



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN

Análisis de la composición de ácidos grasos de
cuatro especies de insectos antes y después del
proceso de freído.

T E S I S

Que para obtener el título de
Licenciada(o) en Nutrición

P R E S E N T A

María Fernanda Escamilla Rosales

Bajo la Dirección de:

Dr. José Alberto Ariza Ortega

Profesor Investigador del Área Académica de Nutrición



Pachuca de Soto, Hidalgo, 2019.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**



De acuerdo con el artículo 134 del Reglamento de Control Escolar vigente, el jurado de examen recepcional designado, autoriza para su impresión la Tesis titulada

"Análisis de la composición de ácidos grasos de cuatro especies de insectos antes y después del proceso de freído."

Que para obtener el Título de Licenciada de Nutrición sustenta la Pasante

C. María Fernanda Escamilla Rosales

**ATENTAMENTE
Pachuca, Hidalgo, 7 de enero del 2019
"Amor, Orden y Progreso"**

PRESIDENTE:	DR. ERNESTO ALANÍS GARCÍA
SECRETARIO:	DRA. ARACELI ORTÍZ POLO
PRIMER VOCAL:	MTRÓ. TEODORO SUÁREZ DIÉGUEZ
SEGUNDO VOCAL:	DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
TERCER VOCAL:	DR. JOSÉ ALBERTO ARIZA ORTEGA
PRIMER SUPLENTE:	MTRA. TRINIDAD LORENA FERNÁNDEZ CORTÉS
SEGUNDO SUPLENTE:	DR. MARCOS M. GALVÁN GARCÍA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a mi madre, por haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades que se presentaron y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida.

De igual forma, agradezco a mis familiares y amigos que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

Mi profundo agradecimiento a mi director de tesis, por abrirme las puertas, orientarme y permitirme realizar todo el proceso investigativo.

Agradezco a los todos docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, me motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

.

ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Abstract.....	2
3. Marco Teórico.....	3
3.1 Antropoentomofagia en el Mundo, en México y en el Estado de Hidalgo.	3
3.2 Insectos con mayor demanda en el Estado de Hidalgo	4
3.2.1 Chinicuiles (<i>Comadia redtembacheri</i> Hamm.).....	5
3.2.2 Gusano blanco de maguey (<i>Aegiale hesperiaris</i> Walk.)	6
3.2.3 Chapulines [<i>Melanoplus mexicanus mexicanus</i> (Sauss.)]	7
3.2.4 Escamoles (<i>Liometopum apiculatum</i> Mayr)	8
3.3 Características nutricionales de los insectos comestibles.	9
3.3.1 Proteínas	9
3.3.2 Lípidos	10
3.3.2.1 Ácidos grasos	13
3.3.2.2 Ácidos grasos saturados	14
3.3.2.3 Ácidos grasos insaturados	15
3.3.3 Carbohidratos	19
3.3.4 Minerales	21
3.3.5 Vitaminas.....	22
3.4 Alteración estructural de los lípidos.....	23
3.4.1 Lipólisis	24
3.4.2 Oxidación.....	25
3.4.3 Reversión	26
3.4.4 Radiólisis	26
3.4.5 Métodos para medir la alteración estructural de los lípidos	26
3.4.6 Espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier en la región media	28
4. Problema de investigación	29
5. Justificación	30
6. Objetivo general	31
6.1 Objetivos específicos.....	31
7. Diseño metodológico	32
7.1 Muestras	33

7.2	Análisis Químico Proximal	33
7.2.1	Humedad	34
7.2.2	Proteína	34
7.2.3	Lípidos	35
7.2.4	Ceniza.....	36
7.3	Determinación de la degradación del aceite extraído	37
7.3.1	Índice de acidez.....	37
7.3.2	Índice de yodo	37
7.3.3	Índice de peróxido	38
7.4	Análisis de cambios estructurales	39
7.4.1	Índice de refracción	39
7.4.2	Análisis por espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF).....	40
7.5	Análisis estadístico	40
8.	Resultados y Discusión	41
8.1	Análisis químico proximal	41
8.2	Determinación de la degradación del aceite extraído	48
8.3	Análisis instrumental de los aceites.....	52
8.3.1	Índice de refracción	52
8.3.2	Análisis por espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier	55
9.	Conclusiones	60
10.	Perspectivas	61
11.	Referencias bibliográficas	62
12.	Anexos.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la concentración de proteína en órdenes de insectos comestibles con alimentos de ingesta frecuente (g/100 g base seca).....	9
Tabla 2. Contenido de lípidos en orden de insectos comestibles (% peso seco).....	12
Tabla 3. Descripción de algunos ácidos grasos saturados.	14
Tabla 4. Comparación de ácidos grasos saturados en órdenes de insectos con tejidos animales.	15
Tabla 5. Especificación numérica de algunos ácidos grasos insaturados.	16
Tabla 6. Comparación de ácidos grasos monoinsaturados en órdenes de insectos con tejidos animales.	16
Tabla 7. Comparación de ácidos grasos poliinsaturados en órdenes de insectos con tejidos animales.	18
Tabla 8. Contenido de carbohidratos de algunas órdenes de insectos (% peso seco).	20
Tabla 9. Contenido de algunos elementos minerales en insectos comestibles.	21
Tabla 10. Comparación del contenido de vitaminas de insectos comestibles de México con alimentos convencionales.....	22
Tabla 11. Análisis químico proximal de los insectos comestibles	41
Tabla 12. Caracterización química de los aceites de insectos deshidratados y fritos.	48
Tabla 13. Índice de refracción (IR) de aceite de insectos.	52
Tabla 14. Números de onda (cm^{-1}) y grupo funcional de los aceites de insectos propuestos en este trabajo.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación geográfica del municipio Santiago de Anaya, Hidalgo, México... 3
- Figura 2.** Insectos comestibles provenientes del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, A: insecto fresco (sin tratamiento térmico), B: insecto frito con mantequilla y sazonado. 1) Chinicuil (*Comadia redtembacheri* Hamm.), 2) Gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk) 4
- Figura 3.** Etapas de reproducción del Chinicuil (*Comadia redtembacheri* Hamm), en donde A) Huevo, B) larva, C) pupa y D) adulto. 6
- Figura 4.** Etapas de reproducción del gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk), en donde A) Huevo, B) larva y C) adulto..... 7
- Figura 5.** Etapas de reproducción del Chapulín [*Melanoplus mexicanus mexicanus* (Sauss)], en donde A) huevo, B) ninfa, C) macho adulto y D) hembra adulta..... 7
- Figura 6.** Tres principales etapas de reproducción de escamoles (*Liometopum apiculatum* Mayr), en donde A) larva, B) pupa y C) adulto..... 8
- Figura 7.** Estructura de un lípido simple (A: triacilglicérido) y un lípido complejo (B: fosfatidilcolina)..... 11
- Figura 8.** Biosíntesis de ácidos grasos, donde se muestra el crecimiento de la cadena del ácido graso a través de cuatro reacciones que alargan en dos carbonos la cadena de un acil graso hasta la formación de palmitato. Fuente: Koolman y Klaus, 2012..... 13
- Figura 9.** Diagrama general del análisis de las muestras de insectos. 32
- Figura 10.** Espectrogramas de los aceites de insectos, en donde I: Chapulín, II: escamol, III: chinicuil y IV: gusano blanco de maguey, en donde A: Aceite de insecto deshidratado, B: Aceite de insecto frito y C: estándar..... 59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para determinar el porcentaje de humedad.	34
Ecuación 2. Ecuación para determinar porcentaje de lípidos.	36
Ecuación 3. Ecuación para determinar porcentaje de ceniza.	36
Ecuación 4. Ecuación para determinar índice de acidez.....	37
Ecuación 5. Ecuación para determinar índice de yodo.	38
Ecuación 6. Ecuación para determinar índice de peróxido.	39

1. Resumen

En el municipio de Santiago de Anaya en Hidalgo, México, se comercializa una diversidad de insectos que se preparan en diferentes formas culinarias, los más aceptados por el consumidor son los fritos con mantequilla, los chapulines, escamoles, chinicuiles y gusano blanco de maguey son los que mayor se degustan. Sin embargo se desconoce su composición nutrimental. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la composición nutrimental y la calidad de los ácidos grasos insaturados entre los insectos deshidratados y fritos. Las muestras se homogenizaron y se les realizó un análisis químico proximal (humedad, proteína, lípidos, ceniza y carbohidratos). Para el análisis de los ácidos grasos, se extrajeron los aceites con un equipo de Soxhlet utilizando éter de petróleo a 60 °C durante 3 h. Para la medición de la calidad en los aceites se realizó Espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF) en la región del infrarrojo medio (400 - 4000 cm⁻¹) y por índices de refracción, acidez, peróxido y yodo. Los insectos deshidratados y fritos presentaron una concentración alta de lípidos (39.32 – 51.47 %) a excepción del chapulín. Con los análisis de refracción y químicos, se determinó que el aceite extraído presentó cambios estructurales, en los insectos deshidratados se presentó hidrólisis a triacilglicéridos causada por la humedad y en los fritos fue una oxidación por la temperatura, además que en estos aumentó el contenido de ácidos grasos saturados por la adición de mantequilla. En la EITF se identificó un aumento, ensanchamiento y desplazamiento en los números de onda a 723, 914 y 3006 cm⁻¹ que corresponden a los dobles enlaces *cis*, que indican oxidación de los ácidos grasos insaturados durante el tratamiento térmico. Por lo anterior el consumo de insectos deshidratados aporta mayor contenido de ácidos grasos insaturados que son benéficos para la salud, mientras que el consumo de insectos fritos se sugiere sea moderado en población con inactividad física o dislipidemias.

Palabras clave: antropoentomofagia, calidad de aceite, composición química, espectroscopía de infrarrojo, tratamiento térmico.

2. Abstract

In the municipality of Santiago de Anaya in Hidalgo, Mexico, a variety of insects are sold that are prepared in different culinary forms, the most accepted by the consumer are prepared fried with butter, the grasshoppers, escamoles, chinicuiles and white worm of maguey they are the ones that are best tasted, however, its nutritional composition is unknown. Therefore the objective of this work was to analyze the nutritional composition and quality of unsaturated fatty acids among dehydrated and fried insects. The samples were homogenized and a proximal chemical analysis was carried out (moisture, protein, lipids, ash and carbohydrates). For the analysis of the fatty acids, the oils were extracted with a Soxhlet equipment using petroleum ether at 60 °C for 3 h. To measure the quality of the oils a Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was performed in the mid-infrared region (400 - 4000 cm^{-1}) and by refractive index, acidity, peroxide and iodine. The dehydrated and fried insects presented a high concentration of lipids (39.32 - 51.47%) except for the grasshopper. With the analysis of refraction and chemicals, the extracted oil presented structural changes, hydrolysis to triglycerides caused by humidity in the dehydrated insects and in the fried ones it was an oxidation due to the temperature, beside the content of saturated fatty acids was due by the addition of butter. The FTIR identified an increase, widening and displacement in the wave numbers to 723, 914 and 3006 cm^{-1} corresponding to the *cis* double bonds, which indicate oxidation of the unsaturated fatty acids during the thermal treatment. Therefore, the consumption of dehydrated insects can provide a higher content of unsaturated fatty acids that are beneficial for health, while the consumption of fried insects is suggested to be moderate in populations with physical inactivity or dyslipidemias.

Keywords: Anthropeanthophage, oil quality, chemical composition, infrared spectroscopy, heat treatment.

3. Marco Teórico

3.1 Antropoentomofagia en el Mundo, en México y en el Estado de Hidalgo.

El término antropoentomofagia es el consumo de insectos, miel, propóleo o de productos donde en la formulación están como ingrediente los insectos. Algunas de las razones que motivan a su consumo son vivir una experiencia emocionante, auténtica y sensorial, salir de la rutina, además de los beneficios que proveen a la salud como son los aminoácidos y los ácidos grasos esenciales (Kim, Eves y Scarles, 2009).

En la República Mexicana se han contabilizado más de 540 especies de insectos comestibles de las 1 881 especies que se han registrado en el mundo (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007). En México, los principales Estados que los producen son Chiapas e Hidalgo. En el Estado de Hidalgo se conocen 88 especies de insectos y solo el 55.8 % de las especies se consumen en estadios inmaduros (huevos, larvas, pupas y ninfas) como los chinicuales, gusanos blancos de maguey y escamoles, y el 44.2 % restante en estado adulto como las chinches, algunas hormigas y avispas (Ramos-Elorduy, 2004).

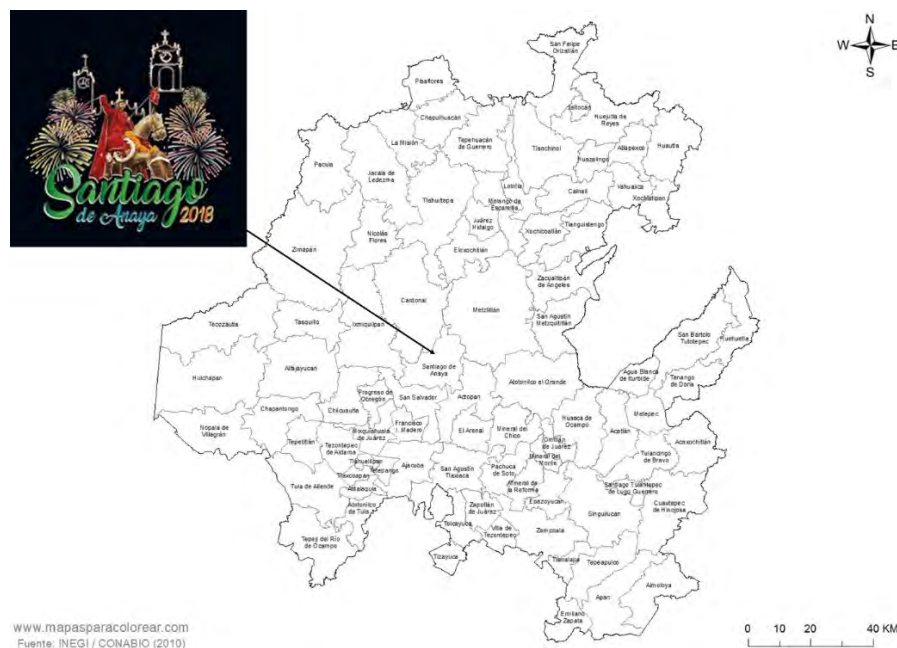


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio Santiago de Anaya, Hidalgo, México.

María Fernanda Escamilla Rosales

En el municipio Santiago de Anaya, Hidalgo (Figura 1) se elaboran diversos platillos y comercializan insectos en diferentes presentaciones principalmente fritos con mantequilla (Miranda, Quintero-Salazar, Ramos y Olgún, 2011), y anualmente en el mes de julio se lleva a cabo su feria gastronómica, en donde los insectos y otras fuentes alternativas son expuestas para su degustación.

3.2 Insectos con mayor demanda en el Estado de Hidalgo

De acuerdo al Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (2012), Pino-Moreno (2002) y Ramos-Elorduy (2006) indicaron que las cuatro especies de insectos de mayor consumo en el Estado de Hidalgo son los chinicuiles, gusanos blancos de maguey, escamoles y chapulines. En la Figura 2 se muestran los insectos antes mencionados.

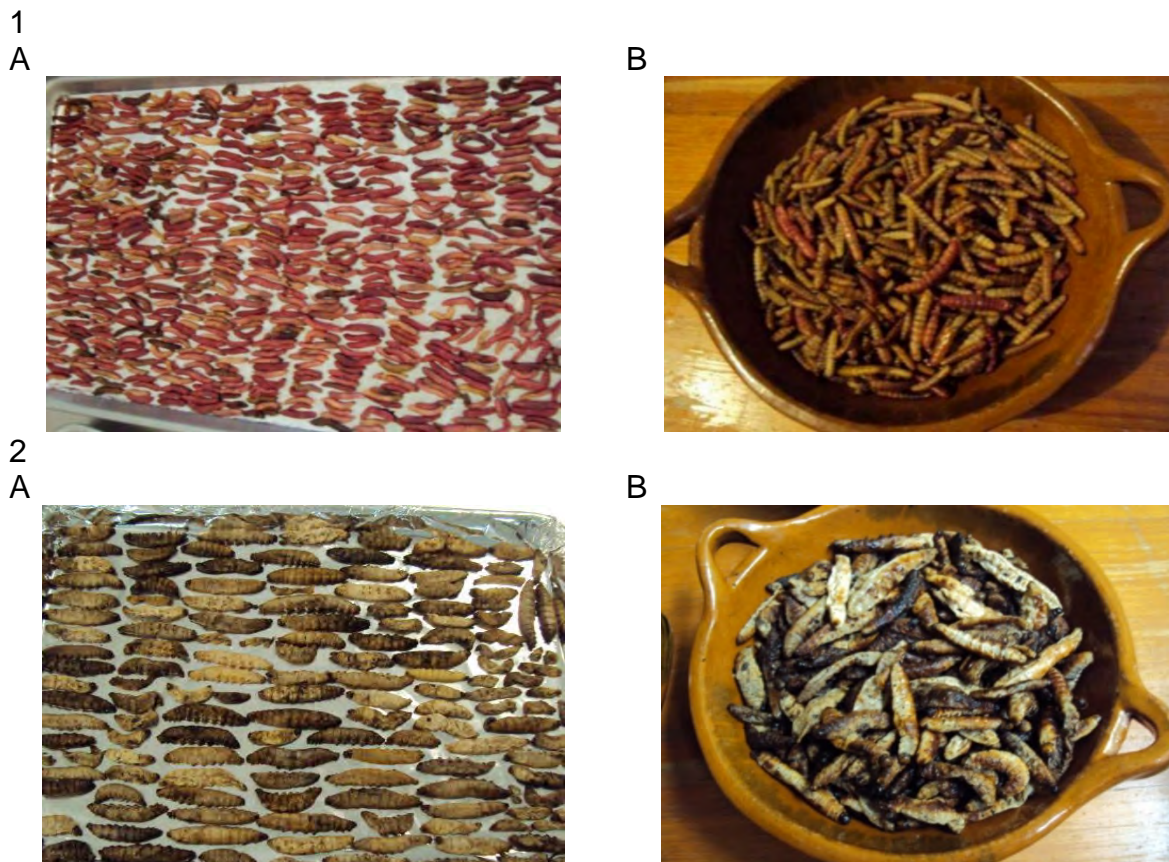


Figura 2. Insectos comestibles provenientes del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, A: insecto fresco (sin tratamiento térmico), B: insecto frito con mantequilla y sazonado. 1) Chinicuil (*Comadia redtembacheri* Hamm.), 2) Gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk)

3

A



B



4

A



B



Continuación Figura 2. Insectos comestibles provenientes del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, A: insecto fresco (sin tratamiento térmico), B: insecto frito con mantequilla y sazonado.3) Chapulines [*Melanoplus mexicanus mexicanus* (Sauss.)] 4) Escamoles (*Liometopum apiculatum* Mayr).

En los siguientes apartados se describen cada uno.

3.2.1 Chinicuiles (*Comadia redtenbacheri* Hamm.)

Su nombre en náhuatl es chichitlicocuilin, chinicuil o michicuil (Ramos-Elorduy, 2006). Los chinicuiles son conocidos como gusanos rojos de agave y habitan en el mezontete (tronco hueco y seco del maguey) de diversas especies de esta planta. Es la larva de la polilla que son barrenadores de madera, y pertenece a las 1 848 especies de *Lepidóptera* de la familia *Cossidae*.

Se recolectan en los meses de julio, agosto y septiembre, y su forma de preparación habitual es fritos con mantequilla, en salsa, asados, entre otras presentaciones

(Miranda et al., 2011). En la figura 3 se presentan las diferentes etapas de reproducción del Chinicuil *Comadia redtembacheri* Hamm.

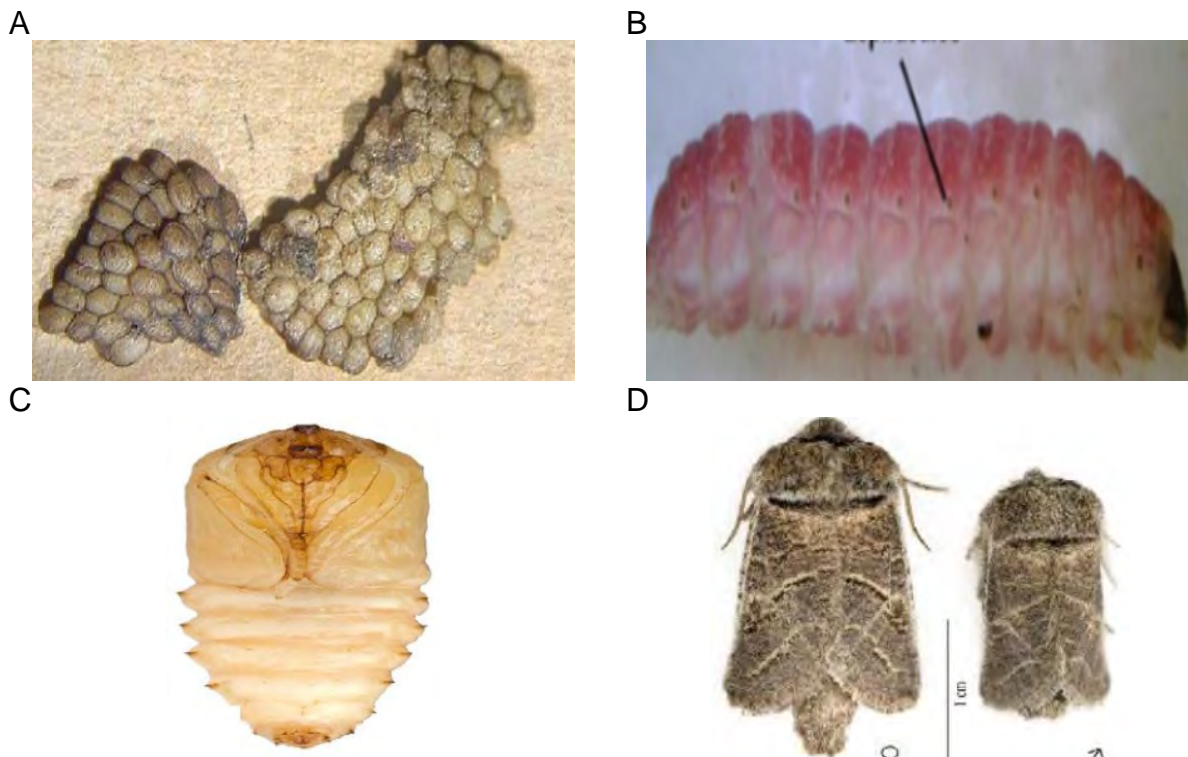


Figura 3. Etapas de reproducción del Chinicuil (*Comadia redtembacheri* Hamm), en donde A) Huevo, B) larva, C) pupa y D) adulto.

3.2.2 Gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk.)

El gusano blanco de maguey pertenece al orden *Lepidoptera* y a la familia *Megathymiidae* (Figura 4). El gusano blanco de maguey es conocido también como gusano de agave blanco, es la larva de una mariposa que crece en las hojas, pencas y raíces del maguey (Álvarez, 2003).

La etapa larvaria de este insecto tiene una gran demanda en México porque es un plato tradicional, refinado y difícil de caracterizar (Ramos-Elorduy, 2006). Por otra parte, dentro de las propiedades medicinales que la gente atribuye al consumo de este insecto se encuentra que ayuda a los problemas digestivos, es antirreumático y considerado como afrodisíaco (Costa-Neto, 2005).



Figura 4. Etapas de reproducción del gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk), en donde A) Huevo, B) larva y C) adulto.

3.2.3 Chapulines [*Melanoplus mexicanus mexicanus* (Sauss.)]

Los chapulines pertenecen al orden *Orthoptera* y a la familia *Acrididae*, son hemimetábolos, lo que significa que únicamente tienen tres etapas de desarrollo: huevo, ninfa y adulto, cuando las condiciones climáticas son adversas pueden invernar en estado de huevecillo (Barrientos, 2003).

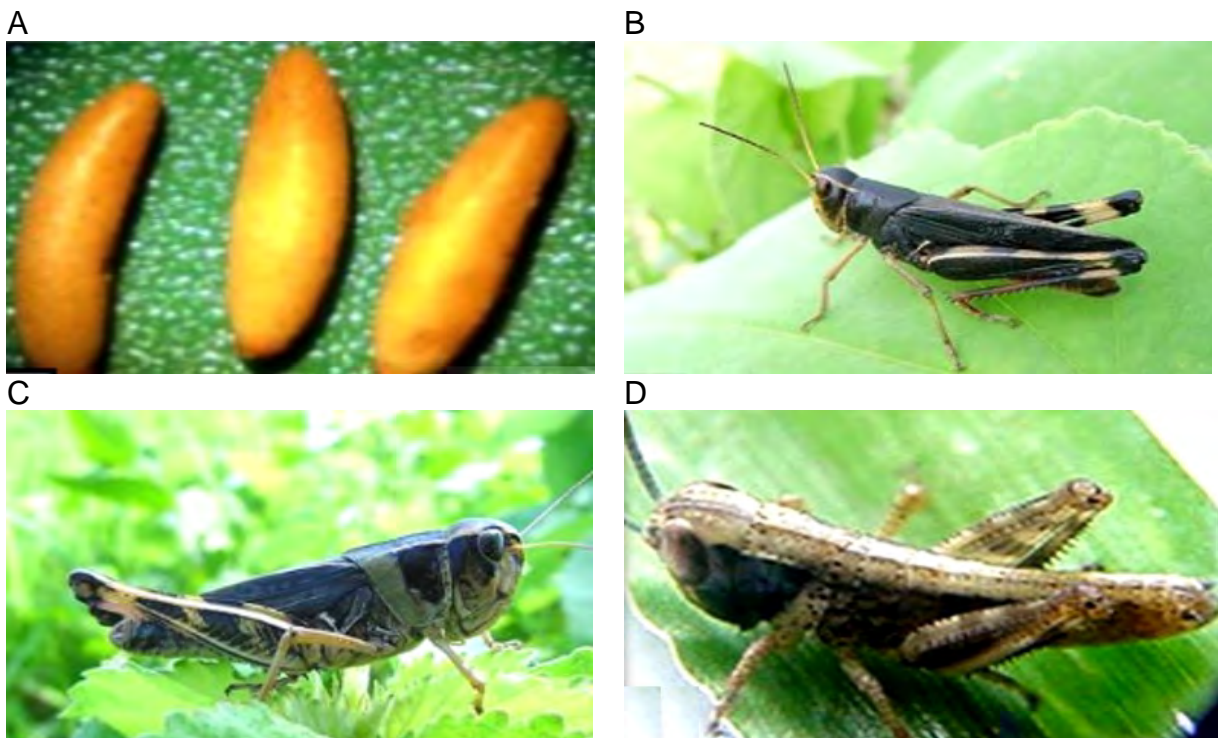


Figura 5. Etapas de reproducción del Chapulín [*Melanoplus mexicanus mexicanus* (Sauss)], en donde A) huevo, B) ninfa, C) macho adulto y D) hembra adulta.

Mariño-Pérez, Fontana y María (2011) mencionan que debido a los cambios climáticos como la sequía, los chapulines se consideran una plaga; que pone en riesgo a la agricultura y ganadería.

Dependiendo del país, se atribuye el consumo de chapulines a diversos fines curativos como tratar el asma, enfermedades de la piel y estomacales (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007), atributos que se van compartiendo de generación a generación.

3.2.4 Escamoles (*Liometopum apiculatum* Mayr)

Los escamoles pertenecen al orden *Hymenoptera* y a la familia *Formicidae*. La palabra escamol es de origen náhuatl: azcamolli o azcatlmol, de azcatl hormiga y molli guiso, que hace alusión a un “guiso de hormigas”, también se conocen como: chiquereis, chiquereyes, cuijes, güijes, hormiga de hueva, hormiga pedorra, maicitos, tecates, teclates, tetlames y tetlas (Lara, Aguirre, Castillo y Reyes, 2015). En la Figura 6 se muestran las diferentes etapas de reproducción del escamol.

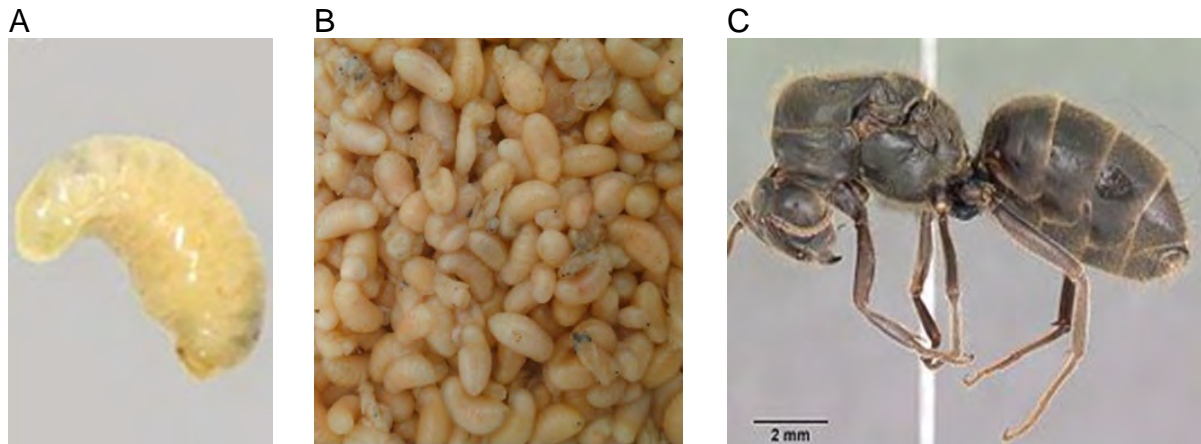


Figura 6. Tres principales etapas de reproducción de escamoles (*Liometopum apiculatum* Mayr), en donde A) larva, B) pupa y C) adulto.

Las hormigas comienzan su ciclo como huevo, al eclosionar emerge una larva que pasa por cuatro estadios. Después del cuarto estadio larval se transforma en pupa. Las pupas de las castas reproductoras de *L. apiculatum* son las que propiamente se recolectan y se consumen como escamoles (Kaspari, 2003). Su recolección abarca desde finales de febrero hasta septiembre (Miranda et al., 2011).

3.3 Características nutricionales de los insectos comestibles.

Estudios sobre las propiedades nutricionales de los insectos han demostrado que contienen proteínas, lípidos, minerales y carbohidratos; así como vitaminas que son benéficos para la salud, su concentración varía con la especie, sexo, etapa de desarrollo (huevos, larvas, pupas, ninfas y adulto), dieta y medio ambiente (temperatura y humedad) (Finke y Oonincx, 2014; Ramos et al., 2012; Ramos-Elorduy et al., 2007; Ramos-Elorduy, Pino y Morales, 2002).

3.3.1 Proteínas

La proteína en los insectos, en estadios de huevo, larva, pupa y adulto, su contenido es de 15 - 81 % en base seca (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la concentración de proteína en órdenes de insectos comestibles con alimentos de ingesta frecuente (g/100 g base seca).

Insectos	Proteína (%)	Alimentos	Proteína (%)
Orthoptera	52 - 77	Soya	44
Hemiptera	36 - 71	Pollo	43
Homoptera	33 - 72	Huevo	46
Coleoptera	30 - 69	Res	54
Lepidóptera	34 - 71	Frijol	23
Hymenoptera	10 - 81	Lenteja	27
Isoptera	37 - 48	NR	NR

Fuente: Conconi, 1993. *Orthoptera* (chapulines, grillos y esperanzas), *Hemiptera* (chinchas), *Homoptera* (toritos y periquitos), *Coleoptera* (escarabajos), *Lepidoptera* (mariposas), *Hymenoptera* (abejas, avispa y hormigas) e *Isoptera* (termitas y polillas). NR: no reportado.

En la Tabla 1 se observa que los valores de proteína son similares o superiores en las diferentes órdenes de insectos comestibles a algunos alimentos de consumo frecuente, además de ser de buena calidad por su contenido de aminoácidos esenciales que presenta valores que son comparables o superiores a los de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en adultos, presentando un valor biológico que varía de un 53.20 a un 78.27 (Ramos-Elorduy et al., 2002). En un estudio

realizado por Conconi (1993) y Rumpold y Schlüter (2013) obtuvieron una concentración para proteína en el orden *Lepidoptera* (chinicuil y gusano blanco de maguey) de 34 - 71 % similares a los valores cuantificados en Estado de México (31.23 - 37.90 g/100 g base seca), Puebla (36.67 - 42.07 g/100 g base seca) e Hidalgo (30.18 - 49.07 g/100 g base seca) (Ramos et al., 2012; Ramos-Elorduy et al., 2002 y 2007).

Por otra parte, Melo-Ruiz et al. (2015) analizaron el porcentaje de proteínas del orden *Orthoptera* (chapulines), de las especies *Sphenarium histrio* S, *Sphenarium purpurascens* Ch, *Taeniopodaques B*, *Melanoplus femurrubrum*, *Schistocerca spp* e indicaron un 62.5 - 77.25 % de este macronutriente, que fue mayor al de las diferentes órdenes y alimentos convencionales que se muestran en la Tabla 1, incluyendo al orden *Lepidoptera*.

En los seres vivos, las proteínas desempeñan diferentes roles en el organismo como ser enzimas, hormonas, son el material que produce nitrógeno para mantener el equilibrio ácido y alcalino, transformando la información genética y transportando materiales importantes en el cuerpo humano (Chen, Feng, Zhang y Chen, 2010; Juárez, Melo, Pérez y Calvo, 2010; Melo, García, Sandoval, Jiménez y Calvo, 2011; Pencharz, 2012).

3.3.2 Lípidos

Los lípidos se pueden definir como un grupo de compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno, y se pueden extraer de las plantas, los animales y de distintos organismos mediante disolventes orgánicos, extrusión y fluidos supercríticos (Badui, 2013; Chen et al., 2010; Ros et al., 2015).

Los lípidos simples son ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes, como las grasas y aceites que están constituidas por una molécula de glicerol esterificada con ácidos grasos, de uno (monoacilglicéridos) a tres (triacilglicéridos) y las ceras que son ésteres de ácidos grasos con alcoholes monohídricos (Kathleen y Peter, 2013).

La estructura de los ácidos grasos unidos al glicerol es un factor determinante para las grasas y los aceites dando como resultado una gama completa en cuanto a propiedades físicas y químicas de los mismos (Argüeso et al., 2011). En la Figura 7 se muestra la estructura de un lípido simple como un triacilglicérido y de uno compuesto como la fosfatidilcolina.

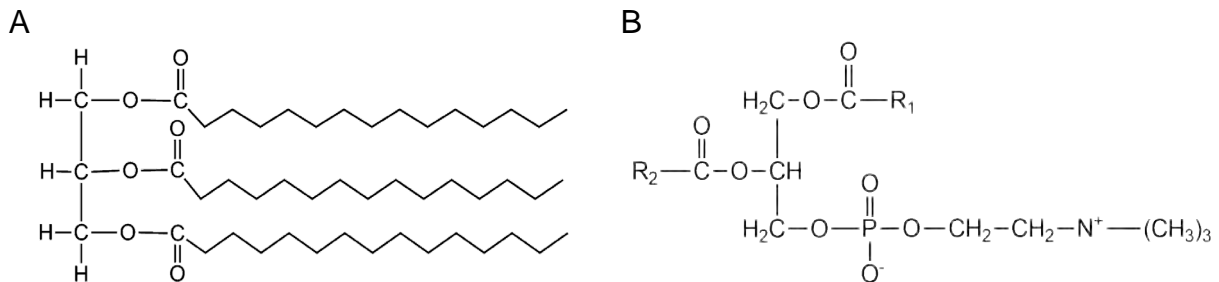


Figura 7. Estructura de un lípido simple (A: triacilglicérido) y un lípido complejo (B: fosfatidilcolina).

Los lípidos complejos son aquellos que contienen otros elementos además de alcohol y ácido graso como los fosfolípidos que contienen ácido fosfórico, o los glucolípidos que contienen esfingosina y carbohidrato (Kathleen y Peter, 2013).

Los lípidos tienen funciones metabólicas esenciales y son importantes como elementos estructurales y constituyen el nutriente energético por excelencia, principalmente cumplen funciones importantes en el desarrollo embrionario, el transporte, metabolismo y mantenimiento de la función e integridad de las membranas celulares, son precursores de moléculas biológicas con importantes funciones metabólicas y son un vehículo para el transporte de vitaminas liposolubles (Ros et al., 2015). En los alimentos su función es proporcionarles textura, propiedades sensoriales y nutritivas (Badui, 2013; Fennema, 2010). La principal fuente convencional de lípidos son los tejidos animales (terrestres y marinos) y los aceites en las semillas oleaginosas (algunas frutas y hortalizas), también hay fuentes alternativas como son las provenientes de insectos (Rumpold y Schlüter, 2013).

La concentración de ácidos grasos presentes en grasas y aceites proporciona características químicas y físicas que son aprovechadas por la industria alimenticia para aportar características sensoriales únicas, como por ejemplo la mantequilla que

presenta dureza y poca untabilidad a temperatura de refrigeración debido a la concentración mayoritaria de ácidos grasos saturados, por lo que es más estable a las reacciones de oxidación comparado con aceites poliinsaturados (Allen et al., 2005; Badui, 2013; Beitz, 2008; Dyer, Stymne, Green y Carlsson., 2008; Fennema, 2010).

En los insectos, los lípidos constituyen el segundo lugar en su composición (Rumpold y Schlüter, 2013). El contenido de lípidos en diferentes órdenes de insectos presenta diversas concentraciones de acuerdo a su clasificación (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de lípidos en orden de insectos comestibles (% peso seco).

Insectos	Lípidos (%)
Odonata	41.28
Orthoptera	2.20
Homoptera	30.60
Hemiptera	44.30
Coleoptera	35.86
Lepidoptera	49.48
Diptera	12.61
Hymenoptera	55.10

Fuente: Rumpold y Schlüter, 2013. *Odonata* (libélulas), *Orthoptera* (chapulines, grillos y esperanzas), *Homoptera* (toritos y periquitos), *Hemiptera* (chinches), *Coleoptera* (escarabajos), *Lepidoptera* (mariposas), *Diptera* (moscas), *Hymenoptera* (abejas, avispas y hormigas).

Generalmente en los insectos comestibles es del 10 - 50 % aumentando su contenido en las etapas de larva y de pupa (MLcek, Rop, Borkovcova y Bednarova, 2014; Rumpold y Schlüter, 2013), su concentración depende también de factores como la especie, etapas reproductivas, estación, edad (etapa de vida), hábitat y dieta (Raksakantong, Meeso, Kubola y Siriamornpun, 2010).

En otro estudio relacionado se reportó que la concentración de lípidos para chinicuiles (*Comadia redtembacheri* Hamm), gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris* Walk) y escamoles (*Liometopum apiculatum* Mayr) cuantificados en Hidalgo, Estado de México y Puebla fue de 32.65 - 58.95, 34.94 - 58.54 y 29.45 - 47.98 g/100 g base seca respectivamente (Ramos et al., 2012; Ramos-Elorduy et al., 2002 y 2007), el chapulín presentó un porcentaje de 4.71 - 16.0 % (Melo-Ruiz, et al., 2015) concentración superior a la indicada en la Tabla 2.

3.3.2.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos son biomoléculas muy importantes para los seres vivos. Son los principales constituyentes de los triacilglicéridos (aceites y grasas, que actúan como reserva de energía) y de los fosfolípidos (que forman parte de la estructura de las membranas celulares) (Argüeso et al., 2011).

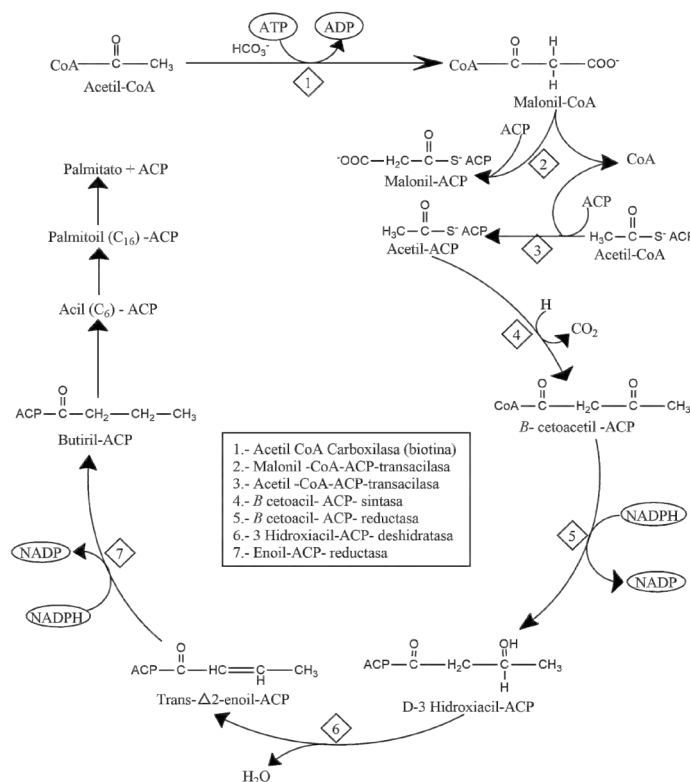


Figura 8. Biosíntesis de ácidos grasos, donde se muestra el crecimiento de la cadena del ácido graso a través de cuatro reacciones que alargan en dos carbonos la cadena de un acil graso hasta la formación de palmitato. Fuente: Koolman y Klaus, 2012.

Estos ácidos presentan la fórmula general R-COOH. En la Figura 8 se observa que el principal precursor de los ácidos grasos es el malonil-CoA, una molécula que aporta dos de sus tres átomos de carbono al esqueleto carbonado del ácido graso en crecimiento, este se forma a partir de acetil-CoA y de bicarbonato, reacción que consume ATP y que está catalizada por la enzima acetil-CoA carboxilasa. Todas las reacciones de síntesis de ácidos grasos tienen lugar en el citosol de las células (Koolman y Klaus, 2012; Nelson y Cox., 2001).

3.3.2.2 Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados son moléculas formadas por una cadena larga hidrocarbonada con un número par de átomos de carbono (Ackman, 2008; Fundación Iberoamericana de Nutrición, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2012). En la Tabla 3 se mencionan a algunos ácidos grasos saturados, su localización en la naturaleza, su notación común y científica.

Tabla 3. Descripción de algunos ácidos grasos saturados.

Ácido graso*	Fórmula*	IUPAC**	Fuentes naturales*
Butírico	C ₄ H ₈ O ₄	Butanoico	Producto final de la fermentación y mantequilla
Caproico	C ₆ H ₁₂ O ₆	Hexanoico	
Caprílico	C ₈ H ₁₆ O ₂	Octanoico	Cantidades mínimas en vegetales
Cáprico	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Decanoico	
Láurico	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Dodecanoico	Coco, canela, palma, laurel nuez y mirto
Mirístico	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Tetradecanoico	
Palmítico	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Hexadecanoico	En plantas y animales
Esteárico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Octadecanoico	
Araquídico	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Eicosanoico	Cacahuete

Fuente: *Argüeso et al., 2011. **IUPAC: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (por sus siglas en inglés)

Los insectos contienen ácidos grasos saturados en similar porcentaje a la carne de res y cordero, como el ácido caproico (C6:0), cáprico (C10:0), láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) (Raksakantong, et al, 2010) (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de ácidos grasos saturados en órdenes de insectos con tejidos animales.

Insecto	Ácidos grasos Saturados (%)	Tejido animal	Ácidos grasos Saturados (%)
Lepidoptera	32.5-46.5	Vacuno	30-50
Coleoptera	42.3-44.3	Cordero	40-55
Isoptera	37.8-46.7		

Fuente: Raksakantong, et al, 2010. *Lepidoptera* (mariposas), *Coleoptera* (escarabajos), *Isoptera* (termitas y polillas).

Se ha reportado que los ácidos grasos saturados láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) incrementan el colesterol LDL (FINUT y FAO, 2012; Lawrence, 2013; Mensink, Zock, Kester y Katan, 2003; Orsavova, J., Misurcova, L., Vavra, A., Vicha, R., y MLcek, 2015), y la ingesta excesiva de ácidos grasos saturados repercute en el aumento de presentar una enfermedad cardiovascular (FINUT, FAO, 2012; Mozaffarian, Katan, Ascherio, Stampfer y Willett, 2006).

3.3.2.3 Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados se diferencian de los ácidos grasos saturados, por la presencia de dobles enlaces en su estructura, en base a esto se clasifican en monoinsaturados y poliinsaturados, si presentan uno o más de un doble enlace en su estructura respectivamente (Tabla 5) (Kathleen y Peter, 2013).

Estos compuestos tienen dobles enlaces carbón-carbón y dependiendo del número de dobles enlaces se clasifican en mono y poli insaturados. Los ácidos grasos monoinsaturados como el palmitoleico (C16:1) y el oleico (C18:1) se caracterizan porque contienen un doble enlace en su estructura (Argüeso et al., 2011).

El ácido palmitoleico es un ácido graso de la serie omega 7. Está presente en todos los tejidos, pero se encuentra en concentraciones más altas en el hígado. Las fuentes dietéticas donde puede ser encontrado el ácido palmitoleico incluyen una variedad de grasas animales, aceites vegetales y aceites marinos, algunos ejemplos son el aceite de nuez de macadamia (*Macadamia integrifolia*) y el aceite de espinillo (*Hippophae rhamnoides*) con un 17 % y un 40 % respectivamente (Sabate,

Haddad, Tanzman, Jambazian y Rajaram, 2003) y en menor concentración en los insectos (0.99 - 2.69 %) (Santurino et al., 2016).

Tabla 5. Especificación numérica de algunos ácidos grasos insaturados.

Ácido graso*	Fórmula*	IUPAC**	Fuentes naturales*
Palmitoleico (ω -7)	C16:1 Δ 9	Hexadecenoico	Mayoría de los aceites
Oleico (ω -9)	C18:1 Δ 9	Octadecenoico	
Linoléico (ω -6)	C18:2 Δ 9,12	Octadecadienoico	Maíz, cacahuate, algodón y soya
Linolénico (ω -3)	C18:3 Δ 9,12,15	Octadecatrienoico	Linaza
Eicosapentaenoico (EPA) (ω -3)	C20:5	Ácido (5Z,8Z,11Z,14Z,17Z)- icosa-5,8,11,14,17- pentaenoico	Aceites de pescado
Docosahexaenoico (DHA) (ω -3)	C22:6	(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z)- docosa-4,7,10,13,16,19- hexaenoico	

*Kathleen y Peter, 2013. **IUPAC: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (por sus siglas en inglés)

El ácido graso oleico pertenece a la serie omega 9, es el más abundante en la naturaleza y en las semillas oleaginosas, se encuentra en todos los lípidos naturales (Fennema, 2010; Kathleen y Peter, 2013). En las órdenes de insectos está presente en porcentajes de 6.2 – 66.6 % (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007) similar a la carne de res y cordero (Raksakantong et al., 2010) (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de ácidos grasos monoinsaturados en órdenes de insectos con tejidos animales.

Insecto	Ácidos grasos Monoinsaturados (%)	Tejido animal	Ácidos grasos Monoinsaturados (%)
Lepidoptera	6.2-67.1	Vacuno	35-60
Coleoptera	48.7-66.6	Cordero	35-45
Isoptera	14.9-51.4		

Fuente: Raksakantong et al., 2010. *Lepidoptera* (mariposas), *Coleoptera* (escarabajos), *Isoptera* (termitas y polillas).

Investigaciones realizadas con los ácidos grasos monoinsaturados han concluido que estos ácidos grasos pueden reducir el colesterol LDL y aumentar el HDL (FAO/WHO,

2010). Entre algunos beneficios de consumir C18:1 es que es un agente anti-apoptótico, antiinflamatorio (Kim et al., 2015) y puede aumentar la sensibilidad a la insulina comparado a los ácidos grasos poliinsaturados que la protegen (FAO/WHO, 2010). Pala et al. (2001) concluyeron en un estudio que el índice de saturación en las membranas de los glóbulos rojos, se forma por la proporción de C18:0 a C18:1, y se puede utilizar como un biomarcador para investigar la relación entre el patrón de metabolismo y el riesgo de cáncer de mama.

Los ácidos grasos poliinsaturados contienen en su estructura dos o más dobles enlaces. Los ácidos grasos omega 3 y omega 6, se consideran en la actualidad como los de mayor relevancia dado que además de aportar energía, se pueden biotransformar, generando componentes bioactivos con variadas acciones fisiológicas (Sanhueza, Durán y Torres, 2015).

De la serie omega 6 se encuentran el ácido graso linoleico que tiene dos dobles enlaces y es un ácido graso esencial para el organismo humano, porque el hombre es incapaz de sintetizarlos con la disposición de dobles ligaduras que se encuentran en ellos, y por lo tanto, se vuelven necesarios para el buen funcionamiento del organismo (Corinne y Wagley, 2002), y el ácido araquidónico (C20:4), que interviene en la activación de las plaquetas y leucocitos, mantiene abierto el ducto arterial en niños con cardiopatías congénitas, son constrictores extremadamente potentes de la musculatura lisa, aumentan la permeabilidad vascular, inducen el parto y previene la úlcera gastroduodenal (Rang, Dale, Ritter y Moore, 2003).

Por otra parte, el ácido linolénico (C18:3) es un ácido graso esencial de la serie omega 3, es requerido en la dieta de todos los mamíferos, es precursor para la síntesis de eicosapentaenoico "EPA" (C20:5) y docosahexaenoico "DHA" (C22:6) en los humanos. Estos ácidos grasos se obtienen directamente de la ingesta de alimentos como son algunas fuentes vegetales y animales (linaza, nueces y kiwis, y un pequeño porcentaje de la carne de aves y vacuno) y principalmente en pescados como la caballa, el salmón, la sardina, el arenque y el eperlano (Ackman, 2008) y son precursores de los lípidos compuestos, modulan la señalización celular, la expresión

de genes y procesos anti-inflamatorios, entre otras funciones (Sanhueza, Durán y Torres, 2015).

Entre los ácidos grasos poliinsaturados que se encuentran en las órdenes de insectos es el linolénico (C18:3 Δ 9, 12, 15) (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007), su concentración es mayor a los tejidos animales (Tabla 7). De Caterina, Liao y Libby (2000) y Abedi y Sahari (2014) analizaron a los ácidos grasos poliinsaturados y concluyeron que estos ácidos grasos previenen padecimientos de enfermedades cardiovasculares, coronarias, cáncer, enfermedad inflamatoria, trombótica y autoinmune, así como hipertensión, diabetes tipo dos, enfermedades renales, artritis reumatoide, colitis ulcerosa y enfermedad de Crohn. Además, la relación omega 6 / omega 3 se considera un factor clave para la síntesis equilibrada de eicosanoides y su importancia nutricional (Abedi y Sahari, 2014; Mišurcová, Vávra y Samek, 2011; Proust, Lucas y Deawailly, 2014).

Tabla 7. Comparación de ácidos grasos poliinsaturados en órdenes de insectos con tejidos animales.

Insecto	Ácidos grasos Poliinsaturados (%)	Tejido animal	Ácidos grasos Poliinsaturados (%)
Lepidoptera	0.4-49.5	Vacuno	1.5-4
Coleoptera	6.5-28	Cordero	1.5-7
Isoptera	10.9-38.3		

Fuente: Raksakantong, et al., 2010. *Lepidoptera* (mariposas), *Coleoptera* (escarabajos), *Isoptera* (termitas y polillas).

Los ácidos grasos insaturados también se pueden clasificar según la orientación en el espacio de los dobles enlaces en “*cis*” o “*trans*”. La mayoría de los ácidos grasos insaturados de la dieta tienen conformación *cis* (Cabezas-Zábala, Hernández-Torres y Vargas-Zarate, 2016).

En un ácido graso insaturado en conformación *trans*, el ángulo del doble enlace es más pequeño y la cadena de acilo es más lineal, lo que da como resultado una molécula rígida y recta, con un punto de fusión más elevado. Por otro lado, en la configuración *cis*, los átomos de hidrógeno están en el mismo lado de la cadena de

carbono, dando lugar a un pliegue en la cadena de acilo y origina un ángulo de 30° que permite a la molécula ser más flexible (Allen et al., 2005).

La formación de ácidos grasos *trans* se lleva a cabo en forma natural por la biohidrogenación bacteriana en rumiantes como bovinos y ovejas por lo que su carne y su leche contienen pequeñas concentraciones de estos ácidos grasos. También por el proceso industrial de hidrogenación que se aplica a los aceites para aumentar el punto de fusión y la estabilidad oxidativa, por medio de la saturación de los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos linoléico (C18:2) y linolénico (C18:3) principales responsables de la degradación por oxidación (CODEX, 2004), y en los procesos de extracción y desodorización de los aceites vegetales (Cabezas-Zábala et al., 2016; Ortiz, Dorantes, Galíndez y Guzmán, 2003).

Los ácidos grasos *trans* consumidos en altas cantidades en la dieta aumentan las lipoproteínas de baja densidad (LDL por sus siglas en inglés) y disminuyen a las lipoproteínas de alta densidad (HDL por sus siglas en inglés) originando así los problemas circulatorios, al incrementar el colesterol en la sangre, motivo por el cual algunos países han regulado y legislado el contenido de los ácidos grasos *trans* en los alimentos similar a la ingesta de ácidos grasos saturados (Cabezas-Zábala et al., 2016; FINUT, FAO, 2012). En México, se cuenta con la NOM-043-SSA2-2005, donde se establece que se deberá de informar acerca de la importancia de limitar al mínimo la posible ingestión de alimentos con alto contenido de ácidos grasos *trans*, por sus efectos adversos a la salud.

3.3.3 Carbohidratos

Los insectos comestibles presentan porcentajes mínimos de este macronutriente (Sun, Feng y He, 2007). Debido a su bajo contenido no se ha profundizado en el tema; a excepción de la quitina, que se encuentra en la anatomía de los insectos y que se forma a partir de fructosa y glucosa proveniente de la hidrólisis del almidón consumido (Goés-Neto et al., 2010; Rumpold y Schlüter, 2013; Sadava, 2009).

Análisis llevados a cabo con chinicuil, gusano blanco de maguey y escamol se encontró que el contenido de carbohidratos para los insectos recolectados en Puebla fue de 1.58 - 19.89 g/100 g base seca valor que entra dentro del parámetro para algunas órdenes de insectos que se muestran en la Tabla 8, excepto para la concentración en el Estado de Hidalgo (1.74 - 9.47 g/100 g base seca) y Estado de México (1.10 - 22.38 g/100 g base seca) (Ramos et al., 2012; Ramos-Elorduy et al., 2002 y 2007).

Tabla 8. Contenido de carbohidratos de algunas órdenes de insectos (% peso seco).

Insectos	Carbohidratos (%)
Odonata	4.78
Orthoptera	1.20
Homoptera	2.80
Hemiptera	4.37
Coleoptera	2.82
Lepidoptera	16.27
Diptera	12.04
Hymenoptera	7.15

Fuente: Sun et al., 2007. *Odonata* (libélulas), *Orthoptera* (chapulines, grillos y esperanzas), *Homoptera* (toritos y periquitos), *Hemiptera* (chinches), *Coleoptera* (escarabajos), *Lepidoptera* (mariposas), *Diptera* (moscas), *Hymenoptera* (abejas, avispas y hormigas).

El género *Orthoptera* (chapulines) presenta una mayor contenido de quitina que mediante reacciones químicas se obtiene el quitosano que puede ser utilizado para la producción de gasas y vendajes (Lárez, 2006; Monter-Miranda et al., 2016).

3.3.4 Minerales

Los minerales ejercen una función importante en el organismo como formar tejidos rígidos del cuerpo, son cofactores de enzimas, integran vitaminas, hormonas, mioglobina y hemoglobina. Su ausencia o exceso origina daños en el organismo (Badui, 2013; Ramos y Viejo, 2007).

El contenido de minerales analizados en chinicuiles, gusano blanco de maguey y escamoles analizados en base seca por Ramos-Elorduy et al. (2002 y 2007) y Ramos et al. (2012) indicaron concentraciones para muestras de Hidalgo de 2.75 - 3.79 g/100 g, Estado de México de 2.07 - 4.61 g/100 g y Puebla de 1.8 - 5.15 g/100 g. Mientras que Melo-Ruiz et al. (2015) cuantificó en chapulines una concentración de 2.05 - 4.5 g/100 g, similar a los parámetros indicados para las mismas especies y otras como moscas (*Diptera*) con 5.16 - 25.95 %, escarabajos (*Coleoptera*) con 0.62 - 24.10 %, chinches (*Hemiptera*) con 1.00 - 21.00 %, termitas (*Isoptera*) con 1.90 - 11.26 %, libélulas (*Odonata*) con 4.21 - 12.85 %, orugas y chinicuiles (*Lepidoptera*) con 0.63 - 11.51 %, saltamontes, langostas y grillos (*Orthoptera*) con 0.34 - 9.36 % y abejas, avispas y hormigas (*Hymenoptera*) con 0.71 - 9.31 % (Ghosh, So-Min, Chuleui y Meyer-Rochow, 2017; Kuntadi y Kun, 2018).

Tabla 9. Contenido de algunos elementos minerales en insectos comestibles.

Elementos minerales				
	Chinicuil*	Gusano blanco*	Escamol*	Chapulines**
	(µg/g)			(g/100 g)
Calcio	126.9	223.7	174.8	0.122
Magnesio	473.6	763.5	455.3	0.822
Sodio	175.1	72.1	823.6	0.917
Potasio	4194.8	6649.5	3182.7	0.070
Zinc	43.2	39.3	52.7	0.031
Cobre	7.3	11.4	9.3	NR
Hierro	0.50	0.50	0.8	0.042

Fuente: *Ramos et al., 2012, **Ramos-Elorduy et al., 2002. NR: no reportado.

En la Tabla 9 se muestran algunos de los micronutrientes que conforman a los minerales en insectos comestibles. Wen (1998), Xiaoming, Ying, Hong y Zhiyong (2010) concluyen que en los insectos, la variación en la concentración de los componentes nutricionales es influenciada por su dieta; que está constituida de hojas, flores, semillas y tallos entre otros.

3.3.5 Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos indispensables ya que nuestro cuerpo no las sintetiza y se encuentran relacionadas con diversos procesos metabólicos. En cuanto a la vitamina A (retinol), los datos difieren según la especie, origen y formas de preparación, por otra parte su dieta y condiciones ambientales al ser criados en ambientes controlados provocan un contenido bajo o nulo de β -caroteno comparado con la mayoría de los insectos capturados en el medio silvestre que presentan una variedad de carotenoides (astaxantina, α -caroteno, β -caroteno, luteína, licopeno, zeaxantina entre otros) (Finke, 2008 y Ramos y Viejo 2007).

Las vitaminas liposolubles (A, D, E y K), y las hidrosolubles (C y Grupo B) cumplen funciones vitales relacionadas con el metabolismo y con la fabricación de hormonas, neurotransmisores, células sanguíneas o material genético, también poseen función enzimática acelerando reacciones químicas (Ramos y Viejo 2007). Los insectos contienen vitaminas hidrosolubles (B1, B2, B3 y C) y liposolubles (A, D, K y E) (MLcek et al., 2014), el contenido que poseen algunas especies de insectos se presenta en la Tabla 10, así como una comparación con alimentos convencionales.

Tabla 10. Comparación del contenido de vitaminas de insectos comestibles de México con alimentos convencionales

Órdenes	Vitamina (mg/100g)	Alimentos convencionales	Vitamina (mg/100g)
Vitamina C			
Lepidoptera	8.6 a 46.33	Fresa	60.00
Hymenoptera	32.1 a 36.14	Papaya	46.00

Fuente: Ramos-Elorduy, 2003. *Orthoptera* (chapulines, grillos y esperanzas), *Hemiptera* (chinchas), *Lepidoptera* (mariposas), *Coleoptera* (escarabajos), *Hymenoptera* (abejas, avispas y hormigas), *Diptera* (moscas), *Odonata* (libélulas).

Continuación Tabla 10. Comparación del contenido de vitaminas de insectos comestibles de México con alimentos convencionales

Órdenes	Vitamina (mg/100g)	Alimentos convencionales	Vitamina (mg/100g)
Vitamina A			
Orthoptera	0.33 a 160.52 UI	Huevo	9.70 UI
Lepidoptera	73.56 a 79.81 UI	Leche	14.0 UI
Hymenoptera	2.93 a 5.07 UI	Hígado	901.10 UI
		Zanahoria	202.50 UI
		Espinaca	87.50 UI
Tiamina			
Orthoptera	1.430 a 6.110	Levadura	1.25
Hemiptera	0.643 a 1.329	Semilla de girasol	0.83
Lepidoptera	1.548 a 1.650	Carne de puerco	0.75
Coleoptera	0.08 a 0.157	Jamón magro	0.58
Hymenoptera	0.210 a 1.05	Germen de trigo	0.47
Diptera	1.37 a 1.47	Arroz	0.44
Riboflavina			
Orthoptera	1.320 a 2.250	Hígado	3.52
Hemiptera	0.908 a 0.990	Leche	0.54
Lepidoptera	2.987 a 3.230	Levadura	0.34
Coleoptera	0.349 a 0.355	Huevo	0.26
Hymenoptera	0.050 a 1.700	Carne de cerdo	0.24
Odonata	0.09 a 0.109	Hamburguesa	0.22
Diptera	0.48 a 2.56	Trucha o pollo	0.19
Niacina			
Orthoptera	3.512 a 13.561	Carne	24.70
Hemiptera	4.47 a 5.82	Leche	2.50
Lepidoptera	19.707 a 20.1	Huevo	0.60
Coleoptera	0.820 a 0.999	Maíz	5.00
Hymenoptera	0.470 a 12.4		

Fuente: Ramos-Elorduy, 2003. *Orthoptera* (chapulines, grillos y esperanzas), *Hemiptera* (chinchas), *Lepidoptera* (mariposas), *Coleoptera* (escarabajos), *Hymenoptera* (abejas, avispas y hormigas), *Diptera* (moscas), *Odonata* (libélulas).

3.4 Alteración estructural de los lípidos

Los cambios que alteran los lípidos implican degradaciones de estructuras esenciales para la alimentación, como los ácidos grasos insaturados, el escualeno y pigmentos carotenoides. Dichas alteraciones estructurales en aceites y grasas se llevan a cabo por tres reacciones: la hidrólisis causada por agua, la oxidación (primaria, secundaria y terciaria) y son aceleradas por factores como el calor, luz,

humedad y por trazas de metales que perjudican la calidad del producto y disminuye su vida de anaquel, ya que se originan cambios en la composición química por la formación de peróxidos que además de reducir su valor nutritivo produce compuestos volátiles que imparten olores y sabores a rancio (Badui, 2013; Bello, 2000; Dana y Saguy, 2006; Steenhorst-Slikkerveer, Louter, Janssen y Bauer-Planck, 2000).

La estabilización oxidativa de los lípidos puede ser prevenida por la adición de conservadores, como los antioxidantes. Entre los aprobados por la Secretaría de Salud, se encuentran los químicos el butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), terbobutilhidroxiquinona (TBHQ) y galato de propilo, y naturales como α -tocoferol, tocoferoles mixtos y palmitato de ascorbilo (Badui, 2013; Sortwell, 1995).

3.4.1 Lipolisis

También conocida como rancidez o alteración hidrolítica es una reacción catalizada por lipasas y, en ciertas condiciones, por las altas temperaturas en presencia de agua, como puede ocurrir en el freído, en la que se hidroliza el enlace éster de los triacilglicéridos y de los fosfolípidos y se liberan ácidos grasos (Badui, 2013).

La lipolisis consiste en el desdoblamiento de los enlaces esteres entre los hidroxilos del glicerol y los ácidos grasos, característico de los triacilgliceroles. Este proceso es favorecido por las temperaturas elevadas o enzimas lipolíticas como las lipasas y fosfolipasas, razón por la cual esta alteración se produce con frecuencia teniendo como consecuencia que los ácidos grasos libres producen sabores jabonosos (Bello, 2000).

Los granos crudos presentan una fuerte actividad lipásica, la cual también se puede presentar en los lácteos y en muchos otros alimentos, incluso en la carne y el pescado. En algunos quesos maduros y de fuerte aroma es totalmente deseable y hasta se añaden enzimas microbianas o microorganismos con intensa actividad lipolítica para favorecerla (Badui, 2013).

A diferencia de otras reacciones enzimáticas, ésta se efectúa con una baja actividad de agua, como la que se encuentra en la harina de trigo y en los propios aceites frescos o refinados; esto se debe a que los triacilglicéridos líquidos tienen una gran movilidad y favorecen su contacto con la lipasa (Badui, 2013).

3.4.2 Oxidación

También conocida como rancidez oxidativa o autooxidación es la degradación más común de las grasas y aceites y se refiere a la oxidación de los ácidos grasos insaturados de los triacilglicéridos, aunque también se presenta en la vitamina A, B y los carotenoides al tener una estructura insaturada. Para el desarrollo de esta alteración química es necesaria la intervención del oxígeno del aire bajo alguna de sus dos formas excitadas: triplete ($^3\text{O}_2$) o singlete ($^1\text{O}_2$) (Bello, 2000).

El oxígeno atmosférico reacciona con el aceite y ataca los dobles enlaces generando compuestos que confieren el olor típico de grasa oxidada como consecuencia de la formación de aldehídos, cetonas, ácidos entre otros que provienen de la degradación de ácidos grasos, carotenoides y tocoferoles; se favorece con el incremento del índice de yodo, así, los más insaturados necesitan menos tiempo para absorber la misma cantidad de gas y, por consiguiente, se oxidan más rápido. El índice de peróxido no necesariamente refleja el grado de oxidación de una grasa depende del momento en que se determina (Badui, 2013; Bello, 2000; Juárez y Sammán, 2007).

Su mecanismo se divide en tres etapas, la etapa de iniciación, con la formación de radicales libres a partir de un hidroperóxido y favorecido por la alta temperatura y la luz, la etapa de propagación o continuación en donde los radicales libres formados en la fase anterior, reaccionan con el oxígeno, provocando de esta forma una reacción en cadena y por último la etapa de terminación con la reacción de dos radicales libres que generan aldehídos o cetonas (Bello, 2000).

En las emulsiones agua/aceite (margarina), la fase continua está en contacto con el aire y es más propensa a la oxidación al contrario que en una emulsión aceite/agua (mayonesa), en donde la fase acuosa protege al aceite (Badui, 2013).

Durante los períodos de fritura, el aceite se encuentra a altas temperaturas en presencia de aire por lo que el proceso de oxidación se desarrolla con mayor velocidad provocando características de olor desagradable en los aceites usados y en los alimentos fritos (Juárez y Sammán, 2007).

3.4.3 Reversión

Se presenta con menor frecuencia y en ciertos aceites refinados con ácido linolénico, como el de soya, que producen olores indeseables en el almacenamiento mediante un mecanismo que no se conoce totalmente; la reacción ocurre en aceites con índice de peróxido muy bajo, menores de 10 meq/kg, y puede ser el inicio de la autoxidación. Se desconocen los detalles de la reacción pero las temperaturas altas, las radiaciones electromagnéticas y algunos metales, la favorecen; se requiere de pequeñas cantidades de oxígeno ya que los aceites envasados con un gas inerte o al vacío no la desarrollan; el uso de los antioxidantes fenólicos no la previene (Badui, 2013).

3.4.4 Radiolisis

La irradiación de los alimentos, como método de conservación, ha adquirido gran relevancia en los últimos años. Al igual que sucede con los tratamientos térmicos, en la irradiación ocurren cambios en las grasas, algunos del tipo oxidativo, pero además la energía suministrada provoca la formación de moléculas ionizadas y de radicales libres muy reactivos que, a su vez, pueden interaccionar con lípidos; las grasas insaturadas y las saturadas entran en esta cadena de reacciones que conducen a la formación de aldehídos, cetonas, hidrocarburos, esteroides, ácidos grasos libres, lactonas y otros. Una vez formados los radicales libres y en presencia de oxígeno, las reacciones descritas en la autoxidación se desarrollan con facilidad (Badui, 2013).

3.4.5 Métodos para medir la alteración estructural de los lípidos

Para determinar la degradación en los lípidos, por ejemplo en el freído se evalúan las características físicas y químicas, debido a que están directamente relacionadas con

sus triacilglicéridos y éstos con sus ácidos grasos, para analizarlos, se emplean métodos químicos y técnicas instrumentales (Badui, 2013).

Los métodos químicos permiten extraer conclusiones acerca de la identidad, composición y calidad de la grasa o aceite de forma cuantitativa. Entre los métodos químicos, se encuentran el índice de acidez, que cuantifica la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite o la grasa (NMX-F-101-SCFI-2012) este parámetro es uno de los principales que alertan sobre la calidad del aceite durante el almacenamiento (Tasan, Gecgel y Demirci, 2011). El índice de peróxido, que es una medida directa del oxígeno unido a los aceites en forma de peróxido, y proporciona por lo tanto información acerca del grado de oxidación de la muestra (NMX-F-154-1987), sin embargo el índice de peróxido no necesariamente refleja el grado de oxidación de una grasa depende del momento en que se determina. El índice de yodo que determina la cantidad de dobles enlaces de los ácidos grasos presentes en el aceite (NMX-F-152-S-1981) y se relaciona con el índice de refracción y con la densidad (Paucar-Menacho, Salvador-Reyes, Guillén-Sánchez, Capa-Robles y Moreno-Rojo, 2015).

Por otra parte las técnicas instrumentales, se basan en la posibilidad de medir y obtener datos cualitativos y cuantitativos. Además, son más rápidos y versátiles, algunos de ellos no usan reactivos químicos y no contaminan, como el índice de refracción el cual es utilizado para controlar la pureza y la calidad de los aceites al relacionarse con su grado medio de instauración, y también es útil para observar el progreso de las reacciones tales como hidrogenación e isomerización (Karabulut, Kayahan y Yaprak, 2003), otras técnicas instrumentales de análisis son la cromatografía de gases, líquidos y capa fina, espectroscopía de infrarrojo y UV-visible, resonancia magnética nuclear y rayos X de dispersión entre otras (Skoog, Holler y Neman, 2009; Stauffer, 2005).

3.4.6 Espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier en la región media

La espectroscopía de Infrarrojo con transformada de Fourier (EITF) es el método por el cual se estudian las distintas absorciones de radiación infrarroja que manifiestan los diferentes grupos funcionales presentes en una molécula (Lopes y Fascio, 2004). Los espectros EITF se pueden usar como una herramienta potencial que permite hacer una primera diferenciación entre grasas y aceites debido a su capacidad en la identificación de estructuras moleculares, aunque también se emplea con fines cuantitativos (Rohman, Kuwat, Retno, Sismindari y Tridjoko, 2012; Silverstein, 1991).

La región infrarroja del espectro está en tres regiones denominadas infrarrojo cercano, medio y lejano, de las tres zonas del espectro infrarrojo, la región media comprendida entre 4000 a 400 cm^{-1} que es la más utilizada para el estudio estructural de las moléculas (Hernández y Zacconi, 2009). En general, el espectro infrarrojo medio de un compuesto orgánico proporciona un espectro único, con características que lo distinguen fácilmente del resto de los constituyentes (Hernández y Zacconi, 2009).

4. Problema de investigación

En el Estado de Hidalgo, en las zonas rurales el consumo de insectos comestibles es más accesible y habitual, debido a que aún presentan los hábitats donde se desarrollan. Mientras que en las zonas urbanas no cuenta con este medio, y tradicionalmente no forman parte de su dieta, por lo que su comercialización es limitada y exclusiva a restaurantes, que los presentan como platillos exóticos y su precio es elevado.

Por tal motivo, para fomentar el consumo de insectos a toda la población el municipio de Santiago de Anaya realiza una feria gastronómica con la finalidad de conocer y degustar los diversos platillos procedentes de los diferentes municipios que conforman el Estado de Hidalgo. Sin embargo, en esta feria se buscan alternativas de cocción para mejorar las características organolépticas y la aceptación del consumidor, ya que al inicio se preparaban solo hervidos u horneados, posteriormente se empleó la fritura con manteca de cerdo o pollo, posteriormente, fueron desplazados por mantequilla y aceites vegetales.

Aunque las características organolépticas de los insectos mejoraron por el freído, se desconoce el efecto sobre las propiedades nutritivas, principalmente sobre los lípidos (10 – 50 %) que son unos de los componentes mayoritarios en los insectos.

Se ha reportado que la composición lipídica de los insectos, está constituida principalmente de ácidos grasos mono y poliinsaturados; compuestos que presentan uno o más de dobles enlaces respectivamente, y por tal motivo son más propensos a reacciones de degradación, que son aceleradas por la luz, humedad y por trazas de metales, que afecta la calidad del alimento, debido a que se originan cambios en su composición química, ya que se forman peróxidos que proporcionan a los lípidos un olor, sabor a rancio y liberación de ácidos grasos libres, que afectan sus propiedades bioactivas y se producen compuestos que son tóxicos para la salud.

5. Justificación

Los insectos contienen nutrientes de alta calidad, por lo que representan una alternativa de consumo para otros alimentos convencionales (carne de cerdo, res, pollo o leguminosas), al proporcionar aminoácidos esenciales y ácidos grasos insaturados, que son considerados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) necesarios para disminuir la desnutrición en lugares en donde las fuentes convencionales de alimentos son caras, por ejemplo en el Estado de Hidalgo el consumo de ácidos grasos insaturados es menor en comparación con los saturados y grasas *trans*.

Las deficiencias energéticas y los requerimientos de ácidos grasos insaturados en la población hidalguense pueden ser cubiertas con el consumo de insectos, debido a que en los distintos municipios que conforman este Estado, hay una diversidad de insectos con propiedades nutritivas únicas. Por ejemplo, en el municipio de Santiago de Anaya se consumen los chinicuiles, escamoles, chapulines y gusano blanco de maguey por mencionar algunos, en donde la forma de prepararlos son fritos con mantequilla, por lo que resulta de interés investigar si el tratamiento térmico aplicado a los insectos durante su preparación culinaria afecta las propiedades bioactivas de los lípidos, ya que los ácidos grasos insaturados que se encuentran en los insectos son benéficos para la salud, debido a que mejoran la fluidez de las membranas celulares; disminuyen la peroxidación que deteriora a los ácidos grasos poliinsaturados, el riesgo de padecer cáncer de mama y de colon, diabetes, enfermedades inflamatorias y autoinmunes, colelitiasis e influyen en la cicatrización de úlceras gástricas. Además de reducir la concentración de la lipoproteína de baja densidad y aumentar la lipoproteína de alta densidad, por lo que su ingesta frecuente podría ser una alternativa para prevenir problemas circulatorios, así como enfermedades del síndrome metabólico.

6. Objetivo general

Analizar la composición de los ácidos grasos de cuatro especies de insectos antes y después del freído para determinar su degradación mediante análisis químico e instrumental.

6.1 Objetivos específicos

6.1.1 Realizar un análisis químico proximal a las cuatro especies de insectos antes y después del tratamiento térmico para comparar su composición química mediante las determinaciones de humedad, proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos.

6.1.2 Extraer y analizar el aceite de las cuatro especies de insectos antes y después del freído empleando métodos químicos (acidez, yodo y peróxido) e instrumentales índice de refracción y espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier para establecer la degradación de los ácidos grasos.

7. Diseño metodológico

El proceso experimental mediante el cual se analizaron las muestras consistió en el análisis de dos lotes, uno de insectos frescos y el segundo de fritos en mantequilla y sazonados, ambos lotes se adquirieron con un proveedor de Santiago de Anaya, Hidalgo. En la Figura 9 se muestran los análisis realizados, primero un análisis químico proximal, en donde la determinación de carbohidratos se realizó por diferencia. El aceite extraído para la cuantificación de lípidos por método Soxlet fue sometido a análisis químicos e instrumentales.

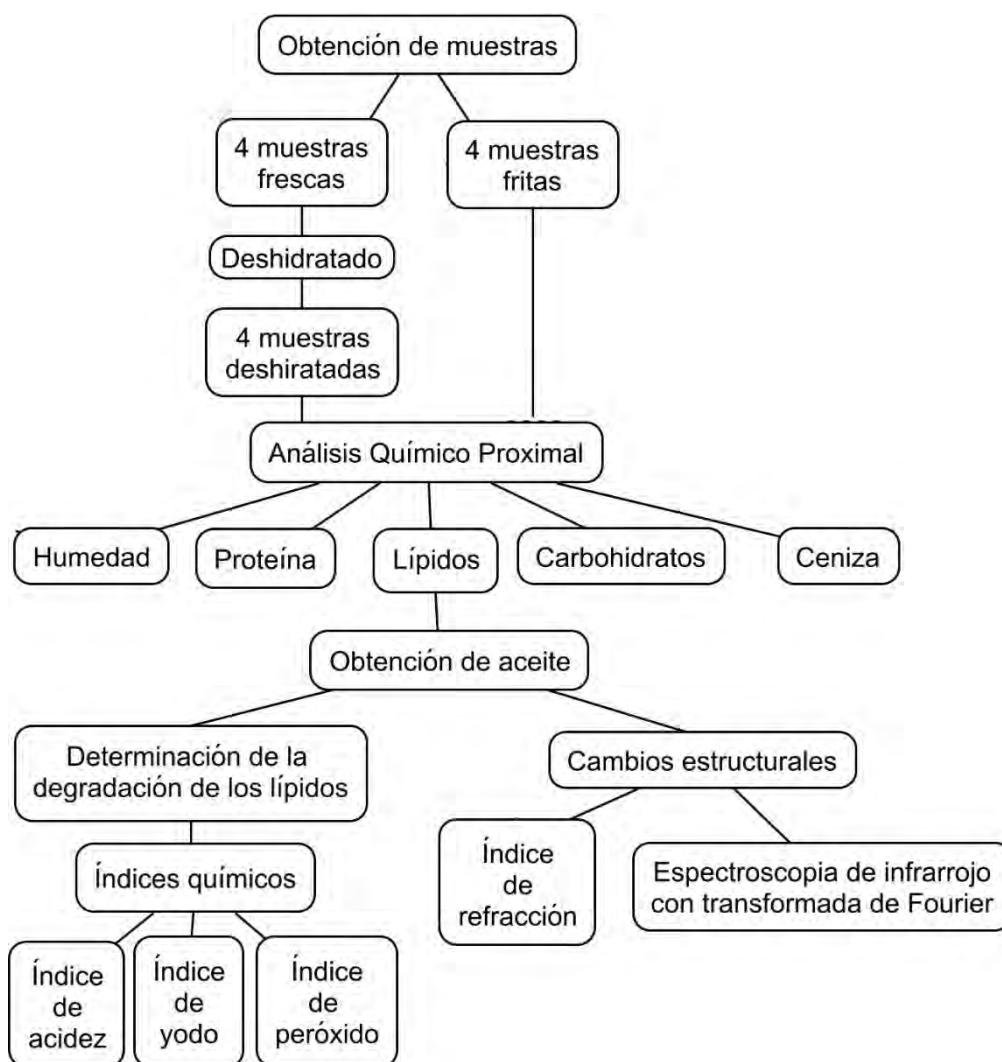


Figura 9. Diagrama general del análisis de las muestras de insectos.

7.1 Muestras

Para este trabajo fueron seleccionadas 4 especies de insectos de los más consumidos en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo: gusano de agave blanco (*Aegiale hesperiaris* Walk.), escamol (*Liometopum apiculatum* Mayr), chapulín (*Melanoplus mexicanus mexicanus* Sauss.) y chinicuil (*Comadia redtembacheri* Hamm.).

Se adquirieron dos lotes de muestras, uno de insectos frescos y otro de insectos fritos con mantequilla y sazonados, de cada especie de insectos se consiguieron 500 gramos para realizar las determinaciones necesarias. Los insectos frescos se congelaron a -17 °C en un refrigerador hasta su utilización, mientras que los insectos fritos con mantequilla se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar seco y fresco. La información nutrimental de la mantequilla se encuentra en la sección de anexos (Anexo 1).

Posteriormente los insectos frescos se descongelaron a temperatura ambiente y fueron deshidratados colocando cada una de las especies de insectos sobre charolas independientes con recubrimiento de aluminio dentro de un horno de secado (Terlab, TE-H35DM, México) para su deshidratación a 70 °C con diferente tiempo, hasta alcanzar peso constante: gusano blanco de maguey (7 1/2 horas), chinicuiles (4 horas), escamoles (7 horas) y chapulines (4 horas).

Una vez deshidratadas y homogeneizadas con una licuadora (Black+ Decker, BL1000FG, México) las muestras se almacenaron a temperatura ambiente en frascos de vidrio color ámbar.

7.2 Análisis Químico Proximal

Las muestras homogeneizadas de cada especie de los insectos se les analizó empleando los métodos humedad (925.10), proteína (991.20), lípidos (920.35) y ceniza (923.03) de acuerdo a la Asociación Oficial de Química Analítica (AOAC,

1990). Los carbohidratos se obtuvieron por diferencia. También se determinó humedad a los aceites por el método antes mencionado.

7.2.1 Humedad

La determinación de humedad se fundamenta en la deshidratación de una muestra en un horno y su determinación por diferencia de peso entre el material seco y húmedo (Matissek, Schnepel y Sterner, 1992).

A las muestras crudas se les analizó el porcentaje de humedad, para lo cual se llevaron a peso constante los crisoles y a continuación se les agregó 1 g de muestra y se depositaron dentro de un horno de secado (Terlab, TE-H35E, México) a 105°C por 3 h. Se pesaron en una balanza analítica (Adventure, 127-275, China) (sensibilidad ± 0.1 mg) y los resultados fueron sustituidos con la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar el porcentaje de humedad.

En donde:

%H: porcentaje de humedad

P_i: peso muestra húmeda

P_f: peso muestra seca

7.2.2 Proteína

La cuantificación de proteína se realizó mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio (Matissek et al., 1992). En este método el ácido sulfúrico se transforma en dióxido de azufre, el cual reduce el material nitrogenado a sulfato de amonio, y después de la adición de hidróxido de sodio el amoníaco se libera y se destila recogiendo en una disolución de ácido bórico. Se titula el nitrógeno amoniacal con una disolución valorada de ácido (NMX-F-068-S-1980).

Las muestras se colocaron dentro de diferentes tubos de digestor en una cantidad de 200.0 mg y a cada uno se le adicionó 2 mL de agua destilada, 15 mL de ácido sulfúrico concentrado y 1 tableta catalizadora Kjelcat™, también se preparó un blanco por cada muestra. Después los tubos fueron colocados en el sistema de digestión (Gerhardt, KB8, Alemania) al cual se le aumentó la temperatura de forma gradual hasta alcanzar 95 minutos y 405°C, los gases que se emiten durante la digestión fueron neutralizados colocando campanas de extracción a cada tubo, las cuales se encuentran conectadas a un lavador de gases (Gerhardt, TUR, Alemania) que contiene agua destilada e hidróxido de sodio.

Una vez terminada la digestión, cuando las muestras se tornaron de un color verde esmeralda se enfriaron a 25 °C y a continuación se destilaron y titularon en un sistema de destilación (Gerhardt Bonn, vapodest 50, Alemania), primero el equipo se encendió y calibró con soluciones buffer de pH 4 y 7, posteriormente se realizó un lavado del equipo para después comenzar la destilación y titulación del blanco, el porcentaje de nitrógeno del blanco se utilizó para configurar el equipo al momento de destilar las muestras. El equipo proporciona automáticamente los mL gastados en la titulación y el porcentaje de nitrógeno, el cual se multiplicó por el factor de conversión de 6.25 para obtener el porcentaje de proteína.

7.2.3. Lípidos

La extracción de lípidos por método soxhlet utiliza un sistema de extracción cíclico que extrae a los componentes solubles en éter que se encuentran en el alimento (NMX-F-089-S-1978).

Para calcular el porcentaje de lípidos en los insectos, previamente el matraz de bola de fondo plano se llevó a peso constante y se le adicionó 225 mL de éter de petróleo. A continuación, se pesó el cartucho de celulosa (Whatman GE Healthcare, UK) y se taró, a este se le agregó 3 g de cada una de las muestras. La extracción se llevó a cabo a 60 °C durante 3 h en un equipo de extracción de Soxhlet (Barnstead, Lab-Line, EUA). Finalmente, se separó el aceite del disolvente utilizando un rotaevaporador (Büchi, B-490, México). Se pesaron en una balanza analítica

(Adventure, 127-275, China) (sensibilidad ± 0.1 mg). Los resultados obtenidos se sustituyeron con la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{P_i - P_f}{m} * 100$$

Ecuación 2. Ecuación para determinar porcentaje de lípidos.

En donde:

%G: porcentaje de lípidos

Pi: peso del matraz limpio y seco (g)

Pf: peso del matraz con grasa (g)

m: peso de la muestra (g)

El aceite obtenido de cada extracción se recolectó y almacenó en frascos de color ámbar hasta su análisis químico e instrumental.

7.2.4. Ceniza

El método se emplea para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra (Matissek et al., 1992).

Para este método, los crisoles de porcelana se pesaron y colocaron a peso constante. En cada crisol se colocaron 2 g de muestra desengrasada y se calcinó hasta obtener una muestra color gris. Posteriormente los crisoles con la muestra calcinada se depositaron dentro de una mufla (furnaced, 48000, EUA) a 550°C durante 4 h, finalmente se pesaron en una balanza analítica (Adventure, 127-275, China) (sensibilidad ± 0.1 mg) y los valores obtenidos se sustituyeron con la siguiente fórmula:

$$\%C = \frac{P_i - P_f}{m} * 100$$

Ecuación 3. Ecuación para determinar porcentaje de ceniza.

En donde:

%C: porcentaje de ceniza

Pi: peso crisol con muestra

Pf: peso crisol con ceniza

7.3 Determinación de la degradación del aceite extraído

La determinación de la degradación en los aceites se realizó mediante una caracterización química por triplicado, empleando los siguientes índices:

7.3.1 Índice de acidez

De acuerdo a la norma mexicana NMX-F-101-SCFI-2012, el índice de acidez se define como el número de miligramos de NaOH necesarios para neutralizar 1 g de aceite y se fundamenta como la titulación de los ácidos grasos libres, con un álcali.

El cálculo del índice de acidez en los aceites se realizó pesando 0.5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer, se le adicionó 1 mL de etanol neutro y 3 gotas de fenolftaleína. A continuación se tituló hasta un cambio de color rosa. Los resultados obtenidos se sustituyeron con la siguiente fórmula y fueron expresados como % de ácido oleico.

$$IA = \frac{0.282 * N * V}{m} * 100$$

Ecuación 4. Ecuación para determinar índice de acidez.

En donde:

IA: índice de acidez

0.282: miliequivalentes químico del ácido oleico

N: Normalidad de 0.1 N

V: mL gastados de hidróxido de sodio para titular

m: peso de la muestra

7.3.2 Índice de yodo

La cuantificación del índice de yodo se realizó siguiendo la metodología de la norma mexicana NOM-F-152-S-1981, se define como la medida del grado de insaturación

de los aceites y se basa en la reacción del monoclóruo de yodo en medio acético con los ácidos grasos midiendo la cantidad de yodo que está presente libremente.

Para su determinación se pesaron 0.25 g de aceite y se disolvieron con 10 mL de cloroformo y 10 mL de la solución Wijs. Los matraces con las muestras se almacenaron en una campana de extracción durante 30 min. Después se añadió 5 mL de solución de KI al 15% y se agitó, posteriormente se le adicionó 100 mL de agua destilada. A continuación, se tituló con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que el color amarillo bajó de intensidad, una vez determinada esta reacción se adicionó 1 mL de almidón; y se tituló hasta que la solución viró a incolora. Los resultados se sustituyeron en la siguiente fórmula y se expresaron como cg I₂/g.

$$IY = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) * N * 12.67}{m}$$

Ecuación 5. Ecuación para determinar índice de yodo.

En donde:

IY: índice de yodo

mL: mililitros de tiosulfato de sodio gastados en la titulación

N: Normalidad de 0.1 N

m: peso de la muestra

7.3.3 Índice de peróxido

Para cuantificar el índice de peróxido en los aceites se usó la norma NMX-F-154-1987, la cual indica que es la cantidad de microgramos de oxígeno activo en un kilogramo de muestra. Este método determina todas las sustancias, en términos de peróxidos, existentes en la solución de la muestra con los solventes indicados en el método.

Para la determinación de este índice se utilizaron matraces Erlenmeyer, en cada uno se pesó 0.125 g de aceite y se agregó 3 mL de una solución de cloroformo y ácido acético glacial (60:40). A continuación se adicionó a cada uno de estos 2.5 mL de una solución de yoduro potásico saturada. Los matraces con las soluciones y las

muestras se agitaron y se dejaron almacenados durante 2 min en la campana de extracción. Finalmente se les agregó 1.5 mL de agua destilada y 10 mL de una solución de almidón al 1 %, y se titularon con una disolución de tiosulfato sódico 0.01 N. Los resultados se expresaron como meq O₂/kg de aceite.

$$IP = \frac{(\text{ml muestra} - \text{ml blanco}) * N}{m}$$

Ecuación 6. Ecuación para determinar índice de peróxido.

En donde:

IP: índice de peróxido

mL: mililitros de tiosulfato de sodio gastados en la titulación

N: Normalidad de 0.01 N

m: peso de la muestra

7.4 Análisis de cambios estructurales

7.4.1 Índice de refracción

La norma mexicana indica que para la cuantificación del índice de refracción con el refractómetro de Abbe (NMX-F-074-S-1981), lo define como la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, ángulos que se forman al pasar un rayo de luz del aire a otro medio, en que la luz se propaga con diferentes velocidades. El método se basa en la determinación del índice de refracción por la observación directa del límite de reflexión total manteniéndose la sustancia dentro de las condiciones de isotropismo y transparencia.

La determinación del índice de refracción se realizó midiendo directamente el ángulo de refracción utilizando un refractómetro tipo Abbé (ATAGO, Master-RI; USA). El análisis se realizó como sigue: primero se limpió el prisma del refractómetro con un algodón impregnado con alcohol, a continuación se le agregó una gota de aceite extendiéndola sobre toda la superficie, se colocó la tapa procurando que no se formaran burbujas y se realizó la lectura. En caso de formación de burbujas se deberá de limpiar el prisma y repetir la lectura. La media de las dos lecturas se

comparó consultando la tabla de índice de refracción de aceites incluida con el equipo (Anexo 1).

7.4.2 Análisis por espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF)

La espectroscopía de infrarrojo mide la absorción de la radiación infrarroja que generan los enlaces que forman los grupos funcionales presentes en las moléculas orgánicas. Las moléculas absorben la energía de luz infrarroja cuando dicha energía incidente es igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula (Hernández y Zacconi, 2009).

El análisis de espectroscopía de infrarrojo se realizó en un espectrómetro (Perkin Elmer, spectrum 100 EITF, EUA) con transformada de Fourier. El estudio se llevó a cabo con 25 μL de cada uno de los aceites y se comparó con un estándar con 37 componentes (Food Industry FAMEs Mix, Restek). El análisis de infrarrojo fue en la región media ($650\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) con una resolución de 4 cm^{-1} .

7.5 Análisis estadístico

Los resultados del análisis químico proximal, índices químicos y para el índice de refracción se expresan como media más desviación estándar por medio de la aplicación de análisis de varianza (ANOVA) de un factor y de la prueba de comparación de medias de Duncan con un nivel de significancia $p < 0.05$, utilizando las pruebas post hoc para establecer las diferencias entre las especies de insectos y mediante la aplicación de una T de student para muestras independientes con un intervalo de confianza del 95% se compararon los insectos deshidratados y fritos, con el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 22. Los resultados de infrarrojo fue hecho mediante estadística descriptiva (media más desviación estándar), usando el software SPECTRUM V5 3.0.

8. Resultados y Discusión

8.1 Análisis químico proximal

Los resultados del análisis químico proximal de las cuatro especies de insectos se muestran en la Tabla 11, la parte superior de la tabla hace referencia al análisis de los insectos frescos y la parte inferior presenta la comparación entre las muestras deshidratadas y fritas.

Tabla 11. Análisis químico proximal de los insectos comestibles

frescos (% base húmeda)					
Análisis		Chapulines	Escamoles	Chinicuiles	Gusano blanco de maguey
Humedad		52.00 ± 0.00 ^b	56.00 ± 0.00 ^b	55.06 ± 2.59 ^b	63.42 ± 7.50 ^a
Proteína		30.01 ± 0.08 ^a	15.30 ± 0.50 ^c	16.39 ± 0.77 ^b	11.70 ± 0.40 ^d
Lípidos		12.93 ± 0.30 ^d	20.05 ± 0.37 ^a	18.03 ± 0.52 ^b	16.34 ± 0.96 ^c
Ceniza		1.88 ± 0.00 ^b	1.91 ± 0.12 ^b	2.31 ± 0.00 ^a	1.36 ± 0.05 ^c
Carbohidratos		3.17 ± 0.00 ^d	6.73 ± 0.00 ^c	8.21 ± 0.00 ^a	7.16 ± 0.00 ^b
% base seca					
Análisis		Chapulines	Escamoles	Chinicuiles	Gusano blanco de maguey
Humedad	D	1.96 ± 0.13 ^{bA}	1.89 ± 0.38 ^{bB}	1.31 ± 0.29 ^{cB}	2.80 ± 0.20 ^{aB}
	F	0.84 ± 0.00 ^{cB}	2.84 ± 0.00 ^{aA}	2.83 ± 0.00 ^{abA}	2.82 ± 0.00 ^{bA}
Proteína	D	62.52 ± 0.17 ^{aA}	34.78 ± 1.15 ^{bA}	36.47 ± 1.72 ^{bA}	32.01 ± 1.10 ^{cB}
	F	44.52 ± 0.42 ^{aB}	32.86 ± 0.61 ^{dA}	37.64 ± 1.02 ^{bA}	34.71 ± 0.60 ^{cA}
Lípidos	D	26.95 ± 0.63 ^{cB}	45.57 ± 0.85 ^{aB}	40.11 ± 1.19 ^{bB}	44.67 ± 2.62 ^{aB}
	F	45.15 ± 0.16 ^{cA}	56.26 ± 1.79 ^{aA}	47.67 ± 0.55 ^{bA}	56.83 ± 1.46 ^{aA}
Ceniza	D	3.92 ± 0.01 ^{cB}	4.35 ± 0.28 ^{bA}	5.15 ± 0.01 ^{aB}	3.73 ± 0.13 ^{cB}
	F	8.89 ± 0.01 ^{aA}	4.38 ± 0.04 ^{dA}	7.46 ± 0.05 ^{bA}	4.69 ± 0.07 ^{cA}
Carbohidratos	D	4.65 ± 0.00 ^{dA}	13.41 ± 0.00 ^{cA}	16.95 ± 0.00 ^{aA}	16.79 ± 0.00 ^{bA}
	F	0.60 ± 0.00 ^{dB}	3.66 ± 0.00 ^{bB}	4.40 ± 0.00 ^{aB}	0.95 ± 0.00 ^{cB}

Promedio ± DE. Letras superíndice minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre especies. Letras superíndice mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre D: insectos deshidratados y F: insectos fritos.

En los resultados obtenidos del análisis químico proximal en base húmeda, se observa que el gusano blanco de maguey, presentó un mayor porcentaje de humedad ($p < 0.05$) comparado con las otras especies de estudio. Sin embargo,

todos los insectos frescos analizados presentaron valores altos de humedad similar a lo obtenido por Finke (2008) para insectos enteros y frescos con un 55 – 85 %; que de acuerdo a Juárez et al. (2010) es influenciada por las condiciones climáticas y geográficas, así como también por Ramos et al. (2012) en muestras provenientes de San Juan Teotihuacán y Otumba para gusano blanco de maguey, chinicuiles y escamoles 73.24 - 77.15 %, 58.30 - 60.90 % y 60.57 - 71.90 % respectivamente. Mientras que Melo-Ruiz et al. (2015) indicó un valor de humedad para chapulín de 35.29 % a 43.19 %.

De acuerdo a Badui (2013), el alto contenido de humedad en alimentos presenta mayor susceptibilidad a microorganismos y reacciones biológicas propias de cada alimento, los insectos analizados por su contenido de humedad, pueden presentar actividad enzimática, reacciones hidrolíticas, oscurecimiento no enzimático y oxidación de lípidos por lo que es necesario implementar un método de conservación.

Con respecto a la proteína, el chapulín fue el que presentó un mayor porcentaje ($p < 0.05$), esto puede ser debido a que los insectos en etapa adulta presentan un mayor porcentaje de este macronutriente (Ramos et al., 2012). Por otro lado, los lípidos su porcentaje fue mayor en el escamol ($p < 0.05$) que en los otros insectos seleccionados, el contenido de lípidos en este insecto es por su estadio de desarrollo (pupa) a diferencia del chapulín que es adulto y los gusano que son larvas (Rumpold y Schlüter, 2013). Finalmente, el chinicuile obtuvo un porcentaje de ceniza y carbohidratos ($p < 0.05$) mayor al cuantificado a los otros insectos comestibles, que es influenciado directamente por la dieta del insecto (Ramos et al., 2012).

A continuación se analizan los resultados en base seca deshidratados y fritos. Se observa en la Tabla 11 que de los insectos deshidratados el gusano blanco de maguey, presentó un mayor porcentaje de humedad ($p < 0.05$) que fue diferente a los resultados obtenidos de las otras especies propuestas para este trabajo, esto se debe a la fisiología del gusano blanco de maguey como lo indicaron los resultados obtenidos para la larva de *Bombyx mori* L. con 79.20% (Rodríguez-Ortega et al., 2016) y para el gusano Cuetlas (*Arsenura armida* C.) 90 % (Melo-Ruiz et al., 2016).

En cuanto a los insectos fritos, el chapulín presentó un porcentaje de humedad bajo ($p < 0.05$) en comparación con el deshidratado, debido a que absorbió una mayor cantidad de mantequilla lo cual influyó en su freído haciéndolo más crujiente comparado con las otras muestras como lo indicaron Alvis-Bermúdez, Romero-Barragan, y Arrazola-Paternina (2016) quienes reportaron que durante el incremento de temperatura llevado a cabo por el proceso térmico, el agua en el interior del alimento se evapora debido a que alcanza su punto de ebullición.

En la Tabla 11 se observa que el porcentaje de proteína en el chapulín deshidratado fue mayor ($p < 0.05$) a los resultados cuantificados en escamol, chinicuil y gusano blanco de maguey. Este porcentaje se encuentra dentro de parámetro indicado por Ramos-Elorduy et al. (2002) y Ramos-Elorduy, Pino y Martínez (2012) con 6 especies de chapulines frescos y recolectados en 9 Estados de México respectivamente, con un contenido de proteínas de 57 a 71.3 %, presentando un contenido comparable al huevo (46 %) y carne de res (54 %) (Conconi, 1993). Mientras que en la muestra frita del mismo insecto también fue mayor ($p < 0.05$) comparado con los insectos antes mencionados, presentando un resultado superior al cuantificado para frijol (23 %) y lenteja (27 %) y similar a la soya y pollo de 43 a 44 % (Conconi, 1993). Sin embargo, al comparar la muestra de chapulín deshidratado y frito también mostraron diferencia ($p < 0.05$) probablemente causado por la generación de una interacción molecular proteína-lípido que se intensificó por la adición de sal y la desnaturalización térmica de la proteína, que en presencia de hidroperóxidos y adición nucleofílica en presencia de compuestos carbonílicos, incrementó la oxidación de grupos de aminoácidos libres (Dávidék et al., 1983; Saeed et al., 1999; Aalhus y Dugan, 2014), produciéndose una reducción de la digestibilidad de la proteína (Morzel et al., 2006; Santé-Lhoutellier et al., 2008).

Se atribuyen contenidos diferentes de acuerdo a las etapas de crecimiento y órdenes de insectos, por ejemplo; en avispas, el adulto tiene un 71.07 %, la pupa presenta un 58.59 %, mientras que una larva contiene 50.83 % de proteína, con respecto a los órdenes de insectos el orden de *Orthoptera* > *Homoptera* > *Odonata*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Hemiptera*, *Lepidoptera* y *Coleoptera* (Wen, 1998a). Los resultados de

proteína obtenidos en este trabajo concuerdan con los valores para insectos comestibles (sin tratamiento térmico) de diferentes órdenes como saltamontes, langostas y grillos (*Orthoptera*), orugas y chinicuilos (*Lepidoptera*), chinches (*Hemiptera*), escarabajos (*Coleoptera*), abejas, avispas y hormigas (*Hymenoptera*), termitas (*Isoptera*), moscas (*Diptera*) y libélulas (*Odonata*) con 6.25 - 77.13 %, 13.17 - 74.35 %, 27.00 - 72.00 %, 8.85 - 71.10 %, 4.90 - 66.00 %, 20.40 - 65.62 %, 35.87 - 63.99 % y 54.24 - 56.22 % respectivamente (Rumpold and Schlüter, 2015; Payne, Scarborough, Rayner y Nonaka, 2016; Williams, Williams, Kirabo, Chester, Peterson, 2016; Ghosh et al., 2017; Melo-Ruíz, Quirino – Barreda, Díaz – García, Falcón – Gerónimo y Gazga - Urioste, 2017; Kuntadi y Kun, 2018). Además de ser superiores a alimentos como frijol (23 %) y lenteja (27 %) y similares a la proteína de soya deshidratada (35.8 %) (Danish Food Composition Databank, 2012). En una investigación Finke, Defoliart, Benevenga, (1989) concluyen que la ingesta de proteínas provenientes de soya y grillo (*Acheta domesticus* y *Anabrus simplex*) ejercen un efecto positivo en el desarrollo de ratas destetadas.

La calidad de las proteínas presentes en los insectos es buena al presentar un contenido de aminoácidos esenciales de acuerdo a la clasificación de Murray et al. (2013) son: triptófano (8.1 mg g⁻¹ proteína), metionina (19.3 mg g⁻¹ proteína), histidina (21.2 mg g⁻¹ proteína), treonina (35.8 mg g⁻¹ proteína), isoleucina (39.6 mg g⁻¹ proteína), fenilalanina (46.6 mg g⁻¹ proteína), valina (50.3 mg g⁻¹ proteína), arginina (53.6 mg g⁻¹ proteína), lisina (53.9 mg g⁻¹ proteína) y leucina (74.8 mg g⁻¹ proteína) (Finke et al., 1989; Deguevara et al., 1995; Finke, 2002; Finke, 2007); dicho contenido cubre los requerimientos para adultos de acuerdo a OMS [triptófano (6.0 mg g⁻¹ proteína), metionina (16.0 mg g⁻¹ proteína), histidina (15.0 mg g⁻¹ proteína), treonina (23.0 mg g⁻¹ proteína), isoleucina (30.0 mg g⁻¹ proteína), fenilalanina (46.6 mg g⁻¹ proteína), valina (39.0 mg g⁻¹ proteína), lisina (45.0 mg g⁻¹ proteína) y leucina (59.0 mg g⁻¹ proteína)] (OMS, 2007). De acuerdo a sus contenido de aminoácidos esenciales los insectos comestibles presentan una digestibilidad entre 77 % y 98 % (Ramos-Elorduy et al., 1997), sin embargo, los chapulines a pesar de su alto contenido de aminoácidos presentan valores de digestibilidad bajos (54 %) por la presencia de quitina en su exoesqueleto, pero cuando se elimina este compuesto

químico; incrementa su calidad (Chakravorty, Ghosh, Jung y Meyer-Rochow, 2014; Das y Mandal, 2013; Ramos-Elorduy et al., 2012). Los beneficios del consumo de aminoácidos esenciales son diversos ya que participan en funciones metabólicas y bioquímicas; el triptófano, modula el apetito, la saciedad y es precursor de la serotonina (Lakhan y Vieira, 2008; Ringdahl, Pereira, Delzell, 2004). La lisina, regula la absorción del calcio, ayuda a la formación de colágeno, anticuerpos, hormonas y enzimas (Poneros-Schneier y Erdman, 1989). La metionina facilita la producción de neurotransmisores en el cerebro y reduce los niveles de colesterol al aumentar la producción de lecitina en el hígado, protege los riñones y actúa como un agente quelante natural para metales pesados (Lakhan y Vieira, 2008; Watanabe et al., 1983). La fenilalanina es un antidepresivo y ayuda a mejorar la memoria (Ibáñez, 2009; Lakhan y Vieira, 2008; Watanabe et al., 1983). La treonina previene la acumulación de grasa en el hígado y regula la función de las vías digestivas e intestinales, al metabolismo y la asimilación de nutrientes (Watanabe et al., 1983). La valina promueve el vigor mental, la coordinación muscular y calma las emociones. La leucina y la isoleucina son precursores de energía, estimulan el cerebro y promueven el estado de alerta. La arginina puede mejorar las respuestas inmunes a bacterias, virus y células tumorales, participa en la liberación de hormonas de crecimiento y se considera crucial para el crecimiento muscular óptimo y la reparación de tejidos (Watanabe et al., 1983). La deficiencia de aminoácidos esenciales ocasiona desnutrición energética proteica con efectos severos en funciones cerebrales y sistema inmune (Pencharz, 2012). Razón por la cual la inclusión de los insectos a la dieta representa una alternativa a las proteínas que se consumen de fuentes tradicionales (Banjo, Lawal y Songonuga, 2006). Sin embargo, es necesario profundizar en su análisis de calidad proteica y su digestibilidad en humanos (Lee et al., 2016).

El porcentaje de lípidos en el chapulín deshidratado y frito su concentración fue menor ($p < 0.05$) al compararlo con las otras muestras de insectos comestibles propuestos para este estudio, la variación en el porcentaje en el contenido de lípidos se relaciona con las etapas de desarrollo del insecto como lo indicó Deng, Yang y Yang (2013), quienes observan que en diferentes ciclos de vida de las avispa, estas

tienen diferentes concentraciones de lípidos, en larvas es de 29.01 %, en pupas 27.25 % y en adultos 17.22 %. Es por lo anterior, que los escamoles que se consumen en estado de pupa y los chinicuiles y gusano blanco de maguey en estado de larva presentan mayor concentración de lípidos que los chapulines que se consumen en estado adulto.

Por otro lado, al comparar los porcentajes de lípidos entre las dos muestras de chapulín, se observa que el chapulín frito incrementó este porcentaje ($p < 0.05$) al igual que las demás especies, debido al proceso térmico de freído, que durante este tratamiento produce una transferencia de calor (Dana y Saguy, 2006), que origina un deshidratado (corteza) y un centro húmedo; que al enfriarse, se condensa el vapor de agua en el interior del alimento afectando la disminución de la presión interna, lo que ejerce un efecto de vacío, por lo cual se absorbe el aceite (Brannan et al., 2014; Cortés, Badillo, Segura y Bouchon, 2014), en este caso la mantequilla que se utilizó en el freído de los insectos y que aporta 81.11 g de lípidos por 100 g (anexo 1), el consumo frecuente de esta forma de preparación de los insectos y el estilo de vida sedentario de la población hidalguense (14.4 % en adultos) podrían favorecer el almacenamiento excesivo de grasa, aumento del IMC y del perfil lipídico, factores que impactan en el peso corporal y la salud general (Cabezas-Zábala et al., 2016).

En las muestras estudiadas (deshidratados y fritos) los resultados obtenidos son comparables a los parámetros presentados por Ghosh et al. (2017) y Kuntadi y Kun (2018) [5.25 – 77.17 % para orugas y chinicuiles (*Lepidoptera*), 0.66 – 69.78 % para escarabajos (*Coleoptera*), 5.80 – 62.00 % para abejas, avispas y hormigas (*Hymenoptera*), 4.00 – 57.30 % para chinches (*Hemiptera*) y 2.49 – 53.05 % para saltamontes, langostas y grillos (*Orthoptera*)]. Los escamoles y gusano blanco de maguey y chinicuiles deshidratados y los chapulines y chinicuiles fritos presentaron contenidos mayores que los obtenidos en otros tipos de insectos [moscas (*Diptera*) con 11.89 – 35.87 %, cucarachas (*Blattodea*) con 27.30 – 34.20 % y libélulas (*Odonata*) con 16.72 – 22.93 %] (Tabla 11). El aporte de ácidos grasos insaturados de los insectos también resulta similar a las carnes de res y cordero (monoinsaturados 35 – 66 % y poliinsaturados 1.5 – 7 %) presentando un porcentaje

de ácido oleico 6.2 – 66.6 % y 0.4 - 49.5 % de poli-insaturados como el linolénico (C18:3 Δ 9, 12, 15) (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007).

En los resultados de cenizas (minerales) cuantificados en las muestras de insectos comestibles, se observa que en la muestra de chinicuil deshidratado el porcentaje fue superior ($p < 0.005$) comparado con las otras tres muestras (Tabla 11), debido a la dieta del insecto, que está constituida de hojas, flores, semillas y tallos entre otros (Wen, 1998; Xiaoming et al., 2010). Comparado con las muestras fritas se encontró que el chapulín incrementó este porcentaje ($p < 0.05$), debido en parte por la sal y los minerales aportados por la mantequilla [85.11 mg/100 g (anexo 1)], que se concentran en el alimento (Finglas y Faulks, 1984), como en una investigación de Chiou y Kalogeropoulos (2017) en pescado frito con aceite de oliva extra virgen. Sin embargo, el contenido de los insectos analizados se encuentra dentro de los parámetros indicados para otros insectos como escarabajos (*Coleoptera*) con 0.62 – 24.10 %, chinches (*Hemiptera*) con 1.00 – 21.00 %, termitas (*Isoptera*) con 1.90 – 11.26 %, orugas y chinicuiles (*Lepidoptera*) con 0.63 – 11.51 %, saltamontes, langostas y grillos (*Orthoptera*) con 0.34 – 9.36 % y abejas, avispa y hormigas (*Hymenoptera*) con 0.71 – 9.31 %. Pero un porcentaje menor a la encontrada para moscas (*Diptera*) con 5.16 – 25.95 % y libélulas (*Odonata*) con 4.21 – 12.85 % (Rumpold and Schlüter, 2015; Payne et al., 2016; Williams et al., 2016; Ghosh et al., 2017; Kuntadi y Kun, 2018).

En la Tabla 11 se muestra que el chapulín deshidratado presentó un porcentaje bajo de carbohidratos comparado con los otros insectos y también este mismo insecto frito, este parámetro fue menor a los resultados de los porcentajes de carbohidratos cuantificados para los otros insectos. Esto es debido a la reacción Maillard durante el tratamiento de freído en los insectos (Sadava, 2009; Goés-Neto et al., 2010; Badui, 2013; Torres-Cifuenetes, Cortés – Torres y Ayala, 2015), se cuantificó un menor porcentaje de carbohidratos (Tabla 11) como lo indicaron Moncada y Gualdrón (2006) en estudios con papa, plátano maduro y plátano verde. Sin embargo, las muestras se encuentran dentro del valor para saltamontes, langostas y grillos (*Orthoptera*) con 0.00 – 85.30 %, para abejas, avispa, hormigas (*Hymenoptera*) 0.00

– 77.73 %, para orugas y chinicuales (*Lepidoptera*) 1.00 – 66.60 %, para escarabajos (*Coleoptera*) 0.01 – 48.60 %, para termitas (*Isoptera*) 1.13 – 43.30 %, para chinches (*Hemiptera*) 0.01 – 18.07 % y para cucarachas (*Blattodea*) 0.78 – 10.09 % (Sirimungkararat, Saksirirat, Nopparat y Natongkham, 2010; Rumpold and Schlüter, 2015; Melo-Ruíz et al., 2015; Amadi, 2017; Kim, Weaver y Choi, 2017; Kuntadi y Kun, 2018).

Los carbohidratos presentes en los insectos son threalosa, fructosa, glucosa y oligosacáridos, que los adquiere a partir de su dieta, además la fructosa y glucosa intervienen en la formación y composición de la quitina la cual no es digerible para los humanos (Torres-Cifuentes et al., 2015), por tal motivo los insectos pueden ejercer un efecto benéfico para prevenir y reducir enfermedades del síndrome metabólico, padecimientos que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, ha señalado que para el 2020 habrá 44 millones de muertes (Rivera et al., 2014; García-Hermoso y Ramírez-Vélez, 2017).

8.2 Determinación de la degradación del aceite extraído

La caracterización química de los aceites comprende el análisis de los resultados de índices de acidez, yodo y peróxido dichos análisis permiten determinar la degradación en los aceites (Tabla 12).

Tabla 12. Caracterización química de los aceites de insectos deshidratados y fritos.

Índices		Chapulines	Escamoles	Chinicuales	Gusano blanco de maguey
HA	D	1.10 ± 0.01 ^{aA}	1.53 ± 0.25 ^{aA}	1.71 ± 0.08 ^{aA}	1.39 ± 0.13 ^{aA}
	F	0.01 ± 0.30 ^{cB}	0.04 ± 0.05 ^{bB}	0.02 ± 0.27 ^{cB}	0.89 ± 0.14 ^{aB}
IA	D	11.28 ± 0.00 ^{cA}	17.48 ± 0.00 ^{bA}	29.04 ± 0.39 ^{aA}	8.36 ± 0.98 ^{dB}
	F	1.78 ± 0.42 ^{cB}	3.38 ± 0.00 ^{bB}	1.69 ± 0.00 ^{cB}	36.94 ± 0.39 ^{aA}
IY	D	111.99 ± 5.73 ^{aA}	112.00 ± 8.59 ^{aB}	123.14 ± 1.43 ^{aA}	124.16 ± 5.73 ^{aB}
	F	104.44 ± 4.94 ^{bB}	133.79 ± 0.72 ^{aA}	64.10 ± 6.8 ^{cB}	127.71 ± 0.72 ^{aA}
IP	D	35.20 ± 1.13 ^{aA}	0.80 ± 0.00 ^{dB}	9.20 ± 0.56 ^{cA}	13.60 ± 0.00 ^{bA}
	F	10.40 ± 1.13 ^{aB}	3.60 ± 1.69 ^{bA}	4.00 ± 0.00 ^{bB}	6.40 ± 0.00 ^{bB}

Promedio ± DE. Letras superíndice minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre especies, letras superíndice mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre D:

Aceite de Insecto deshidratado y F: insecto frito. HA: humedad del aceite expresado como %. IA: Índice de acidez expresado como % de ácido oleico. IY: Índice de yodo expresado como cg I₂/g. IP: Índice de peróxido expresado como meq O₂/kg de aceite.

En la Tabla 12 se observan los resultados de la humedad en el aceite, siendo en la muestra frita de gusano blanco de maguey la que presentó un mayor porcentaje ($p < 0.05$) comparado con las otras muestras fritas de insecto, debido a la anatomía del gusano que presentó una humedad de 63.42 %.

El porcentaje de índice de acidez fue mayor en la muestra de chinicuil deshidratado así como en la muestra frita de gusano blanco de maguey ($p < 0.05$) debido al porcentaje de humedad que contenía antes del deshidratado y que influyó en la degradación del triacilglicérido originando ácidos grasos libres que fueron cuantificados por este método, como lo reportaron Lafont, Páez y Portancio (2011) y Rivera, Gutiérrez, Gómez, Matute e Izaguirre (2014) establecen una relación entre un índice de acidez elevado y la humedad presente en el aceite, debido a que la presencia de humedad favorece las reacciones de hidrólisis en los triacilglicéridos originando ácidos grasos libres, así como sabores y olores indeseables. Por otra parte, aceites como el de chapulín y chinicuil fritos tienen resultados similares al valor de índice de acidez de larvas *Tenebrio molitor* con un 1.64 % de ácido oleico (Pantoja y Untiveros, 2010). Mientras que el aceite de escamol presentó un índice de acidez similar al indicado por Ekpo y Onigbinde (2009) con parámetros de 3.12 - 3.60 % para aceites de *O. rhinoceros*, *Belina*, *M. belicosus* y *R. phoenicis*. Este parámetro evalúa la calidad del aceite, de acuerdo a la norma mexicana para aceite vegetal (NMX-F-223-1985) que permite un valor máximo de 0.06 % de ácido oleico, que en los aceites extraídos de los insectos no cumplen con este valor y para alcanzarlo se sugiere refinar el aceite mediante el método de neutralización. El índice de acidez en los insectos fritos fue menor ($p < 0.05$) en comparación con los aceites de insectos deshidratados esto se debe a la inactivación de la enzima por el proceso de freído como lo mencionó Ying-Qiu, Qun, Xiu-He y Zheng-Xing (2008), estos investigadores indicaron que cuando se aplica un tratamiento térmico en leche de soya se reduce la actividad de la enzima lipoxigenasa y no hay un aumento en la degradación de los ácidos grasos insaturados. Por lo que en los aceites de los insectos deshidratados

hay un mayor incremento en el índice de acidez por la actividad enzimática. El aceite de insectos de esta investigación no es apto para consumo humano al presentar mayor concentración de ácidos grasos libres lo que provoca una disminución de la digestibilidad de las grasas, además de asociarse con la resistencia a la insulina, la enfermedad del hígado graso, la aterosclerosis y la disfunción miocárdica (Vilarrasa, 2014).

Con respecto a los resultados del índice de yodo, se muestra que el valor cuantificado en la muestra de chinicuil frito fue menor al compararlo con las otras muestras fritas de insectos ($p < 0.05$), por lo que en este aceite presentó una degradación de los dobles enlaces por oxidación y polimerización (Sánchez-Gimeno, Benito, Vercet y Oria, 2008).

Los aceites deshidratados de chinicuil, escamol y gusano blanco de maguey y fritos (escamol y gusano blanco de maguey), se encontraron dentro al valor reportado por Ekpo y Onigbinde (2009) y Paiko, Dauda, Suleiman, Akanya y Jacob, (2013) con 112 - 159 cg I₂/g para el orden *Lepidóptera*, *Rhynchophorus phoenicis*, *Crisófidos* y *Brachytrupes membranaceus* respectivamente. En los aceites fritos de escamol y gusano blanco de maguey se incrementó este valor, debido probablemente a la presencia de otros compuestos vitamina A que para el orden *Lepidoptera* (73.56 a 79.81 UI) e *Hymenoptera* (2.93 a 5.07 UI) presentan un contenido similar al de las espinacas (87.50 UI), huevo (9.7 UI) y leche (14.0 UI) (Ramos-Elorduy, 2003) y a la posible formación de acrilamida, que es un compuesto insaturado y se forma durante el freído por la degradación del almidón, que los insectos obtienen de su alimentación (Sadava, 2009; Goés-Neto et al., 2010; Torres-Cifuentes et al., 2015). Por otro lado, al comparar los resultados de índice de yodo con aceites vegetales comerciales se determinó que todos los aceites de insectos presentan similitud a los parámetros indicados de 110-143 cg I₂ g para aceite de girasol (NMX-F-265-1985), 120-143 cg I₂/g para aceite de soya (NMX-F-252-1985), 105-130 cg I₂/g para aceite de canola (NMX-F-475-1985) y 103-128 cg I₂/g para aceite de maíz (NMX-F-030-1985).

La determinación del índice de yodo en los aceites, proporciona en forma cuantitativa la presencia de los ácidos grasos insaturados, debido al contenido de estos compuestos, los aceites se clasifican con base en la secantabilidad o su efecto secante; como son secantes (140 y 210 cg I₂/g), semi-secantes (100 y 140 cg I₂/g) y no secantes (100 cg I₂/g), que al ser inducidos para su oxidación aumentan su viscosidad y endurecimiento y pueden ser empleados para elaboración de diversos productos (Valenzuela y Morgado, 2005). De acuerdo a lo anterior, la mayoría de los aceites de insectos son semi-secantes, en esta clasificación se encuentran los aceites comestibles como soya, canola, algodón, maíz, girasol, entre otros; comparado con el aceite de chinicuil que es no secante por lo que se pueden emplear para la elaboración de cremas y jabones líquidos (Lafont et al., 2011).

En cuanto a los resultados del índice de peróxido, los aceites extraídos de chapulín deshidratado y frito, fueron los que presentaron un mayor incremento ($p < 0.05$) en este valor, comparado con las otras muestras de insectos deshidratadas y fritas. Un mayor índice de peróxidos en los insectos deshidratados se pudo ocasionar por la presencia de humedad en el aceite que provocó una degradación de sus ácidos grasos (Badui, 2013), mientras que en los aceites de insectos fritos la presencia de vitamina E (2.32 mg de α -tocoferol) aportada por la mantequilla (anexo 1) actúa como antioxidante y acelera el proceso de terminación atrapando radicales libres, por lo que inhibe la oxidación de los ácidos grasos insaturados (Badui, 2013).

Los valores de índice de peróxido obtenidos fueron similares a los indicados por Pantoja y Untiveros (2010), Paiko et al. (2013) y Zheng et al. (2013) para aceites obtenido de larvas (*Tenebrio molitor*), grillo (*Brachytrupes membranaceus*) y gusano amarillo de la harina (*Tenebrio molitor*) respectivamente con un valor de 0.27 a 11.60 meq O₂ /kg, estos valores también se encuentran dentro de lo indicado por el CODEX STAN 19-1981 para los aceites vírgenes de 15 meq O₂/Kg, excepto para el aceite de chapulín deshidratado. Solo el resultado del índice de peróxido del aceite de escamol deshidratado cumple con el valor máximo permitido para aceites vegetales indicado por la Norma Mexicana NMX-F-223-1985 con 2.0 meq O₂/kg de aceite, por lo que este aceite presenta un mínimo de oxidación de sus compuestos

insaturados. La formación de peróxidos en el aceite provoca la presencia de rancidez y radicales libres que pueden aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades como el cáncer o enfermedades del corazón, además los productos químicos como los peróxidos y los aldehídos pueden dañar las células y contribuir a la aterosclerosis; en animales de experimentación se asocia con retraso en el crecimiento, hipertrofia o hiperplasia hepática, hígado graso, úlceras gástricas y lesiones titulares en corazón y riñón (Okparanta, Daminabo y Solomon, 2018).

8.3 Análisis instrumental de los aceites

8.3.1 Índice de refracción

La interpretación del índice de refracción de las muestras de aceites provenientes de 4 especies de insectos se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. Índice de refracción (IR) de aceite de insectos.

Análisis		Chapulines	Escamoles	Chinicuiles	Gusano blanco de maguey
IR	D	1.467 ± 0.00 ^{aA}	1.442 ± 0.00 ^{dB}	1.462 ± 0.00 ^{bA}	1.455 ± 0.00 ^{cB}
	F	1.450 ± 0.00 ^{bB}	1.447 ± 0.00 ^{bcA}	1.443 ± 0.00 ^{cB}	1.461 ± 0.00 ^{aA}

Promedio ± DE. Letras superíndice minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre especies, letras superíndice mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre D: Aceite de Insecto deshidratado y F: insecto frito.

La expresión de los resultados se realizó usando el manual de usuario del refractómetro de Abbe, el cual presenta una tabla con el índice de diversos aceites vegetales y animales (anexo 2), de acuerdo a los índices obtenidos se observa que los insectos pueden contener ácidos grasos saturados como: butírico (C4:0), caprónico (C6:0), caprílico (C8:0), cáprico (C10:0), ácido láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), heptadecanoico (C17:0), esteárico (C18:0), araquídico (C20:0), behénico (C22:0) y lignocérico (C24:0), ácidos grasos monoinsaturados como el ácido palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), gadoleico (C20:1) y poliinsaturados como el linoléico (C18:2), linolénico (C18:3) y araquidónico (C20:4).

El resultado de aceite de chapulín deshidratado fue mayor su índice de refracción comparado con los otros resultados obtenidos de las muestras de aceites ($p < 0.05$), de acuerdo a tabla incluida en el equipo de los valores de índice de refracción, este aceite es similar a su índice de refracción con el aceite de cacahuate y de oliva, por lo que posiblemente contenga ácidos grasos saturados como C14:0 (0.1-0.5 %), C16:0 (6.0-15.5 %), C18:0 (1.3-6.5 %), C20:0 (1.0-2.5 %), C22:0 (1.4-4.8 %) y C24:0 (1.0-2.5 %), ácidos grasos monoinsaturados como el C18:1 (36 a 72 %), C20:1 (0.5 a 2.1%) y C16:1 (0 a 1 %) y poliinsaturados como el C18:2 (13 a 45 %), por parte del aceite de oliva se encuentran los ácidos grasos saturados: C14:0 (< 0.1 %), C16:0 (7.5–20.0 %), C17:0 (< 0.5 %), C18:0 (0.5-5.0 %), C20:0 (< 0.8 %), C22:0 (< 0.3 %) y C24:0 (< 1.0 %), de mono y poli insaturados el C18:1 (72.45 %), C16:1 (0.97 %) y C18:2 (8.90 %) y C18:3 (0.78 %) (NMX-F-027-1985; Sánchez et al., 2006). Mientras que el aceite de chapulín frito disminuyó significativamente y presentó un índice de refracción correspondiente para el aceite comestible puro de coco que de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-014-1985 puede contener C12:0 (41 – 56 %), C14:0 (13 – 19 %), C8:0 (5.5 – 9.8 %), C10:0 (4.5 – 9.5 %) y C6:0 (< 1.2 %), C18:1 (3.5 - 11 %) y C18:2 (1-2.5 %). Por lo que las condiciones del tratamiento térmico que generan oxidación y radicales libres que a su vez modifican o rompen la estructura molecular de los lípidos (Little, Armstrong y Bergan, 2000). El aceite del insecto deshidratado puede presentar un contenido de ácido oleico y linoléico en mayor proporción que la carne de borrego, cerdo y podría presentar un contenido de ácido oleico similar a peces como la mojarra o tilapia (Castro, Maafs y Galindo, 2013; Cruz-González et al., 2014; Pérez-Palacios, Ruiz y Antequera, 2008), lo que representa una alternativa para la obtención de estos nutrientes en lugares donde el acceso a carne de pescado sea limitada.

Por otra parte, el aceite de escamol deshidratado presentó un índice de refracción similar al de la cera de abeja [ácidos grasos saturados (85%) y mono insaturados C16:1 (12 %) y C18:1 (5 %)] (Jackson y Eller, 2006; Trillo, 2017) y el aceite de escamol frito a los ácidos grasos insaturados que se encuentran en el aceite comestible puro de coco NMX-F-014-1985. A pesar de ser los escamoles los insectos que mayor porcentaje de lípidos presentó junto con el gusano blanco de

maguey, de acuerdo a su índice de refracción se atribuye un contenido predominante de ácidos grasos saturados y su contenido de insaturados es bajo comparado con carnes como borrego, cerdo y pescado (Castro et al., 2013; Cruz-González et al., 2014; Pérez-Palacios et al., 2008).

La muestra de aceite de chinicuil deshidratado, se determinó que su índice de refracción se encuentra dentro de estos tipos de aceites: cacahuete (NMX-F-027-1985), sebo de caballo [saturados como C14:0 (3.26 %), C16:0 (24.46 %), monoinsaturados como C16:1 (7.85 %), C18:1 (35.19 %) y poliinsaturados como C18:2 (21.08 %), C18:3 (2.52 %), C20:4 (0.16 %)] (He, Ishikawa y Hidari, 2005) y mantequilla, que presente probablemente C4:0 (4 %), C6:0 (2 %), C10:0 (3 %), C14:0 (14 %), C16:0 (37 %), C18:0 (12 %) y C18:1 (13 %), C18:2 (2 %) (Badui, 2013). El aceite de chinicuil frito indicó un tipo de ácidos grasos para cera de abeja (Jackson y Eller, 2006; Trillo, 2017). Por lo anterior se puede decir que el aceite de chinicuil deshidratado probablemente presente mayor proporción de ácido oleico y linoléico que la carne de borrego, cerdo y peces como la mojarra o tilapia (Castro et al., 2013; Cruz-González et al., 2014; Pérez-Palacios et al., 2008).

En el aceite de gusano blanco de maguey deshidratado, su resultado de índice de refracción fue similar con el aceite de palma que presenta un contenido de saturados como C16:0 (39,3-47,5%) y C18:0 (3,5-6%) y monoinsaturados y poliinsaturados como C18:1 (36-44 %) y el C18:2 (9-12 %) (Rincón y Martínez, 2009), sebo de res [52% de AGS, 1.5 % AGPI y 41.2 % AGMI] y sebo de cordero [saturados (49,8 %), ácido oleico (20-30 %)] (Salas-Olivet, et al., 2013) y mantequilla (Badui, 2013). Mientras que el aceite del mismo insecto frito presentó una lectura mayor ($p < 0.05$) comparado con los índices de refracción analizados para las otras muestras de aceite fritas. Su índice de refracción del aceite de gusano blanco de maguey frito presenta similitud con el aceite de cacahuete (NMX-F-027-1985) y con la mantequilla (Badui, 2013). En el particular caso del aceite de gusano blanco de maguey tanto la muestra deshidratada como la frita puede compararse en contenido de ácido oleico y linoléico a las fuentes proteicas convencionales como borrego y pescado (Castro et al., 2013; Cruz-González et al., 2014).

Con las comparaciones anteriores se puede decir que los chapulines y chinicuiles después del proceso de freído incrementaron su concentración de ácidos grasos saturados, que puede deberse a la adición de mantequilla, similar a lo que indicaron Sioen et al. (2006) en un estudio de fritura de bacalao y salmón con margarina y aceite de oliva, donde al usar margarina para su freído aumentó el porcentaje de ácidos grasos saturados en ambos alimentos, por el contrario cuando emplearon aceite de oliva aumentó el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y concluyeron que se puede controlar la composición de ácidos grasos en el alimento, hasta cierto punto mediante la selección de los lípidos que se utilizan en la cocina. Razón por la cual se sugiere la preparación de los insectos utilizando aceites que aporten ácidos grasos mono y poli insaturados.

Sin embargo, los aceites de insectos analizados en este trabajo podrían tener una concentración importante de ácidos grasos mono y poli insaturados que como se mencionó representan una alternativa de consumo a fuentes proteicas convencionales y que pueden aportar beneficios para la salud como lo menciona Granados, Quiles, Gil y Ramírez-Tortosa (2006) quienes atribuyen el consumo de ácidos grasos monoinsaturados principalmente el ácido oleico a un efecto protector y una progresión más lenta para cáncer de mama y colon, sin embargo este efecto lo relacionan más con la frecuencia de consumo que con la cantidad. En otro estudio Djoussé et al. (2001) recomiendan aumentar la ingesta de ácido α -linolénico para prevenir enfermedad coronaria debido a sus efectos cardioprotectores, debido a que en ratas alimentadas con una dieta enriquecida con ácido α -linolénico se mostró una reducción de mortalidad cardíaca. También se asoció el consumo de 5% grasas poliinsaturadas en la dieta con una disminución del 35% en el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 (Salmerón et al., 2001).

8.3.2 Análisis por espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier

Los espectrogramas obtenidos de los aceites de las 4 especies de insectos comestibles analizados se presentan en la Figura 10, por cada especie se muestran los espectrogramas correspondientes al aceite de insecto deshidratado, frito y el estándar. Los números de onda cm^{-1} y grupos funcionales obtenidos se compararon

con los reportados en la Tabla 14 por Guillén y Cabo (1998) para aceites vegetales al ser similares debido a que estos autores identificaron las bandas que resultan importantes para caracterizar aceites y grasas comestibles.

En todos los aceites estudiados se observó un cambio espectral en la huella digital, identificados con el número 1 al 11 (900 y 1465 cm^{-1}) (Tabla 14), en los aceites de insectos deshidratados este cambio es más evidente en las muestras de chapulín y chinicuil y de los aceites de insectos fritos, solo en el gusano blanco de maguey se observan intensidades bajas en su huella digital. Por lo que las muestras antes mencionadas, presentaron una degradación de los ácidos grasos insaturados (Contreras, Garcia, Porras y Hernandez, 2017, Manat, Soottawat, Wonnop y Cameron, 2006; Tenyanga, Womenib, Tiencheu, Villeneuve y Linder, 2017). De acuerdo a este análisis el insecto que presentó menos cambios espectrales fue el aceite de escamol obtenido de las muestras deshidratadas y fritas.

En el número de onda a 723 , 914 y 3006 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *cis*, se observa una disminución de la intensidad de la absorbancia en las muestras B del chapulín y escamol, provocado por el tratamiento térmico que incrementó la oxidación de estos ácidos grasos. Estos resultados son similares a los de Liang et al. (2013) y Kumar, Kumar y Mandal (2017) en aceite de nuez virgen y aceite de *Jatropha*, respectivamente, excepto para el gusano blanco de maguey al número de onda 3006 cm^{-1} en donde el cambio fue menor.

Referente a los ácidos grasos *trans* Sabolová, Anna, Lenka, Diana y Jan, (2016) reportó que en los seres vivos hay una concentración mínima de estos compuestos, razón por la que pueden estar presentes en las muestras de aceite de insectos deshidratados. Muik et al. (2005) indicó que durante una oxidación térmica, hay modificaciones en las intensidades que corresponden a los dobles enlaces con configuración *cis* (722 cm^{-1}) y *trans* (967 cm^{-1}). En las muestras de aceite de chapulín y escamol frito analizados en este estudio se identificó una mínima intensidad el número de onda 968 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *trans* (Guillén y Cabo, 1998), mientras que en las muestras de chinicuil y gusano blanco de maguey deshidratados y fritos esto se evidencia con un ensanchamiento y

disminución de la intensidad de la absorbancia. Por otro lado, Tasan et al. (2011) indicó que la oxidación de los ácidos grasos insaturados y la formación de ácidos grasos *trans*, está relacionado con el peróxido de hidrógeno y especies de oxígeno singlete, además por la mantequilla utilizada para freír que presenta de 3 - 5 % de estos compuestos (Brühl, 2014).

Los aceites provenientes de las 4 especies de insectos fritos (muestras B) en los números de onda 1654, 1711 y 1746 cm^{-1} presentaron una disminución de la intensidad y desplazamiento de las absorbancias al compararse con las muestras A y con el estándar. Por lo que las muestras B, presentan un incremento en la degradación de compuestos con dobles enlaces *cis* (1654 cm^{-1}), formación de ácidos grasos libres (1711 cm^{-1}) y rompimiento del triacilglicérido (1746 cm^{-1}) (Smith, 1998; Setiowaty, Che, Jinap y Moh, 2000).

En los número de onda a 1033, 1097, 1118, 1163, 1238 y 1377 cm^{-1} que corresponde a carbonilos, carboxilos, metilos y metilenos se observó una diferencia en las absorbancias de las muestras de aceite de chapulín y chinicuil deshidratados y en la muestra de gusano blanco de maguey frito, por lo que sus ácidos grasos presentan una oxidación ocasionada por el proceso de fritura (Liang et al., 2013; Zhang et al., 2012) y se corrobora este resultado con el índice de peróxido (Tabla 12). El aceite proveniente de escamol deshidratado y frito fue el que menos cambio presentó.

Por otro lado, Yue, García-González, Xiuzh, Voort (2008) estudiaron la degradación de triacilglicerol en aceites de oliva virgen y observaron un aumento en la intensidad a 1726-1748 cm^{-1} que corresponde al grupo funcional carboxilo, y concluyeron que esta intensidad es debido a la formación de ácidos grasos libres. Este cambio se puede ver reflejado en la disminución de intensidad y desplazamiento de absorbancia en las muestras de aceite de las 4 especies de insectos fritos presentan una mayor degradación de los triacilglicéridos y por consiguiente una generación de ácidos grasos libres, que son compuestos relacionados con el parámetro de calidad determinado por el índice de acidez (NMX-F-101-SCFI-2012) (Tabla 12), resultado similar al que obtuvieron Andina, Riyanto y Rohman (2017).

Finalmente, en el número de onda a 3006 y 3468 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *cis* y al grupo funcional hidroxilo, en las muestras de aceite se identificó una mínima intensidad. En contraste, con un estudio en aceite de girasol sometido a oxidación acelerada que mostró un incremento y ensanchamiento a esos números de onda, causado por la autooxidación de los ácidos grasos insaturados como el oleico, linoleico y linoleico (Abdul, Liling, Sugeng y Lisa, 2015; Andina et al., 2017). En los aceites de insectos hay una mínima oxidación del aceite después del freído, por lo que se requiere regular las condiciones y parámetros del freído.

Tabla 14. Números de onda (cm^{-1}) y grupo funcional de los aceites de insectos propuestos en este trabajo.

Número	Número de onda (cm^{-1})	Grupo funcional
1	723	$-(\text{CH}_2)_n-$, $-\text{HC}=\text{CH}-$ (<i>cis</i>)
2 y 3	914	$-\text{HC}=\text{CH}-$ (<i>cis</i>)
4	968	$-\text{HC}=\text{CH}-$ (<i>trans</i>)
5	1033	$-\text{C}-\text{O}$
6	1097	$-\text{C}-\text{O}$
7	1118	$-\text{C}-\text{O}$
8	1163	$-\text{C}-\text{O}$, $-\text{CH}_2-$
9	1238	$-\text{C}-\text{O}$, $-\text{CH}_2-$
10	1377	$-\text{C}-\text{H}$ (CH_3)
11	1465	$-\text{C}-\text{H}$ (CH_2 , CH_3)
12	1654	$-\text{C}=\text{C}-$ (<i>cis</i>)
13	1711	$-\text{C}=\text{O}$ (ácido)
14	1746	$-\text{C}=\text{O}$ (éster)
15	2853	$-\text{C}-\text{H}$ (CH_2)
16	2924	$-\text{C}-\text{H}$ (CH_2)
17	2953	$-\text{C}-\text{H}$ (CH_3)
18	3006	$=\text{C}-\text{H}$ (<i>cis</i>)
19	3468	$-\text{C}=\text{O}$ (éster)

Fuente: Guillén y Cabo, 1998

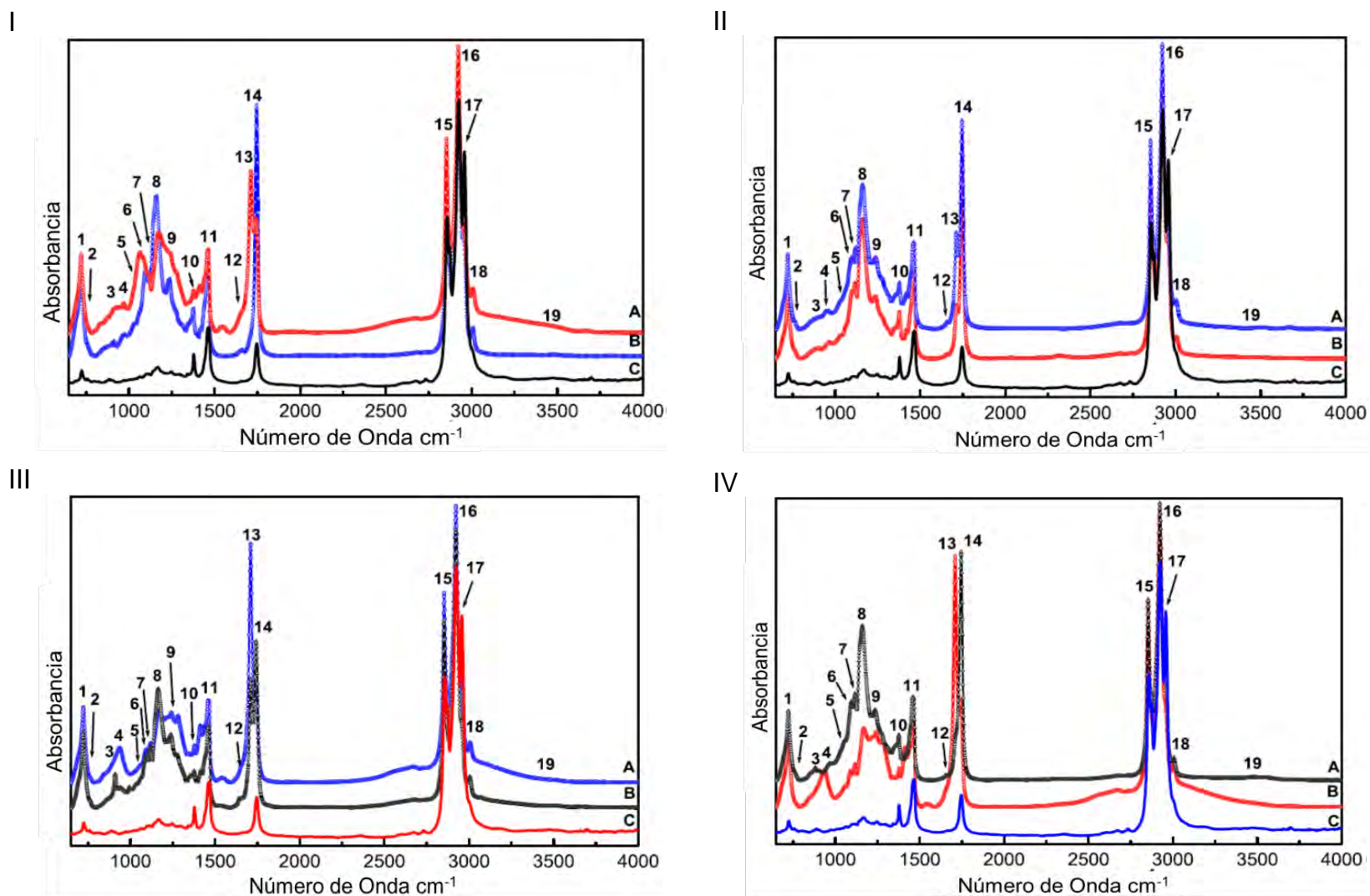


Figura 10. Espectrogramas de los aceites de insectos, en donde I: Chapulín, II: escamol, III: chinicuil y IV: gusano blanco de maguey, en donde A: Aceite de insecto deshidratado, B: Aceite de insecto frito y C: estándar.

9. Conclusiones

Los chapulines, escamoles, chinicuiles y gusano blanco de maguey frescos presentan porcentajes de humedad altos (52 – 64 %) que disminuye su vida útil, resultando necesario la disminución de este porcentaje.

Los chapulines deshidratados fueron los insectos con mayor concentración proteica (62.52 %), por lo que podrían ser una alternativa para cubrir los requerimientos proteicos.

Los chapulines fritos presentaron una disminución de proteína por la aplicación del tratamiento térmico que origina una oxidación de aminoácidos y desnaturalización de proteína reduciendo su digestibilidad.

El porcentaje de lípidos fue el constituyente mayoritario en escamol, chinicuil, y gusano blanco de maguey por lo que podría ser una alternativa de aceite.

El freído de insectos con mantequilla incremento los ácidos grasos saturados por lo que se recomienda su consumo moderado principalmente en población con dislipidemias.

Los aceites extraídos de insectos deshidratados presentaron mayor índice de acidez (8.36 – 29.04 % de ácido oleico) y de peróxidos (9.20 - 35.20 meq O₂ /kg) por lo que para usarlo en la alimentación es necesario refinarlo.

El índice de yodo y de refracción una concentración de ácidos grasos mono y poli insaturados similar a los parámetros para aceites comerciales como girasol, soya, canola y maíz y fuentes de carnes convencionales por lo que pueden ejercer un beneficio a la salud al prevenir cáncer de mamá y de colon, así como diabetes tipo 2.

En los resultados de infrarrojo se observa que el tratamiento térmico ocasionó una mayor degradación de los ácidos grasos insaturados en todos los aceites de insectos fritos a excepción del chapulín deshidratado. Similar a los resultados de índices de acidez y peróxido.

10. Perspectivas

Resulta de interés estudiar el efecto sobre la composición nutrimental y cambios en la estructura de ácidos grasos de otros tratamientos térmicos como el asado, horneado, al vapor en los insectos comestibles.

Para establecer una relación más exacta sobre el efecto de freído se deberán de controlar las condiciones del mismo, estableciendo tiempos de exposición y temperatura del aceite, así como el tamaño del alimento por ser factores que intervienen en el porcentaje de aceite absorbido.

11. Referencias bibliográficas

Aalhus, J. L., Dugan, M. E. R. (2014). Spoilage, factors affecting (b) oxidative and enzymatic. En: *Encyclopedia of meat sciences* (pp. 392–400). London, UK, Academic Press.

Abdul, R., Liling, T., Sugeng, R., y Lisa, A. (2015). Rapid Determination of Saponification Value in Red Fruit Oil by Infrared Spectroscopy and Partial Least Square Calibration. *Research Journal of Medicinal Plant*, 9, 442-448.

Abedi, E., y Sahari, M. (2014). Long-chain polyunsaturated fatty acid sources and evaluation of their nutritional and functional properties. *Food Science & Nutrition*. 2, 443-463.

Ackman, R. G. (2008). Fatty acids in fish and shellfish. En: *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications Chow* (pp. 155 - 185). London: C.K. CRC Press.

Allen, R. R., Formo, M. W., Krishnamurthy, R. G., Mcdermott, G. N., Norris, A. F., y Sonntag, O. V. (2005). Bailey's industrial oil and fat products. En: *Physical properties of fats and fatty acids* (pp: 178-183, 666 - 679). New York: John Wiley & Sons.

Álvarez, J. R. (2003). *Enciclopedia de México*. Ciudad de México, 3765 – 3766.

Alvis-Bermúdez A, Romero-Barragan P, y Arrazola-Paternina G, 2016. MOISTURE LOSS AND OIL ABSORPTION DURING THE CHOPS FRIED BANANA (*Musa paradisiaca* L.) *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol 14 No. 2 (119-124)

Amadi, E. N. (2017). The Proximate Composition of Edible Insects: Which Way Forward? *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (9), 3033 - 3036.

Andina, L., Riyanto, S., Rohman, A. (2017). Determination of peroxide value of red fruit oil by FTIR spectroscopy and multivariate calibration. *International Food Research Journal*. 24(6), 2312-2316.

Argüeso, R., Díaz, J. L., Díaz, J. A., Rodríguez, A., Castro, M., y Diz-Lois, F. (2011). Lípidos, colesterol y lipoproteínas. *Galicía Clinical*. 72 (1), S7 - S17.

Asociación Oficial de Química Analítica-AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis (Volume 1)*. USA: Association of Analytical Chemists, Inc.

Badui, S. (2013). *Química de los alimentos*. México: Pearson, 223 - 272.

Banjo, A., Lawal, O., y Songonuga, E. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5, 298-301.

Barrientos, L. (2003). *Orthopteros* plaga de México y Centro América: Guía de campo. Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica y Conacyt, México.

Beitz, D.C. (2008). Butter Composition and Texture from Cows with Different Milk Fatty Acid Compositions Fed Fish Oil or Roasted Soybeans. *Iowa State University Animal Industry Report*, 1 - 5.

Bello, J. (2000). Capítulo 6 Estudios bromatológico de los lípidos. En: *Ciencia bromatológica principios generales de los alimentos*, España: Ediciones Díaz de Santos.

Brannan, R., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K., y Myers, A. (2014). Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116, 240 - 54.

Brühl, L. (2014) Fatty acid alterations in oils and fats during heating and frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 707-715.

Cabezas - Zábala, C., Hernández – Torres, B., y Vargas - Zarate, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de la Facultad de Medicina*, 64 (4), 761 - 768.

Castro, M., Maafs, A., y Galindo, C. (2013). Perfil de ácidos grasos de diversas especies de pescados consumidos en México. *Revista de biología tropical*, 61 (4), 1981-1998.

Chen, X., Feng, Y., Zhang, H., y Chen, Z. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. En: (ed. P. B. Durst, V. D. Johnson, R. N. Leslie, y K), *Forest insects as food: Human bite back*, (pp: 189–200). Bangkok, Thailand: Shono Food and Agriculture of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.

Chiou, A., y Kalogeropoulos, N. (2017). Virgin olive oil as frying oil. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 632 – 646.

CODEX STAN 19-1981. Norma del CODEX para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales.

Conconi, M. (1993). Estudio comparativo de 42 especies de insectos comestibles con alimentos convencionales en sus valores nutritivo, calórico, proteínico y de aminoácidos haciendo énfasis en la aportación de los aminoácidos esenciales y su papel en el metabolismo humano. *Tesis Facultad de Ciencias UNAM*, 71.

Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA). (2012). Hidalgo centro de México. México. Editorial raíces. Dirección: http://www.cultura.gob.mx/turismocultural/publi/Guias_conaculta_raices/Espanol/hidalgo.pdf. Acceso: 18/08/2017.

Contreras, R., Garcia, K., Porras, M., y Hernandez, M. (2017). Estudio preliminar por FTIR y cromatografía de gases-masas de aceite de *Jatropha Curcas*. *Revista de Energía Química y Física*, 4 (13), 37 - 41.

Corinne, H. R., y Wagley, S. E. (2002). Nutrición básica y dietoterapia. *La prensa Médica Mexicana*. 1 Ed. 62 - 71.

Cortés, P., Badillo, G., Segura, L., y Bouchon, P. (2014). Experimental evidence of water loss and oil uptake during simulated deep-fat frying using glass micromodels. *Journal of Food Engineering*, 140, 19 – 27.

Costa-Neto, E. (2005). Entomotherapy, or the medicinal use of insects. *Journal of Ethnobiology*, 25 (1), 93 – 114.

Cruz-González, M. I., Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Munguia-Xochihua, J. A., Molina-Barrios, R. M., Rivera-Acuña, F., Hernández-Chávez, J. F. (2014). Feedlot lamb meat fatty acids profile characterization employing gas chromatography. *Nacameh, Ciencia y Tecnología de la Carne*, 8 (1), 39-49.

Dana, D., Saguy, S. (2006). Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128 – 130, 267 - 72.

Danish Food Composition Databank. (11.09.2012). Dirección: http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_default.asp

Das, M., y Mandal, S. (2013). Assessment of nutritional quality and anti-nutrient composition of two edible grasshoppers (*Orthoptera: Acrididae*) - a search for new food alternative. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3(5), 31-48.

Davídek, J., Janíček, G., Pokorný, J. (1983). *Chemie potravin*. Praha.

De Caterina, R., Liao, J. K., y Libby, P. (2000). Fatty acid modulation of endothelial activation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 213S – 223S.

Deguevara, O. L., Padilla, P., Garcia, L., Pino, J. M. (1995). Amino-acid determination in some edible Mexican insects. *Amino Acids*, 5 (9), 161–173.

Deng, Z. B., Yang, W. y Yang, C. P. (2013). Nutrition analysis and evaluation from wasps. *Acta Nutrimenta Sinica*, 35 (5), 514 – 515.

Djoussé, L., James, S., Pankow, J., Eckfeldt, A, Paul, H., Michael, P., Yuling, H., y Curtis, E. (2001). Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the National Heart, Lung, and Blood Institute Family Heart Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74 (5), 612–619.

- Dyer, J. M., Stymne, S., Green, A. G., y Carlsson, A. S. (2008). High-value oils from plants. *The Plant Journal*, 54, 640 – 655.
- Ekpo, K. E., y Onigbinde, A. O. (2009). Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3 (2), 051 - 057.
- Fennema, O. R. (2010). Química de los Alimentos. En: *Lípidos*. España: Acribia, 532 - 553.
- Finglas, P. M., y Faulks, R. M. (1984). Nutritional composition of UK retail potatoes, both raw and cooked. *Journal of the science of food and agricultura*, 35, 1347 - 1356.
- Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21, 269–285.
- Finke, M. D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26, 105–115.
- Finke, M. D. 2008. Nutrient Content of Insects. En: (ed. J. L. Capinera), *Encyclopedia of Entomology*. Florida, USA: Springer, 1562-1575, 2622 - 2623.
- Finke, M. D., Defoliart, G., Benevenga, N. J. (1989). Use of a fourparameter logistic model to evaluate the quality of the protein from three insect species when fed to rats. *The Journal of Nutrition*, 119, 864-871.
- Finke, M. D., y Oonincx, D. (2014). Capítulo 17 Insects as food for insectivores. En (ed J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas y D. I.) *Mass Production of Beneficial Organisms*. (pp: 583-616). EUA: Academic Press.
- Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). (2012). Grasas y ácidos grasos. Consulta de expertos. *Estudio FAO alimentación y nutrición*. España: FINUT.
- García-Hermoso, A., y Ramírez - Vélez, R. (2017). A Cross-Sectional Study of the Prevalence of Metabolic Syndrome and Associated Factors in Colombian Collegiate Students: The FUPRECOL-Adults Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (233), 1 – 14.
- Ghosh, S., So – Min, L., Chuleui, J., y Meyer – Rochow, V. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 20, 686 – 694.
- Goés-Neto, A., Diniz, M., Santos, L., Pinto, S., Miranda, J., Lobao, T., Borges, E., Hani, C., y Andrade, R. (2010). Comparative protein analysis of the chitinmetabolic pathway in extant organisms: A complex networkapproach. *BioSystems*, 101, 59 - 66.

Granados, S., Quiles, J. L., Gil, A., y Ramírez-Tortosa, M. C. (2006). Lípidos de la dieta y cáncer, *Nutrición Hospitalaria*, 21 (2), 44-54.

Guillén, M., y Cabo, N. (1998). Relationships between the composition of edible oils and lard and the ratio of the absorbance of specific bands of their Fourier transform infrared spectra. Role of some bands of the finger print region. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (5), 17888-1793.

He, M., Ishikawa, S., y Hidari, H. (2005). Fatty acid profiles of various muscles and adipose tissues from fattening horses in comparison with beef cattle and pigs asian-aust, *Journal of Animal Science*, 18, 1655-1661.

Hernández, S., y Zacconi, F. (2009). Aceite de almendras dulces: extracción, caracterización y aplicación. *Química Nova*, 32 (5), 1342 - 1345.

Ibáñez, B. E. (2009). Nutrientes y función cognitiva. *Nutrición Hospitalaria Suplementos*, 2(2), 3-12.

Jackson, M. A., y Eller, F. J. (2006). Isolation of long-chain aliphatic alcohols from beeswax using lipase-catalyzed methanolysis in supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids*, 37, 173 - 177.

Juárez, J., Melo, V., Pérez, D., y Calvo, C. (2010). Contenido de proteínas y aminoácidos en escamoles (*Liometopum apiculatum* M) capturados en el estado de Hidalgo. *Revista salud pública y nutrición*, (1). Dirección: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2010/ee-10-2010/>. Acceso: 18/08/2017.

Juárez, M., y Sammán, N. (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 13(2), 82-94.

Karabulut, I., Kayahan, M., y Yaprak, S. (2003). Determination of changes in some physical and chemical properties of soybean oil during hydrogenation. *Food Chemistry*, 81, 453 - 456.

Kaspari, M. (2003). Introducción a la ecología de las hormigas. En: (ed. F. Fernández). *Introducción a las hormigas de la región neotropical*. (pp: 97 – 112). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Colombia.

Kathleen, M. B., y Peter, A. M. (2013). Cap 15 Lípidos de importancia fisiológica. En: Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V., y Weil, P. *Harper. Bioquímica ilustrada* (pp: 140). México: Mc Graw Hill.

Kim, H., Youn, K., Yun, E. Y., Hwang, J. S., Jeong, W. S., Ho, Ch. T., y Jun, M. (2015). Oleic acid ameliorates A β -induced inflammation by downregulation of COX-2 and iNOS via NF κ B signaling pathway. *Journal of Functional Foods*, 14, 1 – 11.

- Kim, S., Weaver, C. M., y Choi, M. (2017). Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA - Journal of Food*, 15 (1), 143 - 146.
- Kim, Y. G., Eves, A., y Scarles, C. (2009). Building a model of local food consumption on trips and holidays: A grounded theory Approach. *International Journal of Hospitality Management*, 28, 423 - 431.
- Koolman, J., y Klaus – Heinrinch, R. (2012). Metabolismo de los lípidos. En: *Bioquímica Humana Texto y Atlas*. México: Editorial Médica Panamericana.
- Kumar, S., Kumar, A., y Mandal, A. (2017). Characterizations of surfactant synthesized from *Jatropha* oil and its application in enhanced oil recovery. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 63 (7), 2509 – 3242.
- Kuntadi, Y., y Kun, E. 2018. Nutritional compositions of six edible insects in Java, Indonesian. *Journal of Forest Research*. 5: 57 - 68.
- Lafont, J., Páez, M., y Portancio, A. (2011). Extracción y Caracterización Físicoquímica del Aceite de la Semilla (Almendra) del Marañón (*Anacardium occidentale L*). *Información tecnológica*, 22 (1), 51 - 58.
- Lakhan, S. E., y Vieira, K. F. (2008). Nutritional therapies for mental disorders. *Nutrition Journal*, 7: 2.
- Lara, P., Aguirre, R., Castillo, P., y Reyes, A. (2015). Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 31 (2), 251 - 264.
- Lárez, C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*, 1 (2), 15 - 21.
- Lawrence, G. D. (2013). Dietary fats and health: Dietary recommendations in the context of scientific evidence. *Advances in Nutrition*, 4, 294 - 302.
- Lee, W.T., Weisell, R., Albert, J., Tome, D., Kurpad, A.V. y Uauy, R. (2016). Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods proposed by an FAO expert working group in 2014. *The Journal of Nutrition*, 146, 929-932.
- Liang, Ch., Chen, S., Zhao, F., Ge, D., Liu, B., Liu, Q., Fan, B., y Xiong, X. (2013). Application of Fourier transform infrared spectroscopy for the oxidation and peroxide value evaluation in virgin walnut oil. *Journal of Spectroscopy*, 1 (5).
- Little, S. O., Armstrong, S. G., y Bergan, J. G. (2000). Factors affecting stability and nutritive value of fatty acids: Culinary practices. En: *Fatty acids in foods and their health implications* (pp.427-437).New York, USA.

- Lopes, W. A., y Fascio, M. (2004). Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova*, 27 (4), 670 - 673.
- Manat, C., Soottawat, B., Wonnop, V., y Cameron, F. (2006). Changes of lipids in sardine (*Sardinella gibbosa*) muscle during ices storage. *Food Chemistry*, 99, 83–91.
- Mariño - Pérez, R., Fontana, P., y Maria, F. (2011). Identificación de plagas de chapulín en el norte-centro de México. *Research Gate*, 33 – 55.
- Matissek, R., Schnepel, M. F. y Sterner, G. (1992). Análisis de los Alimentos. *Fundamentos, Métodos y Técnicas*. Acribia, pp: 297 - 302.
- Melo, V., García, M., Sandoval, H., Jiménez, H., y Calvo, C. (2011). Quality proteins from edible indigenous insect food of Latin America and Asia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23, 283 - 289.
- Melo-Ruiz, V., Quirino – Barreda, T., Díaz – García, R., Falcón – Gerónimo, J. J. y Gazga – Urioste, C. (2017). Insects as Food from Deserted Areas in Mexico. *Journal of Applied Life Sciences International*, 13 (4), 1 - 9.
- Melo-Ruiz, V., Sandoval-Trujillo, H., Quirino-Barreda, T., Sánchez-Herrera, K., Díaz-García, R., y Calvo-Carrillo, C. (2015). Chemical composition and amino acids content of five species of edible Grasshoppers from Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27 (8), 654 - 658.
- Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D. M., y Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: A meta-analysis of 60 controlled trials 1–3. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 1146 – 1155.
- Miranda, R. G., Quintero - Salazar, B., Ramos, R. B., y Olguín-Arredondo, H. A. (2011). La recolección de insectos con fines alimenticios en la zona turística de Otumba y Teotihuacán, Estado de México. *Revista Turismo Patrimonio Cultural*, 9, 81-100.
- Mišurcová, L., Vávra, A. J., y Samek, D. (2011). Seaweed lipids as nutraceuticals. *Advances in Food and Nutrition Research*, 64, 339 – 355.
- MLcek, J., Rop, O., Borkovcova, M., y Bednarova, M. (2014). A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64 (3), 147-157.
- Moncada, R., Gualdrón, H. L. (2006). Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de investigación*, 6 (2), 179 – 187.
- Monter-Miranda, J., Tirado-Gallegos, J., Zamudio-Flores, P., Rios-Velasco, C., Ornelas-Paz, J., Salgado-Delgado, R., Espinosa-Solis, V., y Hernández-Centeno, F. (2016). Extracción y caracterización de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y

estructurales de quitina y quitosano de *Brachystola magna* (Girard). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15 (3), 749 - 761.

Morzell M., Gatellier P.H., Sayd T., Renerre M., y Laville E. (2006). Chemical oxidation in decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle proteins. *Meat Science*, 73, 536–543.

Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., y Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *The New England Journal of Medicine*, 354, 1601 - 1613.

Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., Rodwell, V. W., Weil, P. A. (2013). Harper. Bioquímica ilustrada. México: McGraw-Hill.

Nelson, L. D., y Cox, M, M. (2001). The enzymes. En: *Lehninger Principles of Biochemistry*. Palgrave Macmillan, Madison.

Norma Mexicana (NMX-F-014-1985). Alimentos - Aceite comestible puro de coco.

Norma Mexicana (NMX-F-027-1985). Alimentos. Aceite comestible puro de cacahuete.

Norma Mexicana (NMX-F-030-1985). Alimentos - Aceite comestible puro de maíz.

Norma Mexicana (NMX-F-068-S-1980). Alimentos. Determinación de proteínas.

Norma Mexicana (NMX-F-074-S-1981). Alimentos para humanos. Aceites esenciales, Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de refracción con el refractómetro de Abbé.

Norma Mexicana (NMX-F-089-S-1978). Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos.

Norma Mexicana (NMX-F-101-SCFI-2012). Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – Determinación de ácidos grasos libres - Método de prueba.

Norma Mexicana (NMX-F-152-S-1981). Alimentos para humanos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de yodo por el método de wijs.

Norma Mexicana (NMX-F-154-1987). Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación del índice de peróxido.

Norma Mexicana (NMX-F-223-1985). Alimentos - Aceite vegetal comestible.

Norma Mexicana (NMX-F-252-1985). Alimentos - Aceite comestible puro de soya.

Norma Mexicana (NMX-F-265-1985). Alimentos - Aceite comestible puro de girasol.

Norma Mexicana (NMX-F-475-1985). Alimentos - Aceite comestible puro de canola.

Norma Mexicana (NOM-043-SSA2-2005), Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.

Okparanta, S., Daminabo, V., y Solomon, L. (2018). Assessment of Rancidity and Other Physicochemical Properties of Edible Oils (Mustard and Corn Oils) Stored at Room Temperature. *Journal of Food and Nutrition Science*, 6(3). 70-75.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation, *WHO Technical Report Series*.

Orsavova, J., Misurcova, L., Vavra, A., Vicha, R., y 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 Sciences*, 16, 12871 – 12890.

Ortiz, M. A., Dorantes, L., Galíndez, J., y Guzmán, R. I. (2003). Effect of different extration methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea Americana Mill*) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2216 - 2221.

Paiko, Y. B., Dauda, B., Suleiman, M., Akanya, H., y Jacob, J. (2013). Physico-chemical properties and metal ions content of oil extracted from cicket (*Brachytrupes membranaceus*) in bosso local government area of Niger State, Nigeria. *Asian Journal of Science and Technology*, 4 (5), 008 – 012.

Pala, V., Krogh, V., Muti, P., Chajés, V., Riboli, E., Micheli, A., Saadatian, M., Sieri, S., Berrino, F. (2001). Erythrocyte membrane fatty acids and subsaquent breast cancer: A prospective Italian study. *Journal of the National Cancer Institute*, 93, 1088 – 1095.

Pantoja, C. V., y Untiveros, G. B. (2010). Extracción y caracterización del aceite de larvas del *Tenebrio molitor*. *Revista de la Sociedad Química Del Perú*, 76 (4), 407 - 414.

Paucar-Menacho, L., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., y Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico - químicas del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis l.*), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite fresco de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6 (4), 279 – 290.

Payne, C. L., Scarborough, P., Rayner, M., y Nonaka, K. (2016). Are Edible Insects More or Less 'healthy' than Commonly Consumed Meats? A Comparison Using Two Nutrient Profiling Models Developed to Combat over- and Undernutrition. *European Journal of Nutrition*, 70 (3), 285 - 291.

Pencharz, P. B. (2012). Proteins and amino acids. En: (ed. J. W. Erdman., I. A. Macdonald., S. H. Zeisel). *Knowledge in Nutrition*. Singapur: International Life Sciences Institute.

Pérez-Palacios, T., Ruiz, J., y Antequera, T. (2008). Perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea e intramuscular de cerdos ibéricos cebados en montanera y con pienso "alto oleico". *EUROCARNE*, 163.

Pino-Moreno, J. M. (2002). Gran cantidad de vitaminas aportan los insectos. México. UNAM. Dirección: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2002/2002_0572fff.html. Acceso: 22/08/2017.

Poneros-Schneier, A. G., y Erdman, J. W. (1989). Bioavailability of calcium from sesame seeds, almond powder, whole wheat bread, spinach and nonfat dry milk in rats. *Journal of Food Science*, 5, 150-153.

Proust, F., Lucas, M., y Deawailly, É. (2014). Fatty acid profiles among the Inuit of Nunavik: Current status and temporal change. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acid*, 90, 159 - 167.

Raksakantong, P., Meeso, N., Kubola, J., y Siriamornpun, S. (2010). Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terri-colous insects. *Food Research International*, 43, 350 - 355.

Ramos, B., Quintero, B., Ramos-Elorduy, J., Pino, J., Ángeles, S., García, Á. y Barrera, V. (2012). Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de san juan teotihuacán y en otumba, en el estado de México. *Interciencia*, 37 (12), 914 - 920.

Ramos-Elorduy, J. (2003). Les "jumiles" punaises sacrée du Mexique. En: (ed. É. Motte – Florac y J. C. Thomas). Peeters-Selaf. *Les insectes dans la tradition orale – insects in oral literature and traditions* (pp: 183 – 208). Paris.

Ramos-Elorduy, J. (2004). La etnoentomología en la alimentación, la medicina y el reciclaje. En: (ed. J. B. Llorente, J. Morrone, O. O. Yañez y I. F. Vargas). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento* (pp: 329-413). México: UNAM.

Ramos-Elorduy, J. (2006). Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. Dirección: <https://ethnobiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4269-2-51>.

Ramos-Elorduy, J., Costa, E., Pino, J., Cuevas, M., García - Figueroa, J., y Zetina, D. (2007). Conocimiento de la entomofauna útil en el poblado La Purísima Palmar de Bravo, Estado de Puebla, México. *Biotemas*, 20 (2), 121 - 134.

Ramos-Elorduy, J., M. J. M. Pino, E. E. Prado, M. A. Perez, J. L. Otero and O. L. de Guevara. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 142-157.

- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., y Morales, J. (2002). Análisis químico proximal, vitaminas y nutrimentos inorgánicos de insectos consumidos en el estado de Hidalgo, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 41 (1), 15 - 29.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J., y Martínez, V. (2012). Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal? *Food and Nutrition Sciences*, 3, 164 - 175.
- Ramos-Elorduy, J., y Viejo, J. (2007). Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. *Real Sociedad Española de Historia Natural*, 102 (1 - 4), 61 - 84.
- Rang, H. P., Dale, M. M., Ritter, J. M., y Moore, P. (2003). *Pharmacology*. 5th ed., Churchill Livingstone.
- Rincón, S., y Martínez, D. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *PALMAS*, 30 (2).
- Ringdahl, E., Pereira, S., y Delzell, J. (2004) Treatment of primary insomnia. *Journal of the American Board of Family Medicine*, 17, 212–219.
- Rivera, J. A., de Cossío, T. G., Pedraza, L. S., Aburto, T. C., Sánchez, T. G., y Martorell, R. (2014). Childhood and adolescent overweight and obesity in Latin America: a systematic review. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 2 (4), 321 – 32.
- Rivera, Y., & Gutiérrez, C., & Gómez, R., & Matute, M., & Izaguirre, C. (2014). Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida. *Ciencia e Ingeniería*, 35 (3), 157-164.
- Rodríguez-Ortega, A., Pino-Moreno, J., Ángeles-Campos, S., García-Pérez, Á., Barrón-Yáñez, R., y Callejas-Hernández, J. (2016). Valor nutritivo de larvas y pupas de gusano de seda (*Bombyx mori*) (*Lepidoptera: Bombycidae*). *Revista Colombiana de Entomología*. 42 (1): 69-74.
- Ros, E., López-Miranda, J., Picó, C., Rubio, M., Babio, N., Sala-Vila, A., Pérez-Jiménez, F., Escrich, E., Bulló, M., Solanas, M., Gil, A., y Salas-Salvadó, J. (2015). Consenso sobre las grasas y aceites en la alimentación de la población española adulta; postura de la Federación Española de Sociedades de Alimentación, Nutrición y Dietética (FESNAD). *Nutrición Hospitalaria*, 32 (2), 435 - 477.
- Rumpold, B. A., y Schlüter, O. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57, 802 - 823.
- Rumpold, B. A., y Schlüter, O. (2015). Insect - based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. *Animal Frontiers*, 5 (2), 20 – 24.

- Sabate, J., Haddad, E., Tanzman, J. S., Jambazian, P., y Rajaram, S. (2003). Serum lipid response to the graduated enrichment of a Step I diet with almonds: a randomized feeding trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77 (6), 1379 - 1384.
- Sabolová, M., Anna, A., Lenka, K., Diana, C., y Jan, P. (2016). Minor lipophilic compounds in edible insects. *Potravinarstvo*, 10 (1), 400 – 406.
- Sadava, D. (2009). *Vida. La ciencia de la biología*. Editorial medicapanamericana, Buenos aires.
- Saeed, S., Fawthrop, S.A, y Howell, N. K. (1999). Electron spin resonance (ESR) study of free radical transfer in fish lipid-protein interaction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1809–1816.
- Salas-Olivet, E., Cuéllar - Cuéllar, A., Marrero - Delange, D., y Said - Labeid, B. (2013). Comparación entre la composición química y las propiedades antiinflamatorias del sebo de carnero de origen cubano y del sahara. *Colombian Journal of Animal Science*. 5 (1), 93 – 103.
- Salmerón, J., Frank, B. H., JoAnn, E. M., Meir, J. S., Graham, A. C., Eric, B. R., y Walter, C. W. (2001). Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73 (6), 1019–1026.
- Sánchez, J., De Miguel, C., Osorio, E., Marín, J., Gallardo, L., y Martínez, M. (2006). Calidad sensorial de aceites de oliva virgen procedentes de variedades de aceitunas producidas en Extremadura. *Grasas y Aceites*, 57 (3), 313 – 318.
- Sánchez-Gimeno, A. C., Benito, M., Vercet, A., y Oria, R. (2008). Aceite de oliva virgen extra del Somontano: evaluación de las modificaciones físico- químicas tras la fritura doméstica de patatas pre fritas congeladas. *Grasas y Aceites*, 59 (1), 57 – 61.
- Sanhueza, J., Durán, S., y Torres, J. (2015). Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 32 (3), 1362 - 1375.
- Santé-Lhoutellier V., Engel E., Aubry L., Gatellier P. (2008). Effect of animal (lamb) diet and meat storage on myofibrillar protein oxidation and in vitro digestibility. *Meat Science*, 79, 777–783.
- Santurino, C., García-Serrano, A., Molina, J., Sierra, P., Fernández P., Castro-Gómez, M., Calvo, M., y Fontecha, J. (2016). Los insectos como complemento nutricional de la dieta: fuente de lípidos potencialmente bioactivos. *Revista salud pública y nutrición*, 23 (2), 50 - 56.
- Setiowaty, G., Che, M. Y, Jinap, S., Moh, M. H. (2000). Quantitative determinations of peroxide value in thermally oxidized palm olein by Fourier transform infrared spectroscopy. *Phytochemical Analysis*, 11, 74–78.

Silverstein, R. M., Bassler, G. C., Morrill, T. C. (1991). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 5th ed. John Wiley & Sons, New York.

Sioen, I., Haak, L., Raes, K., Hermans, C., De Henauw, S., De Smet, S., Van John, C. (2006) Effects of pan-frying in margarine and olive oil on the fatty acid composition of cod and salmon. *Food Chemistry*, 98. 609-617.

Sirimungkararat, S., Saksirirat, W., Nopparat, T., y Natongkham, A. (2010). Edible products from eri silkworm (*Samia racini D.*) and mulberry silkworm (*Bombyx mori L.*) in Thailand. En (ed. P. B. Durst, V. D. Johnson, R. N. Leslie, y K. Shono). *Forest insects as food: Human bite back* (pp: 189–200). Bangkok, Thailand: Food and Agriculture of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.

Skoog, A. D., Holler, F. J., y Neman, A. T. (2009). Principios de análisis instrumental. En: *Sección II. Espectroscopía atómica. Capítulo 6. Introducción a los métodos espectrométricos. Capítulo 7. Componentes de los instrumentos para espectroscopía óptica. Sección III. Espectroscopía molecular. Capítulo 16. Espectrometría de absorción en el infrarrojo. Capítulo 17. Aplicaciones de la espectrometría en el infrarrojo. Sección V. Métodos de separación. Capítulo 26. Introducción a las separaciones cromatográficas. Capítulo 27. Cromatografía de gases*. 6ª. Edición. Electrónica. Mc Graw Hill Interamericana, España.

Smith, B. C. (1998). *Infrared Spectral Interpretation: A Systematic Approach*. CRC Press, New York.

Sortwell, R. D. (1995). Uso de antioxidantes en Industria y Nutrición. *NutriQuim, VIII Simposio de Nutrición y Alimentos*.

Stauffer, E. (2005). A Review of the analysis of vegetable oil residues from fire debris samples: analytical scheme, interpretation of the results, and future needs. *Journal of Forensic Sciences*, 51 (5), 1016 - 1032.

Steenhorst-Slikkerveer, L., Louter, A., Janssen, H., y Bauer - Planck, C. (2000). Analysis of Nonvolatile LipidOxidation Products in Vegetable Oils by Normal-Phase High-Performance Liquid Chromatography with MassSpectrometric Detection. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, 837 - 845.

Sun, L., Feng, Y., y He, Z. (2007). Studies on alkaline solution extraction of polysaccharide from silkworm pupa and its immunomodulating activities. *Forest Research*, 20 (6), 782 - 786.

Tasan, M., Gecgel, U., Demirci, M. (2011). Effects of storage and industrial oilseed extraction methods on the quality and stability characteristics of crude sunflower oil (*Helianthus annuus L.*). *Grasas y Aceites*, 62, 389 – 398.

Tenyanga, N., Womenib, H. M., Tiencheu, B., Villeneuve, P., Linder, M. (2017). Effect of refrigeration time on the lipid oxidation and fatty acid profiles of catfish (*Arius maculatus*) commercialized in Cameroon. *Grasas y Aceites*, 68 (1), 1-9

- Torres-Cifuenetes, D., Cortés – Torres, C., y Ayala, A. (2015). Identificación de carbohidratos y lípidos y cuantificación de ácidos grasos de la larva de *Ancognatha ustulata* (Coleoptera: Melolonthidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 56, 257 - 264.
- Trillo, A. (2017). Adulteración de la cera de abeja. Problemática en su industrialización y comercialización. Tesis Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural.
- Valenzuela, B. A., y Morgado, T. N. (2005). Fats and oils in the human nutrition: an historical overview. *Revista chilena de nutrición*, 32(2), 88-94.
- Vilarrasa, E. (2014). Use of re-esterified oils in pig and broiler chicken diets. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Veterinaria.
- Watanabe, T., Kitajima, C. y Fujita, S. (1983). Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: review. *Aquaculture*, 34, 115-143.
- Wen, L. (1998). Nutrition of edible insects in Mexico. *Journal of Entomology*, 35, 58 - 61.
- Williams, J. P., Williams, J. R., Kirabo, A., Chester, D., Peterson, M. (2016). Chapter 3 - Nutrient Content and Health Benefits of Insects. En: (ed. A. T. Dossey, et al. Academic Press). *Insects as Sustainable Food Ingredient*. USA.
- Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z., y Zhiyong, C. 2010. Review of the nutritive value of edible insects. En: (ed. Durst, P., Johnson, D., Leslie, R., Shono, K.). *Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Ying-Qiu, L., Qun, Ch., Xiu-He, L., y Zheng-Xing, Ch. (2008). Inactivation of soybean lipoxigenase in soymilk by pulsed electric fields. *Food Chemistry*, 109, 408 – 414.
- Yue, L., García-González, D. L., Xiuzhu, Y., Voort, F. (2008). Determination of free fatty acids in edible oils with the use of a variable filter array IR Spectrometer. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 85, 599 - 604.
- Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q., y Yu, Z. (2013). Exploring the potential of grease from yellow mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) as a novel biodiesel feedstock. *Applied Energy*, 101, 618 – 621.

12. Anexos

Anexo 1. Información nutrimental de la mantequilla

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Agua	g	16.17
Energía	kcal	717
Proteína	g	0.85
Lípidos totales	g	81.11
Carbohidratos, por diferencia	g	0.06
Fibra dietaria total	g	0
Azúcares totales	g	0.06
Minerales		
Calcio, Ca	mg	24
Hierro, Fe	mg	0.02
Magnesio, Mg	mg	2
Fosforo, P	mg	24
Potasio, K	mg	24
Sodio, Na	mg	11
Zinc, Zn	mg	0.09
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	0
Tiamina B1	mg	0.005
Riboflavina B2	mg	0.034
Niacina B3	mg	0.042
Piridoxina B6	mg	0.003
Folatos B9	µg	3
Cobalamina B12	µg	0.17
Vitamina A	µg	684
Vitamina E	mg	2.32
Vitamina K	µg	7
Lípidos		
Ácidos grasos saturados	g	50.489
Ácidos grasos monoinsaturados	g	23.43
Ácidos grasos poliinsaturados	g	3.01
Colesterol	mg	215

Fuente: USDA National Nutrient Database for Standard Reference 1 April 2018 Software.

Anexo 2. Índice de refracción de aceites.

Aceite	Índice de refracción	Aceite	Índice de refracción
Aceite de parafina	1.3324-1.4119	Sebo de cordero	1.455-1.458
Aceites insaturados	1.3714-1.4319	Sebo de cerdo	1.458-1.461
Aceite natfenico	1.4065-1.4356	Sebo de caballo	1.460-1.465
Aceites aromáticos	1.4865-1.5500	Aceite de crisalida	1.471-1.476
Aceite de linaza	1.479-1.481	Aceite de sardina	1.479-1.481
Aceite de girasol	1.474-1.476	Aceite de arenque	1.470-1.475
Aceite de tung	1.500-1.510	Aceite de hígado de bacalao	1.477-1.483
Aceite de soya	1.471-1.475	Lanolina	1.478-1.462
Aceite de maíz	1.474-1.476	Cera de abeja	1.440-1.445
Aceite de semilla de algodón	1.472-1.477	Aceite de tortuga	1.4737
Aceite de sésamo	1.473-1.476	Aceite de bonito (<i>Katsuwonus pelamis</i>)	1.4820-1.4878
Aceite de colza	1.472-1.476	Aceite de atún	1.4781-1.4837
Aceite de sacarina	1.471-1.474	Aceite de cola amarilla (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	1.4800
Aceite de salsa de soya	1.463-1.465	Aceite de caballa	1.4782-1.4811
Aceite de cacahuate	1.460-1.472	Aceite de saury (<i>Cololabis saira</i>)	1.4760
Aceite de oliva	1.467-1.471	Atún caballa	1.4750-1.4792
Aceite de almendras	1.470-1.472	Aceite de bacalao	1.4788-1.4818
Aceite de camelia	1.468-1.469	aceite de abadejo de alaska (<i>Gadus chalcogrammus</i>)	1.4785-1.4798
Aceite de te	1.468-1.471	Grasa de res	1.4573-1.4587
Aceite de ceiba	1.469-1.471	Manteca de cerdo	1.4597-1.4606
Aceite de ricino	1.477-1.479	Mantequilla	1.4529-1.4631
Aceite de coco	1.448-1.450	Benzeno	1.5011
Aceite de palma	1.453-1.456	Tolueno	1.4696
Manteca de cacao	1.456-1.458		
Cera vegetal	1.457-1.459		
Sebo de res	1.454-1.459		
Aceite de comida limpio	1.460-1.461		

Fuente: Refractómetro tipo Abbé (ATAGO, Master-RI; USA).