

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS**

TESIS PROFESIONAL

**EXTRACCIÓN ACUOSA
ENZIMÁTICA DE ACEITES
VEGETALES NO
CONVENCIONALES**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN NUTRIOLOGÍA

PRESENTA

ERIK FERNANDO JIMÉNEZ GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. VEYMAR GUADALUPE TACIAS PASCACIO



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

OCTUBRE 2021

ESTA TESIS ESTÁ DEDICADA A:

A mis padres Fernando y Eleodora quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, sobre todo a mi madre por enseñarme a comprender que necesito de dios para enfrentar los obstáculos.

A mis hermanos Xochitl y Uriel por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. a toda mi familia por el apoyo y sus palabras de aliento que me hicieron una mejor persona y me acompañaron en este pequeño camino.

A mis amigos y amigas por apoyarme cuando más lo necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por su amistad brindada, infinitas gracias, siempre los llevo en mi corazón.

A mi asesora de tesis la Dra. Veymar Guadalupe Tacias Pascacio por la orientación y ayuda que me brindo para realizar este proyecto, por sus ánimos y por permitirme ver más allá de mis posibilidades, que todo se puede con esfuerzo y dedicación.

al programa para el desarrollo profesional docente por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto y por la beca que se me proporcionó para tal fin.

¡Infinitas gracias a todos!

Como polvo estelar llegara el momento en que estas palabras volaran y reposaran en tierra fértil para florecer pequeñas ideas y solo así serán estratos de un origen común.

¡Sano, Fuerte y Feliz!



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
27 de octubre de 2021

C. Erik Fernando Jiménez Gómez

Pasante del Programa Educativo de: Licenciatura en Nutriología

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Extracción acuosa enzimática de aceites vegetales no convencionales.

En la modalidad de: Tesis Profesional.

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Gilber Vela Gutiérrez

Mtro. Arturo Alberto Velázquez López

Dra. Veymar Guadalupe Tacias Pascacio



COORD. DE TITULACIÓN

Firmas:

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS.....	14
GENERAL	14
ESPECÍFICOS	14
MARCO TEÓRICO.....	15
ENFERMEDADES DE LA CIVILIZACIÓN	15
GRASAS Y ACEITES	17
COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES	18
ACEITES EN LA NUTRICIÓN	26
FACTORES QUE DETERIORAN LAS GRASAS Y ACEITES	30
PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	31
COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ACEITES VEGETALES.....	34
USOS DE LOS ACEITES VEGETALES.....	36
MÉTODO DE OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES.....	37
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	40
METODOLOGÍA	41
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
POBLACIÓN.....	41
MUESTRA.....	41
MUESTREO	41
VARIABLES	42
CRITERIOS	42
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	43
DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS A UTILIZAR.....	43
DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	45
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	46
CONCLUSIONES	53

PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES	54
GLOSARIO	55
REFERENCIAS DOCUMENTALES	57
ANEXOS	64
APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de los diferentes tipos de compuestos lipídicos	18
Figura 2. Estructura química de un triglicérido	19
Figura 3. Estructura de un triglicérido mixto (esteárico, oleico y palmítico)	19
Figura 4. Estructura química de ácidos grasos saturados e insaturados.....	20
Figura 5. Estructura del ácido palmítico.....	22
Figura 6. Estructura del ácido oleico.....	23
Figura 7. Estructura química del ácido linoléico	23
Figura 8. Estructura isomérica cis y trans del ácido oleico	24
Figura 9. Estructura química del fosfolípido	24
Figura 10. Biosíntesis de hormonas del colesterol	25
Figura 11. Aceites evaluados	27
Figura 12. Porcentaje de ácido graso monoinsaturado en los aceites	28
Figura 13. Porcentaje de ácido graso poliinsaturado en los aceites evaluados.....	28
Figura 14. Clasificación de compuestos fenólicos.....	35
Figura 15. Semillas en proceso de horneado.....	65
Figura 16. Semillas analizadas para el proceso de extracción	65
Figura 17. Materiales para realizar la extracción por método Soxhlet.....	65
Figura 18. Extractor Soxhlet	65
Figura 19. Extracto de aceite de pepitoria.....	65
Figura 20. Extracto de aceite de morro	65
Figura 21. Rotaevaporador para extraer aceite	66
Figura 22. Almacenamiento de aceite	66
Figura 23. Aceites almacenados en matraces	66
Figura 24. Determinación de índice de saponificación	67
Figura 25. Calentamiento de la muestra a 100°C	67
Figura 26. Determinación de pH de las muestras	67
Figura 27. Agitador para homogenizar durante la estabilización de pH.....	68
Figura 28. Matraces dentro de la incubadora con agitación	68
Figura 29. Extracción de aceite mediante microcentrifugado	68

Figura 30. Muestra de aceite extraído por método enzimático (izq. A der. Relación
solido/liquido: 1:6, 1:8)68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. principales aceites comestibles de mayor demanda	17
Tabla 2. Nomenclatura de los ácidos grasos saturados	21
Tabla 3. Nomenclatura de los ácidos grasos insaturados	22
Tabla 4. Efectos fisiológicos en el consumo de aceite para la salud.....	27
Tabla 5. Propiedades atribuidas por los lípidos en los alimentos	29
Tabla 6. Factores que influyen en el cambio fisicoquímico de los lípidos.....	31
Tabla 7. Mecanismos de acción con efecto protector de los antioxidantes	32
Tabla 8. Fitoquímicos con propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias.....	33
Tabla 9. Clasificación de compuestos fenólicos en plantas.	36
Tabla 10. Porcentaje de aceite extraído por método de extracción Soxhlet.....	47
Tabla 11. Porcentaje de aceite extraído por método de extracción acuosa enzimática	48
Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas de aceite de semillas obtenidas por extracción Soxhlet..	50
Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas de aceite de semilla de mamey obtenida por extracción acuosa enzimática.....	50
Tabla 14. Perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de mamey, obtenido por extracción Soxhlet y extracción acuosa enzimática.	51

INTRODUCCIÓN

Los vegetales son una fuente importante de compuestos bioactivos como los fitoesteroles, fitoestrogenos, flavonoles, caroteno, tocoferoles, entre otros; los cuales se encuentran en el aceite obtenido de cualquier parte de la planta, ya sea raíces, tallos, flores, frutos, hojas, y principalmente en las semillas; estos aceites ricos en compuestos con actividades biológicas pueden ser estudiados desde diversos aspectos, como los métodos de extracción y su influencia en las propiedades del aceite, las características fisicoquímicas y su relación con los usos potenciales del extracto, las aplicaciones del aceite obtenido, etc.

En el presente trabajo se llevó a cabo la evaluación de la extracción acuosa enzimática de aceites vegetales no convencionales, como una alternativa a la extracción convencional Soxhlet; este método podrían superar las desventajas de este método tradicional en cuanto el aspecto económico, ambiental y de seguridad (Arroyo *et al.*, 2019).

Los aceites obtenidos fueron caracterizados fisicoquímicamente y por perfil de ácidos grasos, para aportar evidencia científica relativa a los usos potenciales de dichos aceites en distintas industrias como la farmacéutica, cosmética y alimentos. Estos sustratos funcionales aportaran múltiples beneficios positivos sobre los mecanismos de las condiciones fisiológicas del organismo como son la acción antimicrobiana, antioxidante o en el aporte de nutrientes.

Para el desarrollo de esta investigación se inició con la búsqueda de las posibles fuentes de aceites no convencionales del estado de Chiapas, se realizó la recolección y pretratamiento de la materia prima (semilla de morro, pepitoria, codo de fraile, mamey, aguacatillo y níspero), se determinó el contenido de aceite por método Soxhlet descartando 2 muestras (níspero y aguacatillo) por tener porcentajes menores de aceite, se realizó extracción de aceite por método acuosa enzimática de las semillas de pepitoria y mamey, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de los aceites de morro, pepitoria, codo de fraile y mamey por métodos de la AOCS (American Oil Chemists' Society), y se determinó el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases-espectrofotometría de masas (GC-MS) del aceite de mamey.

Los resultados indicaron que los rendimientos de aceite generados en la extracción soxhlet son mayores que los realizados por extracción acuosa enzimática; sin embargo, este último posee las ventajas de tener un menor o nulo impacto ambiental y de ser una tecnología limpia que permite el uso de la materia residual desgrasada sin tener que darle un tratamiento para

remoción de solvente, como es en la aplicación alimentaria para animales domésticos. Por otro lado, las propiedades fisicoquímicas no tuvieron una diferencia significativa en los aceites obtenidos por ambos métodos y estos poseen excelentes propiedades de los cuales son similares a los reportados para los aceites comestibles, sugiriendo un uso potencial en la industria alimentaria, como es el aceite de pepitoria, morro y mamey.

JUSTIFICACIÓN

Los aceites vegetales aportan ácidos grasos: monoinsaturados (omega 9) y poliinsaturados (omega-3 y omega-6) así como otros compuestos como los terpenoides (carotenoides y esteroides), compuestos fenólicos (fitoestrogenos o la quercitina) y compuestos azufrados (glucosinolatos) (Martínez y Carbajal, 2018), que en conjunto guardan una función excepcional para el buen funcionamiento del organismo (Durán *et al.*, 2015). En este sentido existe un gran interés por el estudio de los efectos de las grasas y aceites de la dieta sobre el bienestar. Actualmente se sabe que, la relación entre la salud y la ingesta de grasa depende de la calidad y no de la cantidad; es decir, del tipo de ácidos grasos consumidos, como fue demostrado por un estudio de 6 años en una población multiétnica de Estados Unidos, en el que se encontró que, un tipo de régimen dietético bajo en grasa no reducía significativamente el riesgo cardiovascular, ictus y enfermedad coronaria; sin embargo, dietas altas en grasa con predominancia en ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados disminuyó las fracciones de colesterol transportadas por LDL (Carrillo *et al.*, 2011).

En la actualidad, los patrones alimentarios han cambiado, pasando de lo tradicional al consumo de alimentos procesados resultando un costo perjudicial en la salud, economía y en la ecología (Pérez *et al.*, 2011), dejando a un lado los aceites no convencionales que aportan compuestos bioactivos, contribuyendo al conocimiento del potencial beneficio e impacto en la salud (Ramírez *et al.*, 2013) y que están cobrando una importante trascendencia en la alimentación, con su potencial antioxidante, anticancerígeno, antimicrobiano, inmunomodulador, antiinflamatorio, despertando el interés en la ciencia de los alimentos (Jiménez *et al.*, 2011), estas acciones podrían compensar las funciones fisiológicas como modulación de la expresión genética, destoxificación de cancerígenos, apoptosis, modulación del perfil lipídico, efecto hipocolesterolémico y actividad microbiana, entre otros (Martínez y Carbajal, 2018).

El aceite obtenido de estos alimentos permite el avance de investigaciones que puede innovar nuevos productos, desarrollar conservadores naturales que modifiquen los alimentos tradicionales mediante la adición de compuestos biológicamente activos en matrices alimentarias, obteniendo resultados prometedores hacia el futuro (Cárdenas *et al.*, 2016).

Los procesos tradicionales empleados para la obtención de los aceite vegetales consisten principalmente en la extracción por solventes orgánicos (hexano principalmente), los cuales se

caracterizan por tener un impacto negativo al medio ambiente y/o salud. Sin embargo, en la actualidad existe un gran interés por encontrar nuevos procedimientos alternativos y renovables de extracción, aprovechando los productos naturales del entorno y procurando una mejor intervención para la sustentabilidad.

Los métodos alternativos como la extracción acuosa enzimática ofrecen ventajas plausibles sobre el medio ambiente, así como en la salud y seguridad de las personas, además de no provocar deterioro en las moléculas biológicas del aceite. Esta opción brinda una posible solución al problema ambiental, encontrando un soporte en la biotecnología blanca, específicamente la que brinda la tecnología de extracción de aceite asistida por enzimas, probando no solo el nuevo uso de recursos tecnológicos, sino un conocimiento de las virtudes y posibilidades que tiene el ser humano para cuidar su entorno.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los aceites no convencionales son todos aquellos obtenidos de semillas que se encuentran de manera silvestre o semidomesticado a nivel local o regional y que no poseen un comercio amplio de las mismas, estos aceites tienen características similares que los aceites comunes, como son el contenido de triglicéridos, ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros fitoquímicos; además de participar como transportadores de vitaminas liposolubles, tales como A, D, E y K (Espinosa *et al.*, 2015), estos aceites pueden utilizarse con fines comestibles o como agregado a otros alimentos para actuar de manera sinérgica y obtener alimentos funcionales (Vázquez, 2015).

En los últimos años se ha intensificado el estudio de la bioactividad de los aceites vegetales no convencionales, identificando compuestos responsables de efectos benéficos que pueden ser de variada naturaleza química y que tienen propiedades como actividad antioxidante, antibacteriana, antiviral, antiinflamatoria, entre otras. Así como fuentes de grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas (Vázquez, 2015).

La diversidad vegetal que existe en la región tropical, considerando que hay más de 200 vegetales no convencionales solo en los estados de Chiapas y Oaxaca (Chávez, 2010), ha cobrado un importante conocimiento de los aceites no convencionales, ya que la mayoría aún se desconoce su funcionalidad y de los cuales es importante identificar sus características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos para sugerir posibles usos potenciales.

Es importante mencionar que la conservación de las propiedades bioactivas de los aceites, depende en gran medida del método de extracción empleado para su obtención. A nivel industrial, el método más utilizado es la extracción por Soxhlet, el cual tiene un costo elevado, deteriora el aceite por altas temperaturas y perjudica el medio ambiente por el empleo de solventes orgánicos (hexano principalmente). Por esta razón, es necesario el uso de métodos emergentes de extracción, como la extracción acuosa enzimática, la cual se caracteriza por utilizar bajas temperaturas y la ausencia de solventes orgánicos altamente contaminantes, beneficiando de este modo la calidad del aceite, así como la materia desgrasada, ya que no tendría componentes tóxicos que limiten su uso posterior (Nolasco *et al.*, 2019).

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la extracción acuosa enzimática en la obtención y las propiedades de aceites vegetales no convencionales.

ESPECÍFICOS

- Seleccionar la materia prima vegetal con base a su contenido de aceite obtenido por el método de soxhlet.
- Extraer el aceite vegetal mediante extracción acuosa enzimática.
- Determinar las propiedades físico-químicas de los aceites obtenidos por método Soxhlet y extracción acuosa enzimática.
- Determinar el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases de los aceites obtenidos por método Soxhlet y extracción acuosa enzimática.

MARCO TEÓRICO

ENFERMEDADES DE LA CIVILIZACIÓN

El progreso de la actual sociedad encaminada a una globalización, un desequilibrio del medio ambiente, una preferencia de alimentos procesados y ultra-procesados en lugar de alimentos naturales y étnicos de la región, ha provocado un cambio drástico en el estilo de vida de las personas. Los problemas de salud como la obesidad y enfermedades crónicas han aumentado la morbilidad y mortalidad desde 1982 con el ingreso a la economía globalizada con el tratado de libre comercio de América del norte (TLCAN), al mismo tiempo disminuyendo paulatinamente la desnutrición y enfermedades infecciosas; este convenio modificó el patrón alimentario de los mexicanos con la introducción de nuevos productos, incrementando la conducta obesogénica en México (Torres y Rojas, 2018).

Actualmente, la alimentación y la cultura forman un vínculo a partir de la intervención de múltiples factores, tanto de forma individual como social, formando un patrimonio cultural; sin embargo, las nuevas generaciones están perdiendo esa cultura alimentaria, siendo más dependientes de alimentos preparados fuera de casa. Se han implementado algunas estrategias como el aumento de impuesto del 8% para alimentos con alto contenido calórico y 10% para bebidas azucaradas, arrojando resultados hipotéticos para el 2024 sobre la disminución de la tasa de obesidad en 2.5%, el cual podría prevenir 40,000 ataques cardíacos y derrames cerebrales, y 189,000 casos de diabetes para 2022 (Lein *et al.*, 2018). Por el contrario, existen otros estudios realizados en 2013 y 2014, concluyendo que dicha estrategia no disminuye el consumo de alimentos chatarras y que los mexicanos tienen un mal hábito alimentario tanto que están dispuestos a pagar el aumento de precio (García *et al.*, 2016).

El crecimiento poblacional ha determinado una serie de cambios como la diversidad de patrones alimentarios que desestabiliza la utilización biológica adecuada de los alimentos, la transculturación alimentaria ha provocado mayor consumo de calorías, grasas saturadas, ácidos grasos Omega 6, ácidos grasos trans y en menor medida la ingesta de ácidos grasos Omega 3, carbohidratos complejos y fibra (Arroyo, 2008) estos cambios dietarios son la base de la epidemia de enfermedades crónicas estrechamente relacionadas con la nutrición.

Dentro de los padecimientos más comunes se incluye: diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, cáncer, los cuales entre los años 2000 y 2015 aumentaron el número de

defunciones totales asociadas al sobrepeso y la obesidad, destacando el incremento en las tasas de mortalidad de la *diabetes mellitus* e hipertensión arterial, pasando en el primer caso de 45.1 a 82.6%, mientras que el segundo fue de 9.7 a 21.4% (Torres y Rojas, 2018).

Para el 2030 se predice que 2.16 billones de adultos a nivel mundial tendrán sobrepeso y 1.12 mil millones padecerán obesidad, con un gran impacto en la salud, calidad de vida, productividad y costos de atención médica, estas comorbilidades se presentan en Asia, América Latina, Medio oriente y África debido a diferencias en patrones de grasa, composición corporal y efectos cardiometabólico influyendo en la población urbana y rural (Popkin *et al.*, 2012).

Priorizar las fuentes de origen vegetal como alimentos básicos permitirá tener beneficios positivos, ya que actualmente hay una tendencia global hacia el consumo de productos orgánicos saludables y un auge en las investigaciones de los aceites no convencionales sobre el uso de compuestos bioactivos derivados de semillas como los compuestos fenólicos, obteniendo sustratos funcionales en productos comestibles que puede disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Cárdenas *et al.*, 2016) solo por mencionar alguno, existe evidencia científica de que el aporte de aceite de oliva en la dieta mediterránea tiene beneficios sobre las diversas patologías asociadas a inflamación crónica, síndrome metabólico, diabetes y cáncer (Dussaillant *et al.*, 2016).

Desde épocas antiguas, los aceites vegetales son consumidos con fines diversos, que van desde la cosmética hasta la alimentación. Desde la década de los sesenta, los aceites han cobrado una importante innovación en los productos alimentarios, puesto que los requerimientos empezaron a variar con la búsqueda de una nutrición saludable que complementara las necesidades energéticas de las personas, demostrando que las grasas de origen animal resultan ser más dañinas que las de origen vegetal, debido a la presencia de colesterol y ácidos grasos saturados en sus estructuras (Pons, 2015).

Los aceites vegetales en la actualidad son extensamente comercializados a nivel internacional. En la **tabla 1**, se muestra la tendencia mundial, observándose que los aceites de palma, colza, soya y girasol son los de mayor aportación en el mercado mundial (Pons, 2015).

Tabla 1. Principales aceites comestibles de mayor demanda

Producción	2006-07 (T)	2007-08 (T)	2008-09 (T)	2009-10 (T)	Nov. 2010-11 (T)	Dic. 2011-11 (T)
Aceite de coco	3.22	3.53	3.53	3.62	3.67	3.67
Aceite semilla de algodón	5.13	5.22	4.81	4.66	4.94	4.97
Aceite oliva	2.91	2.84	2.95	2.91	2.94	2.94
Aceite palma*	37.33	41.02	43.94	44.82	47.91	47.91
Aceite almendra de palma	4.43	4.86	5.15	5.30	5.63	5.63
Aceite maní	4.53	4.91	5.00	4.67	4.91	4.91
Aceite colza*	17.13	18.43	20.49	22.32	22.28	22.65
Aceite soya*	36.45	37.71	35.74	38.75	41.70	41.94
Aceite girasol*	10.70	10.03	12.00	11.61	11.08	11.27
Total	121.82	128.55	133.60	138.65	145.07	145.9

*Aceites comestibles con mayor comercio en nivel mundial.

T: toneladas

Fuente: Pons, 2015

GRASAS Y ACEITES

Los lípidos son el conjunto de diversos compuestos presente en animales y vegetales, son solubles en disolventes orgánicos como hexano, metanol, etanol, éter de petróleo, éter etílico, etc. Además, junto a las proteínas y carbohidratos son los componentes estructurales de las células vivas. Tienen propiedades fisicoquímicas particulares desde su composición, estructura cristalina, propiedades de fusión y su capacidad para asociarse con el agua y otros componentes no lipídicos cumpliendo funciones importantes en la nutrición (Bello, 2000).

Las grasas de los alimentos aportan mayor contenido energético (alrededor de 9 kcal/g), que las proteínas y carbohidratos. Este constituyente aporta aroma y textura a los alimentos resultando más suaves y cremosos al paladar. En cambio los productos bajos en grasa tienden a ser insípidos o con una textura dura. Al digerir productos con mayor contenido graso facilitan la masticación y suele enlentecer la digestión provocando mayor saciedad (Vázquez *et al.* 2005). El componente lipídico de la dieta proporciona ácidos grasos esenciales (linoléico y araquidónico) y vitaminas liposolubles (A, D, E y K) (Nawar, 2006).

La mayoría de los lípidos de la dieta se encuentra normalmente en los depósitos grasos de animales y plantas que se almacenan en sus tejidos. En los animales se encuentra en el tejido subcutáneo y en la cavidad abdominal; en las plantas forma parte del material de reserva y se

acumula preferentemente en frutos y semillas. Las fuentes alimenticias con mayor porcentaje de lípidos son los aceites vegetales, como: los de oliva, soya, girasol o cacahuate, sin mencionar algunos de origen animal como mantequilla y manteca de cerdo (Bello, 2000).

COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES

Los compuestos orgánicos en cuya estructura contienen algún ácido graso se consideran lípidos, tal como se muestra en la **figura 1**. Los más abundantes dentro de los alimentos suelen ser los triglicéridos siendo denominados como grasas y aceites, los cuales, dependiendo de la temperatura estarán en forma sólida o líquida, respectivamente (Bello, 2000). Los lípidos forman parte de los componentes estructurales de los alimentos y tienen variada composición química, que se pueden clasificar en tres clases principales: Triglicéridos, Ácidos grasos libres, Fosfoglicéridos (fosfolípidos). También, Badui (2006) menciona los esteroides como una variación más.

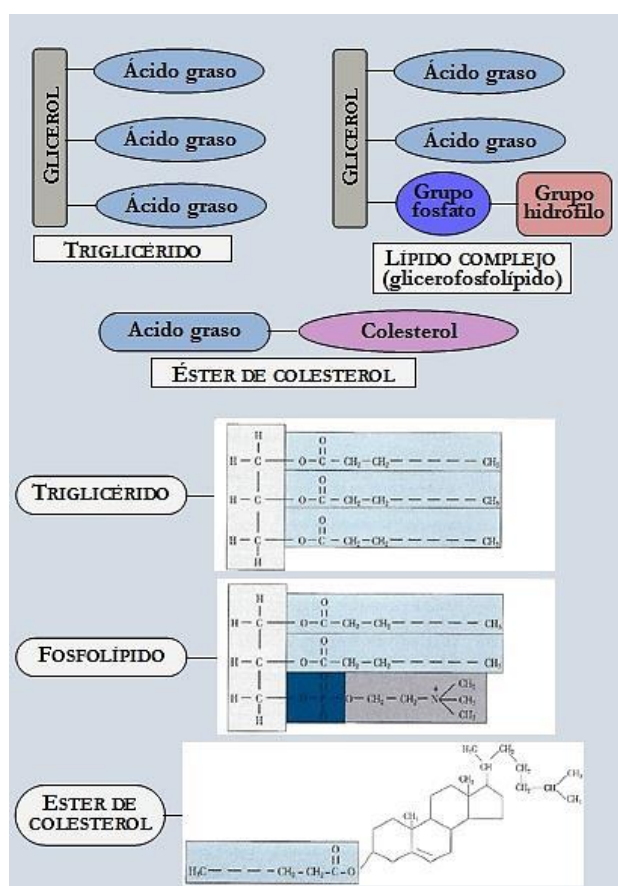


Figura 1. Estructura química de los diferentes tipos de compuestos lipídicos (Mataix, 2015).

Triglicéridos

Son los más abundantes en la naturaleza y forman parte de las grasas y aceites, son compuestos neutros que están formados por una molécula de glicerol con sus ácidos grasos esterificados como se muestra en la **figura 2**, la nomenclatura dependerá de sus ácidos grasos, cuando el glicerol contiene un solo tipo de ácido se le denomina triglicérido simple, los nombres de estos se añade el sufijo “ina” por ejemplo: la triestearina que contiene solo esteárico, la tripalmitina que contiene palmítico y la trioleína que contiene oleico. Cuando en su estructura posee dos o tres, se considera un triglicérido mixto en este caso se indica los ácidos que lo componen utilizando el sufijo “il” o “ato” por cada uno. Asimismo un triglicérido con esteárico, oleico y palmítico como se muestra en la **figura 3** en la posición 1, 2 y 3 respectivamente será un *sn*-glicerol-1-estearato-2-oleato-3-palmitato (Badui, 2006).

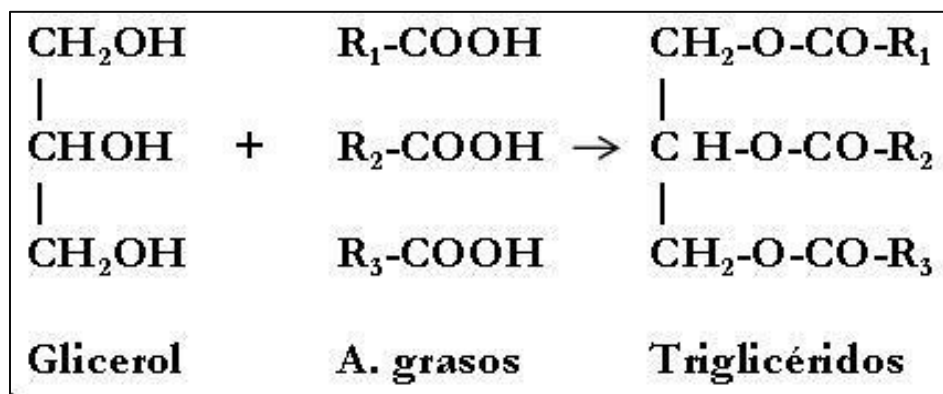


Figura 2. Estructura química de un triglicérido (Cervera *et al*, 2004).

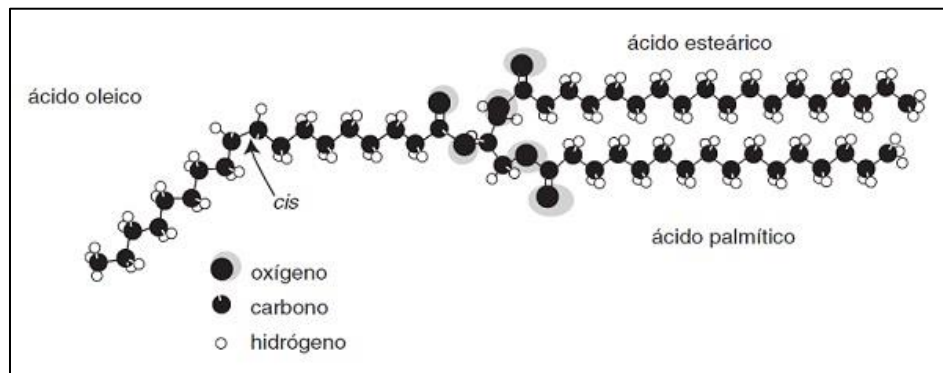


Figura 3. Estructura de un triglicérido mixto (esteárico, oleico y palmítico) (Badui, 2006).

Las características de las grasas y aceites dependerá absolutamente de la estructura estereoquímica de los triglicéridos, enfatizando cuatro factores relacionados con los ácidos grasos como son: su localización en los triglicéridos, el grado de insaturación, el tamaño de la cadena y la presencia de isómeros (Badui, 2006).

Ácidos grasos

Estos componentes dan forma y propiedad a los triglicéridos; su estructura se basa en una cadena alifática con número de par de átomos de carbono entre 4 y 22. El radical $-\text{COOH}$ le otorgará la característica química de ácido orgánico débil permitiendo unirse a otros grupos como los hidroxilos ($-\text{OH}$) del glicerol (Cervera *et al.*, 2004).

Dependiendo de la longitud de su cadena los ácidos grasos pueden ser:

- ácidos grasos de cadena corta: 4 a 6 átomos de carbono
- ácidos grasos de cadena media: 8 a 10 átomos de carbono
- ácidos grasos de cadena larga: 12 a más átomos de carbono (Cervera *et al.*, 2004).

Los ácidos grasos pueden ser saturados, con un doble enlace (monoinsaturado) o más dobles enlaces (poliinsaturados). En la **figura 4** se observa la estructura química de ambas clases de ácidos grasos, la posición de los hidrógenos en los insaturados de los enlaces simples suelen ser *trans*, por otra parte los dobles enlaces adoptan enlaces tipo *cis*.

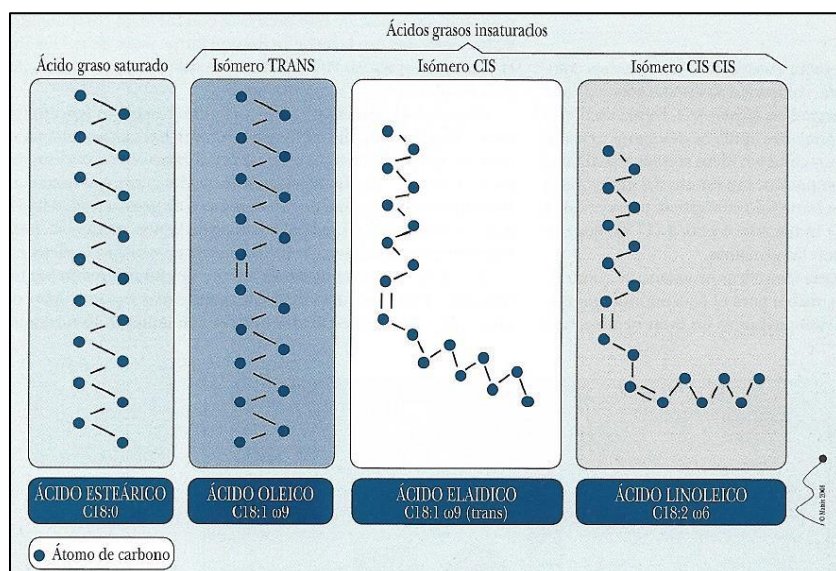


Figura 4. Estructura química de ácidos grasos saturados e insaturados (Mataix, 2015).

Estos ácidos grasos están unidos a fuentes importantes de compuestos bioactivos como los fitoesteroles, fitoestrogenos, flavonoles, caroteno, tocoferoles que son promotores de la salud, la industria farmacológica tiene interés en los aceites vegetales por su alto contenido de fitoquímicos, ya que pueden obtener fármacos que pueden ser efectivos para el tratamiento de diversas enfermedades (Drago *et al*, 2006). Dentro de las propiedades biológicas que puede aportar estos aceites vegetales son antiinflamatorios, antioxidantes y anticancerígenos, también tiene efecto biocida en contra de diferentes microorganismos como bacterias, hongos, virus (García *et al*, 2010).

Ácidos grasos saturados

Los átomos de carbono se encuentran unidos por enlaces sencillos; no tienen dobles enlaces, estas moléculas varían dependiendo el número de átomos que posee, también de ello dependerá el punto de fusión. Por lo tanto los de carbón 4 al 8 son líquidos a 25°C, en cambio los de carbón 10 en adelante son sólidos. En la **tabla 2**, se menciona la nomenclatura de los ácidos grasos saturados (Badui, 2006).

Tabla 2. Nomenclatura de los ácidos grasos saturados

Nombre trivial	Nombre científico	Fórmula	Punto de fusión (°C)
Butírico	Butanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	-5.9
Caproico	Hexanoico	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	-3.4
Caprílico	Octanoico	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	16.7
Cáprico	Decanoico	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	31.6
Láurico*	Dodecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	44.2
Mirístico*	Tetradecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	54.4
Palmítico*	Hexadecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	63.0
Estearico*	Octadecanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69.4
Araquídico	Eicosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	76.0
Behenico	Docosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	79.9
Lignocérico	Tetracosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ COOH	84.2
Cerótico	Hexacosanoico	CH ₃ (CH ₂) ₂₄ COOH	87.7

*Ácidos grasos saturados más comunes en alimentos.

Fuente: Badui, 2006

Uno de los más comunes son el ácido láurico que está presente en la palma y el ácido palmítico siendo una estructura lineal como se muestra la **figura 5**, presente en el cacao y manteca de cerdo y el ácido estearico presente en el cacao y aceites hidrogenados, una de las ventajas que presentan los ácidos grasos saturados es su estabilidad ante la oxidación a diferencia de los

insaturados. Sin embargo, a temperaturas muy altas como en los freídos y en presencia de oxígeno sufren reacciones oxidativas (Badui, 2006).

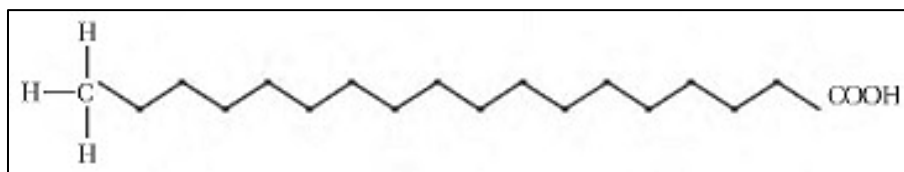


Figura 5. Estructura del ácido palmítico (Cervera *et al*, 2004).

Ácidos grasos insaturados

Están presentes en los aceites vegetales y marinos; la temperatura de fusión disminuye con el aumento de los dobles enlaces siendo menor que los saturados, estos tienen gran reactividad química debido a que son propensos a la saturación y a reacciones oxidativas e isomerización (Badui, 2006); cuando el ácido graso insaturado contiene un solo doble enlace se denomina monoinsaturado; si contiene dos o más dobles enlaces, poliinsaturados (Cervera *et al*, 2004). En la **tabla 3**, se mencionan los diferentes tipos de ácidos grasos insaturados así como su punto de fusión mencionados anteriormente como característica de sus dobles enlaces.

Tabla 3. Nomenclatura de los ácidos grasos insaturados

Nombre trivial	Nombre científico	formula	Punto de fusión (°C)
Palmitoleico	Hexadeca-9-enoico	$C_{15}H_{29}COOH$	-0.5
Oleico*	Octadeca-9-enoico	$C_{17}H_{33}COOH$	13
Linoleico*	Octadeca-9:12-dienoico	$C_{17}H_{31}COOH$	-5.0
Linolénico*	Octadeca-9:12:15-trienoico	$C_{17}H_{29}COOH$	-11.0
Araquidónico	Eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	$C_{19}H_{31}COOH$	-49.5
Vaccénico	Trans-octadeca-11-enoico	$C_{17}H_{33}COOH$	40.0
Gadoleico	Eicosa-11-enoico	$C_{19}H_{37}COOH$	23.5
Érucico	Docosa-13-enoico	$C_{21}H_{39}COOH$	38.0

*Ácidos grasos insaturados más comunes en alimentos.

Fuente: Badui, 2006

Ácidos grasos monoinsaturados

La mayoría presenta la doble ligadura en los carbonos 9 y 10, como sucede en el ácido oleico, como se observa en la **figura 6**, característico del aceite de oliva, este ácido graso está distribuido entre los lípidos de origen animal y vegetal (Bello, 2000)

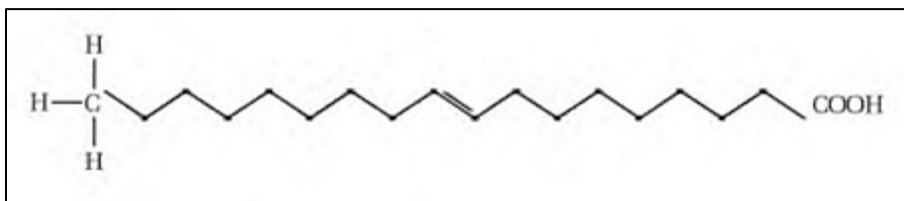


Figura 6. Estructura del ácido oleico (Cervera *et al*, 2004).

Ácidos grasos poliinsaturados

Se caracterizan por tener dos o más dobles enlaces en sus ácidos grasos separados por un grupo metileno, como es el caso del ácido linoléico como se observa en la **figura 7**. Se puede encontrar en algunas grasas de origen vegetal y abundante en los aceites de pescado (Bello, 2000).

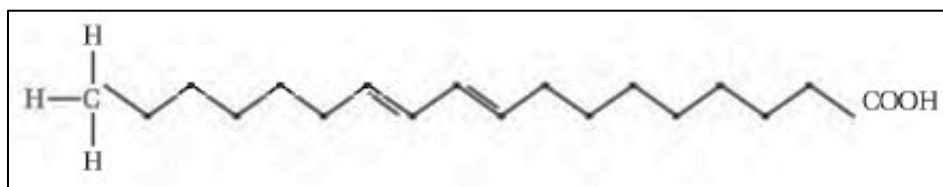


Figura 7. Estructura química del ácido linoléico (Cervera *et al*, 2004).

Dentro de estos componentes como el ácido linoleico (omega 6) presente en los aceites comestibles como algodón, girasol, maíz, soya y el ácido alfa-linolénico (omega 3) presente en los aceites de algodón, nuez y soya son considerados esenciales en la alimentación humana, debido a que el organismo no puede sintetizarlo. El ácido gamma-linolénico contenido en los lípidos de hojas verdes y fitoplacton, el ácido araquidónico presente en el aceite de cacahuate y sintetizado por el organismo por elongación del linoléico (Bello, 2000), se pueden considerar como vírgenes visto que se pueden obtener sin modificar su naturaleza, por procesos mecánicos como la extrusión y prensado, y aplicación únicamente de calor (OMS, 2015).

Estereoisomería CIS o TRANS

La mayoría de los ácidos grasos insaturados se encuentran en la naturaleza en forma *cis*, por factores físicos como el calor principalmente, se produce una transformación pasando el ácido graso a *trans*, siendo la cadena más lineal. En la **figura 8** se muestra la estructura del ácido oleico y su estereoisómero *trans* (Cervera *et al*, 2004).

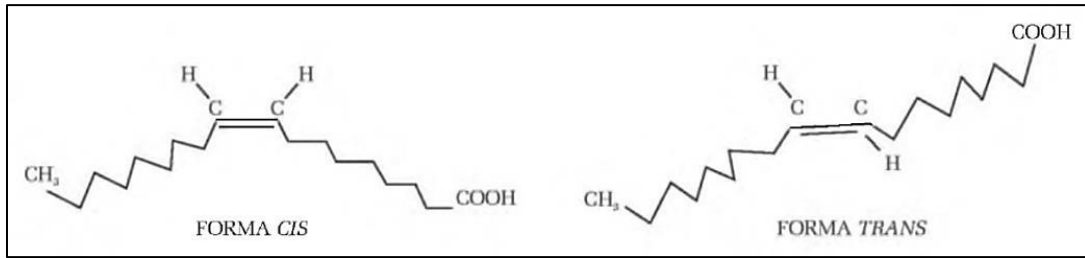


Figura 8. Estructura isomérica cis y trans del ácido oleico (Cervera *et al*, 2004).

Fosfolípidos

Es un diacilglicérido esterificado a una molécula de ácido fosfórico con un enlace a una base nitrogenada ya sea colina, serina o un alcohol como el inositol como se observa en la **figura 9**. Estos son fundamentales debido a que intervienen en reacciones metabólicas, forman parte integral de la membrana celular (Badui, 2006), proporcionan estabilidad en los aceites vegetales durante el freído, también actúan en sinergia con los antioxidantes. A pesar de que tiene funciones biológicas esenciales, se encuentran en proporciones pequeñas en los alimentos de origen animal (yema de huevo) y vegetal (soya) (Bello, 2000).

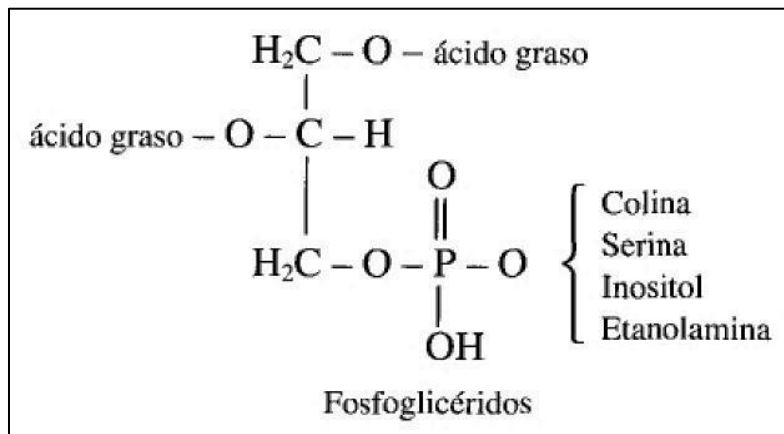


Figura 9. Estructura química del fosfolípido (Bello, 2000).

Esteroles

Se caracterizan por ser sustancias esteroideas, en su estructura química se agrupan cuatro anillos, específicos del sistema fenantreno (grupo perhidrociclopentanofenantreno), con un grupo OH en el carbón 3 permitiendo enlazarse a moléculas de ácidos grasos, es de origen vegetal como animal. Existen dos tipos de esteroles, los primeros se llaman fitoesteroles muy presentes en

los vegetales y el colesterol el más abundante de todos los esteroides que se encuentra en el tejido animal (Bello, 2000).

Dentro de los fitoesteroides destaca el β -sitosterol (80% de todos los esteroides vegetales), estigmasterol (15%), campesterol, resveratrol entre otros. Son estables a altas temperaturas, inodoros e insaboros; algunos actúan como antioxidantes de los aceites, estos funcionan de la misma manera que el colesterol en el tejido animal (Baduì, 2006).

En las grasas de origen animal predomina el colesterol, este no se encuentra presente en las grasas vegetales, participa en funciones fisiológicas importantes como formar parte de la estructura de la membrana plasmática celular a tal punto que es necesario para mantener su integridad, la obtención de esta molécula suele ser a partir de la biosíntesis hepática o de los alimentos (se encuentran de forma libre o esterificadas con ácidos grasos sea saturados o insaturados) (Bello, 2000). Además, intervienen en la síntesis de varias hormonas, así como la vitamina D y sales biliares. En la **figura 10** se muestra las distintas moléculas que el colesterol puede sintetizar en el organismo (Baduì, 2006).

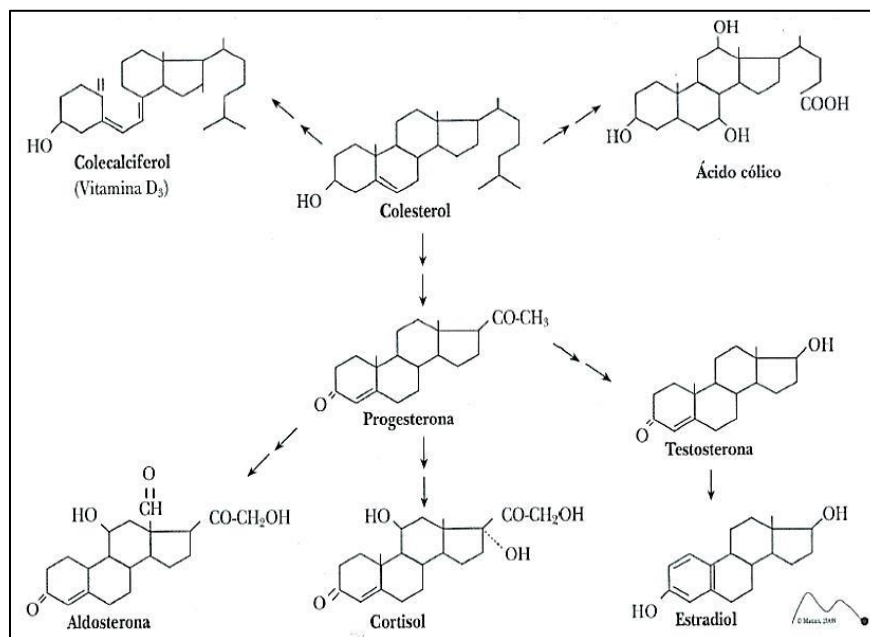


Figura 10. Biosíntesis de hormonas del colesterol (Mataix, 2015).

ACEITES EN LA NUTRICIÓN

Los aceites comestibles son sustancias líquidas de origen vegetal, los cuales se obtienen a partir de semillas y frutos oleaginosos, mediante procesos mecánicos o extracción por disolventes, estos no contienen colesterol como se ha mencionado anteriormente, sus componentes se basan en ácidos grasos insaturados (Cervera *et al*, 2004).

El efecto de diversos aceites hacia la salud depende de los componentes bioquímicos que presenta el aceite sustraído ya que podría haber variación en los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados; aportando diferentes beneficios nutricionales (Durán *et al*, 2015). Una alta ingesta de ácidos grasos saturados, principalmente láurico, mirístico y palmítico promueven el aumento del colesterol sanguíneo, mediante la síntesis de lipoproteínas de baja densidad o colesterol LDL (*low density lipoproteins*). En cambio, si el consumo se basa en ácidos grasos insaturados como son el oleico, linoléico o linolénico, promoverán la producción de lipoproteínas de alta densidad o colesterol HDL (*high density lipoproteins*) (Badui, 2006).

El aceite extraído de los alimentos de origen vegetal contiene grandes cantidades de sustancias biológicamente activas, uno de ellos y con beneficios positivos es el aceite de oliva virgen (Durán *et al*, 2015) atribuidos a la presencia de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y otros compuestos que tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antiproliferativas, además de efectos cardioprotectores (Sánchez, 2018). Hoy en día las necesidades básicas alimentarias no están del todo cubiertas, la comercialización de productos como los aceites comestibles de bajo costo y alimentos con calorías vacías han provocado en la población a consumir estos alimentos que son de baja calidad y obesogénicos, si los precios bajan en estos productos en relación con legumbres, frutas y otras verduras, las primeras seguirán teniendo mayor demanda y lo segundo se volvería menos atractivo (Popkin *et al*, 2012).

Los diferentes tipos de aceites vegetales que se expone en la **tabla 4**, tienen distintas propiedades saludables, la mayoría de los aceites son susceptibles a temperaturas altas en cocción a largo plazo generando cambios fisicoquímicos que repercuten la salud.

Los efectos de algunos aceites como el de oliva tiene múltiples beneficios debido al alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y vitamina E (Carretto *et al*, 2002), así como los fenoles encontrados que tienen actividad antioxidante (Tuck y Hayball, 2002), antiinflamatoria, antiaterosclerótica, hipocolesterolemiantes y quimioprotectora (Parkinson y Cicerale, 2016). Otro con potencial beneficio es el aceite de canola y palma con efectos casi similares que

tienen beneficios positivos en el control de la diabetes y perfil lipídico. Por otra parte, el aceite de girasol con resultados positivos en hígado graso y triglicéridos, no se recomienda en personas diabéticas ya que se asocia con el aumento de insulina y niveles de glucosa en ayunas, así como efectos negativos en la reducción del colesterol; y por último, el aceite de maíz tiene un efecto hipocolesterolemiante pero resulta ser la única con efecto cancerígeno, de igual forma el aceite de soya tiene efectos negativos en el perfil lipídico (Durán *et al.*, 2015).

Tabla 4. Efectos fisiológicos en el consumo de aceite para la salud

Aceites	Soya	Girasol	Palma	Maíz	Oliva	Canola
Lípidos en plasma	-	No	+	No	+	+
Disminución frecuencia cardiaca	+	No	No	No	+	No
Disminución triglicéridos	No	+	+	No	+	+
Disminución grasa hepática	No	+	No	No	No	No
Disminución de peso	No	-	No	No	+	No
Mejora condición de diabetes	No	-	No	No	No	+
Reducción de colesterol	No	-	+	+	+	+
Anticancerígeno	No	No	No	-	+	No

(-) perjudicial; (+) efecto adecuado; (No) No observado.

fuelle: Durán *et al.*, 2015

La PROFECO en 2010 evaluó la composición de varios aceites entre ellos el cártamo alto monoinsaturado, Oliva, Canola, Maíz, Girasol, Soya y Cártamo alto poliinsaturado **figura 11**. Encontrando al aceite de cártamo alto monoinsaturado con el 75.8% de AGMI (ácido oleico) como se demuestra en la **figura 12**, siendo una variación genética natural del cártamo, seguido del aceite de oliva con el 70% y aceite de canola con el 62%. También se encontró el aceite de cártamo alto poliinsaturados con el 69% de AGPI como se muestra en la **figura 13** y como segundo el aceite de girasol y el de soya, ambas representando el 60%.

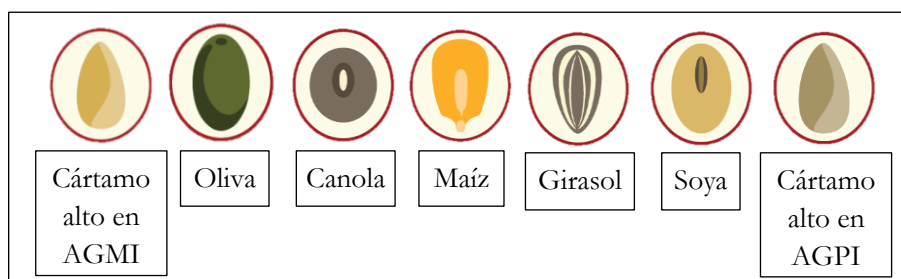


Figura 11. Aceites evaluados (PROFECO, 2010).

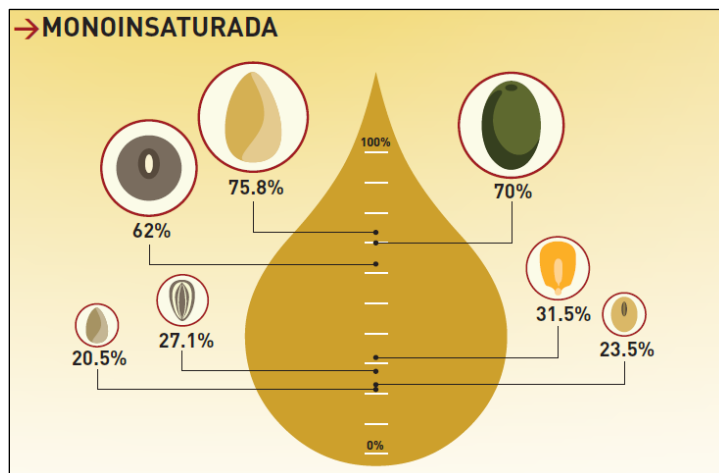


Figura 12. Porcentaje de ácido graso monoinsaturado en los aceites (PROFECO, 2010).

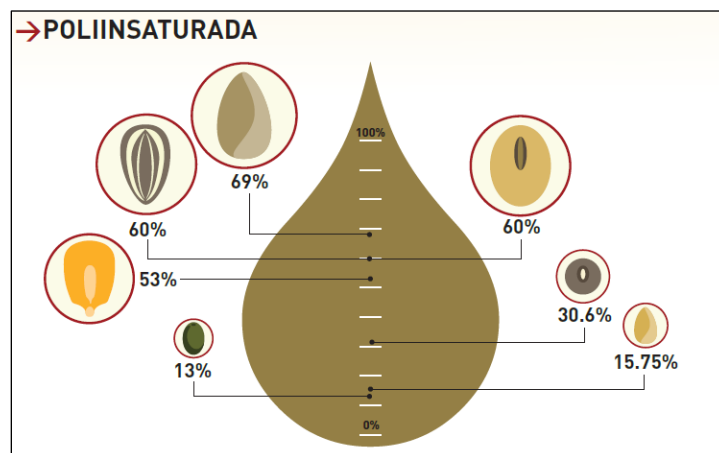


Figura 13. Porcentaje de ácido graso poliinsaturado en los aceites evaluados (PROFECO, 2010).

A través de las grasas deben aportarse los ácidos grasos esenciales mencionados anteriormente, y absorber las vitaminas liposolubles, entre otros. En la **tabla 5**, se menciona las propiedades funcionales de los lípidos en los alimentos.

Tabla 5. Propiedades atribuidas por los lípidos en los alimentos

<p>Calidad:</p> <ul style="list-style-type: none">Textura, dan consistencia y estructura a muchos productosLubricación y saciedad al consumirlosColor, debido a los carotenoidesSabor, gracias a las cetonas, aldehídos y derivados carbonilos <p>Nutrición:</p> <ul style="list-style-type: none">Fuente de energía importante por la β-oxidaciónVehículo de vitaminas liposolublesSon ácidos grasos indispensables, linoleico y linolénicoPromueven la síntesis de miscelas y de bilisFacilitan la absorción de las vitaminas liposolubles <p>Biológico:</p> <ul style="list-style-type: none">Fuente de vitaminas A, D, E y KEl colesterol es precursor de la vitamina D₃ de corticoesteroides y ácidos biliaresEl ácido linoleico es componente de las acilglucoceramidas de la pielEl inositol favorece la transmisión de señalesEl ácido araquidónico es precursor de eicosanoides y lipoximasEl ácido docosahexaenoico forma parte de las membranas celularesLos ácidos poliinsaturados son moduladores en la síntesis de eicosanoidesLos fosfolípidos acetílicos ayudan a la agregación de las plaquetas
--

Fuente: Badui, 2006

Los lípidos con mayor importancia y que destacan en la nutrición y farmacología son los isoprenoides y ácidos grasos esenciales.

Los isoprenoides se clasifican en 3 grupos: terpenos, esteroides e isoprenoides mixtos.

- Terpenos: moléculas lineales formadas por polímeros de isopreno, con propiedades antioxidantes que protegen a lípidos y células dañadas por radicales libres de oxígeno como superóxido y grupos hidroxilo reactivos, el escualeno y carotenoides son los más conocidos están distribuidos en vegetales verdes, cereales y leguminosas, aceite de amaranto, oliva, trigo, maíz y arroz.
- Esteroides: los más importantes son los fitoesteroles y los fitoestanoles tienen una estructura similar a la del colesterol de origen animal, estos se encuentran en aceite de maíz, germen de trigo, nueces, cereales y frijoles, estos inhiben la absorción de colesterol, por ello se asocia su consumo con la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares; también poseen propiedades inmunomoduladoras
- Isoprenoides mixtos: contiene una cadena lateral formada por unidades de isopreno unida a un anillo cromal no terpenoide denominado fitil, a este grupo pertenecen los tocoferoles alfa, beta, gamma y delta y los tocotrienoles. El alfa tocoferol es el que

presenta mayor actividad a diferencia de los tocotrienoles, los tocoferoles están más presentes en la naturaleza y son abundantes en aceite de maíz, soya y oliva. Los tocotrienoles están presentes abundantemente en el aceite extraído de la fruta de la palma, germen de trigo y avena. La ingesta de tocotrienoles se asocia con la disminución del riesgo de contraer cáncer de mama y enfermedades cardiovasculares, así como mejora de la salud cutánea y retraso del envejecimiento de la piel (Drago *et al.*, 2006).

Los ácidos grasos esenciales poliinsaturados como es el omega 3 y omega 6 deben provenir de fuentes exógenas, aunque los aceites de pescado poseen un alto contenido de omega 3, también existen fuentes de origen vegetal ricas en estos ácidos grasos como los aceites de lino, cártamo y nuez. La capacidad del omega 3 de modificar la síntesis de prostaglandinas y lípidos ha promovido efectos beneficiosos sobre el sistema circulatorio para la prevención de enfermedades cardiovasculares; otro de las propiedades que se le atribuye es la actividad citotóxica sobre células tumorales y reducción del colesterol (Drago *et al.*, 2006).

FACTORES QUE DETERIORAN LAS GRASAS Y ACEITES

Los aceites tienden a tener cambios químicos como la rancidez que aparte de disminuir su valor nutritivo, producen olores y sabores desagradables, estos cambios se dividen en dos procesos: la lipólisis o rancidez hidrolítica y la autooxidación o rancidez oxidativa (Badui, 2006). En consecuencia, la oxidación lipídica puede ser responsable de deterioros en su valor nutritivo, estabilidad de calidad sensorial, aceptabilidad y seguridad (Bello, 2000).

Lipólisis o rancidez hidrolítica

Catalizada por lipasas y factores como altas temperaturas con presencia de agua, como sucede en el freído, hidrolizando enlaces éster de triglicéridos y fosfolípidos, liberando ácidos grasos. De manera natural estas enzimas se encuentran en las semillas, cuya función precede en aprovechar los lípidos para suministrar nutrimentos y fortalecer la germinación. Aun siendo muy baja la actividad del agua puede ocasionar tales efectos sobre todo en los aceites crudos o refinados debido a que los triglicéridos tienen una gran movilidad y contacto con las lipasas. También es común que ciertos hongos y levaduras presentes en los alimentos puedan ocasionar problemas debido a su sistema enzimático lipolítico (Badui, 2006)

Autoxidación o rancidez oxidativa

Es el deterioro más común de las grasas y aceites, se refiere a la oxidación de los ácidos grasos insaturados, aunque también se presenta en otros compuestos como la vitamina A y carotenoides generando compuestos que mantienen y aceleran la reacción, sintetizando sustancias de bajo peso molecular resultando un olor peculiar de grasa oxidada (Badui, 2006). Este proceso dependerá de factores que promuevan o inhiban la oxidación, a continuación se muestra en la **tabla 6**, los factores que intervienen.

Tabla 6. Factores que influyen en el cambio fisicoquímico de los lipidos

Promotores	Inhibidores
Temperaturas altas	Refrigeración
Metales, Cu, Fe, etc.	Secuestradores
Peróxidos de grasas oxidadas	Antioxidantes
Lipoxidasa	Escaldado
Presión de oxígeno	Gas inerte o vacío
Luz UV, azul	Empaque opaco
Poliinsaturación	Hidrogenación de ácidos insaturados

Fuente: Badui, 2006

Los procesos de extracción de aceite con disolventes tiene importantes desventajas, aparte de que requiere largos periodos de tiempo, los aceites por ser ricos en ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y vitaminas liposolubles son más propensos a la degradación debido a la inestabilidad del ácido y al contacto con altas temperaturas usadas en este proceso provocando productos potencialmente tóxicos para la célula como peróxidos, cetonas, aldehídos y alcoholes provocando la oxidación del aceite y degradación de los ácidos grasos, involucrando pérdidas nutricionales, sabores indeseables y rancidez inaceptable (Peredo *et al.*, 2012), por lo tanto, controlar los tiempos y temperaturas de trabajo para la extracción de aceite es crucial, por ello métodos como la extracción acuosa enzimática tiene un punto a favor ya que utiliza temperaturas bajas y solvente acuoso (agua) amigable con el medio ambiente.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos bioactivos son sustancias presentes en los alimentos que influyen en la actividad celular, la mayoría de los fitoquímicos se encuentran agrupados en los alimentos vegetales (Martínez y Carbajal, 2018), estos componentes poseen un efecto antioxidante, la cual se define como una sustancia que puede prevenir los efectos adversos de los radicales libres sobre las funciones del organismo humano (Coronado *et al.*, 2015), estos inhiben o retardan la

oxidación de sustratos susceptibles a especies reactivas de oxígeno (ERO) ya que donan sus hidrógenos a estas evitando daños a la célula.

La defensa antioxidante puede ser endógena o exógena, esta protección es conseguida primeramente por las enzimas endógenas participantes: superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa; sin embargo, en condiciones patológicas y de actividad física intensa resulta insuficiente por lo que se requiere de un sistema antioxidante exógeno para realizar la acción de donante de electrones (Reyes *et al.*, 2011); este sistema no enzimático está comprendido por la vitamina E, vitamina C, betacarotenos, ferritina, ceruloplasmina, selenio, glutatión reducido (GSH), manganeso, ubiquinona, zinc, ácido úrico y flavonoides (Valls, 2009). Con respecto a los mecanismos de acción de los antioxidantes como se muestra en la **tabla 7**, tienen como principales funciones la modulación, modificación, estimulación y protección de las células, cada proceso puede llevar a la estabilidad del organismo.

Tabla 7. Mecanismos de acción con efecto protector de los antioxidantes

Modulación de la expresión genética
Destoxificación de cancerígenos (activación de sistemas enzimáticos de fase I y II)
Inducción de muerte celular (apoptosis/supresión de mitosis)
Protección del ADN
Modificación de la comunicación celular
Modificación del perfil hormonal
Modulación del perfil lipídico
Estimulación del sistema inmunitario
Efecto antiinflamatorio
Efecto hipocolesterolemizante
Efecto sobre la hemostasia
Efecto hipotensor
Efecto antimicrobiano

Fuente: Martínez y Carbajal, 2018

Otras de las funciones relacionadas con los componentes bioactivos es el efecto antitrombotico asociado a la prevalencia menor de enfermedades cardiovasculares. En estudios realizados con antocianinas se comprobó que tienen la capacidad de inhibir la función plaquetaria; por otra parte, los polifenoles tiene la capacidad de inhibir enzimas que intervienen en la síntesis de eicosanoides, como el tromboxano A, ciclooxigenasa y la lipooxigenasa, y las procianidinas (componente del cacao) estimulan la formación de prostaciclina (PGI₂) un

inhibidor de la agregación plaquetaria favoreciendo un flujo sanguíneo adecuado (Quiñones *et al.*, 2012). También los ácidos grasos omega 3 principalmente el ácido graso eicosapentaenoico (EPA) reduce el contenido de ácido araquidónico en los fosfolípidos de la membrana de las plaquetas y de las células endoteliales, al disminuir el contenido de este ácido se reduce la concentración de sustrato para la síntesis de eicosanoides favoreciendo una menor síntesis de tromboxano A (López y Macaya, 2006).

Los principales fitoquímicos que pueden potenciar la respuesta inmune y antiinflamatoria en procesos crónicos se presentan en la **tabla 8**; estos intervienen en la reducción de citoquinas proinflamatorias (Guillamon, 2018).

Tabla 8. Fitoquímicos con propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias

Grupo químico	compuesto	mecanismo
Alcaloide	Berberina	Reducción de citoquinas proinflamatorias (IL-2,IL-4, TNF- α)
	Piperina	Reducción de citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α)
Ácidos fenólicos	Curcumina	Inhibe la expresión de TNF- α ,IL-1 β , IL-6, NF-kB
	Resveratrol	Reducción en la producción de TNF- α , IL-1 β e IL-6
	Ácido Gálico	Regulación de NF-kB y reducción de TNF- α e IL-6
	6-gingerol	Reducción de PGE-2, TNF- α , IL-1 β
Flavonoides	Quercetina	Inhibe la producción de TNF- α , la expresión de iNOS y la producción de NO
	Rutina	Inhibe la producción de TNF- α e IL-6 y reduce la expresión de iNOS y COX-2
Carotenoides	B-caroteno	Regulación de NF-kB e iNOS
	Licopeno	Regulación de NF-kB y reducción de TNF- α e IL-10
Terpenoides	Timol	Inhibe la producción de TNF- α e IL-6 y reduce la expresión de iNOS y COX-2
	limoneno	Inhibe la señalización de NF-kB
Organosulfurados	Sulfuro de dialilo, disulfuro de dialilo, alicina, dipropil disulfuro, dipropil tiosulfonato	Inhibición de la producción de NO, reducción de la expresión de iNOS Inhibición de la producción de TNF- α , IL-1 β , IL-6, IL-10 Inhibición de la activación de NF-kB
IL-1 β : Interleucina-1 β ; IL-2: Interleucina-2; IL-4: Interleucina-4; IL-6: Interleucina-6; IL-10: Interleucina-10; TNF- α : Factor Necrótico Tumoral alfa; NF-kB: Factor Nuclear kB; PGE-2: Prostaglandina-E2; iNOS: Óxido Nítrico sintasa; NO: Óxido Nítrico; COX-2: Ciclooxigenasa-2.		

Fuente: Guillamon, 2018

COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ACEITES VEGETALES

Los aceites vegetales además de ácidos grasos insaturados, son una fuente importante de compuestos bioactivos, como fitoesteroles, fitoestrogenos, flavonoles, caroteno, tocoferoles, etc. que promueven la salud, debido a sus propiedades preventivas de enfermedades (Durán *et al.*, 2015). Los principales componentes bioactivos del aceite se encuentran dentro de la siguiente clasificación (Martínez y Carbajal, 2018):

Terpenoides (carotenoides y fitoesteroles)

Se clasifica en tres grupos que son iridoides, saponinas y carotenoides los cuales tienen propiedades curativas como amebicida, antiinflamatoria, antimicrobiana, anticancerígena, hipocolesterolemiante, antioxidante, prevención de degeneración macular y prevención de enfermedades cardiovasculares, los cuales se pueden encontrar en los alimentos de color verde, productos derivados de la soya y en los cereales (López *et al.*, 2012). Las saponinas se encuentran distribuidas en todo el reino vegetal principalmente en las legumbres, tiene efectos protectores contra el cáncer de estómago e intestinos, por otra parte los carotenoides se encuentran en el reino vegetal en forma de pigmentos rojos, naranjas y amarillos, siendo el más conocido el B-caroteno, encontrándose en todas las frutas y verduras de hojas verdes, además este grupo es precursor de la vitamina A y actúan protegiendo las membranas celulares de la acción de los radicales libre (Mendoza, 2004).

Compuestos fenólicos (flavonoides como los fitoestrogenos o la quercitina)

Dentro de los alimentos, el aceite de oliva virgen, frutos secos, avena, soya, aceitunas y cítricos tienen presencia de alcoholes y ácidos fenólicos simples (tirosol, ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos [elágico, gálico, vanilínico, capsaicina, cumárico, cafeico, ferúlico, clorgénico, etc]). Estos compuestos son metabolitos secundarios de plantas que poseen en su estructura un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo.

Existen más de 8,000 compuestos identificados y la mayoría tiene una estructura de 3 anillos, dos aromáticos (anillo A y B) y uno heterociclo oxigenado (anillo C). Los más sencillos poseen solo un anillo aromático y conforme aumenta el número se va incrementando la complejidad de la estructura según se muestra en la **figura 14** (Mercado *et al.*, 2013).


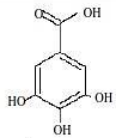
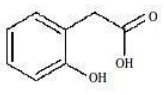
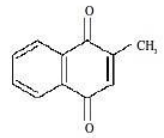
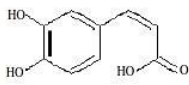
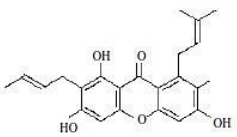
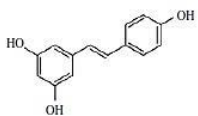
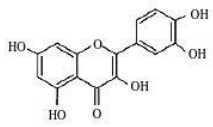
Clase	Estructura	Ejemplo	Clase	Estructura	Ejemplo
Fenoles simples	C_6	 Catecol	Ácidos hidroxibenzoicos	C_6-C_1	 Ácido gálico
Ácidos fenilacéticos	C_6-C_2	 Ácido 2-hidroxi-fenilacético	Naftoquinonas	C_6-C_4	 Menadiona
Ácidos hidroxicinámicos	C_6-C_3	 Ácido caféico	Xantomas	$C_6-C_1-C_6$	 Mangostina
Estilbenos	$C_6-C_2-C_6$	 Resveratrol	Flavonoides	$(C_6-C_3-C_6)$	 Quercetina

Figura 14. Clasificación de compuestos fenólicos (Mercado *et al.*, 2013).

Los compuestos polifenólicos principalmente los flavonoides, estilbenos, curcuminoides, lignanos (fuente de fitoestrogenos en occidente) se encuentran en verduras de hojas verdes, frutas de color morado así como en frutos secos y algunas legumbres, cereales integrales, entre otros. (Martínez y Carbajal, 2018). Los polifenoles están relacionados con el control de la diabetes, debido a los procesos biológicos que produce como la estimulación de la secreción de insulina de las células B, activación de los receptores de insulina (Reyes *et al.*, 2011).

Un compuesto fenólico o polifenol con sus respectivos anillos aromaticos con uno o más grupos hidroxilos, incluyéndose derivados funcionales como esteres, metil esteres y glucósidos, se puede clasificar en uno de los principales grupos de polifenoles en función del número de átomos de carbono según la **tabla 9**.

Tabla 9. Clasificación de compuestos fenólicos en plantas.

Núm. De átomos de carbono	Esqueleto básico	Clase
6	C6	Fenoles simples, Benzoquinonas
7	C6-C1	Ácidos fenólicos
8	C6-C2	Acetofenonas, Ácidos fenilacéticos
9	C6-C3	Ácidos hidroxicinámicos, Fenilpropanos, Cumarinas, Isocumarinas, Cromonas
10	C6-C4	Naftoquinonas
13	C6-C1-C6	Xantonas
14	C6-C2-C6	Estilbenos, Antroquinonas
15	C6-C3-C6	Flavonoides, Isoflavonoides
18	(C6-C3) ₂	Lignanós, Neolignanós
30	(C6-C3-C6) ₂	Biflavonoides
N	(C6-C3) _n	Ligninas
	(C6) _n	Catecol melaninas
	(C6-C3-C6) _n	Taninos condensados

Fuente: Ramírez *et al.*, 2013

Compuestos azufrados

Los componentes identificados en este grupo son sulfóxido de S-alil-cisteína y S-alilmercaptocisteína (compuestos órgano sulfurados hidrosolubles); sulfuro de dialilo, disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, alicina, isotiocianatos (compuestos órgano sulfurados liposolubles), son compuestos inestables y volátiles con potente actividad antioxidante, inhiben el daño ocasionado por reacciones oxidativas generadas por la vejez o enfermedades, reducen los niveles sanguíneos de LDL, posee efecto antiinflamatorio, antiatrogenico y antitrombotico que se relaciona con la capacidad de inhibir la síntesis de prostanoideos (Drago *et al.*, 2006).

USOS DE LOS ACEITES VEGETALES

La mayoría de los aceites vegetales empleados en la cocina son de oliva, canola, girasol, maíz y soya; algunos productos se utilizan para aderezar, aliñar, guisar, cocinar y hornear. Si se utiliza el método de freír, se debe considerar el contenido de grasas poliinsaturadas y monoinsaturadas ya que son inestables a altas temperaturas (Espinoza y Contreras, 2010) y más sensibles a la oxidación por la presencia de oxígeno lo cual puede producir fácilmente rancidez hidrolítica u oxidativa, generando un sabor y olor desagradable (Durán *et al.*, 2015).

Los fitoquímicos presentes en los aceites han mostrado avances tecnológicos en la alimentación, estos han indicado ser efectivos en la reducción de la oxidación de lípidos presente en la carne, siendo una de las causas que deteriora la calidad del alimento en sus atributos sensoriales tales como color, textura, olor y sabor. También se ha extendido a otros grupos de alimentos como los cereales. Por ejemplo el pan de trigo tiene un bajo potencial antioxidante, sin embargo, el enriquecimiento con fitoquímicos provenientes de aceites proporcionaría un beneficio saludable debido a que se podría considerar como un vehículo para los complementos funcionales (Cárdenas *et al.*, 2015).

MÉTODO DE OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES

La semilla por su parte tiene una fracción lipídica mayor que otras partes de la planta, el aceite se encuentra en vacuolas intracelulares, las paredes están formadas por polisacáridos cuyas estructuras cambian en el momento de la extrusión de la semilla o fruto oleaginoso. Los procesos para obtener el aceite vegetal se clasifican en mecánicos, químicos o combinación de los dos y enzimático. El proceso para obtener el aceite son: limpieza para eliminar materia extraña, secado para disminuir la humedad, pelado de la semilla y tratamiento térmico para favorecer la extracción del aceite (Pons, 2015). Las técnicas para la extracción de aceite son las siguientes:

Proceso de extracción de aceite por prensado

El objetivo de este proceso es colapsar las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado de la semilla, la prensa puede ser hidráulica o continua; en recipientes se calienta la muestra a temperaturas no mayores a 40°C dependiendo de la materia prima, el calentamiento disminuye el exceso de humedad, lo que aumenta el rendimiento al lograr mayor presión y facilitar la fluidez del material trabajado. Posteriormente el aceite pasa por un proceso de filtración para eliminar todo residuo que no sea grasa, de esta manera se obtiene el aceite crudo (Tabio *et al.*, 2017).

Ventajas

- se obtiene el aceite crudo sin dañar sus componentes activos en el aceite
- la instalación del equipo suele ser barato
- son ecológicas

Desventaja

- Baja eficiencia en la recuperación de aceite
- Gasto energético de los procesos de prensado, donde debe desarrollarse alta presión
- Gran cantidad de impurezas solidas en la mezcla resultante del prensado

Proceso de extracción de aceite por solvente

La extracción Soxhlet es el método más usado y eficiente; con rendimientos de alrededor de 90 %. Este método utiliza un disolvente (hexano principalmente) el cual extrae uno o varios solutos que se encuentran dentro de la matriz sólida; además, la extracción estará ligada a varios factores como: tiempo de extracción, cantidad de solvente, temperatura, tipo de solvente y tamaño de la partícula (Tabio *et al.*, 2017). Las ventajas y desventajas que presenta este procedimiento por método Soxhlet son las siguientes:

Ventajas

- El uso de solvente facilita la mayor cantidad de extracción de aceite contenida en la semilla
- La extracción se realiza con el disolvente caliente, favoreciendo la solubilidad de los compuestos
- No es necesario la filtración después de la extracción
- Se obtiene excelentes recuperaciones de aceite (Tabio *et al.*, 2017).

Desventajas

- Alto costo del equipo y solventes orgánicos
- Provocar una explosión por mal manejo de los solventes
- Degradación de vitaminas y ácidos grasos insaturados por altas temperaturas
- Contaminación por emisión de vapores de los solventes a la atmosfera (Tabio *et al.*, 2017)
- Requiere largos periodos de tiempo para su extracción
- La torta residual desgrasada contiene residuos de solvente, lo que limita su uso en otras aplicaciones.

Proceso de extracción de aceite por método acuoso enzimático

Este procedimiento realizado por hidrólisis enzimática surge como técnica alternativa para los problemas ya mencionados; este se basa en la biodegradación de las paredes celulares de las vacuolas de las muestras, empleando enzimas; facilitando la extracción del aceite intracelular. La celulasa, pectinasa o mezcla de ambos son los preparados enzimáticos de elección para el desarrollo de esta técnica alternativa; las primeras son complejos enzimáticos que actúan sinérgicamente en los procesos de degradación de compuestos celulósicos, aunque se ha encontrado que las primeras son más efectivas; además, hay que tomar en cuenta que se debe cuidar la temperatura, concentración de enzimas, pH, relación semilla/agua, tiempo de hidrólisis, estos rangos óptimos permitirán tener un procedimiento eficaz en la extracción (Pons, 2015).

Ventajas

- Menos agresivo en la obtención del aceite desde un punto de vista técnico y ambiental
- Menos requerimiento energético en el proceso
- Satisfacción de la demanda general de aplicación de tecnologías verdes en la industria alimentaria (Konopka *et al.*, 2016)
- Empleo de agua como medio acuosa para disolver la muestra
- La materia desgrasada se puede emplear en la fabricación de alimentos para animales
- No afecta el contenido de ácidos grasos insaturados y vitaminas por el manejo de temperaturas bajas

Desventajas

- Se requiere de exactitud en los rangos para optimizar la recuperación de aceite
- El complejo enzimático tiene un elevado costo

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Aceites vegetales no convencionales

En el año 2015, el Químico farmacólogo León y colaboradores realizaron una extracción del aceite esencial de orégano francés (*Plectranthus amboinicus*) cultivado en la zona norte del departamento de Bolívar, Colombia. Encontrando altos contenidos de monoterpenos oxigenados con reconocida actividad antioxidante, como es el carvacrol y el timol, considerándolo una fuente de productos con actividad antioxidante. Por otra parte, se realizó una evaluación de la capacidad antioxidante de alimentos no convencionales como la pitahaya (*Hylocereus megalanthus*), frutos de Uchuva (*Physalis peruviana*) y mangostino (*Garcinia mangostana* L.) que se cultivó en el departamento de Tolima, dicha evaluación constituyó en la valoración de todo el producto incluyendo cascara y semilla, evidenciando compuesto fenólicos en el aceite evaluado de todos los frutos; aun así la cascara de mangostino tuvo la mayor cantidad de compuestos fenólicos (Daza *et al.*, 2015).

En el 2002 se evaluó el efecto del extracto de semilla de nispero (*Eriobotrya japonica*) en ratas por vía oral con hepatopatía inducida por dimetilnitrosamina, ya que habían encontrado que las semillas contienen ácidos grasos insaturados (ácido linolénico y linoleico) y el esteroles β-sitosterol en los extractos de ETOH al 70% MeOH, el resultado demostró que el extracto de la semilla de nispero inhibe el desarrollo de fibrosis hepática en ratas (Nishioka *et al.*, 2002).

Actualmente, se han venido implementado, métodos asistidos por enzimas, el proceso permite romper las paredes celulares vegetales y obtener el aceite. En un estudio realizado donde se compara el efecto del tipo de enzima y su concentración aplicado a muestras de semilla de cacao para la obtención de polifenoles. Se evaluó en tres niveles: celulasa, pectinasa, Cel-Pec, concentración: 25, 50, 75 U/mL, respectivamente, pH: 4-6, concentración de sustrato: 50-150, tiempo (h): 0.5 – 1.5; demostrando que una concentración de 75 U/mL, es posible obtener un extracto rico en polifenoles de 1.337 ± 1.171 mg GAE/mL, siendo mayores que los obtenidos con método convencional 0.932 ± 0.017 mg GAE/mL, en el cual se empleó un solvente isopropanol-agua en proporción 60:40 y asistido por ultrasonido (Botero *et al.*, 2016).

Los reportes mencionados evidencian las propiedades bioactivas de los aceites no convencionales, obteniendo mejoras en calidad a través de técnicas alternativas que pueden aportar mayor contraste en los resultados, permitiendo el avance de nuevas investigaciones en el campo de la biotecnología de alimentos y aportando información adecuada en la nutrición.

METODOLOGÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque mixto con un modelo de integración dominante cuantitativo – cualitativo, se optó este diseño para obtener resultados de análisis de las muestras tanto en rendimiento como en sus propiedades fisicoquímicas y haciendo uso de referencias bibliográficas y observacionales; se recolectaron las semillas y se llevaron al laboratorio de análisis de alimentos II, posteriormente se realizó pretratamiento, pruebas preliminares y ejecución de los dos métodos de extracción para obtener el aceite de las muestras.

Para fines de esta investigación se utilizó un estudio transversal, con un diseño exploratorio secuencial derivativa con alcance descriptivo, correlacional y explicativo. Se tuvo como marco interpretativo el interaccionismo para seleccionar la materia prima de temporada en la región, durante el periodo de investigación.

POBLACIÓN

Esta investigación seleccionó como población, semillas no convencionales de la región metropolitana (Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y San Nicolás de Allende), meseta comiteca tojolabal (Comitán de Domínguez), selva lacandona (Altamirano), soconusco (Tapachula) (Gobierno del estado de Chiapas, 2019).

MUESTRA

Se trabajó con un máximo de 6 semillas de vegetales no convencionales (mamey, níspero, morro, aguacatillo, pepitoria y codo de fraile) que se producen en estas regiones

MUESTREO

Para determinar la muestra se realizó una revisión bibliográfica sobre la materia prima, posteriormente se hizo un estudio de campo, donde se efectuó una observación participativa sobre alimentos no convencionales con los comerciantes de 4 mercados de Tuxtla Gutiérrez, se recolecto materia prima mediante el interaccionismo con algunas residentes de Chiapa de corzo y de la comunidad San Nicolás de Allende, Tuxtla Gutiérrez, se realizó la selección de la materia prima de acuerdo a la temporada.

Después de realizar pruebas preliminares se optó en extraer por método Soxhlet el aceite de 4 semillas (mamey, pepitoria, morro y codo de fraile), de los cuales, debido a su mayor contenido

de aceite, se seleccionaron 2 semillas (pepitoria y mamey) para ser sometidas a extracción por el método acuoso enzimático. Finalmente, se llevó a cabo el análisis fisicoquímico del aceite extraído, y se determinó perfil de ácidos grasos, en éste último caso, solamente con el aceite de mamey.

VARIABLES

Independiente:

- Selección de la materia prima
- Cantidad recolectada de cada semilla
- Cantidad de solvente
- Tiempo
- Temperatura
- Velocidad de agitación
- Cantidad de enzima

Dependiente:

- Semillas encontradas en el entorno
- Semillas de frutos de temporada
- Rendimiento de extracción de aceite
- Características fisicoquímicas de los aceites obtenidos
- Perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos

CRITERIOS

Inclusión:

- Semillas no convencionales
- Semilla de frutos regionales y de temporada
- Semillas con alto porcentaje de aceite

Exclusión:

- Alimentos no convencionales fuera de temporada
- Semillas en mal estado
- Semillas con bajo contenido de aceite

Eliminación:

- Alimentos que no son de origen vegetal

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- Determinación de propiedades fisicoquímicas (índice de saponificación, índice de acidez e índice de yodo, humedad), serán analizados mediante los métodos establecido en la AOCS sobre grasas y aceites (Apéndice II)
- Se analizó el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) (Tacias *et al.*, 2016).
- Utilización de aparatos de laboratorio:

Equipo	Marca	Modelo
Horno	NOVATECH	EI35-AIA
Balanza analítica	VELAB	VE-204
Equipo de extracción Soxhlet	LAB-LINE	CLARKSON 5000-1
Rotaevaporador	HEIDOLPH HEI VAP	REF 561.01100
Incubadora de agitación	SHEL LAB	SSI3
Parrilla eléctrica con agitación	THERMO SCIENTIFIC	CIMARIC-SP142025Q
Potenciómetro	HANNA	HI-5221
Cromatografo de gases	AGILET TECHNOLOGIES	5975 inert XL

DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS A UTILIZAR

Recolección de materia prima previamente identificadas como fuentes potenciales para extracción de aceite

En esta etapa se obtuvo los diferentes tipos de semillas de diferentes lugares dependiendo del fruto, se llevaron a laboratorio donde se retiró la pulpa (níspero, aguacatillo, codo de fraile, morro y mamey) y se secaron bajo el sol, posteriormente se retiró la corteza externa (codo de fraile, mamey, níspero, aguacatillo), por otra parte las semillas de pepitoria se obtuvieron del mercado de Altamirano; las semillas seleccionadas debían estar en buen estado, sin testa.

Secado de la materia prima en horno

Las semillas se dispersaron en charolas de aluminio y se sometieron a secado dentro de un horno para disminuir el porcentaje de humedad, las condiciones fueron las siguientes: temperatura: 80°C, tiempo: 24 h; después se almacenó en frascos sellados dentro del refrigerador a una temperatura de 4°C.

Extracción de aceite por método soxhlet

Se procedió con la extracción de aceite de las semillas seleccionadas con disolvente (hexano), para ello se preparó 5 g de muestra, que fueron colocados en un cartucho de celulosa, que se colocó dentro del equipo de extracción soxhlet, dejándose a reflujo durante 8 h, de acuerdo con lo indicado en el procedimiento del apéndice I, práctica 3. Posteriormente, el aceite fue recuperado por medio de una rotaevaporación a presión reducida a 65°C.

Extracción de aceite por método acuoso enzimático

En el proceso de la extracción de aceite por método acuoso enzimático se utilizó la incubadora de agitación radial y control de temperatura; las condiciones para la obtención del aceite fueron las siguientes: pepitoria (relación solido/liquido: 1:6, temperatura: 50°C, agitación: 275 rpm, tiempo: 8 h, pH: 4 y 4% de Viscozyme L [complejo multienzimático con actividades de celulasa, hemicelulasa, b-glucanasa, arabanasa y xilanasa]) y para mamey (relación solido/liquido: 1:3, temperatura: 70°C, agitación: 300 rpm, tiempo: 5 h, pH: 4 y 3.5% de Viscozyme L)

Caracterización fisicoquímica de los aceites

La determinación de la humedad se realizó por los métodos aplicados en el **apéndice I, practica 1**; el índice de acidez, índice de saponificación e índice de yodo fueron realizados por los métodos aplicados en el **apéndice II**, se utilizó materiales de cristalería para el análisis.

Determinación de perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) en un sistema cromatografo equipado con una columna capilar; antes de la inyección, el aceite se convirtió en sus correspondientes ésteres metílicos de ácidos grasos. En su preparación se utilizaron 5 mg de cada muestra, agregando 0.2 mL de tolueno y 0.4 mL de H₂SO₄ al 1 % en metanol. Las muestras se calentaron a 80°C durante 30 min y se dejaron a temperatura ambiente. Los esterres de ácidos grasos se obtuvieron al agregar 1 mL de hexano y 1 mL de agua. La fase de hexano se dejó evaporar y los esterres de ácidos grasos fueron reconstituidos nuevamente en hexano para su análisis (Tacias *et al.*, 2016).

La composición se precisó a una temperatura de entrada de 250°C, flujo columnar: 1mL/min, flujo dividido: 100 mL/min, volumen de inyección: 1 mL, división: 100:1, temperatura inicial en el horno: 60°C, tiempo de mantenimiento: 5 min, rampa: 20°C/min hasta 210°C, tiempo de mantenimiento: 0 min, rampa: 1°C/min hasta 213°C, tiempo de mantenimiento: 0 min, rampa:

20°C/min hasta 225°C, tiempo de mantenimiento: 25 min, temperatura final del horno: 225°C, columna: capilar DB-WAX, 60 m × 250 mm × 0.25 mm, gas acarreador: helio (Tacias *et al.*, 2016).

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las herramientas que se utilizaron para el procesamiento de resultados fueron el sistema SPSS.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la presente investigación se realizaron una serie de procesos con seis tipos de semillas (mamey, morro, pepitoria, codo de fraile, níspero y aguacatillo), se llevó a cabo la determinación del contenido de humedad; se realizó extracción del aceite por método convencional y por el método acuoso enzimático; para determinar las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos se obtuvieron 50 ml de los aceites seleccionado; estos procesos se efectuaron durante el periodo septiembre 2019 – enero 2020.

Obtención y acondicionamiento de la materia prima

Se recolectaron seis tipos de semillas: morro, pepitoria, codo de fraile, mamey, níspero y aguacatillo, estas fueron recolectadas de la región metropolitana (Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de corzo y San Nicolás de allende), sierra comiteca (Comitán) y selva lacandona (Altamirano) del estado de Chiapas, México; se procesaron en el laboratorio de análisis de alimentos II (se realizó un pretratamiento que consistió en desecado a temperatura ambiente, retiro de testa y semillas en mal estado, posteriormente se llevó al horno de secado a 80°C en 48 h y por último se almacenó en refrigeración en recipientes con tapa a 4°C).

Extracción soxhlet

La extracción Soxhlet se realizó de acuerdo con el método convencional de la AOAC. Se pesaron 5 g de cada semilla seca y molida y se colocaron junto con 150 ml de n-hexano en un equipo de extracción Soxhlet a 95°C, durante 8 h. El hexano se recuperó usando un rotaevaporador a presión reducida a 65°C. El aceite obtenido se llevó al horno de secado a 60°C durante 24 h y se almaceno en refrigeración en matraces ámbar de 50 ml a 4°C hasta su posterior uso. El rendimiento obtenido de los aceites de los diferentes tipos de semillas utilizando este método, se consideró el 100% de aceite contenido en cada semilla respectivamente (Soto *et al.*, 2007).

Los resultados obtenidos de la extracción Soxhlet se presentan en la **tabla 10**, en la que se observa que las semillas de morro, pepitoria, codo de fraile y mamey, presentaron un mayor contenido de aceite en comparación con las semillas de níspero y aguacatillo, razón por la cual estas dos últimas fueron descartadas para los experimentos posteriores.

La extracción con disolvente es un excelente método de extracción de aceites en términos de rendimientos, debido a que el hexano es un hidrocarburo cuya estructura química tiene una cadena carbonada parecido al de los lípidos lo cual lo hace lipofílico, facilitando la salida del aceite de la materia prima durante el proceso de extracción, adentrándose hasta el interior de las estructuras que almacenan los aceites previamente macerados aprovechando el máximo contenido de aceite, dejando la materia prima desgrasada (Lafont *et al.*, 2019).

Tabla 10. Porcentaje de aceite extraído por método de extracción Soxhlet.

	Morro	Pepitoria	Codo de fraile	Mamey	Níspero	Aguacatillo
% de aceite crudo	39.00±0.22	46.56±0.03	65.12±3.35	44.6±1.2	0.39±0.01	1.61±0.13

La extracción del aceite obtenido de las semillas del morro fue mayor al reportado por Luna (2007), quien obtuvo un rendimiento del 32.71%; de la semilla de pepitoria se obtuvo un rendimiento similar a lo reportado por Espinoza y colaboradores que fue de 44% (Espinoza *et al.*, 2010). Por otra parte, el porcentaje de aceite extraído de la muestra de codo de fraile fue significativamente variable a los reportados en Colombia, alcanzando el 76.48% (Lafont *et al.*, 2019). El rendimiento obtenido de aceite de mamey fue similar a los reportados por Solís (2015) obteniendo 44.41% y lino (2019) con 45.73%.

Extracción acuosa enzimática

De las cuatro semillas (morro, pepitoria, codo de fraile y mamey), solo se realizó la extracción acuosa enzimática de dos de éstas (mamey y pepitoria), esto debido a asuntos relacionados con la contingencia por Covid-19 y el consecuente cierre de la universidad.

La obtención del aceite se llevó a cabo mezclando 5 g de semilla de mamey y pepitoria secas y molidas, con diferentes cantidades de agua (relación solido/liquido) con las siguientes condiciones: pepitoria (relación S/L 1:6, pH 4, 4% de viscozyme L, tiempo: 8 h, temperatura: 50°C y agitación: 200 rpm); mamey (relación S/L 1:3, pH 4, 3.5% de viscozyme L, tiempo: 5 h, temperatura: 70°C y agitación: 300 rpm), se realizó en matraces Erlenmeyer de 50 ml. Al final, la mezcla se centrifugó a 4 500 rpm durante 30 min, la fase oleosa se recuperó utilizando una

micropipeta y posteriormente se microcentrifugo a 10,000 rpm durante 30 min. El aceite recuperado se llevó al horno de secado a 60°C durante 24 h y se pesó.

Los resultados obtenidos de la extracción acuosa enzimática de las semillas de pepitoria y mamey, se observan en la **tabla 11**, el rendimiento de aceite en las semillas de pepitoria alcanzó un 56.3% de aceite, este dato fue similar al reportado por otro estudio que obtuvo 58.06% de rendimiento (Li *et al.*, 2016), sin embargo, otro estudio obtuvo una máxima de recuperación de 72.64% (bajo las condiciones: pH: 4.7, temperatura: 54°C y tiempo: 15.4 h, 2% de mezcla de enzimas) (Konopka *et al.*, 2016). En cuanto al rendimiento de aceite de la semilla de mamey fueron mayores a los reportados por un trabajo que obtuvo el máximo rendimiento de 40.67% de aceite, utilizando el mismo complejo enzimático con variación en las condiciones de extracción (Villatoro, 2016). Sin embargo, estos rendimientos fueron menores a los obtenidos por otras semillas como la de girasol, soya y maíz concentrando un 86, 86 y 93% en el mismo orden en cuestión de rendimiento (Ciau *et al.*, 2016).

Tabla 11. Porcentaje de aceite extraído por método de extracción acuosa enzimática

	Pepitoria (relación S/L 1:6, tiempo: 8 h, temperatura: 50°C, agitación: 275 rpm, pH 4 y 4% de viscozyme)	Mamey (relación S/L 1:3, pH 4, 3.5% de viscozyme, tiempo: 5 h, temperatura: 70°C y agitación: 300 rpm)
% de aceite extraído	56.3±1.3%	69±2.1%

Los rendimientos obtenidos de la extracción acuosa enzimática fueron comparados con la extracción Soxhlet considerando este como el 100%. Se sabe que la extracción con disolvente tiene una efectividad superior arrastrando el mayor contenido de aceite de las semillas, por otra parte, la extracción acuosa enzimática ha cobrado interés por las ventajas ecológicas y económicas de sustentabilidad. A pesar de los bajos rendimientos de aceite, son procesos prometedores para reemplazar los métodos convencionales.

El fenómeno de la liberación de aceite empleando el complejo enzimático Viscozyme L se pueden atribuir a la presencia de varios componentes potentes en estas mezclas de enzimas, por ejemplo, celulasa, βglucanasa, arabanasa, hemicelulasa y xilanasa, los cuales rompen los

polisacáridos de las paredes celulares y membranas que protegen a los oleosoma, permitiendo la liberación del aceite al medio acuoso (Konopka *et al.*, 2016); otros estudios reafirman la eficacia de Viscozyme L debido a su diversidad de enzimas que permiten una mejor extracción de aceite, en comparación con los resultados obtenidos con las enzimas individuales celulasa y hemicelulasa (Torres, 2011).

También otros factores que son importantes a la hora de procesar la muestra, depende en gran medida de la temperatura, lo que afecta la desnaturalización de las proteínas de las paredes y el movimiento oscilatorio que va a aumentar el área de contacto con las partículas, incrementando la extracción del aceite. En otro estudio se realizó extracciones a base de una mezcla proteolítica, celulítica y pectinolítica, obteniendo mayores porcentajes (Konopka *et al.*, 2016), tal vez esto se deba a que tiene mayor contacto con la estructura de las paredes de los oleosomas, en comparación con este estudio.

Propiedades fisicoquímicas

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas (índice de acidez, índice de yodo e índice de saponificación [apéndice II]) de 4 aceites (morro, pepitoria, codo de fraile y mamey) obtenido de la extracción por soxhlet y, solamente el aceite de mamey obtenido por extracción acuosa enzimática, esto debido a que no fue posible tener acceso al laboratorio, por la contingencia sanitaria que hasta nuestros días continua. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

El índice de acidez es un parámetro que determina el estado y comestibilidad de los aceites, cuyo valores máximos permitidos por la industria alimentaria en cuanto a aceites refinados es de 0.1 mg KOH/g y sin refinado es de 6.6 mg KOH/g (Lafont *et al.*, 2019) como sucede en este estudio, los resultados obtenidos como puede observarse en la **tabla 12**, evidencia el nulo enranciamiento de las cuatro materias primas de la extracción soxhlet y el de la extracción acuosa enzimática **tabla 13**, el cual demuestra el buen uso comestible de las mismas, no obstante, el codo de fraile contiene glucósidos con efectos negativos en el organismo (Kumar y Sharma, 2011); sin embargo, hay evidencia que demuestra que el peruvósido de este producto tiene un potencial uso farmacéutico en enfermedades cardiacas, generando menos reacciones alérgicas en los pacientes (Nova, 2018).

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de ácidos grasos del aceite, los cuales se clasifican en secantes (>140 meq I₂/g), semisecantes (110 -139 meq I₂/g) y no secante (<110 meq I₂/g); los secantes son lo que contiene un alto contenido de ácidos grasos

insaturados que al contacto con el oxígeno crean una película resistente y brillante. Por otra parte las no secantes tienen características humectantes. De acuerdo con los valores obtenidos los cuatro aceites de la extracción soxhlet y el aceite de mamey de la extracción acuosa enzimática se catalogan dentro de esta última siendo útiles en la preparación de cremas, productos cosméticos y dermatológicos hidratantes (Lafont *et al.*, 2019).

El índice de saponificación es un parámetro usado para calcular el peso molecular de los ácidos grasos que contiene el aceite, cuanto mayor sea el valor de saponificación, mayor será la longitud de la cadena carbonada presente en el aceite (Lafont *et al.*, 2019), las cuatro variables del método soxhlet y el del aceite de mamey de la extracción acuosa enzimática estudiadas presentaron valores altos, el aceite de morro fue mayor a los obtenidos en dos muestras estudiadas de Zacapa y el progreso, Guatemala; los cuales fueron 174.78 mg KOH/g y 179.90 mg KOH/g respectivamente (Luna, 2007), pero fueron similar a los obtenidos por codo de fraile en este estudio.

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas de aceite de semillas obtenidas por extracción Soxhlet

	Índice de acidez (mg KOH/g)	Índice de yodo (meq I ₂ /g)	Índice de saponificación (mg KOH/g)
Morro	0.51 ± 0.02	63.07 ± 4.30	194.35 ± 4.17
Pepitoria	1.74 ± 0.002	62.64 ± 2.50	191.91 ± 0.77
Codo de fraile	3.70 ± 0.09	59.32 ± 3.46	179.78 ± 0.81
Mamey	1.12 ± 0.11	57.4 ± 0.62	108.42 ± 3.39

Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas de aceite de semilla de mamey obtenida por extracción acuosa enzimática.

	Índice de acidez (mg KOH/g)	Índice de yodo (g/100g)	Índice de saponificación (mg KOH/g)
Mamey	1.09 ± 0.06	56.77 ± 1.43	97.40 ± 2.78

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en ambos métodos con el aceite de mamey no hay diferencia significativa, sin embargo, la evidencia es clara, en cuanto a los procesos que se utiliza, consiguiendo que el método de extracción acuoso enzimático tenga el

mismo alcance sobre las propiedades fisicoquímicas y un punto a favor, sobre las ventajas de cuidar el medio ambiente.

Perfil de ácidos grasos

La separación de los compuestos se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG - EM). El perfil de ácidos grasos extraídos se presenta en la siguiente **tabla 14**.

Tabla 14. Perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de mamey, obtenido por extracción Soxhlet y extracción acuosa enzimática.

Ácidos grasos	Composición (%)	
	Extracción Soxhlet (ES)	Extracción acuosa enzimática (EAE)
Palmítico (C16:0)	8.7 ± 0.6	9.6 ± 0.4
Estearico (C18:0)	27.8 ± 0.3	28.1 ± 0.6
Oleico (C18:1)	49.6 ± 0.4	50.5 ± 0.3
Linoleico (C18:2)	13.0 ± 0.2	11.0 ± 0.1
Araquídico (C20:0)	0.8 ± 0.0	0.8 ± 0.1
Ácido grasos saturados	37.4 ± 0.3	38.5 ± 0.3
Ácido grasos insaturados	62.6 ± 0.3	61.5 ± 0.3

Los ácidos grasos con mayor cantidad reportado fueron el ácido oleico, esteárico y linoleico, siendo similares en las porciones tanto en la extracción por soxhlet como en la enzimática, estos datos fueron similares a los reportados por Solís (2015) encontrando en el aceite de frutos maduros de mamey 48.62 % en ácido oleico, 28.65 % ácido esteárico y 10.77 % en ácido linoleico (Solís *et al.*, 2015), respecto al ácido oleico y linoleico, se encontraron en mayor escala y el ácido esteárico similar en este estudio; sin embargo, otros reportes encontraron mayores porcentajes en ácido oleico (ES: 52.31 %, EAE: 51.68 %), esteárico (ES: 31.14 %, EAE: 31.76 %) y linoleico (ES: 4.00 %, EAE: 5.10%) (Villatoro, 2016); en cuanto el ácido palmítico fue menor y el ácido araquídico tuvo mayor proporción a los reportados en un estudio (Solís *et al.*, 2015).

La relación de ácidos grasos saturados encontrados fueron similares a los reportados por Solís (2015), encontrando un 39.51 % (no se tomó en cuenta la suma del ácido Behenico), siendo mayor a los reportados para la muestra de aceite obtenida por las dos extracciones; en cuanto a los ácidos grasos insaturados la suma reportada de los monoinsaturados y poliinsaturados

arrojo un 59.97% a comparación con este estudio que obtuvo 62.6 % (extracción Soxhlet) y 61.5 % (extracción acuosa enzimática) demostrando un alto contenido de ácidos insaturados frente a los reportados por el autor (Solís *et al.*, 2015).

Los datos reportados fueron similares en los diferentes estudios realizados en el aceite de las semillas de mamey, esto pueden ser por distintos factores como el tiempo de extracción, exposición a la luz, temperatura o la diversidad genotípica de este fruto. Los altos porcentajes de ácidos grasos insaturados favorece la producción de biodiesel, así como los porcentaje de ácidos grasos saturados los cuales sugiere un uso potencial en industrias jaboneras y productos cosméticos.

CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la extracción acuosa enzimática y las propiedades de aceites vegetales no convencionales. Se encontró que los rendimientos de extracción de aceite por el método acuoso enzimático son inferiores a los obtenidos por el método convencional por solventes; en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos, no se encontraron diferencias significativas en los aceites obtenidos por ambos métodos; sin embargo, es importante mencionar que la extracción acuosa enzimática es una tecnología completamente amigable con el medio ambiente, lo que representa una ventaja importante con respecto a los métodos tradicionales.

Los aceites obtenidos por extracción soxhlet y extracción enzimática poseen excelentes propiedades fisicoquímicas similares a los reportados para los aceites comestibles, los ácidos grasos obtenidos del aceite de mamey y los datos reportados en la literatura sobre el perfil graso del aceite de semilla de pepitoria y morro es deseable en términos de nutrición, el alto contenido de ácido oleico y linoleico ha sido de gran interés, principalmente por disminuir la concentración de colesterol en sangre. Además, estos compuestos están presentes en los aceites de diferentes orígenes vegetales lo que sugiere un uso potencial dentro de la industria alimentaria.

A parte de las propiedades fisicoquímicas (índice de yodo, índice de acidez, índice de saponificación) y perfil de ácidos grasos de los aceites analizados en este trabajo, es necesario completar con otras pruebas para determinar su uso. Las características que determinara un aceite para un uso comestible dependerá de varios parámetros los cuales se sugiere realizar en estos aceites, tales como el análisis sensorial (olor, sabor, color, apariencia), análisis físicos (densidad, viscosidad, refracción, punto de fusión) y análisis químicos (índice de peróxido, índice de anisidina). Con estas pruebas se determinara la calidad del producto y si es viable para el consumo humano.

PROPUESTAS Y/O RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los futuros investigadores realizar otras pruebas analíticas en la materia desgrasada con el fin de conocer si se puede optar para otros usos.
- Se recomienda que los futuros investigadores realicen pruebas de la pulpa de morro y níspero con el fin de identificar sus factores benéficos hacia otros productos o potenciar su uso, debido que posee características organolépticas agradables.
- Durante la producción de aceite con el método Soxhlet, se recomienda que los investigadores utilicen una cantidad mayor de la muestra entre 6 y 8 g para obtener mayor cantidad de aceite.
- Se recomienda el estudio de las estructuras de la semilla sobre el rendimiento de aceite.

GLOSARIO

Antioxidante: sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos.

Compuestos bioactivo: compuestos esenciales y no esenciales que se producen en la naturaleza que son vitales para el mantenimiento de la salud humana.

Conservador químico: sustancia que se añaden a los productos alimenticios para protegerlos de alteraciones biológicas como fermentación, enmohecimiento y putrefacción.

Disolvente: sustancia que disuelve o dispersa al soluto y generalmente se encuentra en mayor proporción.

Enfermedades cardiovasculares: grupo heterogéneo de enfermedades que afectan tanto al sistema circulatorio como al corazón, entre las cuales se menciona: arterioesclerosis, angina de pecho, hipertensión arterial, hipercolesterolemia, infarto agudo de miocardio (IAM), insuficiencia cardíaca, enfermedades cerebrovasculares.

Enzima: proteína catalítica que incrementa la tasa de reacciones químicas específicas

Especies reactivos de oxígeno (ERO): son compuestos que se derivan de la molécula de oxígeno (O_2) por reducción química parcial. Se incluye en este grupo los peróxidos de hidrógeno (H_2O_2).

Espectrómetro Óptico: instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético. Su utilidad es realizar análisis espectroscópicos para identificar materiales.

Epidemia: situación cuando se propaga una enfermedad activamente debido a que el brote se descontrola y se mantiene en el tiempo, aumentando el número de casos en un área concreta.

Fenoles: grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal, capaz de modular la actividad de diferentes enzimas e interferir en mecanismos de señalización y distintos procesos celulares.

Globalización: integración estrecha entre los países, naciones y pueblos del mundo, producida por la enorme reducción de los costos de transporte y comunicaciones, y el desmantelamiento de barreras artificiales a los flujos de bienes, servicios, capitales y (en menor grado) personas a través de las fronteras.

Hidrofilico: sustancia que absorbe agua con facilidad: de manera literal amor por el agua.

Hidrofobico: sustancia que repele y que es repelida por el agua; de manera literal miedo al agua.

Microbiota intestinal: microorganismos, en particular bacterias que se encuentran en el intestino grueso. Las bacterias se refieren con frecuencia como comensales, debido a que no causan daño al hospedero humano y de muchas formas son benéficas. También se conoce como microflora.

Nitrosaminas: moléculas que contienen un grupo funcional nitroso y que suscitan preocupación debido a que sus impurezas podrían cancerígenas para el ser humano. Aunque pueden encontrarse en algunos alimentos y en el suministro de agua potable, su presencia en un medicamento se considera inaceptable.

Osteoporosis: desmineralización del hueso; se ve de manera más frecuente en la mujer posmenopáusica y en pacientes que se encuentran inactivos o paralizados. Puede acompañarse de dolor, pérdida de estatura y otras deformaciones y fracturas.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

- ARROYO, Pedro. La alimentación en la evolución del hombre: su relación con el riesgo de enfermedades crónico degenerativas. *Boletín médico del hospital infantil de México*. Vol. 65(6): 43 -440, noviembre 2008.
- BADUI, Salvador. Química de los alimentos. 4ta ed. México: pearson educación, 2006. 738 p.
- BELLO, Jose. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. 1 ra ed. Madrid: Diaz de santos S.A. 2000. 596 p.
- BOTERO, Nataly, LONDOÑO, Laura & ROJAS, Luisa. Extracción de polifenoles totales asistida por enzimas, a partir de residuos de la industria del cacao. *Agronomía Colombiana*. Vol. 1.: S622-S625, marzo 2016.
- CÁRDENAS, German, ARRAZOLA, Guillermo, & VILLALBA, Marcela. Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*. Vol. 17(33): 29-40, julio 2015.
- CARRETTO, Virginia, CUERDO, Paula, DIRIENZO, Guadalupe, & VITO, Victoria. Aceite de oliva: beneficios en la salud. *Invenio: Revista de Investigación Académica*. Vol. 8: 141-149, junio 2002.
- CARRILLO, Lourdes, DALMAU, Jaime, MARTÍNEZ, Jesús, SOLÁ, Rosa, & PÉREZ, Francisco. Grasas de la dieta y salud cardiovascular. *Anales de Pediatría*. Vol. 74(3): 192.e1 - 192.e16, diciembre 2011.
- CERVERA. Pilar, CLAPÉS, Jaume & RIGOLFAS, Rita. Alimentación y dietoterapia. 4ta ed. Madrid: McGRAW-HILL interamericana, 2004. 420 p.
- CHÁVEZ, Evelia. *Plantas comestibles no convencionales en Chiapas*. 1ra Ed, Tuxtla Gutiérrez, UNICACH. 2010.

- CIAU, Norma, ROSADO, Gabriel, CHEL, Luis, & BETANCUR, David. Aplicación de métodos enzimáticos para la extracción de aceite de chía (*Salvia hispánica* L). *Journal of Negative & No Positive Results*. Vol. 1(2): 50–55, junio 2016.
- CORONADO, Marta, VEGA, Salvador, GUTIÉRREZ, Rey, VÁZQUEZ, Marcela & RADILLA, Claudia. Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutricion*. Vol. 42(2): 206–212, febrero 2015.
- DAZA, Luis, MURILLO, Elizabeth & ANDRES, Daniel. Evaluación de la capacidad antioxidante de frutas cultivadas en el departamento del Tolima y sus residuos agroindustriales. *Revista Tumbaga*. Vol. 2(10): 3-14, diciembre 2015.
- DRAGO, Maria, LÓPEZ, Marisol & SAINZ, Teresita. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*. Vol. 37(4): 58-68, diciembre 2006.
- DURÁN, Samuel, TORRES, Jairo & SANHUEZA, Julio. Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutricion Hospitalaria*. Vol. 32(1): 11–19, abril 2015.
- DUSSAILLANT, Catalina, ECHEVERRÍA, Guadalupe, URQUIAGA, Inéz, VELASCO, Nicolas, & RIGOTTI, Attilio. Evidencia actual sobre los beneficios de la dieta mediterránea en salud. *Revista Médica de Chile*. Vol. 144(8): 990-997, enero 2016.
- ESPINOZA, Andrea, & CONTRERAS, Lorena. Estudio De Aceites Vegetales Comestibles, enero, 2010.
- ESPINOSA, Teodoró, MEDINA, Luis, HUEDA, Enot, VILLANUEVA, Clemente, MONTESINOS, Osvaldo & GÓMEZ, adalberto. Comparación de aceite de semilla de calabaza de tres especies y ocho aceites comerciales mediante un método multivariado. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. Vol. 2(2): 75–80, febrero 2015.
- FENNEMA, Owen, DAMODARAN, Srinivasan, PARKIN, Kirk. Química de los alimentos [En línea]. 3ra ed. Acribia: 2010 disponible en: <https://sceqa.files.wordpress.com/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>

- GARCÍA, Patricia, GÁTICA, María, CRUZ, Emma, LUIS, Kathia, VARGAS, Rubi, HERNÁNDEZ, Jesús & RAMOS, Virginia. El impacto de la estrategia gubernamental en México para reducir el consumo de alimentos de alto contenido calórico. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Sociales y Humanísticas*. Vol. 5(9): 1-13, junio 2016.
- GARCÍA, Concepcion, MARTÍNEZ, Aurora, ORTEGA, José & CASTRO, Fernando. Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Revista Química Viva*. Vol. 9(2): 86–96, agosto 2010.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS. *Clasificación Municipal y Regional. Instrumento Normativo*. Vol. 14. 2019.
- GUILLAMON, Enrique. Efectos de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars pharmaceutic*, Vol. 59(3): 185-196, julio 2018.
- KONOPKA, Iwona, ROSZKOWSKA, Beata, CZAPLICKI, Sylwester & TANSKA, Malgorzata. Optimization of pumpkin oil recovery by using Aqueous Enzymatic Extraction and comparison of the quality of the obtained oil with the quality of cold-pressed oil. *Food Technol.Ogy and Biotechnology*. Vol 54(4): 413–420, july 2016.
- KUMAR, Ashwani & SHARMA, Satyawati. Potential non – edible oil resources as biodiesel feedstock: an Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 15(4): 1791–1800, may 2011.
- LAFONT, Jennifer. et al. Estudio fisicoquímico del aceite y análisis proximal de la torta de semillas oleaginosas nativas de cordoba-colombia. *Información tecnológica*. Vol. 30(4): 85 – 92, enero 2019.
- LEIN, Adriana. The experience of Latin American cities can inform policy changes in other cities around the world, especially those in the global south. *LAC-Urban Helth*. Núm. 2: may 2018.

- LI, Xiaojuan, LI, Zhugang, WANG, Xun, HAN, Junyan, ZHANG, Bo, FU, Yujie & ZHAO, Chunjian. Application of cavitation system to accelerate aqueous enzymatic extraction of seed oil from Cucurbita pepo L. and evaluation of hypoglycemic effect. *Food Chemistry*. Vol. 212: 403–410, december 2016.
- LÓPEZ, Antonio & MACAYA, Carlos. Efectos antitrombóticos y antiinflamatorios de los ácidos grasos omega-3. *revista española cardiología*. Núm. 6: 31–37, 2006.
- LÓPEZ, Noemi, MARTINEZ, Miguel & ALEIXANDRE, María. Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. Vol. 32(3): 81–91, 2012.
- MARTÍNEZ, Cristina & CARBAJAL, Ángeles. Componentes bioactivos de los alimentos. [en línea], 2018. disponible en: <http://www.who.int/hpr/NPH/>
- MATAIX, Jose. Tratado de Nutrición y Alimentación. 1ra ed. barcelona: M. E. OCÉANO, 2015. 895 p.
- MENDOZA, Yanet. Sustancias bioactivas en los alimentos. *alimentación vegetariana y ecológica*. Vol. 43: 438–439, 2004.
- MERCADO, Gilberto, CARRILLO, Laura, WALL, Abraham, LOPEZ, jose & ÁLVAREZ, Emilio. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 28(1): 36–46, noviembre 2013.
- NISHIOKA, Yutaka, YOSHIOKA, Saburo, KUSUNOSE, Masahico, CUI, Tailin, HAMADA, Atuhide, ONO, Masahide, MIYAMURA, Mituhiko, KYOTANI, Shojiro. Effects of extract derived from Eriobotrya japonica on liver function improvement in rats. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. Vol. 25(8): 1053–1057, 2002.
- NOLASCO, Brenda, OVANDO, Sandy, TACIAS, Veymar, OVANDO, Guillermo, VENTURA, Cristina, MEZA, Rocio y ROSALES, Arnulfo. Aqueous Enzymatic Extraction of Oil from Microwave-pretreated Jicaro Seeds. *Current Biochemical Engineering*. Vol. 5(1): 42 - 49, 2019.

- NOVA, carlos. Eventos antioxidantes asociados a la elicitation de suspensiones celulares de thevetia peruviana para la produccion de compuestos cardiotónicos. *Ciencia, Tecnologia e Innovación*. Vol. 3: 30–43: 2018.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), & Organización Mundial de la Salud (OMS). Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por Normas Individuales. *Normas Internacionales de Los Alimentos, 19–1981*, 2015.
- PARKINSON, Lisa & CICERALE, Sara. The health benefiting mechanisms of virgin olive oil phenolic compounds. *Molecules*. Vol. 21(12): 1–12, 2016.
- PEREDO, Hilda, PALOU, Enrique, & LÓPEZ, Aurelio. Aceites esenciales: métodos de extracción. temas selectos de ingeniería de alimentos. 24 - 32, 2012.
- PÉREZ, Odette, NAZAR, Austreberta, SALVATIERRA, Benito, PÉREZ, Sara, RODRIGUEZ, Luis, CASTILLO, María & MARIACA, Ramón. Frecuencia del consumo de alimentos industrializados modernos en la dieta habitual de comunidades mayas de Yucatán , México. *estudios sociales*. Vol. 20: 156–184, octubre 2011.
- PONS, Alba. Aceites vegetales, hacia una producción sostenible. *Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal*. Núm. 46: 9–19, 2015.
- POPKIN, Barry, ADAIR, Linda & NG, Shu. Wen. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews*. Vol. 70(1): 3–21, 2012.
- QUIÑONES, M., MARTINEZ, Miguel & ALEIXANDRE A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 2727(1): 76–89, 2012.
- RAMÍREZ, Jose, URESTI, Rocio, ALDANA, Maria & LOARCA, Maria. Avances de ciencia y tecnología en México. 1ra ed, ciudad victoria: plaza y vadés editores, 2013, pp 676.
- REYES, Abigail, GALICIA, Mayra & CARRILLO, Maria. Antioxidantes: La magia de lo natural. *Tlatemoani*. Núm. 8: 1–16, 2011.

- SÁNCHEZ, Estefanía & DE MESA, María. Compuestos bioactivos del aceite de oliva virgen. Revisión. *Nutrición Clínica en Medicina*. Vol. 12(2): 80–94, 2018.
- SOLÍS, Julio, AYALA, Rosa, FERNÁNDEZ, Ana, & DURAN, María. Mamey sapote seed oil (*Pouteria sapota*). Potential, composition, fractionation and thermal behavior. *Grasas y Aceites*. Vol. 66(1): e056, march 2015.
- SOTO, Carmen, CHAMY, Rolando & ZÚÑIGA, María. Enzymatic hydrolysis and pressing conditions effect on borage oil extraction by cold pressing. *Food Chemistry*. Vol. 102(3): 834–840, december 2007.
- TABIO, Danger, DIAZ, Yosvany, RONDÓN, Maylin y FERNÁNDEZ, Elina. Extracción de aceites de origen vegetal. *Universidad Tecnológica de La Habana*. Mayo 2017.
- TACIAS, Veymar, ROSALES, Arnulfo & TORRESTIANA, Beatriz. Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: Un caso de estudio. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. Vol. 32(3): 303–313, noviembre 2016.
- TORRES, Felipe & ROJAS, Agustín. Obesidad y salud pública en México : transformación del patrón hegemónico de oferta-demanda de alimentos. *Revista Problemas Del Desarrollo*. Vol. 193(49): 145–169, febrero 2018.
- TORRES, María & VARGAS, Galo. Modificación enzimática de la fibra dietaria del pergamino de café (*Coffea arabica* L .). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1(2): 262–271, enero 2011.
- TUCK, Kellie, HAYBALL, Peter. Major phenolic compounds in olive oil: metabolism and health effects. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. Vol. 13(11): 636–644, noviembre 2002.
- VALLS, Victoria. El Papel Antioxidante De Los Alimentos De Origen Vegetal Vitaminas Y Polifenoles. *Universidad de Valencia*. Vol. 58(1): 1–9, 2009.

VÁZQUEZ, Erika. Actividades biológicas de extractos de plantas y de sus combinaciones. Trabajo de titulación (doctor en ciencia y tecnología de los alimentos). Madrid: universidad autónoma de madrid. noviembre, 2015. 319 p.

VILLATORO, Isabel. Influencia de viscozyme L sobre el rendimiento en la extracción del aceite de almendras de zapote mamey (*Platanus zapota*). Trabajo de titulación (Ingeniero bioquímico). Tuxtla Gutiérrez: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, 2016. 69 p.

ANEXOS

ANEXO 1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SEMILLAS



Figura 15. Semillas en proceso de horneado (codo de fraile)



Figura 16. Semillas analizadas para el proceso de extracción



Figura 17. Materiales para realizar la extracción por método Soxhlet



Figura 18. Extractor soxhlet



Figura 19. Extracto de aceite de pepitoria



Figura 20. Extracto de aceite de morro

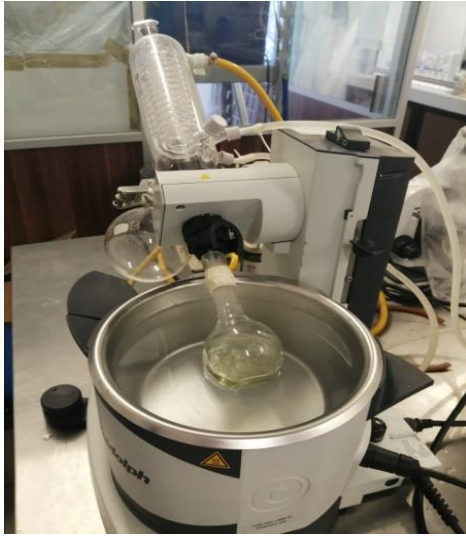


Figura 21. Rotaevaporador para extraer aceite



Figura 22. Almacenamiento de aceite



Figura 23. Aceites almacenados en matraces



Figura 24. Determinación de índice de saponificación



Figura 25. Calentamiento de la muestra a 100°C



Figura 26. Determinación de pH de las muestras

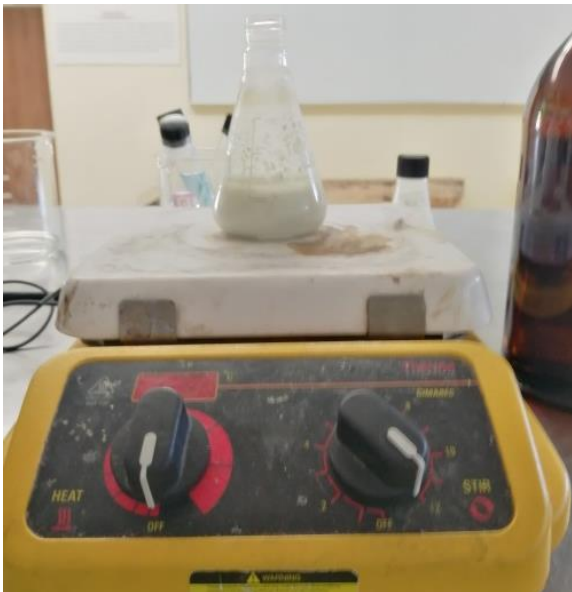


Figura 27. Agitador para homogenizar durante la estabilización del pH



Figura 28. Matraces dentro de la incubadora con agitación

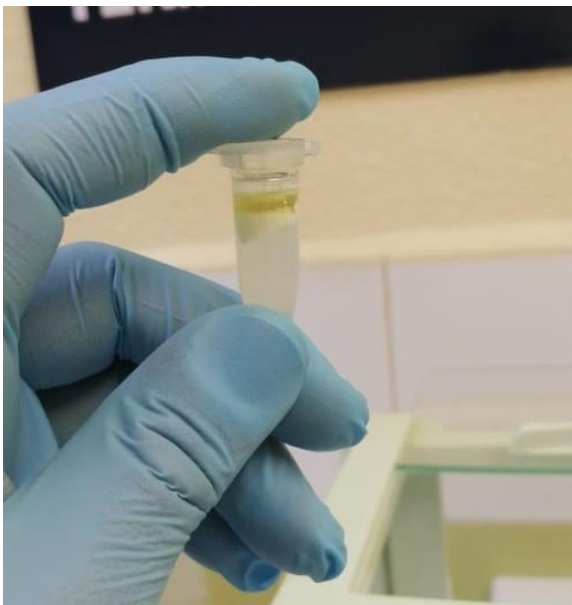


Figura 29. Extracción de aceite mediante microcentrifugado

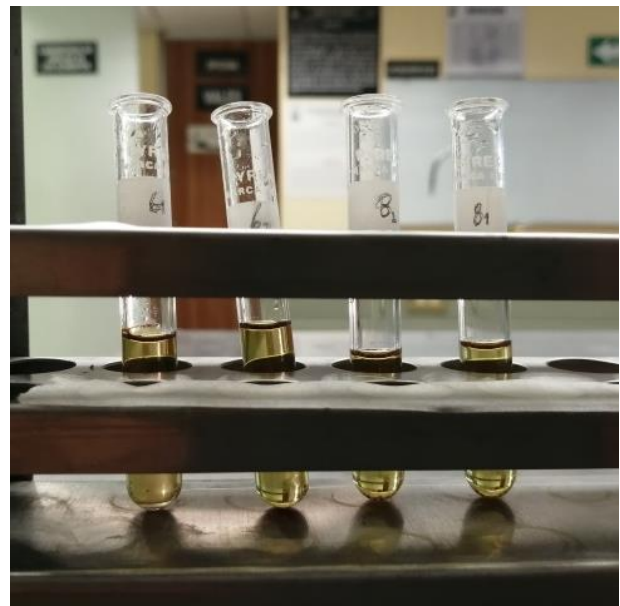


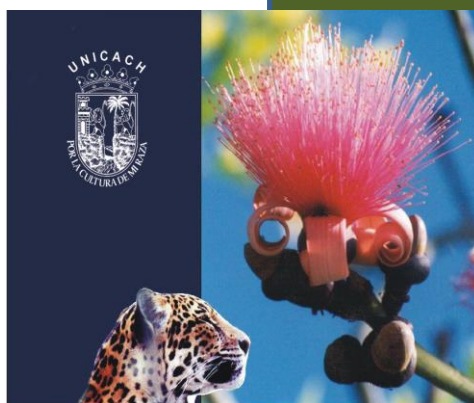
Figura 30. Muestras de aceite extraído por método enzimático (izq. a der. relación solido/liquido: 1:6, 1:8)

APÉNDICES

APÉNDICE I. MANUAL DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS (PRUEBAS BROMATOLÓGICAS)



MANUAL DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS



**MÁRQUEZ, Rosa. Manual de análisis de alimentos. Licenciatura en
Ciencia y Tecnología de Alimentos. Agosto 2017.**

CONTENIDO

Ficha descriptiva del manual de prácticas

Lineamiento específico para el ingreso a prácticas

Introducción

Practica 1 y 2: Determinación de humedad y cenizas

Practica 3. Extracción de grasa cruda

Practica 4. Determinación de proteína cruda

Practica 5. Determinación de fibra cruda

Practica 6. Análisis fisicoquímico de un alimento

Bibliografía

FICHA DESCRIPTIVA DEL MANUAL DE PRÁCTICAS

Nombre del manual: análisis de alimentos

Programa académico: licenciatura en ciencia y tecnología de alimentos

Semestre en el que imparte: 3er semestre

Nombre de quien elaboró: Mtra. Rosa Márquez Montes

Fecha de elaboración: Agosto 2007

Nombre de quien actualizo: Mtra. Rosa Márquez Montes

Fecha de actualización: agosto 2017

LINEAMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL INGRESO A PRÁCTICAS

1. Es necesario consultar los lineamientos generales para el ingreso a los laboratorios de la Facultad de ciencias de la nutrición y alimentos; y el reglamento de ingreso que se encuentra en cada laboratorio antes de poder tener acceso a las prácticas de la materia de Análisis de los alimentos
2. Es obligatorio haber leído la práctica antes del ingreso al laboratorio, así como haber elaborado un diagrama de flujo que describa de manera detallada y resumida cada una de las etapas y/o actividades que desarrollara.
3. Es obligatorio portar bata blanca manga larga de algodón en el laboratorio
4. Es obligatorio llevar al laboratorio el material biológico requerido por equipo para la puesta en marcha de las prácticas.
5. Se deberán manejar comisiones para vigilar el desarrollo de las prácticas en horario y día no asignado oficialmente, esto es con el fin de concluir los procesos debido a que son muy largos y deberán concluirse en tiempo corrido. Se recomienda compostura, respeto y cuidado en el manejo de reactivos, durante las actividades fuera del horario habitual.
6. reportes de prácticas deberán ajustarse a las recomendaciones del docente así como las fechas de entrega
7. Las prácticas únicamente son demostrativas, por lo que no se requieren traer grandes cantidades de materias primas
8. Las prácticas no se podrán repetir, únicamente se realizaran el día señalado por el docente

Cuidados que se deben tener para el uso y manejo adecuado del material y equipo de laboratorio:

I. BALANZA ANALÍTICA:

1. Cerciórese de que todas las escalas visibles marquen cero.
2. Pesar sobre un recipiente apropiado y nunca directamente sobre el platillo de la balanza.
3. No se deberán pesar sustancias corrosivas o que desprendan vapores.
4. Eliminar con un pincel cuidadosamente, los residuos que hayan quedado en el piso de la balanza o en el platillo.
5. Durante la pesada, la balanza debe permanecer cerrada; sólo se debe abrir para introducir o sacar el objeto por pesar.
6. Únicamente cuando la balanza esté frenada se podrán girar los botones de las pesas.
7. Al concluir la pesada, se frena la balanza, se accionan los botones correspondientes para ponerla en ceros y se retira el objeto que se pesó.
8. Cuando es indispensable, colocar un desecador sobre la misma mesa de la balanza, con mucho cuidado pues se puede desajustar la balanza.

II. POTENCIÓMETRO

1. Dejar calentar el aparato durante algunos minutos, con el fin de permitir la estabilidad de todo sus componentes.

2. Si el medidor tiene un sistema de Compensación de la Temperatura, se deberá asegurar de que marque la Temperatura correcta.
3. Asegurarse de que los electrodos hayan permanecido sumergidos en agua destilada, durante todo el tiempo que permanezcan fuera de uso.
4. Manejar con sumo cuidado los electrodos, pues el bulbo es muy frágil y costoso.
5. Calibrar el aparato con soluciones reguladoras del pH adecuada a las mediciones a determinar.
6. Al finalizar la lectura, lavar el electrodo con una pizeta con agua destilada, hasta que quede perfectamente limpio.
7. Sumergir nuevamente los electrodos en agua destilada limpia.

III. DESECADORES

1. Cerciorarse que la sustancia desecante (CaCl_2), se encuentre en condiciones adecuadas.
2. Después de colocar un recipiente caliente dentro del desecador, éste último se debe dejar ligeramente abierta la tapa, para eliminar el aire que al calentarse se expandirá y podrá votarla; o enfriarse y generan presión al interior y será muy difícil abrirlo, en ambos casos se puede perder la muestra manejada.

IV. MUFLAS Y ESTUFAS

1. Ajustar y vigilar constantemente los controles de temperatura de estos equipos, pues determina la buena realización de la técnica.
2. Verificar que el piso de la estufa y mufla se encuentren perfectamente limpios, pues el recipiente de la muestra podrá tomar material extraño y difícilmente se conseguirá un peso constante y verídico.

V. MATERIAL VOLUMÉTRICO

1. Comprobar la limpieza del material.
2. verificar si las pipetas o buretas son o no terminales.
3. Nunca soplar por la boquilla de las pipetas o buretas para desalojar el líquido que está midiendo, pues produce una lectura errónea.
4. Al lubricar la llave de la bureta, tener cuidado de no colocar lubricante en el orificio de la llave, para no tapan la salida del líquido.
5. Verificar que no hayan fugas por la llave de la bureta, ni por la punta de ésta.

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

Las sustancias valoradas son las que se conoce la concentración exacta del soluto con relación a un volumen de la solución, o en relación con una cantidad de volumen o en peso del disolvente.

Existen cuatro clases de estos disolventes:

SOLUCIÓN NORMAL (N): es la que contiene un equivalente químico de soluto disuelto en un litro de solución. Un equivalente químico o peso equivalente, es un mol dividido entre la valencia.

SOLUCIÓN MOLAR (M): es aquella que contiene el peso molecular en gramos (mol), LLEVADO en un litro de solución.

SOLUCIÓN MOLAL (m): se define como la solución que contiene el peso molecular gramo, es decir, un mol de soluto, más 1,000 g de disolvente.

SOLUCIÓN PORCENTUAL (%): es aquella en que su porcentaje equivale a los gramos o mililitros de soluto contenidos en 100 g o mililitros de la solución, según sea el tipo de solución porcentual, peso a volumen o volumen a volumen.

INTRODUCCIÓN

La química y el análisis de los alimentos son disciplinas muy amplias que se basan en los principios de la fisicoquímica, química orgánica, biología y química analítica. Los avances en estas ciencias realizados en los siglos XIX y XX han tenido un efecto importante en la comprensión de muchos aspectos de la ciencia y tecnología de alimentos y han sido decisivos en el mejoramiento de la cantidad, calidad y disponibilidad del suministro de alimentos a nivel mundial.

El análisis de alimentos es la disciplina que se ocupa del desarrollo, uso y estudio de los procedimientos analíticos para evaluar las características de alimentos y de sus componentes. Esta información es crítica para el entendimiento de los factores que determinan las propiedades de los alimentos, así como la habilidad para producir alimentos que sean consistentemente seguros, nutritivos y deseables para el consumidor.

Existen un número considerable de técnicas analíticas para determinar una propiedad particular del alimento. De ahí que es necesario seleccionar la más apropiada para la aplicación específica. La técnica seleccionada dependerá de la propiedad que sea medida, del tipo de alimento a analizar y la razón de llevar a cabo el análisis.

Las determinaciones que se realizan más frecuentemente para conocer la composición de los alimentos incluyen la determinación de humedad, cenizas, extracto etéreo (grasa cruda), proteína total, fibra y carbohidratos asimilables, en un protocolo conocido como Análisis Proximal. Así mismo, dependiendo del objetivo del análisis, resultan importantes las determinaciones relacionadas con la caracterización de algún grupo de nutrientes en particular, tal es el caso del análisis de carbohidratos en el que se podría considerar la diferenciación de los que presentan poder reductor, del contenido total. En el mismo sentido se podrían analizar las proteínas solubles o considerar la caracterización de los lípidos extraídos de un alimento. El objetivo de este documento es revisar los principios básicos de los procedimientos comúnmente empleados para el análisis de los alimentos y establecer las principales ventajas y desventajas.

PRÁCTICA 1 Y 2: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS

OBJETIVO: Cuantificar el porcentaje de Humedad y Cenizas en un alimento.

INTRODUCCION:

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido en agua varían entre un 60 y un 95% en los alimentos naturales. En los tejidos vegetales y animales, puede decirse que existe en dos formas generales: “agua libre” Y “agua ligada”. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad. El agua ligada se halla combinada o absorbida. Se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales. (Hart, 1991)

Existen varias razones por las cuales, la mayoría de las industrias de alimentos determinan la humedad, las principales son las siguientes:

- a. El comprador de materias primas no desea adquirir agua en exceso.
- b. El agua, si está presente por encima de ciertos niveles, facilita el desarrollo de los microorganismos.
- c. Para la mantequilla, margarina, leche en polvo y queso está señalado el máximo legal.
- d. Los materiales pulverulentos se aglomeran en presencia de agua, por ejemplo azúcar y sal.
- e. La humedad de trigo debe ajustarse adecuadamente para facilitar la molienda.
- f. La cantidad de agua presente puede afectar la textura.
- g. La determinación del contenido en agua representa una vía sencilla para el control de la concentración en las distintas etapas de la fabricación de alimentos.

Los métodos de secado son los más comunes para valorar el contenido de humedad en los alimentos; se calcula el porcentaje en agua por la pérdida en peso debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas. Aunque estos métodos dan buenos resultados que pueden interpretarse sobre bases de comparación, es preciso tener presente que a) algunas veces es difícil eliminar por secado toda la humedad presente; b) a cierta temperatura el alimento es susceptible de descomponerse, con lo que se volatilizan otras sustancias además de agua, y c) también pueden perderse otras materias volátiles aparte de agua. (Kirk et al, 1996)

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. Las cenizas normalmente, no son las mismas

sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes.

El valor principal de la determinación de cenizas (y también de las cenizas solubles en agua, la alcalinidad de las cenizas y las cenizas insolubles en ácido) es que supone un método sencillo para determinar la calidad de ciertos alimentos, por ejemplo en las especias y en la gelatina es un inconveniente un alto contenido en cenizas. Las cenizas de los alimentos deberán estar comprendidas entre ciertos valores, lo cual facilitará en parte su identificación. (Kirk et al, 1996).

En los vegetales predominan los derivados de potasio y en las cenizas animales los del sodio. El carbonato potásico se volatiliza apreciablemente a 700°C y se pierde casi por completo a 900°C. El carbonato sódico permanece inalterado a 700°C, pero sufre pérdidas considerables a 900°C. Los fosfatos y carbonatos reaccionan además entre sí. (Hart, 1991)

MATERIAL Y EQUIPO:

Cuchillo, bisturí o tijera

Papel aluminio

Crisol

Pinza para crisol

Caja Petri

Desecador

Parrilla eléctrica

Mufla eléctrica con indicador de temperatura

Estufa de secado con control de temperatura

Balanza analítica

Termómetro

Muestra biológica: 50 g de alimento (dependiendo del tipo de alimentos, ejemplo si son hojas deberán traer más de 200 g)

PROCEDIMIENTO:

PRÁCTICA 1: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (POR DUPLICADO O TRIPLICADO)

1. Elabore 3 charolas rectangulares de 4 x 5 x 1cm con papel aluminio (marque en cada charola alguna señal que la identifique) o en su caso tres tapas de caja petri numeradas.
2. Coloque las charolas o tapas de caja petri en la estufa de secado a una temperatura entre 50 a 60 °C, hasta obtener el peso constante (**Po**), aproximadamente 12 horas. Al llegar a peso constante las charolas o tapas de caja petri deben pasarlas de la estufa al desecador CON CUIDADO y esperar que se enfríen para pesar en la balanza analítica. Deberán registrar el peso considerando cuatro dígitos después del punto decimal.
3. Distribuya, aproximadamente 5 g de muestra (**Pm**) previamente triturada en el interior de la charola de aluminio o mitad de caja petri (peso constante) y extender el producto para que ocupe la mayor superficie posible.
4. Introduzca la charola o tapa de caja petri con la muestra (sin tocarla con las manos, con ayuda de la pinza para crisol) en la estufa de secado. Dejar eliminar el agua de la muestra a una temperatura entre a 50 a 65°C durante 12 a 24 horas (hasta obtener el peso constante).

Nota: También se puede evaporar el agua a 100 °C por 2 a 5 horas.

5. Retire la charola o tapa de caja petri con la muestra deshidratada de la estufa, colocarla en el desecador, espere a que se enfríe la muestra (2 a 3 minutos) y pese (**P1**).
6. Calcule el contenido de humedad a partir de la pérdida de peso de la muestra.

CÁLCULOS

$$\% Hum = \left[\frac{Pm - (P1 - Po)}{Pm} \right] \times 100$$

$$\% Muestra seca = 100 - \% Humedad$$

PRACTICA 2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS (POR DUPLICADO O TRIPLICADO)

1. Limpie bien 3 crisoles y rotule (número de identificación) en la BASE CON LÁPIZ.
2. Ponerlos a peso constante en la estufa de secado a una temperatura entre 50 a 60 °C.
3. Saque los crisoles cuidadosamente de la estufa con la ayuda de la pinza para crisol (no tocarlos) y póngalos en la estufa de secado por 12 horas, sacar de la estufa y colocarlos en el desecador (5 a 10 minutos).
4. Después de enfriar en el desecador los crisoles deberán ser pesados (**Po**).
5. Colocar de 5 g de muestra molida (**Pm**) en cada crisol.
6. Carbonizar sobre la parrilla de calentamiento hasta que deje de liberar humo, CUIDANDO QUE NO SE INCENDIE, pues puede haber pérdida de peso por “proyecciones de la muestra”.
7. Tomar la muestra carbonizada utilizando la pinza para crisol e incinerar en la mufla a una temperatura entre 550 a 600°C.
8. Mantenga la temperatura de la mufla hasta que las cenizas adquieran un color BLANCO a GRIS-BLANCO (aproximadamente de 2 a 3 horas, en el caso de algunos cereales el tiempo puede llegar a ser mayor)
9. Retirar los crisoles de la mufla con la pinza con MUCHO CUIDADO, colocarlos en la estufa de secado (10^a 15 minutos), sacar y colocar en el desecador hasta que enfríen (5 a 10 minutos). Pese los crisoles (**Pf**), sin tocarlos con las manos.

CÁLCULOS

$$\%Cen(BS) = \left[\frac{(Pf - Po)}{Pm} \right] \times 100$$

PRÁCTICA 3: EXTRACCIÓN DE GRASA CRUDA.

OBJETIVO: Cuantificar el porcentaje de Extracto Etéreo de un alimento.

INTRODUCCIÓN

Los lípidos, junto con las proteínas y carbohidratos, constituyen los principales componentes estructurales de los alimentos. (Nielsen, 1998). Los lípidos se definen como un grupo heterogéneo de compuestos que son insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos tales como éter, cloroformo, benceno o acetona. Todos los lípidos contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, y algunos también contienen fósforo y nitrógeno (Aurand et al, 1987). Los lípidos comprenden un grupo de sustancias que tienen propiedades comunes y similitudes en la composición, sin embargo algunos, tales como los triacilgliceroles son muy hidrofóbicos. Otros, tales como los di y monoacilgliceroles tienen movilidad hidrofóbica e hidrofílica en su molécula por lo que pueden ser solubles en disolventes relativamente polares (Nielsen, 1998)

Métodos de extracción y cuantificación

El contenido total de lípidos se determina comúnmente por métodos de extracción con disolventes orgánicos (por ejemplo Soxhlet, Goldfish, Mojonnier), sin embargo también puede cuantificarse por métodos de extracción que no incluyen disolventes (por ejemplo, Babcock, Gerber) y por métodos instrumentales que se basan en propiedades físicas o químicas de los lípidos (por ejemplo, infrarrojo, densidad y absorción es rayos X) (Nielsen, 2003).

Método de Soxhlet

Es una extracción semicontinua con un disolvente orgánico. En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente. Posteriormente éste es sifoneado al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso (Nielsen, 2003)

Material y equipo

Matraz bola con fondo plano y cuello esmerilado 250 ml

Pinza de crisol, desecador

Papel filtro o cartuchos de celulosa y algodón

Perlas de vidrio

Vaso de precipitado de 250 ml

Embudo de cuello corto o largo

Equipo de extracción soxhlet

Balanza analítica

estufa

PROCEDIMIENTO

Preparativo A. Se recomienda realizar este paso un día antes de la practica

1. Colocar 2 o 3 matraces balón con boquilla esmerilada en la estufa de secado a una temperatura entre 50 a 60 oC, hasta llegar al peso constante (**Po**), aproximadamente 6 a 8 horas.

El día de la Práctica.

2. Pesar 5 g de muestra seca (**Pm**) dentro del cartucho dentro del cartucho de celulosa, teniendo cuidado de no tirar muestra dentro de la balanza analítica. Colocar un tapón de algodón en la boquilla del cartucho para impedir que se tire la muestra.
3. Depositar el cartucho con su contenido (muestra seca) en la cámara o trampa del extractor
4. Añadir de 2 a 3 sifonadas de hexano la cámara o trampa del extractor.
5. Embonar el refrigerante y cerciorarse que las mangueras de agua estén conectadas correctamente, y así mismo que no hayan fugas.
6. Abrir la llave de agua verificando que el agua fluya por el refrigerante y encender la fuente de calor.
7. Extraer por 12 a 16 horas la grasa de la muestra (según indicación del maestro, cuidar que haya paso de agua y hexano suficiente), dependiendo del contenido de grasa de la muestra.

Después de la extracción

8. Retirar el cartucho con la muestra sin grasa de la trampa del extractor y colocar en la estufa de secado hasta evaporar el hexano. Guardar para ocupar la muestra desengrasada en las posteriores pruebas.
9. Destilar el hexano sucio. Para llevar acabo este paso el equipo de extracción no deberá ser desmontado, solicitar ayuda al docente para indicaciones.
10. Colocar en la estufa de secado los matraces balón con muestra de grasa hasta obtener el peso constante, evaporado el solvente. Pesar (**Pf**).

CÁLCULOS

$$\% \text{ ExtractoEtereo}(BS) = \left[\frac{(Pf - Po)}{Pm} \right] \times 100$$

PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA

OBJETIVO: Cuantificar la proteína cruda de un alimento por el método de Micro-Kjeldahl.

INTRODUCCION

Determinación de proteínas- Método de Kjeldahl

En el trabajo de rutina se determina mucho más frecuentemente la proteína total que las proteínas o aminoácidos individuales. En general, el procedimiento de referencia Kjeldahl determina la materia nitrogenada total, que incluye tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas (Aurand et al, 1987). El método se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en productos alimentarios, compromete dos pasos consecutivos:

- a. La descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado.
- b. El registro de la cantidad de amoniacó obtenida de la muestra

Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la materia orgánica combinada con la oxidación de carbono a dióxido de carbono. El nitrógeno orgánico es transformado a amoniacó que se retiene en la disolución como sulfato de amonio. La recuperación del nitrógeno y velocidad del proceso pueden ser incrementados adicionando sales que abaten la temperatura de descomposición (sulfato de potasio) o por la adición de oxidantes (peróxido de hidrógeno, tetracloruro, persulfatos o ácido crómico) y por la adición de un catalizador. (Nollet, 1996)

Material y equipo

<i>Parte A. Digestión de la muestra</i> Matraz Micro-Kjeldahl de 30 mL. Pipetas graduadas Espátula	Campana de extracción Balanza analítica Digestor Micro-Kjeldahl Reactivos: Acido sulfúrico concentrado libre de nitrógeno, catalizador micro-kjeldahl, papel arroz.
<i>Parte B. Destilación</i> Equipo de destilación: Matraz de destilación, refrigerante, pinzas de 3 dedos, soporte universal, mechero, tripie, malla de asbesto y mangueras. Probeta de 100 ml Pipetas graduadas de 10 ml Reactivos: Solución de Sosa-Tiosulfato, Acido Bórico al 5%, agua destilada, indicador micro-kjeldahl.	
<i>Parte C. Titulación</i>	

Soporte universal Pinza para bureta Bureta de 25 ml Matraz erlenmeyer de 100 ml Pipeta volumétrica de 10 ml
<i>Parte D. Valoración del ácido clorhídrico</i> Pipeta volumétrica de 10 ml Matraces erlenmeyer de 100 ml Espátula Equipo de titulación

Preparación de reactivos

A. Catalizador Micro-kejldahl: Mezclar 1.9 g de K_2SO_4 (Sulfato de potasio libre de nitrógeno)+ 40 mg de HgO Óxido de Mercurio rojo.

B. Indicador Micro-kejldahl: Solución rojo de metilo-Verde de bromocresol

B.1 Solución alcohólica de rojo de metilo al 0.2 % (p/v)

B.2 Solución alcohólica de verde de bromocresol al 0.2 % (p/v)

Solución B.1

Pesar 0.02 g de rojo de metilo y disolverlo en alcohol etílico de 95% de pureza. Aforar a 10 ml con etanol

Solución B.2

Pesar 0.1 g de verde de bromocresol disolverlo en alcohol etílico de 95% de pureza. Aforar con 50 ml de etanol

Mezclar las soluciones B.1 y B.2, guardar en goteros de color ambar.

C. Solución sosa-tiosulfato de sodio:

Disolver 60 g de hidróxido de sodio (sosa) y 5 g de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) en agua, y disolver en agua destilada. Aforar a 100 ml con agua. *Precaución reacción exotérmica.*

D. Acido Bórico al 5 %

E. Solución de HCl al 0.05 N o 0.1 N

Mililitros de ácido clorhídrico (A) = (PE) (N) (V) (densidad)

Corregido por La pureza Del ácido: mililitros de ácido clorhídrico = mililitros de ácido clorhídrico A x100 / pureza real Del reactivo

PROCEDIMIENTO

Nota 1. Todo el procedimiento se hará por duplicado o triplicado

Nota 2. Deberá considerarse un blanco desde el inicio del procedimiento

Parte A. Digestión de la muestra

1. Pesar entre 50 y 100 mg de muestra seca y libre de grasa.
2. Adicionar la muestra a un matraz Micro-Kjeldahl de 30 mL, lavado perfectamente con agua destilada

3. Agregar 2 g de catalizador Micro-Kjeldahl
4. Agregar 2 mL de ácido sulfúrico.
5. Adicionar perlas de vidrio y colocar en el DIGESTOR de 1 a 1.5 horas (cuando la muestra se vuelve transparente, calentar 1 hora mas).

Parte B. Destilación de la muestra

1. Transferir la solución digerida al aparato de destilación, esto es al matraz de destilación previamente lavado con agua destilada, lavar el matraz micro Kjeldhal de 5 a 6 veces con porciones de agua (con una pipeta de 10 ml), agregar 10 mL de la solución Sosa-Tiosulfato.
2. Colocar una manguera corta a la salida del refrigerante
3. Depositar 5 mL de ácido Bórico al 5% en una probeta de 100 ml y adicionar 3 gotas de indicador micro-kejdahl, colocar la probeta debajo de la salida del refrigerante procurando que la manguera conectada previamente quede sumergida en el acido.
4. Comenzar la DESTILACIÓN.
5. Colectar entre 50 a 60 mL de destilado.

Parte C. Titulación

1. Titular una alícuota de 50 ml del destilado con HCl 0.05 N ó 0.1 N hasta la aparición de un color VIOLETA.

Parte D. Valoración del HCl

Disolver aproximadamente 50 mg (0.05 g) de Borax (Tetraborato de sodio) deshidratado en 50 ml de agua destilada, agregar de 2 a 3 gotas del indicador micro-kjeldahl, titular con el HCl cuya concentración exacta se desconoce.

$N_{\text{acido}} = \text{mg de borax} / (\text{ml de HCl gastados}) (190.69)$

Parte E. Cálculos

$$\% N \text{ Total} = \frac{14.007 (\text{mL de HCl muestra} - \text{mL HCl blanco}) (N \text{ ácido})}{\text{mg de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína Cruda (Pc)} = (\% N \text{ Total}) (\text{Factor})$$

MATERIA PRIMA	FACTOR
Trigo (harina blanca)	5.83
Trigo (otras harinas)	5.70
Macarrones	5.70
Salvado	6.31
Arroz	5.95
Cebada, Avena y Centeno	5.83
Maíz	6.25
Soya	5.71
Nueces, Cacahuete	5.41
Almendras	5.18
Otras nueces	5.30
Lácteos	6.38
Gelatina	5.55
Otros alimentos	6.25

PRÁCTICA 5. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

OBJETIVO: Cuantificar la fibra cruda de un alimento, y así mismo poder obtener la cuantificación de carbohidratos de una muestra de alimento.

MATERIAL Y EQUIPO

Material y equipo para la determinación de fibra cruda

Vaso de Berselius	Balanza Analítica
Probeta de 50 mL	Condensador de Fibra Cruda
Vasos de Precipitado de 250 mL	Reactivos:
Embudo de cuello largo	Reactivo de Scharrer-Kurschener (S-K)
Papel Filtro	Acetona
Pipeta de 10 ml	Material biológico: Alimento que se ha utilizado durante las demás pruebas (desgrasado)

Preparación del reactivo S-K

Disolver 50 g de Ácido Tricloroacético en 1.0 a 1.5 L de Ácido Acético al 70%, adicionar 124 mL de Ácido Nítrico (65% y densidad de 1.4) y complementar a 2.0 L con Ácido Acético al 70%.

PROCEDIMIENTO

Preparativo A

1. Muestra biológica desgrasada y molida (0.6 mm de diámetro)
2. Papel filtro a Peso Constante (**Po**) tratar de no tocarlo con las manos.

El día de la práctica

3. Pesar aproximadamente 1 g de muestra (**Pm**), transferir al vaso de Berzelius y adicione 30 mL del reactivo S-K.
4. Colocar el vaso en el Condensador de Fibra Cruda.
5. Llevar el contenido del Vaso de Berzelius a ebullición lo más rápido posible (agitar cada 5 min., aproximadamente).
6. Hervir por exactamente 30 min.
7. Filtrar en caliente a través del embudo (utilizando el papel filtro llevado a peso constante).
8. Lavar el residuo con agua caliente.
9. Lavar el residuo con acetona (hasta obtener la decoloración).
10. Colocar a peso Constante el Papel filtro.
11. Pesar el papel filtro, más residuo (**P1**).

CÁLCULOS

$$\% \text{ Fibra} = \frac{(P1 - Po)}{Pm} (100)$$

A. EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO (ELN) O CARBOHIDRATOS SOLUBLES TOTALES

El ELN o los CST se calculan por diferencia de 100

ELN= 100 - % cenizas - % humedad - % extracto etéreo (grasa) - % fibra cruda - % Proteína cruda

Para obtener el % de carbohidratos, tiene que pasar todos sus resultados en Base Húmeda.

B. CORRECCIONES EN LOS CALCULOS DEL ANALISIS PROXIMAL

1. CONVERSIONES A BASE HUMEDA (BH) Y BASE SECA (BS)

$Pi (BH) = (100 - \% \text{ Humedad (BH)}) (Pi (BS)) / 100 = (MS) (Pi (BS))$

$Pi (BS) = 100 (Pi(BH))/(100 - H(BH)) = Pi (BH) / MS$

i = proteína, lípido, cenizas, fibra o carbohidratos

p = % Del componente i

Realizar un cuadro comparativo de los resultados del alimento, dados en BASE SECA y en BASE HÚMEDA; para explicarlo, por equipo, frente al grupo y docente.

PRÁCTICA 6. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UN ALIMENTO

OBJETIVO: Analizar químicamente la composición, calidad o inocuidad de un alimento a elección propia, utilizando las técnicas expuestas en el salón de clases para el análisis de alimentos de frutas y hortalizas, cereales, huevo, carne, leche y grasas-aceites.

METODOLOGIA:

De acuerdo a la metodología seleccionada verificar si el laboratorio de análisis y tecnología de los alimentos, cuenta con los reactivos, materiales y equipo necesario para llevarse a cabo dicha práctica, de ser así, solicitar con anterioridad los materiales y preparar si es necesario los reactivos a necesitar para la realización de la práctica.

BIBLIOGRAFIA:

Composición y análisis de alimentos de Pearson. R.S Kirk, R. Sawyer, H. Egan. 8va. Edición, México 2006.

APÉNDICE II. MANUAL PARA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS ACEITES

1.- Caracterización del aceite

El producto obtenido fue sometido a los siguientes análisis fisicoquímicos:

1.1.- Índice de acidez

El índice de acidez consiste en cuantificar a los ácidos grasos libres presentes en el producto, los que se encuentran formados por hidrólisis de los triacilgliceridos.

El valor obtenido se representa como el número de gramos de ácidos grasos libres contenidos en 100 g de grasa. La metodología para determinar el índice de acidez fue la siguiente:

Preparación de disoluciones

Preparación de KOH 0.01N (Etanólico):

Se pesó 0.56 g de hidróxido de potasio para disolver con 100 mL de etanol a 96° y seguidamente se pasó a un matraz aforado de 1L, se enfrió a temperatura ambiente y aforo con el mismo etanol.

Disolución de Etanol: Éter (1:1).

Se agregó 100 mL de etanol 96° a un matraz Erlenmeyer. Se adiciono 100 mL de éter etílico se mezcló y agito. Seguidamente neutralizo al momento de uso con hidróxido de potasio etanólico a 0.01N y utilizó como indicador la fenolftaleína.

Desarrollo

- 1.- Se pesó 5 ± 0.2 g de muestra dentro de un matraz Erlenmeyer de 125 mL.
- 2.- Se agregó 50 mL de la mezcla disolvente (alcohol-éter etílico) previamente neutralizado con KOH 0.01N se mezcló y agito.
- 3.- Se agregó 1 mL de Fenolftaleína.

4.- La mezcla se tituló con la solución de hidróxido de potasio valorada, se agito frecuentemente hasta que se formó una coloración rosa persista durante 30 seg.

Expresión de Resultados

Los resultados se expresan en miligramos de hidróxido de potasio de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de acidez (\% de ácido oléico)} = \frac{V_{\text{hidroxido}} * M * N}{10 * P_{\text{aceite}}} \quad (1)$$

$$\text{Índice de acidez} = \frac{56.1 * V_{\text{hidroxido}} * N}{P_{\text{aceite}}} \quad (2)$$

En donde:

V= volumen en mL de la disolución en KOH utilizada

N= normalidad exacta de la solución de KOH utilizada

M= masa molecular del ácido graso en que se expresa la acidez (Masa molar ác. Oleico=282 g/mol; Masa molar ác. Palmítico= 256g/mol; Masa molar ác. Laúrico= 200g/mol)

P=peso en gramos del aceite problema

56.1=equivalente químico de la potasa

N=normalidad de la solución de hidróxido de potasio

V= mL de disolución valorada de hidróxido de potasio, gastados en la titulación de la muestra

P=masa de la muestra en gramos

1.2.- Índice de yodo (NMX-F152-S-1981)

El índice de yodo es una medida de la insaturación de los ácidos grasos que componen el aceite o grasa de acuerdo a la cantidad de gramos de yodo que son absorbidos por cien de gramos de muestra. Se adiciona en exceso el halógeno para que una parte reaccione con la muestra y el resto en la titulación con tiosulfato de sodio, mediante el uso de almidón como indicador,

realizando el método de Wijs:

Preparación de disoluciones

1.- Yoduro de Potasio (KI) al 15%

Se pesó 75 g de yoduro de potasio y disolvió en 500ml de agua destilada. La solución se pasó a un frasco color ámbar.

2.-Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) al 0.1N

Se disolvió 25 g de tiosulfato de sodio pentahidratado y aforo el volumen a un litro de agua destilada hervida y enfriada a 45°C. Seguidamente la solución se pasó a un frasco color ámbar.

3.- Solución de almidón al 1%

Se pesó 1g de almidón en un vaso de precipitado y se formó una suspensión con aproximadamente 20 mL de agua destilada. Se calentó a ebullición aproximadamente 80 mL de agua destilada y en caliente se adicionó la suspensión anterior agitando y calentando hasta disolución de almidón (la solución se preparó diariamente cuando se utilizó, debido a que no es estable).

Desarrollo:

1.- Se pesó 0.3 g de aceite en un matraz Erlenmeyer con tapa por duplicado y un matraz como testigo. Se anotó el peso exacto obtenido.

2.- Se agregó a cada matraz erlenmeyer 20 ml de cloroformo con ayuda de una pipeta volumétrica se disolvió así el aceite. Seguidamente se agregó con otra pipeta 10 mL de reactivo de Wijs.

3.- Se agito suavemente y se dejó reposar por 45 - 60 minutos en oscuridad (el exceso de yodo debe ser mayor o igual al 60% de la cantidad añadida).

4.- A los erlenmeyer se agrego 10-15 ml de solución de KI al 15%, agito vigorosamente y seguidamente añadió 50 mL de agua destilada, se lavó cualquier cantidad de yodo libre de la

tapa.

5.- Se tituló el yodo con tiosulfato a 0.1N añadiendo gradualmente, con una agitación constante, hasta que el color amarillo de la solución casi desapareció.

6.- Se agregó 1 ml de almidón como indicador. Se continuó la titulación hasta que el color azul desapareció completamente.

7.-Al finalizar la titulación, se tapó el Erlenmeyer y agitar vigorosamente de manera que todo el yodo remanente en la capa de cloroformo paso a la capa de yoduro de potasio. Se corrió un blanco con la muestra.

Expresión de resultados

El número de mililitros de tiosulfato 0.1N requeridos por el blanco (V_B) menos los usados en la determinación de la muestra (V_M) dan la cantidad de tiosulfato equivalente al yodo absorbido por la grasa o el aceite. Ecuación para calcular el % en peso de yodo absorbido.

$$\text{Índice de Iodo} = \frac{(V_B - V_M) \times N \times 12.67}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

En donde:

V_B = volumen de tiosulfato gastado en el blanco.

V_M = volumen de tiosulfato gastado en la muestra

N = Normalidad del tiosulfato

12.67 = equivalente del Yodo

1.3. Índice de saponificación (NMX-F-154-1987)

El índice de saponificación es la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite o grasa.

Este método se basa en la reacción química de los triglicéridos con un álcali, formándose jabones o sales alcalinas de los ácidos grasos y glicerina.

Preparación de soluciones

1.-Preparación de Hidróxido de potasio en solución alcohólica (KOH)

Disolvió 40 g de KOH, en un 1L de alcohol etílico al 95% y enfrió para conservar la temperatura $\leq 15^{\circ}\text{C}$. La solución debió de permanecer clara y transparente.

2.-Solución indicadora de fenolftaleína-1% en alcohol etílico al 95%

Se pesó 1g de fenolftaleína y disolvió en 100 mL de etanol.

3.- Ácido clorhídrico 0.5N

Para preparó un litro de solución de 0.5N de HCl de densidad 1.19 y al 37% se necesitó 41.34 mL de ácido clorhídrico concentrado.

Nota: Para preparar la disolución de ácido recuerde colocar en un matraz aforado un aparte de agua destilada para posteriormente incorporarle el ácido.

DESARROLLO:

1.- En un matraz Erlenmeyer se agregó la cantidad de muestra a utilizar para la determinación esta fue de 5 g y debió estar seca y filtrada.

2.- Se agregó 50 mL de disolución de hidróxido de potasio (KOH) alcohólica con una probeta de 50 mL.

3.- Se preparó y conduzco determinaciones en blanco simultáneamente con la muestra y similares en todos aspectos, excepto por el aceite.

4.- Conecto el condensador y llevando a ebullición lenta pero constante hasta que la muestra estuvo completamente saponificada. Esto normalmente requirió de 1 h para muestras normales. Se aseguró que no hubiera ninguna fuga.

5.- Después de que el matraz y el condensador se enfriaron pero no lo suficiente para formar un gel, se lavó el interior del condensador con una pequeña cantidad de agua destilada.

6.- Se desconectó el condensador, se agregó aproximadamente 1 mL del indicador de fenolftaleína y se tituló con la solución 0.5 N de HCl.

7.- Se registró el volumen de la solución requerida para la titulación.

Expresión de resultados

$$\text{Índice de saponificación} = (B - M) * N * 56.1 / P$$

En donde:

B= Volumen, mL 0,5N HCl requeridos para titular el blanco

M= Volumen, mL 0.5N HCl requeridos para titular la muestra

N= Normalidad de la solución de HCl

P= Peso de la muestra en gramos

56.1= Equivalente del hidróxido de potasio

Nota: Algunas muestras, particularmente aquellas que sean difíciles de saponificar pueden requerir más de 1 hora de reflujo. La claridad y homogeneidad de la solución de prueba son indicadores parciales de la saponificación completa, pero no representan un criterio absoluto.