 2013). Son ésteres formados por unión de ácidos grasos con glicerol. Constituyen los compuestos más estables, no son fácilmente degradables, no se disuelven en el agua y tienen una densidad menor que ésta. La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95 % de triglicéridos y 5 % de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios (FAO, 2012). En la dieta humana los lípidos son importantes por su aporte de energía, además de precursores de otras moléculas, como diversas hormonas; mientras que en la industria alimentaria su importancia radica en sus propiedades lubricantes, su sabor, sus propiedades como transmisores de calor, por ser vehículo de diversos ingredientes y otras muchas funciones (Orsavova *et al.*, 2015; Sánchez-Paz *et al.*, 2018).

Según lo reportaron Seale y Asociados (2017), en los últimos años se ha desarrollado una demanda cada vez más creciente de aceites vegetales para la industria alimentaria y el uso doméstico, debido a sus múltiples usos y aplicaciones en las industrias alimenticia, cosmética, farmacéutica e incluso en la producción de biocombustibles (Pardauil *et al.*, 2011), lo que ha aumentado el consumo per cápita (Dorni *et al.*, 2017); esto ha orillado a la búsqueda de nuevas fuentes de esta materia prima multifuncional. Por ello, este trabajo se centró en evaluar la estructura y composición química, así como

la estabilidad oxidativa del aceite de semillas de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth), con la finalidad de sentar las bases para explorar la viabilidad de su consumo como materia prima alternativa en la industria de alimentos, o bien, para dirigir su aprovechamiento hacia otro tipo de industria.

2. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas se han explorado en el mundo varias fuentes no convencionales que han mostrado su potencial para complementar o acrecentar la oferta de aceites vegetales comestibles en el mercado. Una de esas fuentes no convencionales son las semillas de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth), una planta que crece silvestre en las regiones semidesérticas de Norteamérica (Lira-Saade *et al.*, 2009), la cual, por los pocos cuidados agronómicos que exige, es una fuente interesante para explorar, dado el alto contenido de aceite en sus semillas (hasta 36 %), según se ha reportado en estudios previos (Stevenson *et al.*, 2007), aunque también se ha estudiado el aceite de otras semillas de cucurbitáceas, como las de *Cucurbita pepo* L., *Cucurbita moschata* y *Cucurbita maxima* reportadas por Seymen *et al.* (2016) y Shaban y Sahu (2017). Sin embargo, no basta con la obtención del aceite crudo, sino que es necesaria su refinación y caracterización, a fin de que pueda evaluarse como una propuesta válida de aceite vegetal comestible (Graso, 2013).

3. HIPÓTESIS

H₀: La estructura, composición y estabilidad térmica del aceite de semillas de calabacilla loca no se ve afectado por el proceso de refinación.

H_a: La estructura, composición y estabilidad térmica del aceite de semillas de calabacilla loca son afectadas por el proceso de refinación.

4. OBJETIVOS

4.1. General.

Extraer, refinar y comparar la estructura y perfil de ácidos grasos, así como evaluar la estabilidad térmica de aceite crudo y refinado de semillas de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth).

4.2. Específicos.

- 4.2.1. Obtener semillas de calabacilla loca y acondicionarlas para la extracción de su aceite.
- 4.2.2. Extraer aceite crudo de semillas de calabacilla loca acondicionadas.
- 4.2.3. Refinar el aceite crudo de semillas de calabacilla loca.
- 4.2.4. Determinar la estructura química del aceite crudo y refinado.
- 4.2.5. Determinar el perfil de ácidos grasos del aceite crudo y refinado.
- 4.2.6. Determinar la estabilidad oxidativa del aceite crudo y refinado.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Lípidos

5.1.1. Definición

Tradicionalmente se ha definido a los lípidos como sustancias solubles en solventes orgánicos; sin embargo, con el tiempo esta definición ha dejado de ser la más adecuada y precisa, por lo que en 2005 se propuso una nueva definición y un sistema de clasificación de los lípidos mucho más exhaustivo (Fahy *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Categorías de lípidos y ejemplos típicos

Categoría	Ejemplo
Ácidos grasos	Ácido oléico
Glicerolípidos	Triglicérido
Glicerofosfolípidos	Fotidilcolina
Esfingolípidos	Esfingosina
Esteroles	Colesterol
Isoprenoides	Farnesol
Glucolípidos	UDP-3-O(3 hidroxitetradecanoil)- N-acetilglucosamina
Policétidos	Aflatoxina

Adaptado de Fahy *et al.* (2005), tomado de FAO (2010)

La nueva definición parte de una base química y define a los lípidos como pequeñas moléculas hidrófobas o anfipáticas (o anfifílicas) que pueden originarse completamente o en parte a través de condensaciones de tioésteres o unidades de isopreno. El sistema de clasificación de los lípidos que se propuso permite catalogar los lípidos y sus propiedades siguiendo unas pautas que son compatibles con otras bases de datos macromoleculares. Partiendo de este enfoque, los lípidos de los tejidos biológicos se clasifican en ocho

categorías diferentes tal y como se puede apreciar en la Cuadro 1. Cada categoría presenta a su vez distintos tipos y subtipos de moléculas (Fahy *et al.*, 2005).

5.1.2. Estructura

Las grasas y los aceites están formados por un gran número de compuestos orgánicos, entre los que se incluyen los ácidos grasos, monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, fosfolípidos, eicosanoides, resolvinas, docosanoides, esteroides, ésteres de esteroides, carotenoides, vitaminas liposolubles, alcoholes grasos, hidrocarburos y ésteres de ceras (FAO, 2010).

La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95 % de triglicéridos y 5 % de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios, según lo refieren Tabio-García *et al.*, (2017).

Calvo-Grajales (2003) refiere que los ácidos grasos más comunes en la composición general de los aceites vegetales son el láurico (12:0), mirístico (14:0), palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2), α -linoleico (18:3) y erúcico (22:1).

5.1.3. Función biológica y nutricional

Los ácidos grasos constituyen los principales componentes de los lípidos y son necesarios en la nutrición humana como fuente de energía y para cumplir con funciones de carácter metabólico y/o estructural (FAO, 2010).

Los aceites y grasas poseen características y propiedades que los hacen indispensables en el metabolismo y estructura de los seres vivos y necesarios en diversos procesos de la industria de alimentos (Medina, 2010):

- ✓ Son reservorio y fuente de energía (9 kcal/g).
- ✓ Funcionan como vehículo de vitaminas liposolubles (A, D, E, K).
- ✓ Favorecen la absorción de calcio.
- ✓ Forman parte del mecanismo de transporte a través de la membrana celular de otros compuestos de naturaleza lipídica.
- ✓ Funcionan como lubricantes y/o plastificantes.
- ✓ Son buenos conductores de calor.
- ✓ Comunican sabores y texturas a los alimentos.

Actualmente, el consumo de aceites vegetales ha desplazado al consumo de grasas de origen animal, debido a que estas últimas se han relacionado con enfermedades crónico-degenerativas, cardiovasculares y del metabolismo (obesidad), según lo refiere Cefla-Miranda (2015).

5.1.4. Usos en la industria alimentaria y no alimentaria

Según refiere Rojas-Ramos (2019), la industria alimentaria es la principal consumidora de grasas y aceites vegetales y animales, pues resultan indispensables dado que imparten a los alimentos textura, consistencia y sabor característico, por lo que es materia prima insustituible en la producción de materias primas alimenticias secundarias tales como: margarinas, grasas para panadería y repostería, aceites para ensalada y aceites para cocinar, los cuales se emplean en el procesamiento de una gran variedad de alimentos. Por otro lado, las grasas y aceites también son indispensables en sectores no alimenticios, como la industria jabonera, cosmética y de biocombustibles.

5.1.5. Fuentes de obtención

Los aceites se pueden clasificar en dos categorías: los vegetales puros, los cuales se obtienen de un solo tipo de semilla y pueden ser comestibles o no comestibles (p.e. el de ricino), y los vegetales comestibles, los cuales se elaboran con uno o más aceites de las diferentes variedades que hay en el mercado (Legiscomex, 2015).

Los aceites vegetales comestibles se obtienen principalmente a partir de semillas oleaginosas (70 % de la producción mundial) tales como soya, girasol, cártamo, colza o algodón, pero también suelen obtenerse de otras fuentes como el maíz, la palma de aceite, el coco, el olivo o el almendro (Proexport Colombia, 2004), y también a partir de frutos oleaginosos como el aguacate y el coco (Grasso, 2013).

5.1.6. Aceites de origen animal

Según reportan Tabio-García *et al.*, (2017), existen también diversos aceites de origen animal que han llegado a consumirse, como el de ballena, el de foca y el de hígado de bacalao, pero actualmente para aplicaciones en alimentos se utilizan principalmente aquellos extraídos de tejidos vegetales (semillas, frutos y raíces).

5.2. Oferta y demanda de aceites de origen vegetal

Hasta la década del 50 del siglo XX, el consumo mantenía una proporción similar entre grasas de origen animal y aceites de origen vegetal, situación que cambió 10 años después, cuando la soya se consolidó como la principal fuente de aceite vegetal comestible e inició el fuerte repunte de la industria aceitera global. Lo mismo sucedió en México (Proexport Colombia, 2004). Sin embargo, México no es un país con gran producción de aceites y grasas comestibles, y su elaboración está a cargo de unas pocas empresas, tales como Associated British Foods Plc, Fábrica de Jabón la Corona, SA de

CV, Unilever de México, S de RL de CV y Ragasa Industrias, SA de CV, que acaparan aproximadamente el 75 % de participación del mercado nacional (Seale & Associates, 2017).

A pesar de la poca producción, durante los últimos años la oferta de aceites y grasas comestibles nacionales ha ido incrementándose de manera lenta (apenas 1.8 % anual), pero sostenida (Fig. 1), aunque en términos de valor monetario el crecimiento ha sido del doble del de la producción (3.6%), alcanzando en 2017 un valor de \$34.6 mil millones y los pronósticos indican que esta tendencia seguirá en el futuro, según lo reportado por Seale & Associates (2017).

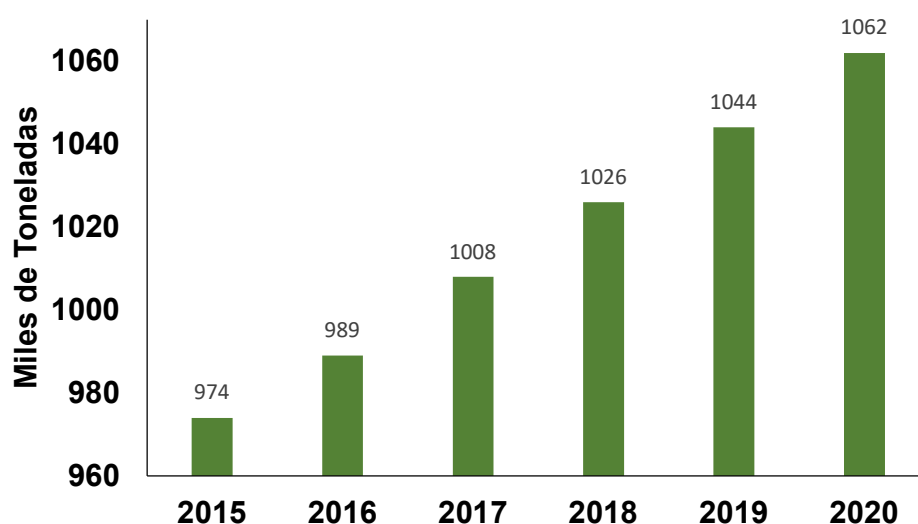


Figura 1. Producción nacional mexicana de aceites y grasas comestibles y su pronóstico de crecimiento (Seale & Associates, 2017)

Al ser un producto que pertenece a la canasta básica familiar, la demanda de aceites vegetales tanto nacional como internacional es relativamente alta, lo que significa que, para cubrir la demanda interna del país, México debe importar grandes cantidades de semillas oleaginosas (Legiscomex, 2015).

Hasta 2004, a pesar de poseer una infraestructura importante para la producción aceitera, México importaba hasta el 80 % de la materia prima para dicho proceso, lo que lo hizo dependiente de los mercados internacionales tanto de oleaginosas, como de aceite en bruto, que entonces representaba hasta el 33 % de su consumo nacional general (Proexport Colombia, 2004). Para 2015, esta situación no había cambiado, según lo reporta Legiscomex (2015), quienes reportaron que las importaciones de oleaginosas habían tenido un crecimiento promedio anual, de 2010 a 2014, del 5.3 %, no así las importaciones de aceite vegetal, las cuales mostraron una tendencia a la baja en el mismo periodo (Fig. 2).

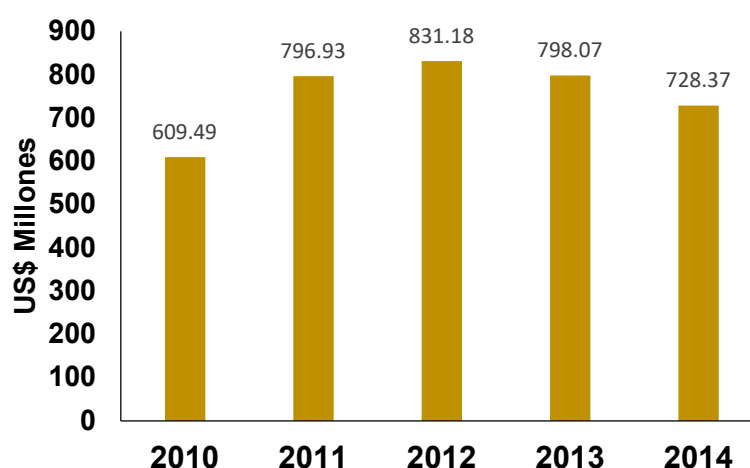


Figura 2. Importaciones mexicanas de aceites vegetales en el periodo 2010 – 2014 (Legiscomex, 2015, con información de la Secretaría de Economía).

Según cifras de la Secretaría de Economía de México, en el 2014 las compras de aceites vegetales en el exterior fueron de US\$728.37 millones, un 8.7 % menos de lo registrado en 2013, por lo que, debido a que la oferta crece de manera lenta, la demanda de este tipo de producto de consumo en México tiene que seguir siendo satisfecha con producto importado (Seale & Associates, 2017), ya que esta se ha visto incrementada por los

cambios en los hábitos de consumo de la población, que busca incluir cada vez más alimentos sanos en su dieta (Legiscomex, 2015).

5.3. Parámetros de calidad de los aceites: estabilidad oxidativa

Si bien los parámetros de calidad que suelen evaluarse en los aceites vegetales comestibles incluyen sus propiedades fisicoquímicas como: color, densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de peróxidos, índice de yodo e índice de saponificación (Rojas-Ramos, 2019); sin embargo, la de terminación de la estabilidad oxidativa es un parámetro que no suele medirse, pero que resulta de importancia a la hora de proponer un aceite de una fuente no convencional, de manera que se pueda determinar su vida de anaquel, e incluso el posible uso al que se pudiera destinar

Según Rauen-Miguel *et al.* (1992), la estabilidad oxidativa de aceites y grasas puede ser evaluada a través de la exposición de estos a una atmósfera rica en oxígeno a elevadas temperaturas, obteniendo como respuesta la velocidad de reacción en el tiempo, y el intervalo desde que inicia la prueba hasta el momento en que se comienza a presentar la reacción se conoce como “periodo de inducción”, que puede definirse como “el tiempo necesario para que los cambios organolépticos comiencen a ser detectados”.

Rauen-Miguel *et al.* (1992) refieren que el periodo de inducción es un parámetro muy importante, ya que su extensión representa una medida de la estabilidad oxidativa de grasas y aceites, lo que se puede traducir en su capacidad para resistir la oxidación. Esto está relacionado con la vida de anaquel de estos productos, lo que obviamente depende de su composición y condiciones de almacenamiento y/o uso.

5.4. Fuentes no convencionales de aceite vegetal

Para los países no desarrollados o en desarrollo, como México, la problemática de la importación de oleaginosas para satisfacer su demanda interna no pasa desapercibida. Varios han sido los esfuerzos que se han estado desarrollando para intentar dar solución a dicha problemática en cuanto a la exploración de fuentes no convencionales de aceites vegetales comestibles que posean iguales o mejores características que ampliamente explotados alrededor del mundo.

Por ejemplo, se han evaluado los aceites obtenidos de las semillas de linaza, uva, de piñón (Navas-Hernández, 2010) y aguacate (Jiménez *et al.*, 2001). Las especies promisorias como el inchi o cacay (*Caryodendron orinocense*), el seje (*Oenocarpus bataua*), la tamaca (*Acrocomia acuelata*) e importantes nueces como el marañón (*Anacardium excelsum*), el camajón (*Sterculia apetala*), el castaño (*Pachira aquatica*) y otras, están destinadas a resolver el problema de los aceites comestibles en el trópico (Vega-Turizo, 2004).

Varias especies de calabaza también han sido estudiadas, como las reportadas por Nederal, *et al.*, 2014; Petkova & Ankova, 2015; Seymen *et al.*, 2016 y Shaban & Sahu, 2017 en diversos países de África y Europa del este.

En Norteamérica no ha sido excepción la búsqueda de fuentes alternativas no convencionales, y una de las especies exploradas desde hace tiempo como fuente no convencional de aceite vegetal ha sido la calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK) con fines de consumo humano y otros usos (Wood & Jones, 1943; Vasconcellos *et al.*, 1980; Vasconcellos & Berry, 1982; Khoury *et al.*, 1982; Stevenson *et al.*, 2007).

5.5. La calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth)

Lira-Saade (2001) describe a la calabacilla loca (Fig. 3) como una planta herbácea, esencialmente rastrera, perenne, por lo general despidiendo un fuerte olor; raíces principales engrosadas, tuberosas, fusiformes, napiformes o claviformes, frecuentemente alcanzando grandes dimensiones (hasta 2 m de profundidad y 25 cm de diámetro); tallos más o menos rollizos a ligeramente anguloso-sulcados al secar, densamente escabroso-pubescente-aculeolados, enraizando en los nudos pero nunca formando raíces tuberosas; pecíolos robustos, de 4.5 a 14 cm de largo, escabroso-pubescente-aculeolados, láminas foliares usualmente triangulares o triangular-sagitadas, de 12 a 26 cm de largo y 7 a 20 cm de ancho en la base, enteras a muy ligeramente angulosas o lobadas cerca de la base, rara vez 3 a 5- 21 anguloso-lobadas y con un lóbulo central bien definido, ápice obtuso a agudo, mucronado, base usualmente truncada o muy anchamente cordada, bordes casi enteros a denticulados o irregularmente dentados, rígido-coriáceas, verde-grisáceo-canescientes, ambas superficies escabroso-pubescente-aculeoladas, principalmente sobre las venas, el envés con las venas más resaltadas y el indumento más denso, zarcillos robustos, cortos, con 3 a 5 ramificaciones, angulosos, densamente pubescentes; flores estaminadas solitarias, pedicelos robustos, usualmente más cortos que el pecíolo de la hoja adyacente, de 2 a 6 cm de largo, escabroso-pubescente-aculeolados, perianto 5-mero, receptáculo campanulado, de 15 a 20 mm de largo y 14 a 23 mm de ancho, densamente escabroso-pubescente-aculeolado a tomentoso-aculeolado, sépalos triangular-lanceolados, de 6 a 15 mm de largo y 1 a 3 mm de ancho, densamente pubescentes, corola amarillo-anaranjado-verdosa, 5-dividida hasta más o menos la mitad de su longitud total, de 6.5 a 10 cm de largo, pubescente a fuertemente escabroso-pubescente-aculeolada sobre las venas, la porción tubular

angostándose ligeramente hacia la base, lóbulos obtusos a agudos, cortamente mucronados, bordes ligeramente ondulado-crenulados, involutos hacia el ápice, filamentos de 6 a 19 mm de largo, cortamente pubescentes o puberulentos, ligeramente ensanchados hacia la base, columna de las anteras de 17 a 33 mm de largo y 4 a 7 mm de ancho; flores pistiladas solitarias, ubicadas en axilas diferentes de las propias de las estaminadas, pedicelos angulosos, de 1.5 a 2.3 cm de largo, densamente escabroso-pubescente-aculeolados, ovario globoso a ovoide, densamente pubescente, glabrescente con la edad, columna de los estilos robusta, de 10 a 15 mm de largo, puberulenta hacia la base, estigmas bilobados; fruto globoso a oblato, rara vez ligeramente ovoide, de 6 a 8 cm de largo y casi otro tanto de ancho, verde claro opaco, con franjas longitudinales y pequeñas manchas o franjas más cortas irregulares de color crema o blanco-verdoso, epicarpo liso, engrosado, rígido, mesocarpo fibroso, blanco, de sabor muy amargo, pedúnculo rígido, anguloso, sulcado, de 2.5 a 3 cm de largo, ensanchándose en la unión con el fruto, escabroso-pubescente-aculeolado, glabrescente con la edad; semillas numerosas, ovado-elípticas, de 9 a 12 mm de largo y 6 a 7 mm de ancho, ligeramente comprimidas, blancas o de color crema muy pálido, bordes no diferenciados, ápice obtuso. Florece y fructifica de mayo a diciembre.

Granados-Sánchez y López-Ríos (1999) refieren que la calabacilla loca se ha asociado con los grupos recolectores- cazadores del norte de México desde antes de la llegada de los españoles, probablemente más que una planta silvestre es una planta que se desarrolló en sitios perturbados por el hombre. Sus semillas eran usadas como alimento, tostadas de diferentes formas, su aceite se usó como cosmético; el fruto verde maduro como detergente, lo mismo que las raíces y éstas últimas además con fines medicinales por su contenido de ciertas saponinas bioactivas (Gaidi, *et al.* 2000, Royo-Márquez,

Mellgoza-Castillo y Sierra-Tristán, 2003; Stevenson, et al. 2007; Lira-Saade, Eguiarte-Frums y Montes-Hernández, 2009; Man, et al. 2010; Schauss, 2010).



Figura 3. Planta de calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK) (Melaragno, 2011)

5.5.1. Clasificación taxonómica

Monroy (2007), refiere la siguiente clasificación taxonómica para la calabacilla loca (Cuadro 2):

Cuadro 2. Clasificación taxonómica para la calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK)

Clase	<i>Angiosperma</i>
Subclase	<i>Dicotiledonea</i>
Orden	<i>Cucurbitales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Tribu	<i>Cucurbitaneae</i>
Género	<i>Cucurbita</i>
Especie	<i>foetidissima</i>

5.5.2. Distribución geográfica

La calabaza silvestre xerofítica, *Cucurbita foetidissima* HBK, conocida en México como “calabacilla loca” y en E.U.A. como “calabaza búfalo”, se desarrolla en las regiones

semiáridas del desierto chihuahuense y sonoreense, al norte de México (Berry, Scheerens & Bemis, 1978; Granados-Sánchez y López-Ríos, 1999).

Lira-Saade (2001) menciona que esta planta crece en zonas de matorral xerófilo y pastizales, muy frecuentemente como ruderal y algunas veces como arvense. Se distribuye en México en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Jalisco y el Estado de México, extendiéndose incluso a estados del Istmo, como Oaxaca y Chiapas (Lira-Saade, Eguiarte-Frums y Montes-Hernández, 2009). Royo-Márquez, Mellgoza-Castillo y Sierra-Tristán (2003) mencionan que crece en pastizales medianos, en matorrales, en sitios inundables y en la orilla de los caminos. Crece en suelos gravosos de textura media a gruesa, con preferencia por los sitios semi-sombreados.

5.5.3. Las semillas de calabacilla loca

Según Granados-Sánchez y López-Ríos (1999), la calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) contiene gran cantidad de aceite vegetal y proteínas en las semillas. Wood y Jones (1943) reportaron un contenido de 29.7 % de aceite en las semillas, mientras que Dreher y Berry (1983) reportan hasta un 38 % de aceite y un 30 % de proteína; así mismo, Curtis, Scheerens & Berry (1986) refieren un contenido de aceite y proteína en las semillas del 24-36 % y 30-35 %, respectivamente.

Por otra parte, Lira-Saade (2001) y Lira-Saade, *et al.*, (2009) comentan que en sus semillas puede poseer hasta un 30.4 % de aceite y 35.4 % de proteína. Por último, Stevenson, *et al.* (2007) refieren un contenido de entre 28 y 36 % de aceite para las semillas de calabacilla loca.

La calabacilla loca (*C. foetidissima* H.B.K.), ha mostrado ser un recurso genético potencial susceptible de cultivarse, para la producción de aceite comestible, proteínas y carbohidratos en la elaboración de varios alimentos (Royo-Márquez, Mellgoza-Castillo y Sierra-Tristán, 2003), e inclusive se ha considerado en algunos países como fuente de aceite para producción de biocombustibles (Amigun & Musango, 2011).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Obtención de aceite de semillas de calabacilla loca (ASCL)

La recolección de frutos de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) se llevó a cabo de forma manual en varias zonas del sureste del municipio de Saltillo, Coahuila, México, alrededor de las siguientes coordenadas de referencia: 25° 14' 2.313" N, 101° 0' 27.753" O, y 25° 13' 45.716" N, 100° 49' 25.324" O, a 2500 msnm.

El acondicionamiento de la materia prima se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN. Se extrajeron y lavaron las semillas con agua potable simple hasta la eliminación del mucílago; se secaron por convección natural al sol en entre-tela de algodón durante 2 días, hasta lograr una humedad de $\approx 15\%$. Se molieron luego en licuadora Oster™ Profesional BPST02-B00 (Sunbean Mexicana, SA de CV, México, D.F.) a velocidad media durante 15 s, y se retiró la mayor cantidad de cascarilla (fibra) a través de una malla No. 60. El material resultante se lavó para eliminar compuestos solubles en agua y se secó en estufa de convección forzada Novatech™ (Avante Tecnología, SA de CV, Tlaquepaque, Jalisco, Méx.) a 40 ± 1 °C durante 24 h. El aceite se extrajo utilizando la primera parte del método 920.39 de la AOAC (Latimer, 2012), utilizando éter de petróleo anhidro ACS como solvente. Se guardó una parte del producto en frasco ámbar de cierre hermético a 6 ± 1 °C, y el resto se sometió a un proceso de refinación fisicoquímica.

6.2. Refinación del ASCL

Este proceso se llevó a cabo en el laboratorio de bromatología del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN, según lo establecido por Grasso (2013),

con modificaciones. Se colocaron 500 mL de NaOH al 3 % y 25 g de aceite crudo en un matraz Erlenmeyer de 1 L, seguido de calentamiento a reflujo durante 30 min; posteriormente, se decantó para retirar los ácidos grasos libres saponificados. El aceite se lavó en 5 ocasiones con 150 mL de agua destilada a 75 °C y se filtró a través de papel filtro Whatman No. 1 adicionando 25 g de sulfato de sodio anhidro grado reactivo para eliminar la humedad. Finalmente, se destiló la micela para obtener la fase oleosa pura. Para la desodorización y blanqueamiento, en el matraz utilizado para la destilación de la micela, se agregó 7 % p/p de carbón activado. La mezcla se sometió a 85 °C por 30 min, en agitación suave. Se filtró en caliente en embudo de vidrio y papel filtro Whatman No. 1. La muestra se enfrió a temperatura ambiente y se guardó en frasco ámbar etiquetado y de cierre hermético a 6 ± 1 °C.

6.3. Determinación de espectrogramas de infrarrojo (IR)

Este análisis se llevó a cabo en el Departamento de Ciencia y Tecnología de la UAAAN. Se realizó a temperatura ambiente en un espectrofotómetro de infrarrojo Spectrum Two (Perkin Elmer Inc., Waltham, Massachusetts, EUA) equipado con un módulo universal ATR (attenuated total reflectance) con cristal diamante. Se colocó muestra suficiente en el detector. Las frecuencias de transición vibracional se reportaron en números de onda (cm^{-1}) dentro del infrarrojo medio. Se registró un promedio de 30 barridos con una resolución de 4 cm^{-1} en la región de 450 a 4000 cm^{-1} .

6.4. Determinación del perfil de ácidos grasos

Esta determinación se llevó a cabo en el laboratorio de nutrición del Departamento de Nutrición Animal de la UAAAN. Se realizó la esterificación de los ácidos grasos de acuerdo con la metodología reportada por Haas *et al.* (2003), con modificaciones. Se

inyectó 1 μL de muestra esterificada diluida (1:10 en hexano A.C.S) en un cromatógrafo de gases Perkin Elmer[®] modelo AutoSystem XL con detector FID a 300 °C, utilizando una columna capilar Alltech[®] EC-100 de 30m \times 0.32mm \times 0.25 μm y una rampa de calentamiento de 90 hasta 240 °C con incremento de 5 °C/min por 15 min. El tiempo de análisis fue de 31 min. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador. La identificación y cuantificación de los ácidos grasos se realizó comparando las características cromatográficas de los picos desconocidos con los de la mezcla estándar de ácidos grasos certificada SUPELCO[®] FAME mix C4–C24 (Fig. 2^a).

6.5. Determinación de la estabilidad oxidativa

Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Carbohidratos, Empaques y Alimentos Funcionales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. – unidad Cuauhtémoc, en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua. Se llevó a cabo según lo reportado por Tan *et al.* (2002) en un equipo DSC4000 (PerkinElmer Inc., Waltham, USA). Las temperaturas de las isotermas se programaron a cuatro temperaturas: 110, 120, 130 y 140 °C, se utilizó un flujo de oxígeno purificado (99.8 %) a 50 mL/min. Para cada isoterma se utilizaron muestras del ASCL de 5 ± 0.5 mg pesadas en charolas de aluminio sin tapa, las cuales fueron colocadas en la cámara del DSC. Los tiempos de inducción oxidativa (t_0) se tomaron en el punto de intersección de la extrapolación de la línea base y la tangente de la curva para cada temperatura de tratamiento, de acuerdo con lo referido por Pardauil *et al.* (2011) y, finalmente, se determinaron las ecuaciones de regresión lineal.

6.6. Análisis estadístico

El experimento se realizó en un diseño completamente al azar, las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron utilizando ANOVA de una sola vía y prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con nivel de confianza de 95% en el software Statgraphics X64 de Aphelion®.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Obtención de aceite

El rendimiento obtenido para ASCL crudo fue de 34 %, respecto de la masa total de la materia prima, una vez concluido el proceso de extracción. Este rendimiento resultó por debajo de lo reportado para aceites de semillas de otras especies de cucurbitáceas, como *Cucurbita pepo* y *Cucurbita máxima*, aunque ello depende de muchos factores, como las condiciones de cultivo, climáticas, entre otras (Seymen *et al.*, 2016), y debe considerarse que la muestra estudiada correspondió a semillas recolectadas en estado silvestre. Sin embargo, dicho rendimiento fue similar al reportado para esta misma especie por Lira-Saade *et al.* (2009).

7.2. Análisis del espectro infrarrojo (FTIR)

En el espectro infrarrojo resultante, tanto para el ASCL crudo como para el refinado (Fig. 4), se visualizó una banda de tensión correspondiente al enlace C=C a los 3004 cm^{-1} , correspondiente a los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites, además de dos bandas a los 2924 y 2856 cm^{-1} , asociadas a tensión de los enlaces C-H simétrico y C-H asimétrico en CH_2 . Más atrás, a los 1744 cm^{-1} se mostró una banda asociada al movimiento de extensión del enlace C=O, típico de los enlaces de triglicéridos. Entre los 1452 y 1228 cm^{-1} se apreciaron varias bandas correspondientes a la flexión de enlaces C-H en CH_2 y CH_3 ; y a los 1156 cm^{-1} se ubicó una vibración de tensión correspondiente al enlace C-O, así como a los 1104 cm^{-1} se localizó vibración de tensión O- CH_2 , así como también se observó una banda a los 712 cm^{-1} , correspondiente a la flexión de $(\text{CH}_2)_n$ con $n > 4$, propias de esqueletos carbonados de considerable longitud.

No se observaron cambios perceptibles en la intensidad de las bandas de los 3600 a 3400 cm^{-1} , que evidenciarían la presencia de hidroperóxidos, y tampoco en las bandas presentes entre 1800 y 1700 cm^{-1} , relacionadas a los carbonilos, según lo referido por Elodio-Policarpo *et al.* (2019). Esta información reveló que no se presentaron cambios de importancia en la estructura molecular del aceite de semilla de calabacilla loca después de la refinación, considerando la ausencia de grupos funcionales ajenos a los de los ácidos grasos.

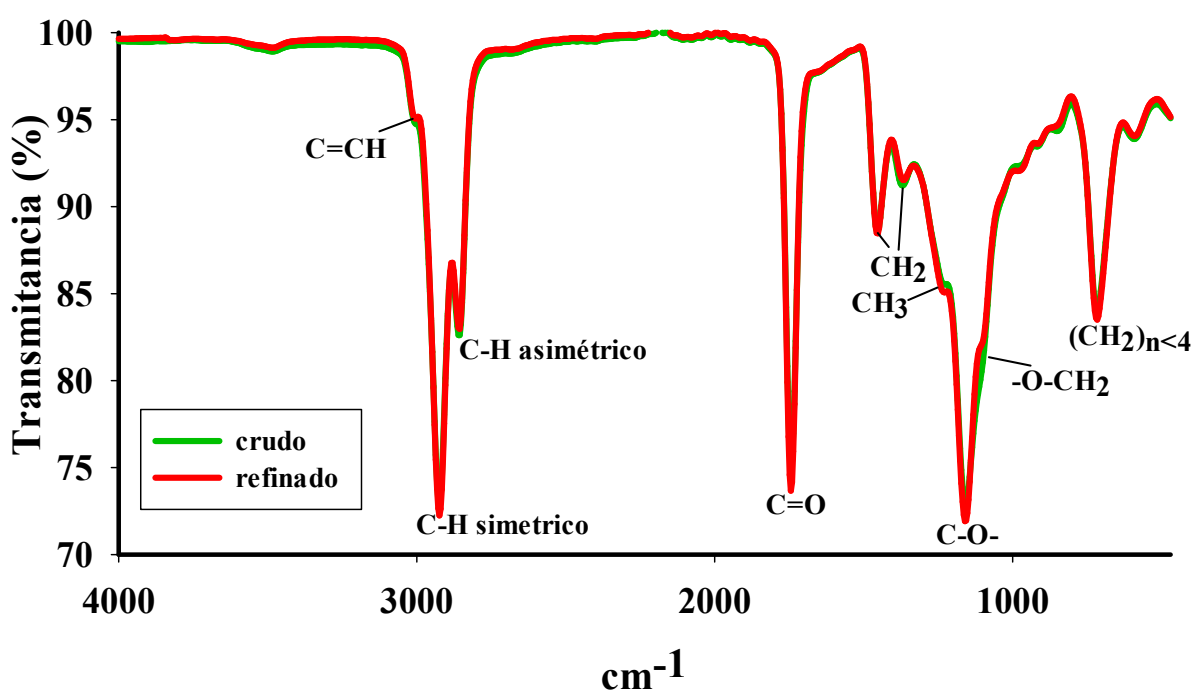


Figura 4. Espectrogramas IR de ASCL crudo y refinado.

Los resultados correspondieron con el espectrograma IR de otros aceites vegetales como el de oliva, el de almendras dulces (Hernández y Zacconi, 2009), maíz y ajonjolí (Fadzilliah *et al.*, 2014), así como los de aceite de soya, girasol y semilla de uva (Vasconcelos *et al.*, 2015). De acuerdo con estos últimos autores, el no haberse

detectado otro tipo de enlaces en la estructura molecular de las muestras estudiadas es indicativo de la pureza de los aceites obtenidos.

7.3. Perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos predominantes en el ASCL son el oleico (C18:1) y el linoleico (C18:2), así como trazas de otros ácidos grasos (Tabla 2). En general, para la mayoría de los ácidos grasos presentes, incluyendo el único de cadena corta presente (ácido caprílico), el proceso de refinación tuvo un efecto de disminución significativa de los mismos ($P \leq 0.05$); incluso el ácido lignocérico, presente en el aceite crudo, se eliminó por completo. Tan sólo el ácido γ -linolénico obtuvo un aumento de forma marginal, derivado probablemente de la pérdida de masa correspondiente a otros ácidos grasos. El cambio en las concentraciones tanto de ácidos grasos saturados como insaturados después del proceso de refinación se atribuyó a la reacción de saponificación de los ácidos grasos libres durante el proceso de neutralización con hidróxido de sodio, similar a lo que reportó Svengroš (1995). Por otro lado, los tratamientos térmicos durante el refinado también pudieron ocasionar una disminución en los ácidos grasos insaturados (Besbes *et al.*, 2005).

Los principales ácidos grasos presentes en el ASCL, oleico y linoleico, son considerados ácidos grasos esenciales, para los cuales se han reportado diversos beneficios para la salud, además de facilitar su empleo en procesos como la hidrogenación (Dorni *et al.*, 2018). Por otro lado, esas mismas insaturaciones los hacen vulnerables a la oxidación rápida si no son protegidos con algún antioxidante (Al-Juhaimi *et al.*, 2018). Los ácidos grasos poliinsaturados presentes en cantidades traza (Cuadro 3), son igualmente

susceptibles a la oxidación, y en ellos, bajo las condiciones que lo detonen, podría originarse la reacción en cadena de la rancidez oxidativa.

Cuadro 3. Perfil de los principales ácidos grasos presentes en el ASCL crudo y refinado, así como la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados.

Principales ácidos grasos	Crudo (%)	Refinado (%)
Caprílico (C8:0)	0.90±0.012 ^b	0.74±0.023 ^a
Palmitoléico (C16:1)	1.85±0.043 ^b	1.30±0.056 ^a
Heptadecanoico (C17:0)	0.82±0.023 ^b	0.68±0.072 ^a
Cis-10-heptadecenoico (C17:1)	0.21±0.012 ^a	0.17±0.026 ^b
Helaídico (C18:1n9t)	0.88±0.015 ^b	0.54±0.043 ^a
Oléico (C18:1n9c)	12.65±0.029 ^b	9.44±0.075 ^a
Linoléico (C18:2n6c)	55.93±0.038 ^b	50.16±0.156 ^a
γ-linolénico (C18:3n6)	0.85±0.020 ^a	0.90±0.041 ^a
Linolénico (C18:3n3)	0.89±0.020 ^b	0.74±0.038 ^a
Lignocérico (C18:2)	0.41±0.012 ^b	0.00±0.000 ^a
Total ácidos grasos saturados	2.13±0.000^b	1.42±0.095^a
Total ácidos grasos insaturados	73.26±0.020^a	63.28±0.344^b

Promedios ± error experimental, diferentes letras indican diferencia significativa entre aceites, según prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

El perfil obtenido para el ASCL es similar al reportado en los aceites comestibles de colza, soya y girasol (Dorni *et al.*, 2018), así como en el aceite de semillas de otras especies de calabaza (Nederal, *et al.*, 2014; Seymen *et al.*, 2016; Shaban y Sahu, 2017) y diferente del aceite de otras oleaginosas, como el de frutos de algunas especies de palma (Ramírez-Niño *et al.*, 2018) o el de almendras dulces (Hernández y Zacconi, 2009), donde otros ácidos grasos saturados, como el láurico (C:12) y mirístico (C:14), son los principales en su composición. Nederal *et al.* (2014) concluyeron que el procesamiento de las semillas de calabaza (*C. pepo* L.) para la obtención de aceite influyó en la composición de su perfil de ácidos grasos. Otro factor que incide en ello, son los

antioxidantes naturales presentes en las semillas, como los encontrados en otras especies de calabaza, tales como *Cucurbita moschata* y *C. maxima* (Seymen *et al.*, 2016).

7.4. Estabilidad oxidativa

Las ecuaciones de regresión obtenidas para los tiempos de inducción oxidativa (t_0) en ASCL crudo y refinado se ajustaron a un comportamiento logarítmico dependiente de la temperatura con una bondad de ajuste del 99.9 %. Se pudo apreciar una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambos aceites (Cuadro 4), pues en el aceite refinado se redujeron notablemente dichos tiempos respecto a los obtenidos para el aceite crudo (Fig.5 y Fig. 6), los cuales tendieron a cero con el incremento de la temperatura.

Cuadro 4. Tiempos de inducción oxidativa a diferente temperatura para ASCL crudo y refinado.

Tratamiento	$t_0^{(1)}$ (min)				Ecuación de regresión	$r^{2(3)}$
	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C		
Crudo ⁽⁴⁾	180.25±1.86 ^a	89.59±0.43 ^a	43.45±0.38 ^a	21.95±0.07 ^a	$T^{(2)} = 183.76 - 14.2 \cdot \ln(t_0)$	0.99
Refinado ⁽⁴⁾	62.43±0.25 ^b	27.13±0.14 ^b	11.36±0.11 ^b	4.81±0.02 ^b	$T^{(2)} = 158.39 - 11.68 \cdot \ln(t_0)$	0.99

⁽¹⁾ t_0 : tiempo de inducción oxidativa.

⁽²⁾ T: temperatura del análisis DSC.

⁽³⁾ r^2 : coeficiente of determinación.

⁽⁴⁾ Promedios ± error experimental, diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempos (t_0) a la misma temperatura (prueba LSD de Fisher, $p \leq 0.05$).

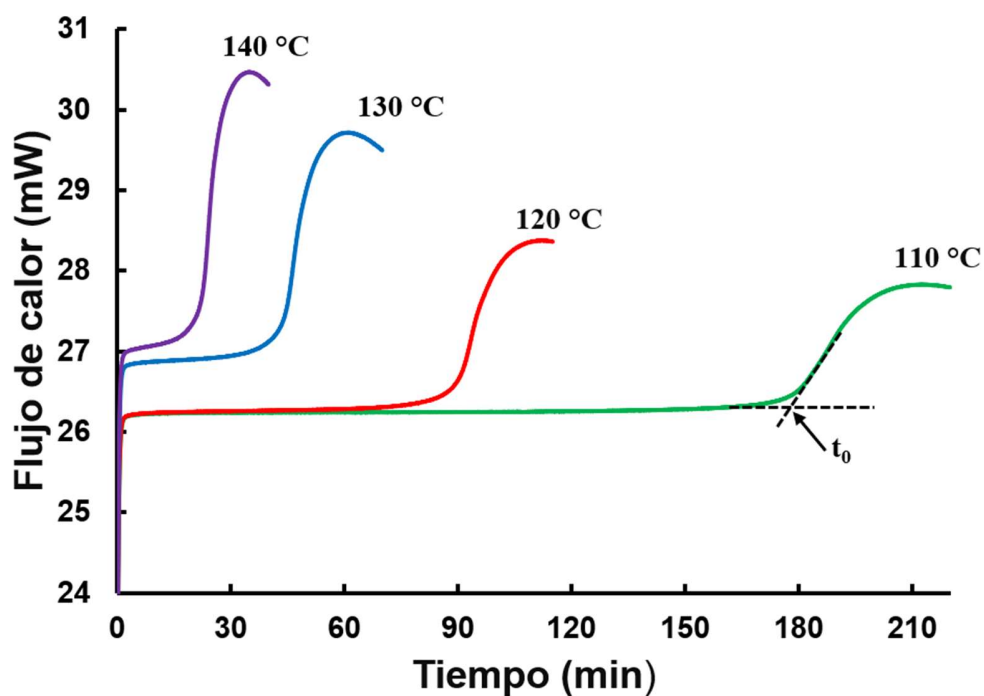


Figura 5. Tiempos de inducción oxidativa (DSC) a diferentes temperaturas para el ASCL crudo.

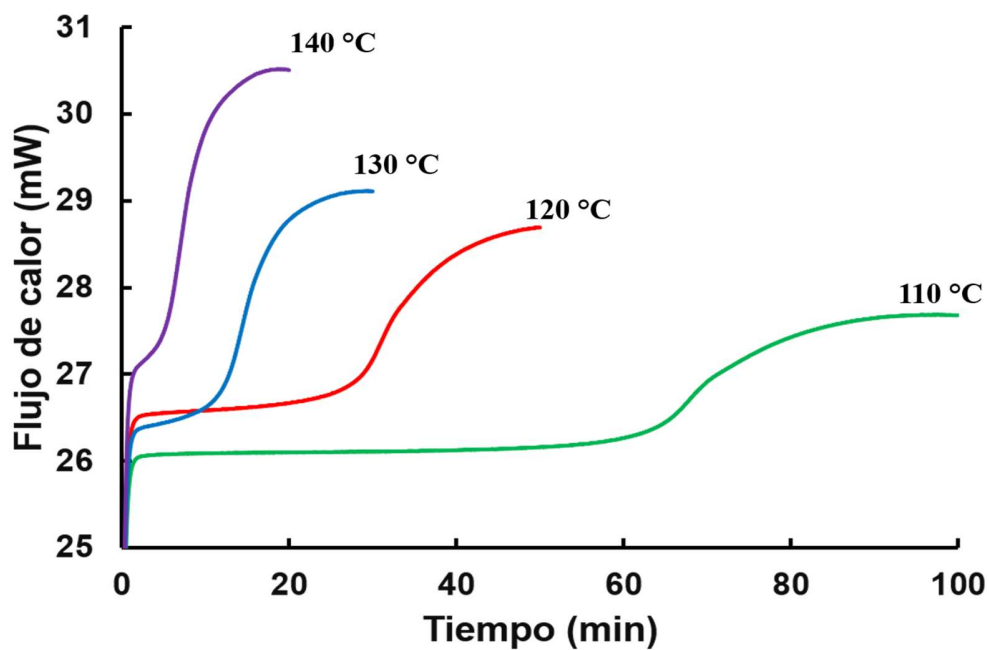


Figura 6. Tiempos de inducción oxidativa (DSC) a diferentes temperaturas para el ASCL refinado.

La diferencia en el comportamiento de la estabilidad oxidativa entre el ASCL crudo y el refinado pudo ser consecuencia de la pérdida de los compuestos antioxidantes naturales, como los tocoferoles, polifenoles y carotenoides, presentes en los aceites vírgenes, como lo reportaron Al-Juhaimi *et al.* (2018), dejando sin protección a los ácidos grasos insaturados frente a la acción del oxígeno en el caso del aceite refinado, donde se eliminaron los antioxidantes durante la extracción y el refinado. Marques da Silva *et al.* (2016) refirieron que los aceites vegetales extraídos utilizando solventes en caliente tienden a ser menos estables debido a la degradación térmica por la prolongada exposición al calor, aunado a que las clorofilas residuales actúan como sensibilizadoras del proceso oxidativo, según lo reportado por Choe y Min (2006), aunque en los aceites crudos las clorofilas y carotenoides presentan una relación sinergista con los ácidos grasos para protegerse de la acción del oxígeno, según lo refieren Plazola-Jacinto *et al.* (2019).

Se compararon los tiempos de inducción oxidativa (t_o) a 120 °C del aceite refinado de semillas de calabacilla loca contra otros aceites vegetales, y resultaron similares a los de aceites de soya, girasol y cacahuate, superior al del aceite de cártamo y de semilla de uva (Saldaña y Martínez-Monteagudo, 2013), e inferior al de otros, como el de maíz, oliva, canola, coco y ajonjolí (Tan *et al.*, 2002). A 130 °C, según los mismos estudios referidos, el aceite de semilla de calabacilla loca refinado resultó con mayor tiempo de inducción oxidativa respecto a los aceites de girasol, cártamo y semilla de uva, y menor que para los aceites de oliva, maíz, cacahuate, soya, canola, coco y ajonjolí. Esto último probablemente sea debido a la presencia de antioxidantes añadidos durante la producción de los aceites comerciales, ya sea naturales, como los tocoferoles, o artificiales, como el butilhidroxianisol (BHA) y el butilhidroxitolueno (BHT), que

contribuyen a la estabilidad oxidativa de los aceites procesados (Villanueva *et al.*, 2017), lo que podría explicar el por qué el aceite refinado de semillas de calabacilla loca presentó menores tiempos de inducción oxidativa a 120 y 130 °C comparado con la mayoría de los aceites reportados, pues este no contiene antioxidantes añadidos; en cambio, el aceite crudo de semillas de calabacilla loca presentó mayores tiempos de inducción oxidativa a ambas temperaturas respecto a la mayoría de los aceites reportados; esto es congruente con la posible presencia de fenoles en su composición, los cuales podrían estar funcionando como antioxidantes naturales en el ASCL, según lo reportado por Seymen *et al.* (2016).

8. CONCLUSIONES

El procesamiento del aceite de calabacilla loca tuvo diferentes impactos en la composición y propiedades del éste:

Ocurre pérdida de ácidos grasos saturados e insaturados, pero el espectrograma IR no reveló alteraciones en su estructura química, por lo que se presume que no están presentes, al menos en altas concentraciones, compuestos ajenos al aceite.

Disminuyeron los tiempos de inducción oxidativa después del proceso de refinado, debido principalmente a la pérdida de posibles compuestos antioxidantes, ya que el FTIR no reveló compuestos activadores que aceleraran la reacción de oxidación lipídica. Esto podría indicar la inconveniencia de refinar el aceite, y la preferencia de utilizarlo en forma cruda, con los beneficios que podría implicar su consumo de esta forma.

El ASCL crudo posee un perfil saludable para el posible consumo humano y/o animal, debido a su contenido de ácidos grasos insaturados, así como posibles compuestos antioxidantes, además de mantener su estabilidad oxidativa.

Por último, se tomó como válida la hipótesis H_0 , por lo que el ASCL podría ser una alternativa no convencional para utilizarse en la industria de alimentos, aunque también para otro tipo de aplicaciones alimentarias y no alimentarias.

9. LITERATURA CITADA

- Al Juhaimi, F., Özcan, M.M., Ghafoor, K., Babiker, E.E. and Hussain, S. (2018). Comparison of cold-pressing and soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils. *Journal of Food Science and Technology* 5, 3163 – 3173. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3244-5>
- Amigun, B. & Musango, J. K. (2011) An analysis of potential feedstock and location for biodiesel production in Southern Africa. *International Journal of Sustainable Energy* 30(1):35 – 58
- Berry, J. W.; Scheerens, J. C. & Bemis, W. P. (1978) Buffalo gourd roots: chemical composition and seasonal changes in starch contents. *J. Agric. Food Chem.* 26(2): 354 – 356
- Besbes, S., Blecker, Ch., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N.E. and Attia, H. (2005). Heating effects on some quality characteristics of date seed oil. *Food Chemistry*, 91, 469 – 476. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.04.037
- Calvo Grajales, A. (2003) Extracción y purificación de aceite a partir de semilla de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*) para su aplicación en la industria alimentaria. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cefla Miranda, K.O. (2015) Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) mediante prensado. Tesis profesional. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Choe, E. and Min, D.B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 169 – 186. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Curtis, W. H.; Scheerens, J. C. & Berry, J. W. (1986) Antinutritional factors in cucurbita seed meals. *J. Agric. Food Chem.* 34:434 – 436
- Dorni, C., Sharma, P., Saikia, G. and Longvah, T. (2018). Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. *Food Chemistry*, 238, 9 – 15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.072>
- Dreher, M. L. & Berry, J. W. (1983) Buffalo gourd root starch, Part I: properties and structure. *Starch/Stärke* 35(3):76 – 81

- Elodio-Policarpo, F., Peñaloza-Herrera, B., Maldonado-Astudillo, Y.I., Jimenez-Hernandez, J., Flores-Casamayor, V., Arámbula-Villa, G. and Salazar, R. (2019). Thermal stability of virgin coconut oil obtained from two cultivars grown in Guerrero, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 101-109. Recuperado el 10 de enero de 2020 de: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-2/2a.pdf>
- Fadzlillah, N.A., Che Man, Y.B. and Rohman, A. (2014). FTIR spectroscopy combined with chemometric for analysis of sesame oil adulterated with corn oil. *International Journal of Food Properties*, 17, 1275 – 1282. DOI: 10.1080/10942912.2012.689409
- Fahy, E., Subramaniam, S., Brown, A.H., Glass, C.K., Merrill Jr., A.H., Murphy, R.C., Raetz, C.R.H., Russell, D.W., Seyama, Y., Shaw, W., Shimizu, T., Spener, F., van Meer, G., VanNieuwenhze, M.S., White, S.H., Witztum, J.L. & Dennis, E.A. (2005). A comprehensive classification system for lipids. *J. Lipid Res.*, 46(2005): 839 – 861
- FAO (2010) Grasas y ácidos grasos en la alimentación humana – Consulta de expertos. Estudio FAO alimentación y nutrición. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. p. 21
- FAO. (2012). Grasas y ácidos grasos en la alimentación humana – Consulta de expertos. Estudio FAO alimentación y nutrición. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. Recuperado el 25 de agosto de 2018 de: <https://g-se.com/grasas-y-acidos-grasos-en-nutricion-humana-consulta-de-expertos-bp-V57cfb26f6e479>
- Gaidi, G.; Marouf, A.; Hanquet, B.; Bauer, R.; Correira, M.; Chaufer, B. & Lacaille-Dubois, M. A. (2000) A new major triterpene saponin from the roots of *Cucurbita foetidissima*. *J. Nat. Prod.* 63: 122 – 124
- Granados-Sánchez, D. y López-Ríos, G. F. (1999) Un recurso forestal de zonas áridas: calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* H.B.K.). *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(1):35 – 40
- Grasso, F.V. (2013). Diseño del proceso: pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 23 de abril de 2018 de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26889>
- Haas, M.J., Michalski, P.J., Runyon, S., Nunez, A. and Scott, K.M. (2003). Production of FAME from acid oil, a by-product of vegetable oil refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 97 – 102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0658-4>

- Hernández, S.A. and Zacconi, F.C.M. (2009). Aceite de almendras dulces: extracción, caracterización y aplicación. *Química Nova*, 32, 1342 – 1345. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000500044>
- Jiménez, M.E.; Aguilar, M.R.; Zambrano, M.L. & Kolar, E. (2001) Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Revista de la Sociedad Química de México*. 45(2):89 – 92
- Khoury, N.N.; Dagher, S. & Sawaya, W. (1982) Chemical and physical characteristics, fatty acid composition and toxicity of buffalo gourd oil, *Cucurbita foetidissima*. *J. Fd. Technol.* 17(1982):19 – 26
- Legiscomex (2015) Inteligencia de mercados – estudio de aceites vegetales en México. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio-sector-aceites-vegetales-mexico-2015-completo-rci295.pdf>
- Lira Saade, R. (2001) *Cucurbitaceae*. Flora del bajo y regiones adyacentes. Fascículo 92. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 20 – 23
- Lira-Saade, R., Eguiarte-Frutos, L. and Montes-Hernández, S. (2009). *Proyecto recopilación y análisis de la información existente de los géneros Cucurbita y Sechium que crecen y/o se cultivan en México*. Informe final. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, 21 – 23. Recuperado el 30 de mayo de 2019 de: https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Cucurbita%20y%20Sechium/Informe_Final/Informe%20final%20Cucurbita%20y%20Sechium.pdf
- Man, S.; Gao, W.; Zhang, Y.; Huang, L. & Liu, C. (2010) Chemical study and medical applications of saponins as anti-cancer agents. *Fitoterapia* (81):713 – 714
- Marques da Silva, C.M., Zanqui A.B., Souza A.H.P., Gohara A.K., Marques Gomes S.T., Silva E.A., Cardoso Filho L. and Matsushita M. (2016). Extraction of oil and bioactive compounds from *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze using subcritical *n*-propane and organic solvents. *Journal of Supercritical Fluids*, 112, 14 – 21. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.02.003>
- Medina M., G.B. (2010) Aceites y grasas comestibles. Curso. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia. Recuperado el 07 de abril de 2018 de: <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/aceites-y-grasas-comestibles>
- Melaragno, J. (2011). Buffalo gourd. Deer canyon folks.org: a virtual home for Deer canyon preserve property owners. Disponible el 23 de enero de 2018 en: <http://www.deercanyonfolks.org/flora/buffalo-gourd-june-2011.html>

- Monrroy López, A. (2007) Evaluación de rendimientos en la extracción por prensado del aceite de semilla de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*) tratada enzimáticamente. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Navas Hernández, P.B. (2010) Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidas por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales. Tesis de doctorado. Universidad de Castilla – La Mancha. España.
- Nederal, S., Petrović, M., Vincek, D., Puček, D., Skevin, D., Kraljić, K. and Obranović, M. (2014). Variance of quality parameters and fatty acid composition in pumpkin seed oil during three crop seasons. *Industrial Crop and Products*, 60, 15 – 21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.044>
- Orsavova, J., Misurcova, L., Ambrozova, J.V., Vicha, R. and Mlcek J. (2015). Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. *International Journal of Molecular Science*, 16, 12871 – 12890. doi:10.3390/ijms160612871
- Pardauil, J.J.R., Souza, L.K.C., Molfetta, F.A., Zamian, J.R., Rocha Folho, G.N. and da Costa, C.E.F. (2011). Determination of the oxidative stability by DSC of vegetable oils from de Amazonian area. *Bioresource Technology*, 102, 5873 – 5877. doi:10.1016/j.biortech.2011.02.022
- Petkova, Zh. Y. & Ankova, G. A. (2015) Changes in the composition of pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) during development and maturation. *Grasas y Aceites*, 66(1):1 – 9 DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0706142>
- Plazola-Jacinto, C., Pérez-Pérez, V., Pereyra-Castro, S., Alamilla-Beltrán, L., & Ortiz-Moreno, A. (2019). Microencapsulation of biocompounds from avocado leaves oily extracts. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 18(3), 1261-1276. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Plazola>
- Proexport Colombia (2004) Estudio de mercado México – sector aceites y grasas. Convenio ANT/MT-7253-CO. Programa de información al exportador por internet. Bogotá, Colombia. 80 p. Recuperado el 14 de marzo de 2018 de: <https://www.revistavirtualpro.com/download/estudio-de-mercado-mexico-sector-aceites-y-grasas.pdf>
- Ramírez-Niño, M.A., Jiménez-Forero, J., Bernal-Salazar, J.P. and Osorio-Dueñas, M.D. (2018). Characterization of oil extracted from the kernel of the fruit of cumare's

- palm (*Astrocaryum chambira* Barret). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. **71**, 8415 – 8422. DOI: 10.15446/rfna.v71n1.69589
- Rauen Miguel, A.M.O., Esteves, W., Barrera-Arellano, D. (1992). Determinación del periodo de inducción de aceite de soja – Correlación entre el Rancimat y otros índices. *Gasas y Aceites* 43(3):119 – 122. Recuperado el 29 de octubre de 2020 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/229895867.pdf>
- Rojas-Ramos, K.M. (2019). Obtención y extracción de aceites vegetales. Monografía. Universidad Nacional de Educación. Lima, Perú. Recuperado el 28 de octubre de 2020 de: <http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3861/MONOGRAF%c3%8dA%20-%20ROJAS%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Royo-Márquez, M.; Mellgoza-Castillo, A. y Sierra-Tristán, J. S. (2003) Manual de plantas útiles. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chihuahua, México. p. 5
- Saldaña, M.D.A. and Martínez-Montegudo, S.I. (2013). Oxidative stability of fats and oils measured by Differential Scanning Calorimetry for foods and industrial application. In: *Applications of calorimetry in a wide context*. (Amal Ali Elkordi, Ed.), Pp. 445 – 474, Intech Open. London, U.K. <http://dx.doi.org/10.5772/54486>
- Sánchez-Paz, L.A., Dublán-García, O., Díaz-Ramírez, M., Arteaga-Arcos, J.C., Domínguez-López, A. and Pérez-Alonso, C. (2018). Effect of added gelatin on rheological and textural properties of a pound cake reduced in margarine. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 17(3), 777 – 789. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n3/Sanchez>
- Schauss, A. G. (2010) *Emerging knowledge of the bioactivity of foods in the diets of indigenous North Americans*. Chapter 5. Bioactives foods in promoting health: fruits and vegetables. Elsevier. Pp. 71 – 84
- Seale and Associates. (2017). Reporte de la industria del aceite de consumo. Seale & Associates, Creative Solutions. Trusted Advice. Recuperado el 29 de noviembre de 2018 de: <http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2017/08/Aceite-compressed.pdf>
- Seymen, M., Uslu, N., Türkmen, Ö., Al-Juhaimi, F. and Öscan, M.M. (2016). Chemical compositions and mineral contents of some hull-less pumpkin seed and oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93, 1095 – 1099. DOI 10.1007/s11746-016-2850-5

- Shaban, A. & Sahu, R. P. (2017) Pumpkin seed oil: an alternative medicine. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(2): 223 – 227 DOI: 10.25258/phyto.v9i2.8066
- Stevenson, D.G., Eller, F.J., Wang, L., Jane, J.L., Wang, T. and Inglet, G.E. (2007). Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4005 – 4013. DOI: 10.1021/jf0706979
- Svengroš, J. (1995). Physical refining of edible oils. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 72, 1193 – 1196. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02540987>
- Tabio García, D.; Díaz Domínguez, Y.; Rondón Macías, M.; Fernández Santana, E. & Piloto Rodríguez, R. (2017). Extracción de aceites de origen vegetal. Monografía. Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. La Habana, Cuba.
- Tan, C.P., Che man, Y.B., Selamat, J. and Yusoff, M.S.A. (2002). Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. *Food Chemistry*, 76, 385 – 389. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00272-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00272-2)
- Vasconcellos, J.A. & Berry, J.W. (1982). Characteristics of laboratory-processed *Cucurbita foetidissima* seed oil. *JAOCS* 59(2):79 – 84
- Vasconcellos, J.A.; Berry, J.W.; Weber, C.W. & Scheerens, J.C. (1980) The properties of *Cucurbita foetidissima* seed oil. *JAOCS* (sep. 1980): 310 – 313
- Vasconcelos, M., Coelho, L., Barros, A. and Marques Martins de Almeida, J.M. (2015). Study of adulteration of extra virgin olive oil whit peanut oil using FTIR spectroscopy and chemometrics. *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1 – 13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2015.1018695>
- Vega Turizo, A. (2004) Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. Convenio Andrés Bello, serie Ciencia y Tecnología No. 139. Bogotá, Colombia. 86 p.
- Villanueva, E., Rodríguez, G., Aguirre, E. & Castro, V. (2017). Influence of antioxidants on oxidative stability of the oil Chia (*Salvia hispanica* L.) by rancimat. *Scientia Agropecuaria*, 8(1), 19 – 27. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.01.02>
- Wood, J. W. & Jones, H. A. (1943) An examination of the fatty oil from buffalo gourd seed. *J. Am. Chem. Soc.* 65 (9):1783 –1783