



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**"OBTENCION, CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA
DE MANGO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUÍMICO DE ALIMENTOS

P R E S E N T A :

ALVAREZ CORREA FRANCISCO



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**



MEXICO, D.F.

AÑO 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.


NOMBRE: Alvarez Correa
Francisco
FECHA: 28 Octubre - 2004
FIRMA: [Firma]


Jurado asignado:

Presidente	Cecilio Alvarez Toledano
Vocal	Francisca Iturbe Chiñas
Secretario	Marco Antonio León Félix
1er. Suplente	Arturo Navarro Ocaña
2do. Suplente	Eduardo Arturo Vázquez López

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio 4, Inorgánica, Instituto de Química,

UNAM.


Asesor del Tema: Dr. Cecilio Alvarez Toledano


Supervisor Técnico: Dra. Andrea Trejo Márquez


Sustentante: Francisco Alvarez Correa

DEDICATORIAS y AGRADECIMIENTOS

A mis Padres,
por todo su apoyo brindado a lo largo de mi trayectoria como estudiante, por su paciencia, este triunfo también es de ustedes, mil gracias, siempre les estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí para que saliera adelante.

A mi Abuelita Elena (Q.E.P.D.)
gracias, por que sé que desde allá me sigues apoyando y me brindas tu protección y tu bendición, siempre te llevaré conmigo.

A mis Hermanos Giovanna y Daniel,
que esto les pueda servir de ejemplo y como aliciente para que les vaya bien en lo que decidan hacer en su vida.

A toda mi Familia,
por el apoyo y el ánimo brindado, esto también se los dedico a ustedes.

A Ligia,
por tu amor infinito, tu apoyo y ayuda brindados, por toda tu paciencia y por todas las vivencias y experiencias que hemos pasado juntos, esto te lo dedico a ti amor ya que este triunfo en parte también es tuyo, Te amo.

A Quique y René,
por ser tan grandes amigos, por su comprensión, ayuda y por depositar su confianza en mí y por estar siempre juntos tanto en las buenas como en las malas, esto también es para ustedes, gracias por todo.

A toda 'La Oficina',
por su amistad y apoyo brindados, además por todos los momentos felices que pasamos juntos a lo largo de la carrera y por permitirme ser parte de esta gran Familia que es 'La Oficina', siempre les estaré agradecido.

A Rafa, Moncha, Esme, Lore, Blondie, Norma y Jocus,
por haber sido parte de mi vida universitaria, por todas las experiencias que llegamos a vivir juntos y por brindarme su amistad.

A Liliana,
esto también te lo dedico a ti, por ser una gran amiga, y por haber sido una parte importante en mi vida, que esto sea también un aliciente para que sigas adelante que yo sé que lo que te propongas lo vas a lograr y recuerda: 'Smile for always ...'.

Al Dr. Cecilio,
por todo el apoyo brindado, por permitirme ingresar a su laboratorio, ya que de no haber sucedido, esta Tesis no se hubiera logrado, por su amistad, entusiasmo y por depositar su confianza en mí, muchísimas gracias por todo.

A la Dra. Andrea,
por haber colaborado en el desarrollo de esta Tesis, por todo el apoyo brindado y por su valiosa amistad, sin su ayuda no hubiera podido desarrollar este trabajo como se hizo finalmente, muchísimas gracias.

Al Laboratorio 4 de Inorgánica del Instituto de Química:
Fer, José, Carmen, Eugenia, Iván y Raúl (Q.E.P.D.), así como a los que alguna vez fueron y son parte del laboratorio, por su valiosa cooperación y ayuda, por brindarme su amistad y un poco de su conocimiento para el desarrollo de mi Tesis y en su momento de mi Servicio Social, siempre les estaré agradecido.

A Lucy Cornejo y Agustín Reyo,
por todo el apoyo brindado y por las facilidades otorgadas para la realización de algunos experimentos de esta Tesis en el Laboratorio 4-A de la Facultad de Química, por compartir sus conocimientos y sus vivencias, por su amistad y por su confianza depositadas en mí, Mil Gracias.

A mis Amigos de la FES Cuautitlán:
Gaby, Selene, Alma, Edna, Nelly, Rodrigo, César y Hugo,
por brindarme su amistad, apoyo y buena vibra, por aceptarme en su grupo recién que nos conocimos en el Congreso y por lo vivido allá, además por ayudarme en mi seminario de práctica, me sirvió bastante muchas gracias

Al Honorable Jurado,
por haber leído y revisar mi Tesis, gracias.

ÍNDICE

RESUMEN

Introducción	1
I. Generalidades	4
1. El Mango	5
1.1 Clasificación Botánica	6
1.1.1 Descripción Botánica	7
1.1.2 Variedades	13
1.2 Producción de Mango	14
1.2.1 Comercio Internacional	18
1.2.2 México como Exportador	21
1.3 Composición Química y Valor Nutricional del Mango	23
1.3.1 Metabolismo de Carbohidratos	24
1.3.2 Lípidos	24
1.3.3 Sustancias Pécicas y Constitución de la Pared Celular	25
1.3.4 Pigmentos	26
1.3.5 Compuestos Fenólicos	27
1.4 Subproductos Derivados del Procesamiento del Mango	27
1.4.1 Principal composición de ácidos grasos del aceite de la semilla del hueso de mango.	28
1.5 Composición Química de la manteca de Cacao.	29
1.5.1 Sustitutos de Manteca de Cacao	31
1.6 Métodos de Extracción	32
1.6.1 Extracción Soxhlet	33
1.6.2 Sonicación (Ultrasonido)	35
1.6.2.1 Frecuencia y Amplitud	37
1.6.3 Extracción con Fluidos Supercríticos (EFS)	38
1.6.3.1 Fundamentos de la Extracción por Fluidos Supercríticos	40

II. Objetivos	43
III. Metodología Experimental	45
3.1 Metodología General	46
3.2 Preparación de las Muestras	47
3.2.1 Obtención de las semillas de Mango	47
3.2.2 Secado de las Semillas del Hueso de Mango	47
3.2.3 Molienda y Tamizado	47
3.3 Extracción de los aceites	48
3.3.1 Extracción del aceite por el método Soxhlet (SX)	48
3.3.2 Extracción del aceite por el método de Sonicación (SN)	48
3.4 Fraccionamiento de los aceites	49
3.5 Caracterización física de los aceites y grasas de la semilla de mango	49
3.6 Análisis de Identidad a las grasas de las semillas de mango	49
3.6.1 Índice de Saponificación	49
3.6.2 Índice de Yodo (Wijs)	50
3.6.3 Punto de fusión	50
3.6.4 Perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases	51
3.7 Análisis de deterioro a las grasas de las semillas de mango	52
3.7.1 Acidez titulable	52
3.7.2 Peróxidos	52
3.7.3 Índice de Kreis	53
3.8 Comparación de identidad de la grasa de mango y manteca de cacao	54
3.9 Análisis Estadístico	54
IV. Resultados y Discusión	55
4.1 Comparación de los métodos de extracción del aceite de la semilla de mango	56
4.2 Efecto del tamaño de partícula en la obtención del aceite	59
4.3 Caracterización física a los aceites obtenidos	62
4.4 Fraccionamiento del aceite	63
4.5 Caracterización física a las estearinas (grasas) obtenidas	65
4.6 Caracterización de identidad y deterioro a las grasas de las semillas de mango	66
4.6.1 Identidad de las grasas	66

4.6.2	Deterioro de las grasas	70
4.7	Propuesta de uso del aceite de la semilla de mango como sustituto de manteca de cacao	72
Conclusiones		76
Bibliografía		80
Anexos		86
ANEXO 1	Tablas de rendimientos de extracción por los métodos Soxhlet y Sonicación	87
ANEXO 2	Rendimientos de extracción por sonicación tomando en cuenta el tamaño de partícula	91
ANEXO 3	Tablas del análisis estadístico	93
Anexo 3.1	Comparación de los métodos de extracción	93
Anexo 3.2	Comparación de rendimientos obtenidos de las tres variedades de mango por el método Soxhlet	95
Anexo 3.3	Comparación de rendimientos tomando en cuenta el tamaño de partícula	95
ANEXO 4	Equipo 'Mel-Temp' de determinación de punto de fusión por el método de capilar	96
ANEXO 5	Cromatogramas de los ácidos grasos presentes en la grasa de la semilla del hueso de mango y estándares	97

Resumen

El objetivo del presente estudio, fue la optimización del proceso de extracción del aceite de la semilla de mango, su caracterización y determinar las características físicas, químicas y fisicoquímicas del aceite obtenido de tres variedades: 'Manila', 'Keitt' y 'Kent'.

Para ello se llevó a cabo una investigación acerca de la importancia que tiene el mango en México y en el Mundo, denotando las características físicas, químicas y botánicas, además lo que se refiere a los porcentajes de mango destinados al consumo en fresco y procesado, para precisamente conocer la cantidad de residuos materiales que genera el mango en su proceso y resaltar la posibilidad de reutilización de dichos residuos, en especial el hueso para la obtención de subproductos de alto valor agregado como el aceite de la semilla.

La extracción del aceite se realizó por dos métodos: Soxhlet y sonicación. Se obtuvieron rendimientos del 9.04% en 8 horas y 8.01% en 3 horas por Soxhlet y sonicación respectivamente. Por lo que el método propuesto para la extracción del aceite fue el de sonicación, ya que permitió mejorar los tiempos de extracción y rendimientos en el proceso.

Tratando de mejorar la extracción por sonicación se manejaron dos tamaños de partícula: 0.25 y 0.21-0.15mm, encontrándose que la mejor extracción fue la de 3 horas con un tamaño de partícula de 0.25mm logrando aumentar a 9.203% el rendimiento.

Obtenido el aceite se le realizó un fraccionamiento en acetona para separar la fracción de estearina que es a la que se le realizaron los siguientes estudios de identidad y deterioro: índice de saponificación, índice de yodo, punto de fusión, el perfil de los ácidos grasos, acidez, peróxidos e índice de Kreis.

Los rendimientos del fraccionamiento fueron del 15 al 20% en las tres variedades obteniéndose el mayor en la variedad 'Keitt' con un 21.69%. Se encontró que el índice de saponificación presentó valores entre 180 a 200 para las tres variedades. El índice de yodo de las grasas de las variedades 'Kent' y 'Keitt' se encontraron en el rango entre 32-34. Se observó enranciamiento en la variedad 'Manila'. Además el estudio de perfil de los ácidos grasos, detectó ácidos esteárico y oléico en porcentajes similares a los de la manteca de cacao; sin embargo, se observó una deficiencia de ácido palmítico (5-8%) en las grasas obtenidas en comparación con la manteca de cacao.

En base a los resultados, se hizo una propuesta de utilización del aceite obtenido en la extracción para la elaboración de una cobertura o un relleno de chocolate, tomando la decisión en base al estudio físico, químico y fisicoquímico realizado, dejando este trabajo como una opción para futuras investigaciones, como es la utilización de una mezcla de los aceites de las variedades 'Kent', 'Keit' y un nuevo estudio a la variedad 'Manila' para elaborar sustitutos de manteca de cacao.

INTRODUCCION

La investigación en alimentos en estas épocas se ha vuelto muy importante, sobre todo en el ramo de desarrollo de nuevos productos, y más atención tienen los que surgen del aprovechamiento de "residuos" de materias primas, ya que ahora el darle valor agregado a ellos, reditúa en la obtención de ganancias en las industrias que en cierto momento veían que el confinamiento les costaba más y provocaba severos problemas de contaminación. Además debido a la legislación y a razones ambientales, la industria se ve cada vez más forzada a encontrar alternativas de uso de sus residuos materiales; esto se da por lo general en las industrias procesadoras de alimentos, como por ejemplo las que manejan vegetales y frutas.⁽¹³⁾

Los residuos vegetales contienen importantes cantidades de compuestos potencialmente interesantes. La recuperación de ellos es ahora una elegante vía para la reutilización de diversos grupos de subproductos y en la última década el interés en alternativas de uso ha aumentado drásticamente. Más allá de los crecientes costos de disposición, el interés económico también ha aparecido. En la industria procesadora de frutos, en particular el mango es el que provoca un mayor interés, debido al alto porcentaje de residuos que se obtienen de él y de los subproductos que pueden ser obtenidos de ellos.⁽²⁶⁾

Un nuevo nicho de mercado para residuos materiales recientemente apareció en la producción de chocolate. Después de 4 años de discusión, la Comunidad Europea ha derribado la ley de pureza de chocolate. El Parlamento Europeo decidió en marzo del

2000 que la Industria manufacturera de chocolate se le permite adicionar hasta un 5% de otro tipo de grasa además de grasa de cocoa para sus productos de chocolate⁽¹³⁾.

Lo que se quiso investigar en este trabajo, es lo que en las Industrias de la India, Australia, Nueva Zelanda y Nigeria se aprovecha al máximo : La extracción del aceite de la semilla de mango, ya que en los países antes mencionados se obtienen grandes ingresos procesando el aceite, por ejemplo: en confitería, en la elaboración de cosméticos, etc., siendo precisamente el hueso de mango un desperdicio en la mayoría de Industrias que se dedican a elaborar productos con dicho fruto (ates, jugos, mangos en almibar, etc.).

Capítulo 1.

GENERALIDADES

1. El Mango

El mango está reconocido en la actualidad como uno de los 3 ó 4 frutos tropicales más finos. Ha estado bajo cultivo desde los tiempos prehistóricos. Ya las Sagradas Escrituras en Sánscrito, las leyendas y el folklore hindú 2.000 años A.C. se refieren a él. El árbol de mango ha sido objeto de gran veneración en la India y sus frutos constituyen un artículo estimado como comestibles a través de los tiempos. Aparentemente es originario del noroeste de la India, el norte de Birmania (en las laderas de los Himalayas) y posiblemente también de Sri Lanka. El mango está distribuido por todo el sureste de Asia y el Archipiélago Malayo. Desde épocas antiguas se le ha descrito en la literatura china del siglo VII como un cultivo frutal bien conocido en las partes más cálidas de China e Indochina. La temprana prominencia del mango en su tierra nativa sale a la luz por el hecho de que Akbar, el gran Moguel de la India del siglo XVI, tenía un huerto conteniendo 100.000 árboles de mango.⁽²⁸⁾

El mundo occidental se relacionó con el mango e inició su actual distribución mundial con la apertura, por los portugueses, de las rutas marítimas hacia el Lejano Oriente, al principio del siglo XVI. También por el siglo XIII se le llevó de Indochina a la isla de Mindanao y a Sulus, no siendo sino hasta fines del siglo XIV y principio del siglo XV que los viajeros españoles llevaron la fruta desde la India hasta Manila, en Luzón. Mientras tanto, los portugueses en Goa, cerca de Bombay, transportaron fruta de mango al sur de África, de ahí hacia Brasil, alrededor del siglo XVI y unos 40 años después a la Isla de Barbados.

Del mismo modo por los siglos XV y XVI, los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales del Continente Americano, por medio del tráfico entre las Filipinas y la costa oeste de México. Jamaica importó sus primeros mangos de Barbados hacia 1782 y las otras islas de las Indias Occidentales; al principio del siglo XVII, los mangos fueron llevados de México a Hawai en 1809 y a California alrededor de 1880, mientras que la primera plantación permanente en Florida data de 1861.

Ahora, se encuentran bajo cultivo áreas importantes de mango en la India, Indonesia, Florida, Hawai, México, Sudáfrica, Queen Island, Egipto, Israel, Brasil, Cuba, las Filipinas y otros numerosos países. Probablemente la India tiene más plantaciones comerciales que el total del resto del mundo.

Sin embargo, la importancia económica real del mango estriba en el tremendo consumo local que se realiza en cada villa y ciudad de las tierras bajas de los trópicos. Como cosecha de exportación, se coloca bastante abajo en la lista de las frutas, siendo sobrepasada en mucho por los plátanos, cítricos, aguacates, dátiles, higos, piñas y posiblemente otros, pero ocupa el segundo lugar, sólo superándolo los plátanos, en términos de uso doméstico. (28)

1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.

Mangifera indica L., es el miembro más importante de los *Anacardiaceae* o familia del marañón. Tiene algunos parientes bien conocidos, tales como el marañón (*Anacardium occidentale* L.), el pistachero (*Pistacia vera* L) y la familiar hiedra

venenosa o roble venenoso de Norteamérica (*Rhus toxicodendron* L, o *R. radicans* L.), entre otros. La mayoría de todas las especies de la familia se caracterizan por los canales de resina y muchos son famosos por su savia irritante y venenosa, que puede ocasionar dermatitis severa.

El género *Mangifera* comprende más o menos 50 especies nativas del sureste de Asia o las islas circundantes, excepto una, *M. africana* O. que se encuentra en África. Sólo 3 ó 4 especies del grupo producen frutas comestibles; sin embargo, muchas de las otras especies pueden ser de un valor potencial para fines de mejoramiento, puesto que ellas poseen flores con 5 estambres fértiles. (28)

1.1.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

El mango típico constituye un árbol de tamaño mediano, de 10-30 m de altura. El tronco es más o menos recto, cilíndrico y de 75-100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris-café tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos que a veces contienen gotitas de resina. **(Fig.1)** La corona es densa y ampliamente oval o globular. Las ramitas son gruesas y robustas, frecuentemente con grupos alternos de entrenudos largos y cortos que corresponden al principio y a las partes posteriores de cada renuevo o crecimientos sucesivos; son redondeadas, lisas, de color verde amarillento y opacas cuando jóvenes; las cicatrices de la hoja son apenas prominentes. (28)

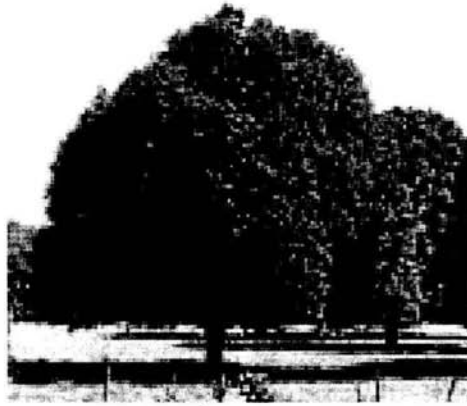


FIGURA 1 ÁRBOL DE MANGO

Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de la ramitas, de pecíolo largo o corto, oblongo lanceolado, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por arriba, verde-amarillento por abajo, de 10-40 cm de largo, de 2-10 cm de ancho, y enteros con márgenes delgados transparentes, base aguda o acunada y un tanto reducida abruptamente, ápice acuminado.

Las hojas son con nervaduras visiblemente reticuladas, con una nervadura media robusta y conspicua y de 12-30 pares de nervaduras laterales más o menos prominentes; ellas expiden un olor resinoso cuando se les tritura; el pecíolo es redondeado, ligeramente engrosado en la base, liso y de 1,5-7,5 cm de largo. Las hojas jóvenes son de color violeta rojizo o bronceado, posteriormente se tornan de color verde oscuro. (28) (Fig.2)

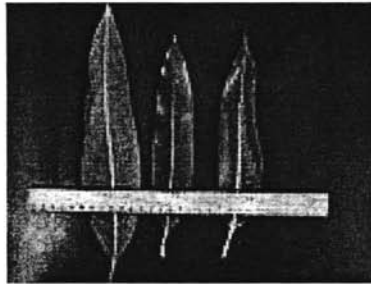


FIGURA 2 HOJAS DEL ÁRBOL DE MANGO

Las panículas son muy ramificadas y terminales, de aspecto piramidal, de 6-40 cm de largo, de 3-25 cm de diámetro; las raquias son de color rosado o morado, algunas veces verde–amarillentas, redondeadas y densamente pubescentes o blancas peludas (**Fig.3**); las brácteas son oblongas–lanceoladas u ovadas–oblongas, intensamente pubescentes, se marchitan y caen pronto y miden de 0,3-0,5 cm de largo.

Las flores polígamas, de 4 a 5 partes, se producen en las cimas densas o en la últimas ramitas de la inflorescencia y son de color verde–amarillento, de 0,2-0,4 cm de largo y 0,5-0,7 cm de diámetro cuando están extendidas. Los sépalos son libres, caedizos, ovados u ovados oblongos, un tanto agudos u obtusos, de color verde–amarillento o amarillo claro, cóncavos, densamente cubiertos especialmente en la parte exterior con pelos cortos visibles, de 0,2-0,3 cm de largo y 0,1-0,15 cm de ancho.^(26,28)



FIGURA 3 RAQUIAS DEL ÁRBOL DE MANGO

Los pétalos permanecen libres del disco y son caedizos, ovoides u ovoides-oblongos, se extienden con las puntas curvadas, finamente pubescentes o lisos, de color blanco-amarillento con venas moradas y tres o cinco surcos de color ocre, que después toman el color anaranjado; ellos miden de 0,3-0,5 cm de largo, y 0,12-0,15 cm de ancho; los pétalos viejos a veces tienen márgenes rosados, el disco es grande, notoriamente de cuatro o cinco lóbulos arriba de la base de los pétalos, surcado, esponjoso, de color de limón, convirtiéndose después a blanco translúcido, durante la antesis es mucho más ancho que el ovario y de 0,1-0,15 cm de alto.^(28,33)

Los estambres pueden ser de cuatro a cinco, desiguales en su longitud, siendo fértiles sólo uno o dos de ellos, el resto está reducido a diminutos estaminoides, de color morado o blanco amarillento; los estambres perfectos miden de 0,2-0,3 cm de largo, con las anteras ovoide-oblongas, obtusas, lisas. Las flores estaminadas carecen

de ovario rudimentario y sus estambres son centrales, reunidos cercanamente por el disco. El ovario en la flor perfecta (**Fig.4**) es conspicuo, globoso, de color limón o amarillento y de 0,2-0,15 cm de diámetro; el estilo es lateral, curvado hacia arriba, liso y de 0,15-0,2 cm de largo; el estigma es pequeño y terminal. (28)



FIGURA 4 FLORES DEL ÁRBOL DE MANGO

La drupa o fruto, es variable en cuanto a su forma y dimensiones (**Fig.5**), pero generalmente es ovoide – oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa en ambos extremos, de 4-25 cm de largo y 1,5-10 cm de grueso, de color verde, verde amarillento, amarillo, o anaranjado cuando madura, algunas variedades están teñidas de morado, rojo o anaranjado; la cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, jugosa y sabrosa; el endocarpio es grueso y leñoso con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la carne. (26,28)



FIGURA 5 TIPOS DE MANGO

La composición en porcentaje del mango es: el hueso húmedo 8.5 %, piel 12 % y la pulpa 79.5%.⁽²⁶⁾ (Fig.6)

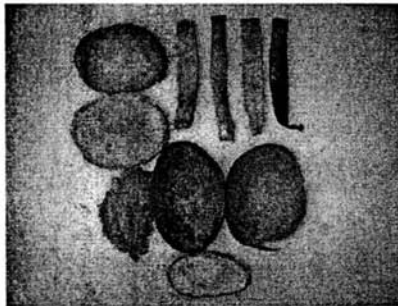


FIGURA 6 COMPOSICIÓN DEL MANGO

Después del aguacate y el plátano, el mango es la fruta tropical más comercializada en el mundo. Sin embargo, según cifras de la FAO sólo se comercializa el 3% de la producción mundial. Las variedades más vendidas en el mercado internacional son las 'Kent' y 'Tommy Atkins', por ser menos fibrosas, más firmes y

presentar un color más atractivo; éstas se cultivan principalmente en países americanos.⁽²⁶⁾

1.1.2 VARIEDADES:

Las variedades de origen de Florida son las más comunes y de mayor aceptación en el mercado mundial. Comentarios sobre algunas de ellas se presentan a continuación:

- ☞ **'Kent' y 'Haden'** representan las mejores variedades porque poseen un color agradable y buenas cualidades gustativas.
- ☞ **'Tommy Atkins'** cuenta con un período de conservación mayor, pero es menos apreciada desde el punto de vista gustativo. Esta variedad tiene elevada preferencia en el mercado de EE.UU. debido a su coloración roja.
- ☞ **'Keitt'** es la menos buscada en razón de su falta de calidad gustativa.
- ☞ **'Irwin'** es de calidad mediana.
- ☞ **'Parvin'**, es una variedad de Puerto Rico. Es apreciada en Gran Bretaña.
- ☞ **'Zill'**, variedad cultivada en África del Sur, es de buena calidad pero su calibre pequeño representa una desventaja.

De acuerdo a la diversidad de variedades y gustos de los consumidores, para implantarse en el mercado mundial un exportador deberá proponer una campaña lo más amplia posible. Deberá proponer un surtido de variedades de buena calidad y de maduración programada. En efecto la cosecha de fruta de una sola variedad difícilmente sobrepasa los tres meses por temporada. ⁽³³⁾

La fruta debe ser colorada porque el consumidor actual asocia el color verde a una madurez insuficiente. El tipo de mango verde lo consumen preferentemente los grupos étnicos de origen asiático.

1.2 Producción de mango

El mango es el comestible más importante para los habitantes de los trópicos después del plátano. Hay 150 cultivos de mangos producidos alrededor del mundo. (Fig.7)



FIGURA 7 ZONAS DE CULTIVO DE MANGO EN EL MUNDO

Los principales productores, las variedades producidas y sus destinos son:

India: Es el mayor productor del mundo con 10.5 millones de TM (toneladas métricas) que representa el 42% del total mundial (datos al 2003). La principal variedad es la 'Alphonso' cuya vocación es industrial. Sólo exporta el 1 % de su producción,

principalmente en forma de procesado (néctar, jugo, pulpa, chutney, pickles, etc.) siendo el principal exportador del mundo de estos productos. La industria procesadora de mango capta el 9% de la producción total de mango fresco.^(25,26)

China: Se ha constituido como el segundo mayor productor del mundo, a pesar que en 1979/81 era el 9° productor. En el 2003 representó el 13% del total mundial. Produce la variedad 'Totapouri' y destina la mayor parte de su producción al consumo interno.^(25,26)

México: Produce las variedades 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Manila', 'Kent', 'Keitt', 'Manzanillo Núñez', 'Ataúlfo', 'Irwin' y 'Diplomático'. Es el cuarto productor de mango con el 6% de la producción mundial y el mayor exportador en el mundo (Datos del 2003). Sin embargo, tan sólo el 13,8% de lo que produce lo dedica a la comercialización internacional en fresco y el restante 86,2% lo consume internamente. Sus exportaciones se destinan a los mercados de Estados Unidos (86%), Canadá (7,5%), Europa (3,2%) y Japón (1,85%).^(25,26)

Brasil: En el 2003 resultó ser el mayor productor en Sudamérica, 'T. Atkins' es la principal variedad cultivada para exportación. La ventaja de Brasil frente a otros países de Sudamérica es el conocimiento que tiene del cultivo y la disponibilidad de áreas potenciales para la siembra.^(25,26)

Filipinas: Tuvo una producción de 890 miles de TM en el 2003. Las principales variedades son la 'Carabao' y la 'Pico'. Filipinas es uno de los países productores de mango líderes en Asia. Está expandiendo agresivamente su participación en el mercado mediante una campana publicitaria que pretende elevar la fruta a un estatus

similar al disfrutado internacionalmente por el Kiwi de Nueva Zelanda. El mango fresco es el 3er. producto frutícola exportado por Filipinas, después del plátano y la piña. (25,26)

Haití: Es el país líder en producción de mango en el Caribe con un volumen de 261 miles de TM en el 2003. Haití es uno de los principales abastecedores de mango fresco al mercado de EE.UU. La principal variedad es 'Francine' ('Madame Francis'), que se presenta en el mercado con color verde. (25,26)

República Dominicana: La producción se ha incrementado ligeramente hasta alcanzar 185.5 miles de TM en el 2003. Los tres principales cultivares son 'Madame Francis', 'T. Atkins' y 'Keitt'. Se conoce de nuevas plantaciones de 1 000 Ha que incrementarían la oferta exportable. (26)

Otros importantes países productores: Sudáfrica, en los últimos años ha logrado incrementar su producción, 48.8 miles de TM logró en el 2003. Más del 50% se destina a la producción de 'Green Pickled' alimento popular entre la población negra. La mayoría de las exportaciones se destinan vía marítima a Europa en un viaje que dura aproximadamente 16 días durante el periodo de diciembre a abril. En el territorio nacional recorren cerca de 2000 km. en camiones refrigerados para llegar al puerto de embarque. El viaje a Europa dura 16 días. (25,26)

La producción de mango en Israel se está efectuando con la introducción de nuevas variedades como la 'Lily' que le posibilita cubrir nichos de mercado en Europa. En el 2003 lograron una producción de 24 mil TM. Las condiciones ecológicas son adecuadas en la región de ARAVA y en los alrededores del Mar de Galilea. (26)

En España, las frutas tropicales están ofreciendo posibilidades de desarrollo, cultivándose mango en Andalucía. La producción está en etapa experimental pero se espera un incremento rápido en los próximos cinco años. El mango español podría competir parcialmente en el mercado interno con la oferta proveniente de Israel, Brasil, Costa Rica y Sudáfrica. España está ofreciendo mango de piel roja o amarilla como la 'T. Atkins', 'Irwin' y 'Osteen'.

El cultivo de mango en América Central ha tenido menor éxito comparado con el caso de otros frutales como piña y melón. La producción total de mango ha sido estacionaria en los años recientes con 37 miles de TM/año. En el 2003 alcanzaron una producción de 254 mil TM. El principal productor (187 miles de TM) con el 75% del total es Guatemala. Otros países como Belice, Honduras y Panamá registran niveles de producción menores a 10 mil TM/año en el 2003.^(25,33)

☞ Producción mundial 2003: 25.5 millones de toneladas

☞ Principal productor del mundo: India con 10.5 millones de toneladas

☞ Segundo productor del mundo: China con 3.4 millones de toneladas

FUENTE: FAOSTAT (26)

En el último quinquenio (1998-2002), la producción de mango registró una tasa de crecimiento de 4% anual promedio, tendencia que sigue en el 2003. Asia es el principal productor con una participación del 77% dentro del total, seguido de América y África con 13% y 10%, respectivamente. México es el mayor productor de mango de América, aunque cabe anotar que ha registrado una tendencia decreciente de 0.4% en

los últimos cinco años, pasando de ser el tercer productor del mundo desde 1997 a 2001, a ocupar el cuarto lugar en el año 2003. (26) (Fig.8)

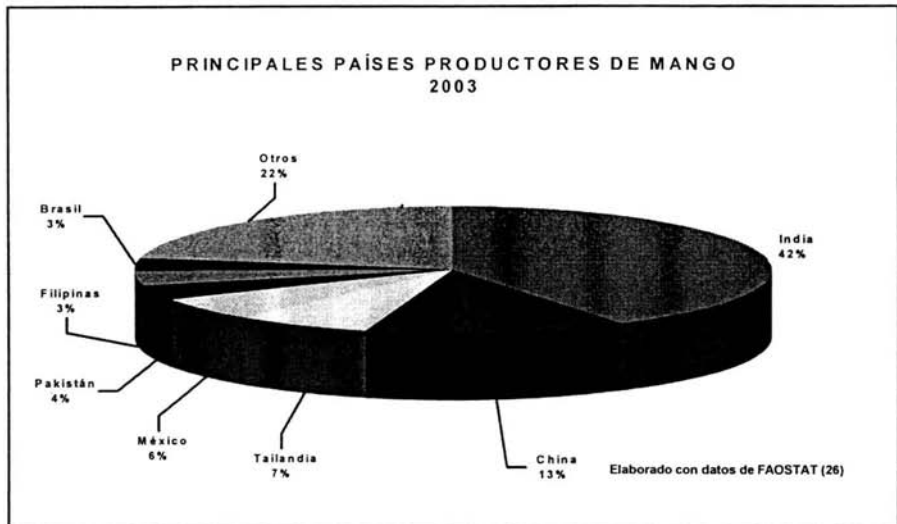


FIGURA 8 PAISES PRODUCTORES DE MANGO

1.2.1 Comercio internacional:

- ☞ Volumen de exportaciones 2003: 650.9 mil toneladas
- ☞ Mayor exportador del mundo: México con 194.5 mil toneladas
- ☞ Segundo exportador del mundo: Brasil con 103.5 mil toneladas

FUENTE: FAOSTAT (26)

Las exportaciones mundiales de mango crecieron a una tasa del 8% anual promedio entre 1997 y el año 2001. América, que participa apenas con el 13% de la producción de mango, es el más importante exportador con una participación del 57% en las exportaciones mundiales en el 2003. En el periodo observado los mayores

exportadores presentaron dinámicas positivas, con excepción de India y Filipinas, donde cayeron 2 y 6% promedio anual respectivamente. (26) (Fig.9)

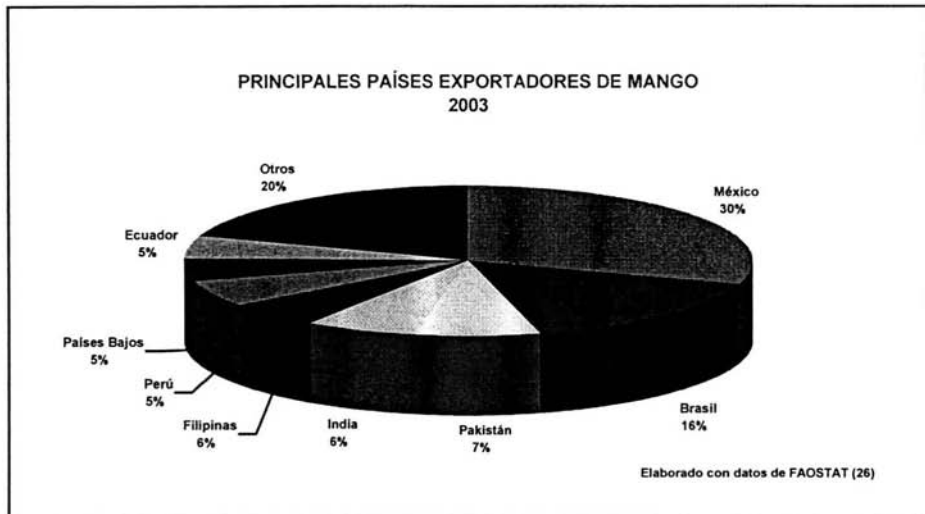


FIGURA 9 PAÍSES EXPORTADORES DE MANGO

- œ Volumen de importaciones 2003: 673.1 mil toneladas
- œ Mayor importador del mundo: Estados Unidos con 263.3 toneladas
- œ Segundo importador del mundo: Países Bajos con 71.4 toneladas

FUENTE: FAOSTAT (26)

La mayor parte del intercambio comercial de mango se realiza entre los países de América, continente que participa con 43% de las importaciones mundiales, casi en su totalidad con destino a Estados Unidos (Fig.10). En segundo lugar se encuentra Europa con una participación del 34% dentro del total. (26)

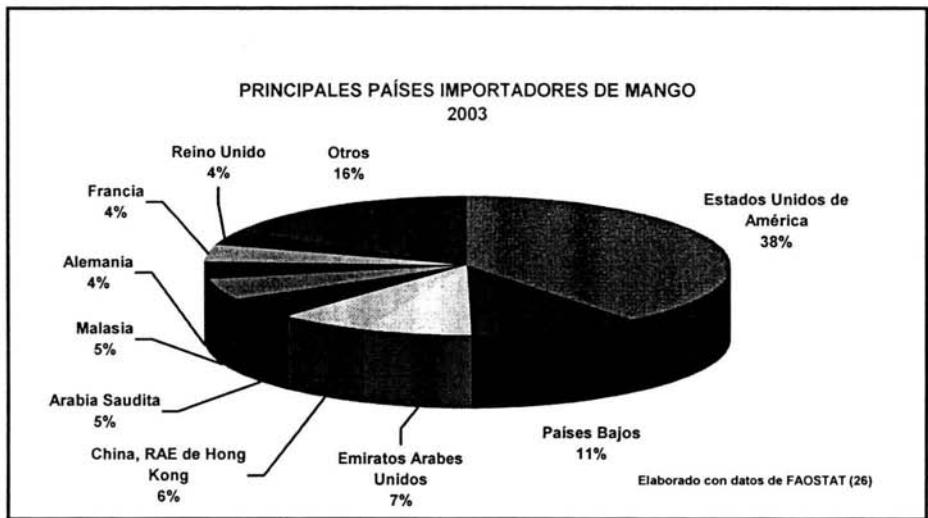


FIGURA 10 PAÍSES IMPORTADORES DE MANGO

Los mercados asiáticos, del medio oriente y en menor medida el europeo, son abastecidos por India, Pakistán y Filipinas. África exporta principalmente a Europa. Aún cuando las importaciones no son muy relevantes (0.26% con respecto al total de la producción), éstas pasaron de cero, antes de 1995, a casi 2,500 toneladas en los últimos años (2002-2003) con una tasa media de crecimiento anual del 98.40% en cuanto a volumen de fruta se refiere, en tanto que solamente experimentó un crecimiento del 59.01% en su valor; la producción que se importa arriba de Nicaragua, Guatemala, Ecuador y Perú. (25,26,33)

1.2.2 México como Exportador:

De los estados productores, sobresalen Michoacán, Sinaloa, Nayarit y Chiapas, que juntos aportan poco más de 90% del volumen de la exportación nacional. Del volumen total exportado en 2002 hacia los EE.UU. (último dato), la aportación mayor del 55% correspondió al estado de Michoacán y para el caso de Chiapas, considerado uno de los principales estados productores de este fruto, solamente contribuyó en términos generales a la exportación en un 0.1% incluido por cierto dentro del 5% de los otros estados exportadores, en tanto que Sinaloa contribuyó con el 7%, Nayarit con 28%, Oaxaca con 3% y Jalisco con el 2%.^(25,26,31)

El principal mercado de las exportaciones mexicanas, lo constituye EE.UU., mismo que en años recientes ha experimentado una creciente demanda; llegando a cerca de 270 mil ton aprox. y un consumo per cápita de 900 g en el 2003. La demanda del mango mexicano en EE.UU. ha evolucionado con una tasa de crecimiento media anual del 13% en tanto que la demanda mundial se ha incrementado en un 12.3% anual entre 1980-2000; en tanto que la producción mundial tiende a mantener ligeros incrementos, oscilando alrededor de 26 millones de toneladas, siendo los grandes productores India, China y otros países asiáticos.^(25,31,33)

En la tabla 1 se clasifican los mangos mexicanos exportados, dando información sobre sus temporadas, sus estados productores y sus principales características.

TABLA 1. Mangos Mexicanos Exportados

<p>ATAULFO</p> 	<p>Febrero-Julio</p>	<p>Chiapas Guerrero Oaxaca Colima Nayarit Sinaloa</p>	<p>Color Amarillo Tipo Alargado Longitud 12.5-14cm. Anchura 5.5-6cm. Peso 180-260g. Contiene muy poca fibra</p>
<p>HADEN</p> 	<p>Febrero-Agosto</p>	<p>Colima Jalisco Michoacán Guerrero Nayarit Sinaloa</p>	<p>Color Rojo/Amarillo Tipo Redondo Longitud 10.5-14cm. Anchura 9-10.5cm. Peso 510-680g. Contiene muy poca fibra</p>
<p>KENT</p> 	<p>Julio-Agosto</p>	<p>Jalisco Michoacán Nayarit Sinaloa Colima</p>	<p>Color Rojo/Amarillo Tipo Redondo Longitud 12-14cm. Anchura 9.5-11cm. Peso 450-700g. Contiene muy poca fibra</p>
<p>TOMMY ATKINS</p> 	<p>Fines Febrero- Agosto</p>	<p>Michoacán Jalisco Colima Guerrero Nayarit Sinaloa</p>	<p>Color Amarillo/Rojo Tipo Redondo Longitud 12-14.5cm. Anchura 10-13cm. Peso 450-700g. Contiene fibra regular</p>
<p>KEITT</p> 	<p>Abril-Fines Septiembre</p>	<p>Colima Jalisco Nayarit Sinaloa</p>	<p>Color Rosado/Amarillo Tipo Redondo Longitud 13-15.5cm. Anchura 9-11cm. Peso 510-2000g. Contiene muy poca fibra</p>

Fuente: Agronegocios(22)

1.3 Composición Química y valor nutritivo del Mango:

La composición química del mango hace de éste, además de una fruta deliciosa y refrescante, unas de las más alimenticias. Contiene minerales y vitaminas que son indispensables para el desarrollo y crecimiento del humano, entre ellas las vitaminas A, B y C; azúcares, fibras y anti-oxidantes como el β -caroteno, siendo bajos en calorías, grasas y sodio.⁽²⁸⁾ Lo que hace esta fruta una de las más importantes en la recomendación de un régimen dietético y balanceado. Su valor calórico es de 62-64 calorías/100 g de pulpa. ⁽³²⁾ En la tabla 2 se muestra el contenido de nutrientes del mango en 100 g de parte comestible.

TABLA 2 COMPOSICIÓN DEL MANGO

Componentes	Nutrientes por cada 100g de porción comestible
Energía	62-64 cal
Agua	82g
Proteínas	0.42g
Grasa	0.5g
Carbohidratos	14.5g
Fibra	1g
Calcio	10.6mg
Fósforo	14.6mg
Potasio	110mg
Hierro	0.46mg
Magnesio	2.0mg
Vitamina A	100-1900 UI
Vitamina B1	0.07mg
Vitamina B2	0.07mg
Vitamina B3	0.7mg
Vitamina C	8-172mg

Fuente: Datos de 28,29,32,34.

Este fruto ayuda a la digestión, mejora la cicatrización, alivia los calambres y la acidosis, evita problemas cardiacos por su contenido de polifenoles y ácido gálico,

protege las membranas, ayuda a la visión por su contenido de Vitamina A, estimula el metabolismo, ayuda a aliviar y prevenir el cáncer, estimula la memoria y la concentración. La piel del mango contiene un alérgeno 5-[2(Z)-heptadecenil]resorcinol, el cuál causa alergias en la piel. También se ha relacionado al mango con alergias orales, rinoconjuntivitis, tos y disnea en individuos sensibles.⁽⁶⁾

1.3.1 Metabolismo de Carbohidratos:

Durante la maduración del mango ocurren cambios que provocan la formación de azúcares, por ejemplo el almidón acumulado se hidroliza por acción de la enzima amilasa en los cloroplastos y continúa hasta la maduración. Las concentraciones de glucosa, fructosa y sacarosa aumentan simultáneamente durante la maduración, aunque se cree que la glucosa y la fructosa experimentan una reducción gradual, mientras que la sacarosa por el contrario aumenta.^(6,15)

1.3.2 Lípidos:

Al igual que los carbohidratos, la cantidad de lípidos se ve en aumento conforme avanza la etapa de maduración del mango. Trabajos de Bandyopadhyay & Gholap en 1973 y Selvaraj y col. en 1989, observaron que durante el proceso de maduración de mango de la variedad 'Alphonso', se presentó un aumento en el contenido de glicéridos seguido de cambios en los componentes de los ácidos grasos de la pulpa. Además una disminución en el contenido de ácido linoléico y un aumento en el contenido de ácido linolénico, así como la distribución recíproca de ácido palmítico y ácido palmitoléico fueron observados durante la maduración.⁽¹⁵⁾

Hay un aumento en la actividad de la ATP citrato oxaloacético (OAA) liasa que es la enzima que rompe al citrato durante la maduración y se cree que la acetil-CoA y ácido OAA formado por la acción de la enzima sobre el citrato, puede contribuir con los procesos de síntesis que se llevan a cabo durante la maduración. Los productos degradados de los lípidos naturales, pueden regular la actividad de la enzima in vivo.⁽⁶⁾ También se registra una alta actividad de lipasas en mangos no maduros, la cuál disminuye cuando los frutos se encuentran a la mitad de su maduración.⁽¹⁵⁾

1.3.3 Sustancias Pécicas y Constituyentes de la Pared Celular:

La maduración del mango se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa. La información disponible con relación a la pared celular y el proceso de ablandamiento de los tejidos del mango durante la maduración es muy poca, además de que hay variaciones dependiendo de cada cultivar. Se cree que el ablandamiento se inicia en el tejido interno del mesocarpio cercano a la semilla y se difunde hacia los tejidos exteriores del mesocarpio. Se sabe que el ablandamiento puede obedecer a procesos enzimáticos y no enzimáticos.⁽¹⁵⁾

Este ablandamiento se caracteriza por un aumento en la solubilidad de las pectinas de la pared celular. La temperatura juega un papel muy importante no sólo en la maduración, sino también en la actividad de las enzimas que causan dicho ablandamiento en la fruta. La enzima poligalacturonasa (PG) y la enzima pectinesterasa (PE), se encuentran presentes en mangos maduros. Otras hidrolasas de la pared celular que se encuentran presentes son las celulasas β -galactosidasa, galactanasa y

xilanasa. La masa molecular de las hemicelulosas de la pared celular disminuye durante la maduración, lo que indica también que se lleva a cabo un proceso no enzimático durante el ablandamiento de la pulpa.^(6,15)

1.3.4 Pigmentos:

El color de la piel de los mangos cambia durante la maduración, tornándose de un color verde oscuro a verde olivo y dependiendo del cultivar puede presentar tonos rojos, amarillo-naranja y amarillo. Los cloroplastos en la piel del mango se transforman en cromoplastos, los cuáles contienen pigmentos rojos y amarillos.⁽⁶⁾

Existen pérdidas del contenido de clorofila en la piel después de que la fruta comienza a suavizarse. En los cloroplastos de las células de la piel de mangos no maduros existe una membrana formada por granos y además hay glóbulos osmiofílicos arreglados, dicha membrana pierde integridad durante la maduración dando lugar a la aparición de los glóbulos osmiofílicos indicando que existe una transformación de los cloroplastos a cromoplastos.⁽⁶⁾

El contenido de carotenoides en la pulpa de mangos maduros varía dependiendo del cultivar, siendo β -caroteno el 50% del total de los carotenoides presentes en todos los cultivares. Se cree que la enzima fosfatasa regula la carotenogénesis en mangos maduros.⁽¹⁵⁾

1.3.5 Compuestos Fenólicos:

El contenido de polifenoles en el mango es alta en la etapa temprana de crecimiento. Baja en el inicio de maduración y se mantiene estable hasta el final del proceso. En la piel del mango se encuentra una mayor concentración de polifenoles que en la pulpa en todas las etapas de desarrollo.⁽¹⁵⁾

La actividad de la polifenol oxidasa difiere dependiendo de la variedad de mango, su mejor sustrato es el catecol, el pH óptimo varía entre 5.6 y 6.0. La actividad de ésta enzima puede ser inhibida con metabisulfito de sodio.^(6,15)

1.4 Subproductos derivados del Procesamiento del Mango:

Durante el procesamiento del mango, se generan cáscara y hueso como un desperdicio (40 a 50 por ciento del peso total de la fruta). Además son ricos en varios nutrientes y productos con valor agregado que pueden ser obtenidos: Pectinas que exhiben geles de gran fuerza (6.1 por ciento) y fibra comestible (5.4 por ciento) se extraen de la piel del mango maduro. Una buena calidad de vinagre (5.2 por ciento de ácido acético) y ácido cítrico (20 g/kg de cáscara) podría obtenerse de la cáscara del mango a través de fermentación microbiana. La cáscara del mango tiene un valor de proteína bajo (3.9 por ciento) por lo que es una calidad pobre en alimento animal. La cáscara puede ser enriquecida más de cinco veces con proteína (20 por ciento) por fermentación usando *Aspergillus niger* para su uso en piensos de gran calidad.⁽³⁸⁾ La cáscara del mango tiene una composición lignocelulósica y desde este punto de vista su completo rompimiento es difícil.

La almendra del hueso de mango contiene cantidades altas de grasa y almidón. El aceite extraído de la almendra es de buena calidad y podría usarse en confitería, elaboración de chocolates, cosméticos e industrias de jabón.

La harina de la almendra (almidón) después de mezclar con el trigo o harina de maíz es usada en la preparación de chapatis en la India. Aproximadamente un 10% de rendimiento de alcohol puede ser obtenido de la almendra del mango por fermentación co-cultivo.

En Industrias procesadoras de alimentos, varias enzimas son usadas invariablemente para la licuefacción de la pulpa, la clarificación de jugo, etc. Las enzimas como la celulasa y la pectinasa de la cáscara del mango y la amilasa de la almendra del hueso de mango pueden ser producidas por fermentación microbiana.⁽⁵⁾

1.4.1 Principal composición de ácidos grasos del aceite de la semilla del hueso de mango.

El aceite tiene un color amarillo pálido. La composición de ácidos grasos varía dependiendo de la variedad del mango y las condiciones climáticas. La tabla 3 nos muestra la composición general de ácidos grasos de la semilla de hueso de mango:

TABLA 3 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE LA SEMILLA DE MANGO

Ácido Graso	%
Palmitico (16:0)	6 al 14
Esteárico (18:0)	26 al 49
Oleico (18:1)	38 al 55
Linoléico (18:2)	2 al 12
Araquídico (20:0)	2

Fuente: Lakshminarayana y col. (12).

1.5 Composición Química de la manteca de Cacao.

Por su composición química la Manteca de Cacao es una grasa muy especial, y está catalogada como una de las más valiosas y con mayor poder de conservación. Su color es blanco amarillento, con un olor notable a cacao y un punto de fusión ligeramente más bajo que la temperatura del cuerpo humano. Posee un efecto pronunciadamente refrigerante en el paladar, lo que la hace aún más apetitosa.

Como otras grasas comestibles, la Manteca de Cacao es una mezcla de triglicéridos. Cada triglicérido, a su vez, está formado por glicerina con tres agrupaciones de ácidos grasos, siendo los más representativos los que se muestran en la Tabla 4.

Ácido Graso	%
Ácido Láurico	< 0.1
Ácido Mirístico	< 0.2
Ácido Palmítico	23 - 30
Ácido Esteárico	32 - 37
Ácido Oleico	30 - 37
Ácido Linoléico	2 - 4
Ácido Linolénico	< 0.3

Fuente: NACIONAL DE CHOCOLATES.(30)

De los triglicéridos, el 80% son triglicéridos disaturados, de los cuales el 20% son del tipo SOS, un 55% POS y el 5% restante POP₍₈₎, significando:

S - Ácido Esteárico.	P - Ácido Palmítico.	O - Ácido Oleico.
--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Fuente: DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.(8)

Esta composición en triglicéridos es la que le da el comportamiento físico y químico a la Manteca de Cacao, principalmente en las propiedades de fusión y solidificación. Los triglicéridos presentes en mayor porcentaje en la Manteca, se

cristalizan en diferentes formas y pueden llegar a tener cinco puntos diferentes de fusión, dando origen a lo que denominamos Grasas Polimórficas.^(8,30)

Esta propiedad de la Manteca de Cacao exige un manejo cuidadoso del proceso de atemperado, para evitar que las formas cristalinas poco estables, con bajo punto de fusión, propicien la formación de manchas blancas de grasa en la superficie del producto, fenómeno conocido como "Bloom".⁽³⁰⁾

1.5.1 Sustitutos de Manteca de Cacao

Como la manteca de cacao tiene un precio muy alto y esta sujeta a variaciones de su composición, que la hacen muy dura para el recubrimiento o muy blanda para el moldeo según la región de procedencia y el tiempo de recolección, junto con la necesidad de una aplicación específica hizo posible el desarrollo de los sustitutos⁽⁹⁾, los cuáles se pueden clasificar de acuerdo a la tabla 5:

TABLA 5 CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTITUTOS DE MANTECA DE CACAO

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	DENOMINACIÓN
GRUPO 1	Grasas atemperables, es decir, grasas con los mismos triglicéridos que la manteca de cacao.	Grasa equivalente "CBE" o "Cocoa Butter Equivalent"
GRUPO 2	Grasas no atemperables, es decir, duras y de fusión no basadas en los mismos triglicéridos que la manteca de cacao.	Grasas sustitutas "CBS" o "Cocoa Butter Substitute"
	Grasas no atemperables de base no laurica.	Grasas remplazantes "CBR" o "Cocoa Butter Repleasent"

Fuente: Gijón AI (9)

Se pueden dividir en dos grandes tipos: Láuricos y no láuricos. Los sustitutos de manteca de cacao láuricos están compuestos predominantemente por triglicéridos saturados de ácidos: Láuricos (C_{12}) y mirísticos (C_{14}). Los dos aceites láuricos más importantes en la naturaleza son: el aceite de palmiste y el de coco. Pero el primero es más versátil.

Los aceites láuricos pueden ser fraccionados, obteniendo de ellos una estearina con propiedades físicas similares a las de la manteca de cacao. La estearina de palmiste puede ser usada en estado natural con punto de fusión de 30 – 32 °C o hidrogenada con índice de yodo de 1 y punto de fusión de 35 °C.⁽²³⁾

1.6 Métodos de extracción

La mayoría de los métodos de extracción, se emplean como métodos de tratamiento previo de la muestra antes de un método de análisis. Cada pre-tratamiento es realizado por una o más de las siguientes razones:

- ∞ Aislamiento del analito(s) de la muestra.
- ∞ Pre-concentración del analito(s) en la muestra.
- ∞ Limpieza de la muestra (Remoción de sólidos)

Varios métodos simples como la filtración y la centrifugación están disponibles para propósitos sencillos de limpieza. Varias muestras, sin embargo, requieren de una activa extracción del analito aislado de una muestra compleja, como un tejido biológico y fluidos, suelo, plantas o comestibles. En algunos casos, una simple extracción

líquido-líquido puede ser empleada; para otros, sin embargo se requiere un acercamiento más riguroso, especialmente cuando los analitos en cuestión están:

a) fuertemente unidos a la muestra

b) se presentan en cantidades traza, requiriendo una mayor eficiencia de extracción.⁽³⁵⁾

1.6.1 Extracción Soxhlet:

Aunque si bien es efectivo para varias muestras, es en consumo de tiempo (las extracciones requieren tiempos de 4-48 horas), potencialmente perjudicial, y usa grandes cantidades de solvente (depende del equipo Soxhlet utilizado).

El solvente en particular presenta numerosos retos, debe de ser altamente puro y en condiciones de reducir su presencia en un subsecuente análisis y es por lo tanto muy caro; el gran volumen final puede ser reducido sin pérdida del analito concentrando la muestra; finalmente estos volúmenes de solvente pueden ser reutilizados o almacenados.⁽¹¹⁾

En la figura 11 se muestra un diagrama de este tipo de extracción.

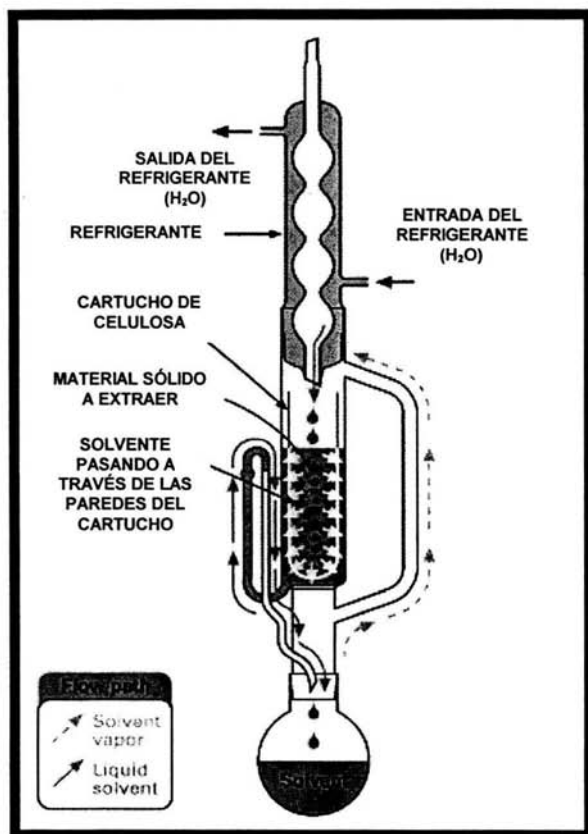


FIGURA 11 EXTRACCIÓN SOXHLET

Como se muestra en la figura anterior, la muestra se coloca en un dedal o cartucho de celulosa, y durante el funcionamiento del sistema, el dedal se va llenando con el solvente condensado en el refrigerante empapando la muestra, extrayendo el analito deseado; cuando el dedal es completamente inundado, se produce un sifón regresando el solvente con el analito disuelto al matraz de bola, repitiéndose el ciclo hasta que la extracción se completa.

En resumen:

Las ventajas del método Soxhlet son las siguientes:

1. La muestra se tiene en contacto con el solvente repetida cantidad de veces, incrementando el desplazamiento del analito desde la matriz de la muestra.
2. No se requiere de ninguna filtración
3. El solvente puede ser reutilizado

Sin embargo, presenta los siguientes inconvenientes o desventajas:

1. El largo tiempo requerido para la extracción
2. La gran cantidad de solvente orgánico gastado, el cuál no sólo es caro, sino que puede causar contaminación al medio ambiente.
3. El sistema no es fácilmente automatizable.

1.6.2 Sonicación (Ultrasonido):

El Ultrasonido en procesos analíticos se ha empleado generalmente usando un baño limpiador ultrasónico, en procesos pre-analíticos (limpiando botellas, producción de mezclas y emulsiones) y en preparación de muestras (extracción y disolución de sólidos), puesto que las ondas acústicas aumentan la interacción del solvente con las superficies del sólido por un fenómeno mecánico.

En la sonicación la muestra es mezclada con un pequeño volumen de solvente y es expuesta a ondas de sonido de alta frecuencia (18 a 120 KHz.) por un breve intervalo del tiempo (generalmente algunos minutos) en un baño de ultrasonido.

El mecanismo fundamental de este proceso es uno en el cual burbujas microscópicas en el medio líquido implotan o se colapsan bajo la presión de la agitación para producir ondas de choque, las cuáles afectan a la superficie de la muestra y por rozamiento, desplazan o desprenden partículas de materia desde la superficie. El proceso por el cuál estas burbujas colapsan o implotan es conocido como **cavitación**.^(35,36) (Fig.12)

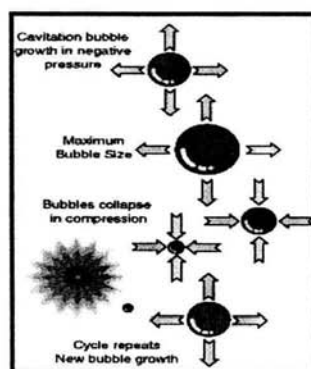


FIGURA 12 FENÓMENO DE CAVITACIÓN

La intensidad de cavitación en un campo sónico es en gran parte determinado por tres factores⁽³⁵⁾:

1. La frecuencia y amplitud de la onda de radiación.
2. Las propiedades coligativas del medio, incluyendo la presión de vapor, tensión superficial, densidad y viscosidad.
3. Las propiedades reológicas del líquido, incluyendo las condiciones estáticas, flujo turbulento y flujo laminar.

1.6.2.1 Frecuencia y Amplitud.

Las frecuencias de onda de radiación más comúnmente usadas en ultrasonido 18-120 KHz, están situadas justo sobre la gama de frecuencias audibles. En cualquier sistema, sin embargo, la armonía de la frecuencia fundamental, junto con las vibraciones originadas en las paredes del tanque y en la superficie del líquido producen sonido audible.

La amplitud de la onda de radiación es directamente proporcional a la energía eléctrica que se aplica al transductor. En orden para que la cavitación sea producida en un medio líquido, la amplitud de la onda de radiación debe de tener un cierto valor mínimo, el cuál es usualmente clasificado en términos de poder eléctrico de entrada al transductor. La cavitación no puede ocurrir por debajo de este valor umbral y el uso de corriente eléctrica por encima del nivel mínimo no produce una mayor actividad de cavitación. El mínimo poder requerido para la producción de cavitación varía enormemente con las propiedades coligativas, la temperatura del líquido, con la naturaleza y concentración de las sustancias disueltas.^(35,36)

Esta técnica se ha aplicado en bioquímica y medicina, el ultrasonido no solamente eleva la temperatura del solvente (acelera la velocidad de transferencia e incrementa la solubilidad del analito), pero además rompe muestras de tejido y membranas celulares, aumentando considerablemente la eficiencia de extracción. La técnica es muy fácil de usar y emplea relativamente volúmenes pequeños de solvente.⁽³⁵⁾ **(Fig.13)**

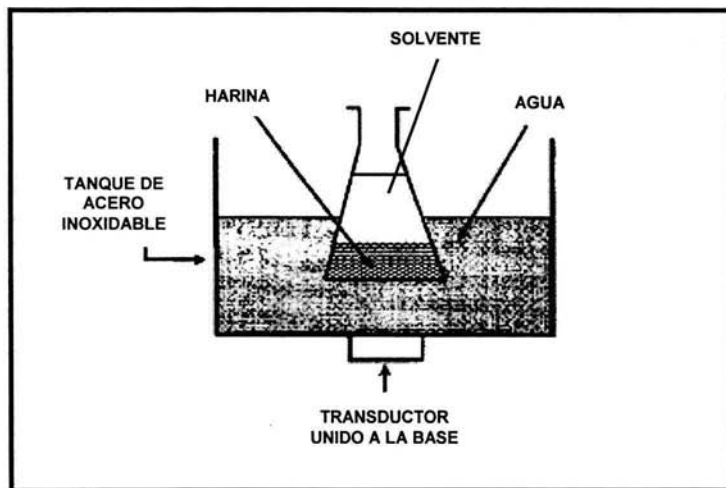


FIGURA 13 BAÑO DE ULTRASONIDO

1.6.3 Extracción con Fluidos Supercríticos (EFS).

Se entiende como un fluido supercrítico a una sustancia, llevada mediante operaciones mecánicas, a unas condiciones operativas de presión y temperatura por encima de su punto crítico.⁽²⁴⁾ Las características de un fluido supercrítico son:

- ∞ Gran poder disolvente junto con una enorme capacidad de penetración en sólidos, lo que permite el agotamiento rápido y prácticamente total de los sólidos extraíbles.
- ∞ Pueden separarse totalmente de forma sencilla de los extractos, simplemente modificando la presión o la temperatura, hasta el extremo, si es necesario, de que el fluido pase al estado gaseoso.

Fluidos usados para EFS:

- ✓ Dióxido de carbono (CO₂)
- ✓ Agua (H₂O)
- ✓ Etano (C₂H₆)
- ✓ Eteno (C₂H₄)
- ✓ Propano (C₃H₈)
- ✓ Xenon (Xe)
- ✓ Oxido nitroso (N₂O)

Se ha promovido la EFS fuertemente como una alternativa viable a la extracción Soxhlet. Ofreciendo, por lo menos en principio, las siguientes ventajas^(24,35,36):

- Utiliza un extractante no tóxico, barato y fácilmente disponible, por ejemplo CO₂.
- Fácilmente automatizado; puede ser utilizado en línea con equipos de análisis como por ejemplo cromatógrafos de gases.
- Muestras fácilmente separadas del fluido extractante y por lo tanto se puede realizar una fácil preconcentración del extracto.
- Superior poder del fluido extractante para moléculas largas (Ej. Polímeros)
- Superior penetración del extractante, por lo tanto se realiza más rápidamente una extracción más eficiente.
- No se requieren solventes orgánicos para la extracción.

1.6.3.1 Fundamentos de la Extracción por Fluidos Supercríticos (EFS)

Las siguientes figuras muestran un diagrama esquemático del proceso de EFS. Los cuatro pasos primarios involucrados son: Extracción, Expansión, Separación y Compresión del solvente. Los cuatro equipos críticos del proceso son: Un extractor de alta presión, una válvula de reducción, un separador de baja presión y una bomba para elevar la presión del solvente reciclado.(Fig.14)

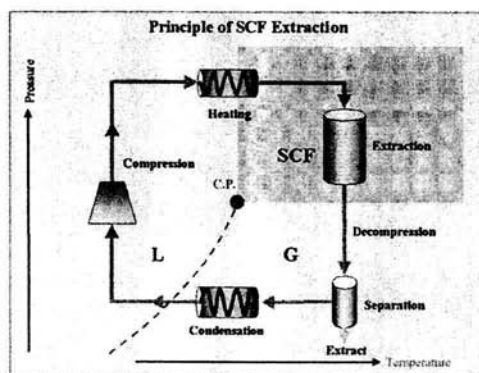


FIGURA 14 PRINCIPIO DE EXTRACCIÓN SCF.

El proceso se inicia de la siguiente manera: La colocación de la muestra, generalmente un sólido molido, es cargada al extractor. El CO₂ es alimentado al extractor a través de una bomba de alta presión (100 a 400 Bar). El CO₂ comprimido es calentado en un intercambiador de calor hasta la temperatura de extracción (30 a 60°C). Luego ingresa al extractor y procede a extraer los compuestos deseados de la muestra sólida (molida) colocada. La mezcla CO₂-extracto es enviada a un separador (150 a 50 Bar) con un previo paso a través de una válvula de reducción.(24)

A la temperatura y presión reducidas, el extracto precipita espontáneamente en el separador, mientras el CO₂, libre de cualquier extracto, es reciclado al proceso, con pasos previos de enfriamiento y compresión. En la EFS, también se puede realizar un proceso semicontinuo, donde el CO₂ fluye en modo continuo, mientras la colocación de la muestra sólida (molida) es cargada en una canasta del extractor en varias etapas. (Fig. 15)

Un co-solvente es frecuentemente bombeado y mezclado con el CO₂ de alta presión para aumentar el poder de solvencia o la selectividad de la separación para componentes específicos. La separación es producida comúnmente en etapas, manteniendo condiciones diferentes en dos o tres separadores para fraccionar el extracto₍₂₄₎, dependiendo de las solubilidades de los componentes y las especificaciones deseadas de los productos. (Fig.15)

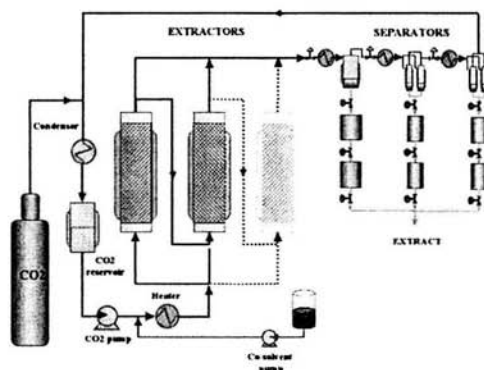


FIGURA 15 DIAGRAMA DE SOLVENTES EN SCF.

En la práctica, mientras que la EFS ha encontrado una aplicación para ciertos tipos de muestra, el desarrollo del método ha demostrado ser problemático. Quizás la desventaja más grande se encuentra en la naturaleza del extractante por sí mismo:

mientras que el CO₂ supercrítico es un solvente altamente efectivo para compuestos no polares (especialmente polímeros de alto peso molecular), no es una buena opción para compuestos polares.⁽³⁵⁾

Desafortunadamente, los materiales polares seguros y baratos que son líquidos supercríticos bajo presiones y temperaturas razonablemente realizables son pocos (amoníaco y monóxido de nitrógeno). Se utilizan principalmente en la purificación de sustancias biológicas / bioquímicas donde el mismo compuesto se está aislando en varias ocasiones. La otra área comercial del éxito para la EFS es, por supuesto, el descafeinado del café y del té.^(24,35)

Capítulo 2.

OBJETIVOS

2. Objetivo General :

Objetivo General : Extracción, optimización y caracterización del aceite de la semilla de mango para su aprovechamiento como sustituto de manteca de cacao.

2.1 Objetivos Particulares :

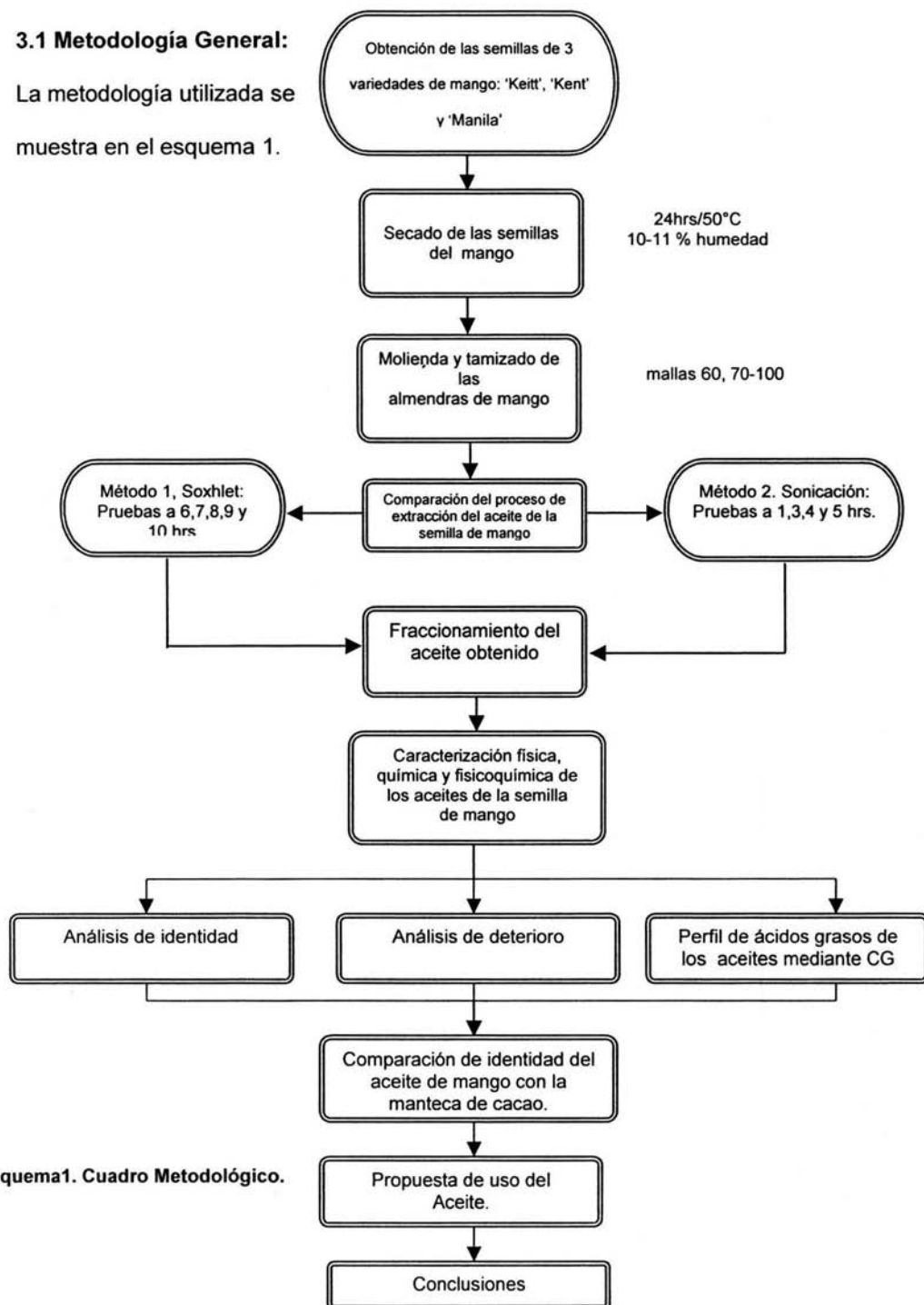
- ☞ Proponer la técnica de sonicación como una nueva metodología de extracción para este tipo de aceite.
- ☞ Comparar los rendimientos en el proceso de extracción del aceite de mango utilizando la técnica Soxhlet y la técnica de sonicación.
- ☞ Realizar la caracterización física, química y fisicoquímica del aceite obtenido de las semillas de tres variedades de mango ('Manila', 'Keitt', y 'Kent').
- ☞ Determinar el perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de mango mediante cromatografía de gases.
- ☞ Realizar una propuesta de uso del aceite de la semilla de mango para la industria alimentaria.

Capítulo 3.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Metodología General:

La metodología utilizada se muestra en el esquema 1.



Esquema1. Cuadro Metodológico.

3.2 Preparación de las muestras

3.2.1 Obtención de las semillas de mango (Almendras)

Los mangos fueron adquiridos en la Central de Abastos del Distrito Federal y se trabajó con las variedades: 'Manila', 'Kent' y 'Keitt'. Los mangos se pelaron, despulparon, y las semillas se limpiaron al chorro del agua e inmediatamente se eliminó el endocarpio duro y fibroso con ayuda de un cuchillo para la extracción de la almendra que se encuentra en el interior. Las almendras se guardaron en una bolsa de polietileno para su secado y su conservación. Una alternativa para este proceso, es la utilización de un decortificador especial adaptado mecánicamente para las semillas de mango. (16)

3.2.2 Secado de las semillas del hueso de mango

Las semillas se limpiaron manualmente, asegurándose de quitar la capa exterior que la rodea, se colocaron en una estufa y se secaron a $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (para no deteriorar el aceite por una temperatura elevada) hasta llegar a una humedad de 10-11%. (21) Pasado el tiempo se retiraron y se colocaron en un recipiente para su posterior molienda.

3.2.3 Molienda y Tamizado

La molienda de las semillas se realizó de la siguiente forma:

Las semillas previamente secas, se trituraron y se molieron en un molino de cereales. La harina se tamizó por 30 minutos en un juego de tamices desde el número 10 al 100 y se separaron las fracciones retenidas en las mallas #60, y #70-#100, las fracciones anteriores a la 60 se volvieron a moler en el molino hasta que la harina fuera

retenida en la #60 o la pasara. Las fracciones de harina con los tamaños de partícula seleccionados se colocaron en bolsas de polietileno a temperatura ambiente para su conservación hasta la extracción del aceite de cada variedad. (1,2,3,12,16)

3.3 Extracción de los aceites

3.3.1 Extracción del aceite por el método Soxhlet (SX):

La harina se pesó y se colocó una muestra en el cartucho de extracción, se agregaron 500 ml de hexano y se llevó a ebullición (aprox. 60-65⁰C) de acuerdo al método Soxhlet (10,11). Para conocer los rendimientos y los tiempos óptimos de la extracción se realizaron pruebas a 6, 7, 8, 9 y 10 horas, eliminando el solvente de cada una de las determinaciones y cambiándolo por solvente nuevo para llegar así al agotamiento del aceite en la harina. El aceite obtenido se almacenó en un recipiente ámbar bajo una atmósfera de nitrógeno, en un lugar fresco (preferentemente debajo de 25⁰C), libre de luz y humedad para su posterior análisis. (1,2,3,12,16)

3.3.2 Extracción del aceite por el método de Sonicación (SN)

La harina se pesó y se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 ml o de 500 ml dependiendo de la cantidad de muestra a extraer. Se preparó una solución al 20% de la harina en hexano, y se colocó en un matraz dentro de un baño de sonicación (marca BRANSONIC, modelo 2510R-MTH) buscando la zona de cavitación. Se realizaron las pruebas de extracción a 1, 2, 3 y 4 horas realizando sus respectivas replicas como en el caso de la extracción por el método de soxhlet cambiando el solvente para asegurar el agotamiento del aceite en la harina. Se calcularon los rendimientos de cada determinación para establecer el tiempo óptimo de extracción. (18,19,20)

3.4 Fraccionamiento de los aceites

Determinación :

Se realizó una solución al 20% del aceite en acetona en caliente (50-60°C) hasta que se disolvió por completo, después se enfrió en un baño de agua, logrando bajar la temperatura aproximadamente 1°C/min. por un periodo de una hora, observándose paulatinamente la formación de unos cristales blanquecinos, los cuáles después del tiempo transcurrido se separaron por filtración al vacío. Los cristales se lavaron tres veces con 400ml de acetona fría y se secaron.⁽²⁾ Los cristales secos (grasas) se almacenaron en frascos ámbar y bajo atmósfera de nitrógeno para evitar su oxidación.

3.5 Caracterización física de los aceites y grasas de la semilla de mango

Tanto a los aceites obtenidos en la extracción como a las grasas obtenidas después del fraccionamiento de dicho aceite, se les determinaron sus características tales como color y olor para las tres variedades utilizadas.

3.6 Análisis de Identidad a las grasas de las semillas de mango

3.6.1 Índice de Saponificación

Determinación:

Se monto un equipo de reflujo, colocando en el matraz 2g de la grasa y adicionando 25ml de una solución alcohólica de KOH (0.5 M en etanol al 95%). Se llevó a ebullición suave y con agitación, por 30 min. Transcurrido el tiempo, se tituló en caliente el exceso de álcali con HCl valorado 0.5N usando fenolftaleína como indicador. Se preparo un blanco de reactivos y se le hizo la determinación al mismo tiempo que a la muestra. ^(10,11)

$$IS \frac{mg_KOH}{g_muestra} = \frac{(ml_{HCl} Bco - ml_{HCl} muestra) \frac{28.05g_KOH}{1000ml} \times \frac{1000mg}{1g}}{Peso_de_la_muestra(g)}$$

3.6.2 Índice de Yodo (Wijs)

Determinación :

Se pesaron de 0.2 a 0.3g de aceite en un matraz de yodo de 500ml, se disolvieron con 15ml de cloroformo; se le añadieron 25ml de monoclورو de yodo más yodo en ácido acético (Reactivo de Wijs); se tapó y se dejó en reposo 2 horas en la oscuridad. Transcurrido el tiempo se le añadieron 20ml de KI al 15% y 150ml de agua; se tituló el yodo libre con tiosulfato de sodio 0.1N usando una solución de almidón al 1% como indicador. (10,11) Además se hizo un blanco de reactivos.

$$\%I.I = \frac{(ml_{tiosulfato} bco - ml_{tiosulfato} muestra) \frac{0.1Eq\ tiosulfato}{1000ml} \times \frac{126.9g_de_yodo}{1\ Eq.}}{Peso_de_la_muestra} \times 100$$

3.6.3 Punto de fusión

El método que se utilizó en el presente trabajo fue el del método del tubo capilar, se colocó un poco de muestra en el capilar del aparato MEL-TEMP II, Serie 93891 (Ver Anexo 4) para la determinación de punto de fusión y se esperó a que la muestra se fundiera observando por el lente del aparato, tomando la lectura de la temperatura en la

que funde el primer gránulo de grasa y la temperatura en la que los gránulos de grasa funden completamente. (10,11,37)

3.6.4 Perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases

El cuál se basa en la transformación de los ésteres a ésteres metílicos, los cuáles son más volátiles y mediante estándares se puede conocer tanto la composición como la cantidad de cada éster metílico presente en el aceite de mango.

La determinación se realizó en un Cromatógrafo de gases, con detector de ionización de flama, columna capilar AT Silar, de 30m de largo, diámetro de 0.25mm, espesor de película de 0.25 μ m, temperatura de la columna 280 $^{\circ}$ C, temperatura del inyector 280 $^{\circ}$ C, temperatura del horno 170 $^{\circ}$ C, gas portador Helio, split de 100 y flujo de 1ml/min.

Cada una de las muestras se transesterificó de la siguiente manera: se disolvieron 100 mg de aceite o grasa en 1ml de una solución 0.5N de NaOH en MeOH, se calentó hasta ebullición por 2 min a reflujo, se enfrió y se agregaron 2ml de BF₃ en etanol, se realizó un segundo calentamiento por 2 min a reflujo, se dejó enfriar y se agregaron 5 ml de una solución saturada de NaCl para evitar emulsificación, se extrajo dos veces con 2ml de hexano para HPLC y se llevo a cabo un secado con Na₂SO₄. Posteriormente se llevo a cabo la determinación y cuantificación por Cromatografía de gases en las condiciones anteriormente descritas.

3.7 Análisis de deterioro a las grasas de las semillas de mango

3.7.1 Acidez titulable

Determinación :

En un matraz Erlenmeyer de 250ml, se colocó 1g de muestra y se le adicionó 25ml de alcohol previamente neutralizado (utilizando fenoftaleína como indicador). (10,11)

Se calentó en un baño de agua en ebullición suave y se tituló en caliente con KOH 0.0025N, agitando fuertemente después de cada adición de álcali.

Calculando el índice de acidez como mg de KOH por g de muestra:

$$I.A. = \left(\frac{56.1g \text{ KOH}}{1 \text{ Eq.}} \right) \left(\frac{0.002 \text{ Eq. KOH}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{\text{ml gastados KOH}}{\text{peso_de_la_muestra}} \right) \left(\frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \right) = \frac{\text{mg KOH}}{\text{g muestra}}$$

Y el índice de acidez como % ácido oléico :

$$\%A = \frac{\text{ml_gastados} \times N_{\text{KOH}} \times 0.282}{\text{Peso_de_la_muestra}} \times 100$$

3.7.2 Peróxidos

Determinación :

Método colorimétrico. (10,11)

Se disolvieron de 10 a 100mg de la grasa obtenida en 9.9ml de diclorometano/metanol (70:30). Se le adicionó 0.05ml de una solución de tiocianato de amonio (30%), mezclando y midiendo la abs a 500nm frente a un blanco de disolventes, registrando el valor como E1.

Posteriormente con agitación se adicionan 0.05ml de solución de cloruro ferroso (0.35%) y después de exactamente 5min, se midió la abs a 500nm, registrando el valor como E2; simultáneamente se hizo una determinación del blanco de reactivos, registrando el valor como E0.

Se preparó además una curva de calibración con cloruro férrico disuelto en la mezcla de disolventes, en concentraciones entre 5 y 50 µg de Fe/10ml.

El índice de peróxidos se obtuvo relacionando los equivalentes de Fe oxidado por Kg de muestra. La cantidad de Fe se obtiene a partir de la curva de calibración, utilizando la absorbancia obtenida, una vez corregida por los blancos: $E2 - (E1 + E0)$

Calculando el Índice de peróxidos de la siguiente forma:

$$I.P. = \frac{\mu g - Fe}{10ml} \times \frac{1 meq - Fe}{56mg} \times \frac{1mg}{1000\mu g} \times \frac{dilu\acute{o}n}{Peso_muestra} \times \frac{1000g}{1Kg} = meq - Fe / Kg$$

3.7.3 Índice de Kreis

Determinación:

Se disolvieron de 50 a 500mg de grasa en 5ml de diclorometano, se añadieron 10ml de una solución de ácido tricloroacético al 30% en ácido acético glacial y 1ml de floroglucinol en ácido acético al 1% agitando. Se incubó por 15min a baño María (45°C), dejando enfriar y agregando 4ml de etanol. Se midió la abs de la muestra a 540nm

frente a un blanco de reactivos. El índice de Kreis se calculó como $\text{abs a } 540\text{nm/g de grasa}$. (10,11)

3.8 Comparación de identidad de la grasa de mango y manteca de cacao

Una vez realizado el estudio de identidad de las grasas, se comparó con estudios bibliográficos realizados previamente a la manteca de cacao y los obtenidos en el presente trabajo con el aceite de mango, se puede tomar una decisión de si el aceite de mango puede ser utilizado o no para un trabajo posterior de elaboración de un sustituto de manteca de cacao en la elaboración de rellenos y coberturas de chocolate, dependiendo como ya se mencionó anteriormente del estudio completo de identidad, tomando en cuenta que tengan características similares entre ellos; las más importantes serían el punto de fusión, perfil de ácidos grasos, estabilidad e índice de yodo, ya que estas son las que nos van a determinar que no existiera mucha diferencia entre los productos elaborados con el aceite de mango y la manteca de cacao .

3.9 Análisis de resultados.

Se realizó un análisis estadístico en cada uno de los experimentos diseñados. Se aplicaron análisis de varianza y pruebas de rango múltiple por medio del programa estadístico SPSS.

Capítulo 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Comparación de los métodos de extracción del aceite de la semilla de mango.

Una vez obtenidas y secadas las almendras de las semillas del mango se procedió a la obtención de la harina y a la extracción del aceite por el método Soxhlet y por sonicación, como se describió en la metodología experimental. (Para ver todos los datos de los rendimientos obtenidos de todas las extracciones, ver Anexo 1)

Para establecer los tiempos de extracción y comparar los rendimientos obtenidos por cada uno de los métodos se utilizó únicamente a la variedad 'Keitt', ya que se contaba con una mayor cantidad de esta muestra. La tabla 5 muestra la comparación de los métodos utilizados; obteniendo que los tiempos de extracción para la variedad 'Keitt' utilizando el método SX fueron de 8, 9 y 10 horas para obtener el mayor rendimiento, que fue de 9% aproximadamente (Gráfica 1), mientras que utilizando el método de SN los tiempos fueron de 2 y 3 horas para obtener un rendimiento del 8% aproximadamente (Gráfica 1), lo cuál demuestra que el método SN es mejor, aunque el rendimiento es un poco más bajo que el SX. El análisis estadístico muestra que la hipótesis planteada en la ANOVA (H_0 = Los rendimientos de extracción del aceite de mango obtenidos no serán diferentes significativamente al comparar el método SX con el de SN) fue rechazada, es decir si se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los métodos de extracción (Ver anexo 3).

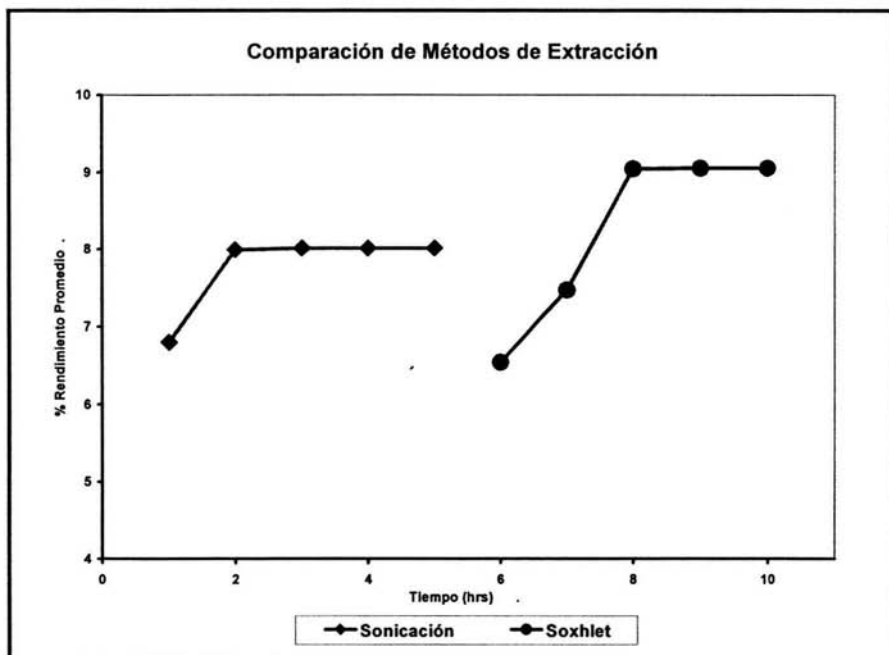
Para establecer los tiempos óptimos para en el proceso de extracción de los aceites, se realizó una comparación múltiple de medias (*Student-Newman-Keuls*, *Tukey HSD*, *Duncan* y *Scheffe*, ver Anexo 3.1).

Al comparar los tiempos de extracción se encontró que los rendimientos obtenidos entre 2 a 5 h utilizando el método de SN, no presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), lo mismo ocurrió para los tratamientos de 8, 9 y 10 h por el método SX. En donde si se observó diferencia significativa fue entre los métodos debido a que el tiempo empleado por SN fue de 6 horas menos que en el de SX (2h para SN y 8 h para SX con un rendimiento de 8.0933% y 9.0467% respectivamente) pero esa diferencia de casi 1% se nota relativamente mínima entre los rendimientos si tomamos en cuenta que el tiempo que se logró disminuir es muy considerable, aspecto que a nivel Industria es muy importante porque además de ahorrar 6 h de extracción, se lograría ahorrar además 6 h de energía y la cantidad de solvente utilizado en SN es casi 5 veces menor que en el método SX.

Tabla 5. Comparación de métodos de extracción: Soxhlet vs Sonicación.

Tiempo (h)	Rendimiento promedio: Soxhlet	Tiempo (h)	Rendimiento promedio: Sonicación
	Keitt (%)		Keitt (%)
6	6.54 ^a	1	6.8 ^a
7	7.47 ^b	2	7.95 ^b
8	8.04 ^b	3	8.01 ^c
9	8.05 ^c	4	8.01 ^c
10	9.05 ^c	5	8.01 ^c

Los valores seguidos de diferente letra en cada columna de rendimientos, difieren significativamente ($P \leq 0.05$)



GRÁFICA 1 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Para comprobar las condiciones de extracción establecidas anteriormente, se realizó la extracción a la variedad 'Kent', encontrándose que por el método SX se obtuvieron rendimientos similares a los de la variedad 'Keitt' a las 8h y por el método de SN a 3 h. En la tabla 6 se muestran los rendimientos, observando nuevamente que no varían mucho y son muy cercanos, para SX 8.79% y para SN 8.21%, mostrando nuevamente que el método SN podría ser una opción viable por la optimización del tiempo y material. A la variedad 'Manila' solo se le realizó el método SX debido a la poca cantidad de harina obtenida, sin embargo se puede observar que los rendimientos obtenidos fueron inferiores a los de las otras variedades utilizadas en el estudio; esto quizás se deba a la conformación fibrosa que tiene la semilla de esta variedad o a que

presentaba una humedad todavía por encima del 15% la cuál es alta y no permitio una completa extracción. Al comparar las tres variedades se observó que los rendimientos presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos (Ver anexo 3.2), tanto en los obtenidos para SX como en SN, lo cuál se nota a simple vista por los diferentes rendimientos obtenidos de una variedad a otra en ambos métodos, lo cuál se corrobora con los estudios realizados por Ali M.A. y col. (1985) y Lakshminarayana G. y col. (1983) en los cuáles también se demuestran las variaciones en contenido de aceite de una variedad a otra.

Tabla 6. Rendimientos de extracción de las variedades de mango.

Variedad	Método	Rendimiento (%)
'Manila'	SX	7.53 ^a
'Keitt'	SX	9.04 ^b
	SN	8.01 ^d
'Kent'	SX	8.79 ^c
	SN	8.21 ^e

SX = Soxhlet, SN= Sonicación.

Los valores seguidos de diferente letra en cada columna de rendimientos, difieren significativamente ($P < 0.05$) para cada método de extracción

4.2 Efecto del tamaño de partícula en la obtención del aceite.

Tratando de mejorar el proceso de SN, se encontró en la literatura que puede influir el tamaño de partícula utilizado^(15,16,17), de ahí que también se realizaran otras determinaciones tomando en cuenta dos tamaños de partícula: la harina retenida en la malla #60 (0.25 mm) y la retenida desde la malla #70 a la #100 (0.21-0.15 mm) para determinar en qué grado afecta a la extracción dicho tamaño de partícula y observar si

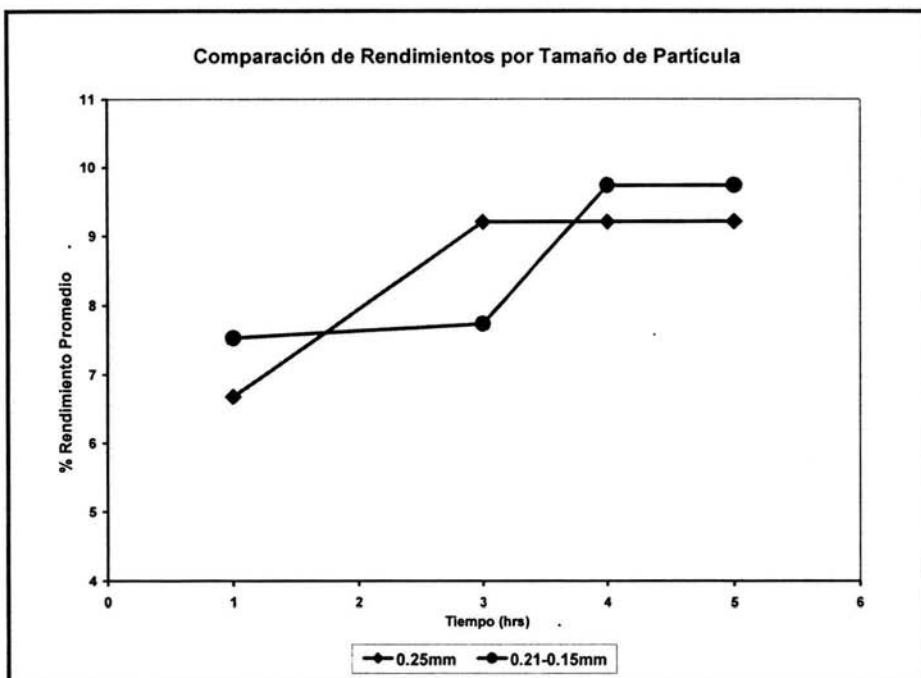
se logran aumentar los rendimientos; obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Comparación de rendimientos por tiempo y tamaño de Partícula

Malla	Tamaño de Partícula (mm)	Tiempo (h)	Rendimiento Promedio
60	0.25	1	6.68 %
70-100	0.21-0.15	1	7.53 %
60	0.25	3	9.203 %
70-100	0.21-0.15	3	7.73 %
60	0.25	4	9.206 %
70-100	0.21-0.15	4	9.733 %
60	0.25	5	9.213 %
70-100	0.21-0.15	5	9.736 %

Como se logra observar, efectivamente se logra aumentar el rendimiento de 8% aprox. en el ensayo anterior (tamaño de partícula de 0.5mm) a 9.203% (tamaño de partícula de 0.25mm) con el mismo tiempo de extracción (3h).

Con el tamaño de partícula de 0.21-0.15mm aumentó un poco más el rendimiento (9.73%) pero se requiere de una hora más de extracción por solo un 0.5% aprox. más de rendimiento que se va a obtener, lo cuál ya no es conveniente. La comparación de las extracciones se muestra mejor en la gráfica 2.



GRÁFICA 2 RENDIMIENTOS POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

El análisis de varianza (ANOVA) rechaza nuevamente nuestra hipótesis inicial:

H_0 = Los rendimientos de extracción del aceite de hueso de mango obtenidos no serán diferentes significativamente al comparar los tamaños de partícula de la harina a extraer

por lo que se hicieron las comparaciones múltiple de medias para conocer en que nivel de los tratamientos existe diferencia significativa, esto se muestra en el Anexo 3.3, el cuál nos dice que los cuatro métodos de comparación encuentran diferencia significativa entre los tratamientos $1^{a,c}$, $5^{b,c}$ y $6^{b,d}$, [$2^{a,d}$, $3^{a,e}$, $4^{a,f}$] y [$7^{b,e}$, $8^{b,f}$] (Tamaño de partícula: $^a0.25\text{mm}$ $^b0.21-0.15\text{mm}$, Tiempos: ^c1h , ^d3h , ^e4h , ^f5hr), los datos encerrados en

paréntesis no tienen diferencia significativa entre sí, lo que nos indica que el mejor tratamiento es el de la molienda con un tamaño de partícula de 0.25mm y una extracción SN a 3 h para obtener un rendimiento aproximado de 9-9.3% de aceite de hueso de mango.

4.3 Caracterización física a los aceites obtenidos

A los aceites obtenidos de las extracciones se les determinaron características de olor y color, las cuáles se presentan en la tabla 8, obteniendo que la variedad 'Manila' presenta mal aspecto en el caso de olor, ya que tenía un cierto olor a rancidez, no así para las variedades 'Keitt' y 'Kent', las cuáles presentaban un olor característico similar al olor de la semilla de la cuál provenían, para el caso del color, los tres aceites presentaban una tonalidad amarillo pálido, obteniendo resultados similares a lo reportado por Ali M.A. y col. (1985) y Lakshminarayana G. y col. (1983) en el cuál reportan también la obtención de un aceite de color amarillo.

Tabla 8. Características físicas del aceite de las semillas de mango.

Característica	'Manila'	'Keitt'	'Kent'
Color	Color amarillo pálido.	Color amarillo pálido.	Color amarillo pálido.
Olor	Característico a la Semilla con ligero olor a rancidez.	Característico a la Semilla.	Característico a la Semilla.

4.4 Fraccionamiento del aceite

A pesar de que las condiciones de extracción propuesta son adecuadas, cabe mencionar que trabajos de Bringi y Padley (1977 y 1980) reportaron un método de fraccionamiento del aceite de la semilla de mango para su posible uso como sustituto de manteca de cacao en la industria chocolatera y en coberturas. El aceite se obtiene por extracción con hexano de la semilla seca y pulverizada de mango.

El aceite obtenido se fracciona a 15 °C a partir de una solución al 20% del aceite en acetona, el extracto se enfría y se deja reposar una hora y se separan los cristales formados por filtración. Se obtiene un rendimiento del 22% de una fracción de esteraina cruda junto con 78% de una fracción de oleina disuelta en acetona. Los cristales se lavan tres veces con 410 ml de acetona cada vez dejando una torta de filtración bastante seca, desmenuzable, de color blanquecina. La fracción de oleina se recupera por evaporación del solvente.

Además de acuerdo con la Directiva 2000/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de junio de 2000 relativa a los productos de cacao y de chocolate destinados a la alimentación humana, las grasas vegetales mencionadas a continuación son solas, o mezcladas, equivalentes de manteca de cacao y deben cumplir los siguientes criterios:

a) Son grasas vegetales no láuricas ricas en triglicéridos monoinsaturados simétricos del tipo POP, POST y StOSt , donde: P (ácido palmítico), O (ácido oléico), St (ácido esteárico).

b) Son miscibles en cualquier proporción con manteca de cacao y son compatibles con sus propiedades físicas (punto de fusión y temperatura de cristalización, velocidad de fusión, necesidad de una fase de temperado);

c) Únicamente pueden obtenerse mediante tratamientos de refinado o de **fraccionamiento**; la modificación enzimática de la estructura del triglicérido queda excluida.⁽⁸⁾

Denominación usual de las grasas vegetales	Denominación científica de las plantas de las que pueden obtenerse dichas grasas
1. Illipe, sebo de Borneo o Tengkwang	<i>Shorea</i> spp.
2. Aceite de palma	<i>Elaeis guineensis</i> <i>Elaeis olifera</i>
3. Sal	<i>Shorea robusta</i>
4. Shea	<i>Butyrospermum parkii</i>
5. Kokum gurgi	<i>Garcinia indica</i>
6. Hueso de mango	<i>Mangifera indica</i>

Análisis recientes⁽⁸⁾ han mostrado que la grasa de la semilla de mango contiene los siguientes triglicéridos: 2-oleodipalmitil, 1,2-oleopalmitilestearil y 2 oleodiestearil; por lo cuál es rica en glicéridos simétricos mono-insaturados-disaturados. Estos componentes poseen características de fusión que la hacen altamente cotizada en grasas de confitería.

La separación es efectuada de preferencia como ya se mencionó al inicio de este apartado, de la solución en un solvente orgánico inerte, que tenga un punto de fusión

entre 50 y 100°C. Ellos incluyen parafinas y otros halo y nitro derivados, por ejemplo diclorodifluorometano y nitropropano. Sin embargo el solvente más usado es una cetona alifática corta, particularmente acetona.⁽⁴⁾

Por lo cuál se realizó un fraccionamiento en acetona como se mencionó en la metodología experimental, obteniendo rendimientos similares para las fracciones de estearina en las variedades 'Kent' y 'Keitt', no así para la variedad 'Manila', la cuál estuvo por debajo de los rendimientos reportados por Bringi y Padley en los trabajos mencionados, los datos de los rendimientos para las dos fracciones obtenidas se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Rendimientos del fraccionamiento realizado a las tres variedades de mango

Variedades	Rendimientos (%) de estearina	Rendimientos (%) de oleina
'Manila'	15.35	84.65
'Keitt'	21.69	78.31
'Kent'	20.13	79.87

4.5 Caracterización física a las estearinas (grasas) obtenidas

De la misma forma que a los aceites, a las grasas obtenidas del fraccionamiento se les determinaron sus características físicas de color y olor, obteniendo que la variedad 'Manila' vuelve a presentar olor a rancidez y un color grisáceo, no presentando lo reportado en la literatura por Bringi y Padley (1977 y 1980), los cuáles reportan un

color blanquecino e inoloro de las grasas obtenidas, caso que sí se obtuvo para las variedades 'Keitt' y Kent', estos datos se muestran a continuación en la tabla 10.

Tabla 10. Características físicas de la estearina (grasa) de las semillas de mango.

Característica	'Manila'	'Keitt'	'Kent'
Color	Color Grisáceo.	Color Blanquecino.	Color Blanquecino.
Olor	Ligero olor a rancidez.	Inoloro	Inoloro

Este posible enranciamiento de la variedad 'Manila' se podrá corroborar cuando se realice el análisis de deterioro a las grasas.

4.6 Caracterización de identidad y deterioro a las grasas de las semillas de mango

Por otra parte, se realizó la caracterización de las grasas obtenidas a partir del fraccionamiento del aceite de las semillas de mangos de las diferentes variedades utilizadas y se compararon con las características de la manteca de cacao reportadas en la literatura.

4.6.1 Identidad de las grasas

Para determinar la identidad de las grasas, se les determinaron el índice de saponificación, índice de yodo, punto de fusión y el perfil de ácidos grasos por

cromatografía de gases. En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos relacionados con los tres primeros parámetros:

Tabla 11. Características de identidad de la Grasa de las tres Variedades de Mango.

Variedad	Saponificación¹	I. de Yodo	P.f. (°C)
'Manila'	180.98	27.11	36.7-38.2
'Keitt'	194.02	31.06	35.3-35.5
'Kent'	189.35	34.04	34.4-34.7

¹=en mg KOH/g de grasa

En el caso del índice de saponificación, el cual representa el peso molecular promedio de los ácidos grasos en una relación inversa, podemos observar que las tres variedades ('Manila', 'Kent', 'Keitt') presentan valores entre 180 y 200, lo cual es muy parecido a lo reportado para manteca de cacao que va de 188 a 200 (Tabla 12). Esto indica efectivamente lo que esperábamos, que el peso molecular promedio de las grasas obtenidas sea bajo, lo que se refleja con los valores altos de este índice y mejor aún que se asemeja con los valores para manteca de cacao reportados por Baliga y col.(1981) y en la página de Nacional de Chocolates.

Tabla 12. Características de identidad de la Manteca de Cacao

Saponificación¹	I. de Yodo	P.f. (°C)
188-200	32-41	32-35

Fuente: Nacional de Chocolates(30) ¹=en mg KOH/g de grasa

El índice de yodo, es otra de las principales características de las grasas y los aceites, ya que se usa para conocer el grado de insaturación antes de efectuar su hidrogenación. Como lo muestra la tabla 12, en la literatura se reportan valores de 32 a 41 para manteca de cacao, mientras que en los aceites de las variedades 'Kent' y 'Keitt' se encontraron en ese mismo rango, mientras que en la variedad 'Manila' se registraron valores ligeramente inferiores.

Estos resultados se esperaban obtener, ya que al efectuar el fraccionamiento de la grasa, la fracción de estearina con la que estamos trabajando es rica en triglicéridos insaturados y al realizar esta metodología lo que se titula con tiosulfato de sodio es el halógeno libre en solución, es decir el halógeno que no se fija a los triglicéridos y al obtener valores de 27 a 35 en las tres variedades lo que nos indica es que las grasas tienen triglicéridos insaturados que fijaron una gran cantidad de halógeno, dejando poco yodo liberado.

En el caso de los puntos de fusión, las variedades 'Keitt' y 'Kent' son las que más se asemejan a lo reportado para la manteca de cacao; este dato es importante debido a que el punto de fusión es uno de los parámetros fundamentales para que se pueda sustituir a dicha manteca (Tabla 12), además de que refleja la pureza de la grasa a la que se le esté determinando el punto de fusión; la grasa de la variedad 'Manila' se encuentra un poco fuera de ese rango, esto se debe quizás a que ya no se encuentre pura debido que pueda presentar un posible enranciamiento que se podrá comprobar con el análisis de deterioro.

En trabajos anteriores de Baliga y Lakshminarayana (1981 y 1983) también se reportaron puntos de fusión para otro tipo de variedades similares a los obtenidos en este trabajo, lo que nos otorgó un punto de comparación de estos datos y poder decir que los valores de punto de fusión determinados a las tres variedades manejadas son correctos y que solo varían un poco dependiendo la variedad. La característica del punto de fusión es importante, ya que los aceites que se utilicen como sustitutos de la manteca de cacao deberán ser miscibles en cualquier proporción de la manteca de cacao y ser compatibles con sus propiedades físicas como son: la temperatura de cristalización, velocidad de fusión y precisamente el punto de fusión.

Los resultados obtenidos en el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases se muestran en la tabla 13: (Observar Cromatogramas en el Anexo 5)

Tabla 13. Composición de Ácidos Grasos de las grasas de las tres Variedades de Mango y de Manteca de Cacao.

Variedad	16:0	18:0	18:1	18:2	20:0
'Manila'	5.81	43.95	25.92	1.80	1.63
'Keitt'	6.64	45.11	29.47	1.26	1.31
'Kent'	8.25	53.09	33.31	2.3	2.64
Manteca de Cacao	23-30	32-37	30-37	2-4	1-4

*Fuente: Nacional de Chocolates (30)

Como podemos observar, los ácidos grasos que se encontraron en mayor proporción son el esteárico (18:0) y el oleico (18:1) para las tres variedades, similar con lo ocurrido en la composición de la manteca de cacao, solo que para nuestro caso se rebasa el intervalo de composición para el ácido esteárico, de acuerdo con lo reportado en la literatura para dicha manteca (43.95, 45.11, 53.09% contra 32-37% en manteca

de cacao) y para el ácido oleico los valores se asemejan bastante a los valores reportados (30-37% de la manteca de cacao); además se observó también diferencia para el caso del ácido palmítico, el cuál se encontró por debajo del intervalo reportado (5.81, 6.64 y 8.25% contra 23-30% para manteca de cacao).

En lo que se refiere a los ácidos grasos linoléico y araquídico (18.2 y 20:0 respectivamente) los porcentajes son muy semejantes a lo reportado en la literatura, no se encontró ácido linolénico en ninguna de las tres variedades. En trabajos de Ali, Baliga, Rukmini y Zazueta-Morales^(1,3,17,21) se reportaron valores similares para los ácidos grasos palmítico, oleico, linoléico y araquídico, no así para el ácido esteárico, que se encuentra un poco fuera del rango reportado.

4.6.2 Deterioro de las grasas

En el caso de las características relacionadas con el enranciamiento, se pudo observar que el aceite obtenido de la variedad 'Manila', presentó una mayor acidez, índice de peróxidos e índice de Kreis, que los obtenidos a partir de las otras variedades (Tabla 14), esto nos indica un problema básicamente de un mal almacenamiento, además de que esta variedad presenta una mayor susceptibilidad a los daños por frío, desorden fisiológico que se presenta al ser almacenado a temperaturas por debajo de su temperatura crítica (13°C), el índice de acidez indica daño, además está relacionado con el grado de rancidez por el almacenamiento, calor, etc. como ya se mencionó corroborando los resultados obtenidos anteriormente en la caracterización física tanto del aceite como de la grasa obtenida del posterior fraccionamiento.

En el caso de la manteca de cacao que se utiliza en confitería, esta deberá presentar una acidez menor de 0.8-a 1% y no presentar formación de peróxidos y por lo tanto, un índice de Kreis negativo; pero se debe de tomar en cuenta que los peróxidos no son responsables directos del olor y sabor del aceite o grasa. El conocer su concentración es útil para establecer el grado de avance de la descomposición.

Tabla 14 Análisis de deterioro a las grasas de las semillas de las tres variedades de mango

Variedad	Acidez¹	Acidez²	Peróxidos³	I. de Kreis⁴
'Manila'	3.11	1.56	7.23	0.58
'Keitt'	2.17	1.09	-	0.072
'Kent'	2.5	1.25	-	0.1919

1=en mg KOH/g de grasa; 2=% como ácido oéico; 3=meq. de peróxido/Kg de muestra; 4=abs a 540nm/g de grasa

La concentración de peróxidos como índice de oxidación es muy relativo ya que éstos productos son intermediarios de una secuencia de reacciones conducentes a la formación de compuestos estructuralmente diferentes con carbonilos e hidroxilos.⁽¹¹⁾ El método de Índice de peróxidos, está limitado a las primeras etapas de oxidación de la grasa. Si los peróxidos no se encuentran presentes y se requiere de datos sobre el estado del producto, se recomienda hacer pruebas de productos secundarios de oxidación como por ejemplo malonaldehídos (Índice de Kreis)^(10,11) como se hizo posteriormente.

Trabajos de Baliga y col. (1981) obtuvieron valores de deterioro no tan similares a los obtenidos, en ese estudio se tuvieron valores nulos de peróxidos, valores de 0.25 a 0.6 de acidez (expresado como mg de KOH/g de grasa) no reportan valores de Índice de Kreis por lo que nos referimos a valores reportados para la manteca de cacao en la literatura y estos dicen que deben de ser nulos_(10,30), como se logra observar las tres variedades estudiadas presentan valores de Kreis positivos, siendo la variedad 'Manila' como ya se dijo la que presenta un índice mayor (Tabla 14), lo que nos demuestra un deterioro más avanzado en esta variedad que en las variedades 'Keitt' y 'Kent' al tener un mayor contenido de malonaldehidos; sin embargo, para estudios posteriores se propone realizar un estudio de estabilidad de los aceites, con un control estricto y cuidadoso de las condiciones de almacenamiento. Esto nos permitirá conocer la vida útil y permitirá establecer las diferencias en el comportamiento de las diferentes variedades.

4.7 Propuesta de uso del aceite de la semilla de mango como sustituto de manteca de cacao.

Como propuesta de uso para esta grasa obtenida podemos tener una gama amplia de aplicaciones, debido a sus propiedades bacteriostáticas y antibacterial, el polvo o un extracto de semilla del mango se puede utilizar en productos para prevenir y tratar el acné y/o las caries dentales. El extracto contiene 79.5% de polifenoles responsables de la acción antimicrobiana y 21% de carbohidratos₍₆₎, pero nos vamos a enfocar principalmente en el proceso de elaboración de coberturas o rellenos de chocolate.

La obtención de aceites es un proceso ampliamente conocido y utilizado a gran escala en países como India, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Nigeria, etc. En la actualidad existe una creciente demanda en el mercado de sustitutos de manteca de cacao que sean económicos y que porten las características físicas principales de dicha manteca.

Lo que se propone para estudios posteriores de acuerdo a los resultados obtenidos, es la realización de una cobertura o un relleno de chocolate, sustituyendo ya sea total o parcialmente la manteca de cacao con la grasa (estearina obtenida del fraccionamiento del aceite) de la semilla del hueso de mango. Para esto se tendrían que realizar pruebas de formulación para dicho producto tomando como base que es la formulación original industrial de una cobertura o relleno de chocolate, la cuál se muestra a continuación.

Formulación para cobertura de chocolate. (Por cada 100g de Producto)

	Claro	Oscuro
Azúcar	50.5	48.08
Grasa de cacao	23.75	11.75
Leche entera en polvo	20.5	-
Sólidos de cacao	12.0	39.62
Lecitina	0.4	0.35
Vainilla	0.075	0.14
Sal	-	0.06

Fuente: Gijón Al y col.(9)

Formulación para un relleno horneable de chocolate. (Por cada 100g de Producto)

Azúcar	43.40
Grasa de cacao	-
Leche entera en polvo	6
Sólidos de cacao	-
Lecitina	0.10
Vainilla	-
Sal	0.158
Grasa CBR* Láurica	2.13
Cocoa en polvo	7.14
Agua	31.6
Sorbato de potasio	0.091
Almidón	2.17
*CBR: Cocoa Butter Repleasent	

Fuente: Gijón AI y col.(9)

Un paso inicial sería compensar el ácido palmítico en el cuál es deficiente el aceite de la semilla de mango. La formulación para la obtención del sustituto en su totalidad sería realizando una mezcla de la grasa obtenida por el fraccionamiento con aceite de palma como se muestra a continuación⁽⁶⁾: Se hace una mezcla de 35-45% en peso de la grasa de la semilla de mango (40% de ácidos grasos de 16 y 18 Carbonos y alcanfor de Borneo) con 55-65% en peso de aceite de palma (50% de triglicéridos del

tipo POP y menos de 1% de triglicéridos saturados). La mezcla se fracciona en acetona.

Una vez fraccionada la mezcla se enfría lentamente para precipitar nuestro sustituto de manteca de cacao en estado sólido. Se lava con acetona y se deodoriza. El sustituto de mantequilla de cocoa obtenido, tiene propiedades organolépticas y es apropiado para la preparación de mezclas del sustituto con 15 % o más de mantequilla de cocoa, manteniéndose estable durante el proceso de elaboración de chocolates⁽⁶⁾.

Una vez obtenido el sustituto, se usaría de la siguiente forma:

Se realizarían pruebas de formulación sustituyendo a la manteca de cacao y observar las características físicas armando un panel de jueces para realizar pruebas sensoriales y determinar que no existen diferencias significativas del lote de prueba (en cuanto a sabor, textura, aroma, consistencia, etc.) contra un control, el cuál sería la formulación original de la cobertura o relleno sin sustituir a la manteca de cacao, además se le realizarían otras pruebas como son microbiológicas, fisicoquímicas, reología y vida de anaquel (estabilidad)^(9,14) hasta encontrar las características adecuadas de calidad sensorial, microbiológica, reológica y fisicoquímica.

CONCLUSIONES

Conclusiones.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- ☞ El mango es una muy buena opción para obtener varios subproductos (Ver tema 1.4) a partir de los residuos materiales que genera su proceso, tal es el caso del aceite extraído de su semilla como se trató en este trabajo.

- ☞ El mejor método de extracción del aceite de la semilla de mango fue el de SN, ya que se obtuvo un rendimiento de 9.203%, utilizando un tamaño de partícula de 0.25mm por 3 h, debido a que es más rentable por el ahorro de tiempo y cantidad de solvente en comparación con el método SX, optimizando así el proceso de extracción del aceite de la semilla de mango.

- ☞ La caracterización física, de identidad y deterioro, nos da un parámetro de aceptación para la grasa obtenida de las variedades 'Kent' y 'Keitt', lo cual permitió establecer mejor el posible uso de este aceite. Si es que se quisiera utilizar como un sustituto de manteca de cacao, no así para la grasa obtenida de la variedad 'Manila' debido al deterioro tan avanzado que presentaba.

- ☞ El aceite extraído de la variedad 'Manila' presentó una mayor susceptibilidad al enranciamiento comparado con la variedad 'Kent' y 'Keitt', por lo que se recomienda la utilización de otras variedades, o de tener un mayor cuidado en el almacenamiento de las semillas que provienen de esta variedad.

∞ El perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases resultó una muy buena herramienta para poder determinar la composición e identidad de la grasa de la semilla de mango de las tres variedades estudiadas y poder comparar así con la manteca de cacao, logrando formar un criterio aunado con los demás análisis realizados y poderle dar un uso determinado a dicha grasa obtenida por el fraccionamiento realizado.

Recomendaciones:

Existen diversas alternativas para la continuación de este estudio, por lo que en base a los resultados obtenidos se recomienda:

- ∞ Realizar la comparación del método de Sonicación con el de Extracción con Fluidos Supercríticos (EFS), el único inconveniente que tendría de inicio sería el alto costo del equipo de EFS, pero según la literatura⁽¹⁹⁾ es un método que aumenta bastante los rendimientos y disminuye aún más los tiempos,

- ∞ La caracterización física, de identidad y deterioro de otras variedades de mangos cultivadas en México como son: el 'Haden', 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo', además de repetir el análisis con la variedad 'Manila' teniendo cuidado en la forma de almacenamiento, ya que como lo mostró el presente estudio, esta variedad tiene una mayor susceptibilidad al enranciamiento.

- ☞ Realizar un estudio de estabilidad de los aceites y grasas obtenidos de las semillas de mango para establecer su vida útil.

- ☞ La elaboración de coberturas y/o rellenos de chocolate utilizando una mezcla de los aceites obtenidos de la variedad 'Kent' y Keitt', preparando el sustituto de manteca de cacao como se describió anteriormente.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

BIBLIOGRAFIA

Referencias

1. Ali MA, Gafur MA, Rahman MS y Ahmed GM (1985). Variations in Fat content and Lipids class Composition in ten different Mango Varieties. *JAOCS*, **62**, 520-523.
2. Arogba SS (1997). Physical, Chemical and Functional Properties of Nigerian Mango (*Mangifera indica*) Kernel and its Processed Flour. *J. Sci. Food Agric.* **73**, 321-328.
3. Baliga BP, Shitole AD (1981). Cocoa Butter Substitutes from Mango Fat. *JAOCS*, **58**, 110-114.
4. Bringi NV; Padley FB (1977). Food fat. *US Patent US4060646*
Bringi NV; Padley FB (1980). Method for preparing mango kernel fat composition for use in confectionary. *Indian Patent IN147375*
5. Bringi NV (1999). Non-Traditional Oilseeds and Oils in India. Oxford & IBH Publishing Co. PVT. Ltd. New Delhi, India ,73-95.
6. Correa Domínguez SV (2002). Estudio de Inteligencia Tecnológica para el uso integral del Mango. *Tesis Licenciatura, UNAM, FES Cuautitlán, Edo. de México.*
7. Crane JH y Campbell CW, (1994). Fact Sheet HS-2, A series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS).
8. Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2000). DIRECTIVA 2000/36/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de junio de 2000 relativa a los productos de cacao y de chocolate destinados a la alimentación humana. **3.8.** 19-25.

9. Gijón AI, Rodríguez SM (2003). Criterios a Considerar en el Establecimiento de una Planta Procesadora de Confituras. *Tesis Licenciatura, UNAM, FES Cuautitlán, Edo. de México.*
10. Horwitz W. AOAC (1980). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington.
11. Kirk RS (1991). Pearson's Composition and Analysis of Foods. Ed. Longman Scientific & Technical. USA.
12. Lakshminarayana G, Chandrasekhara Rao, Ramalingaswamy PA (1983). Varietal Variations in Content, Characteristics and Composition of Mango Seeds and Fat. *JAOCS*, **60**, 88-89.
13. Laufenberg G, Kunz B, Nystrocm M (2003). Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, **87**, 167-198.
14. Mayes LJ (2001). Influencia de la Lecitina de Soya y otros Emulsificantes en las Propiedades de Flujo de diferentes Coberturas de Chocolate. *Tesis Licenciatura, UNAM, FES Cuautitlán, Edo. de México.*
15. Mitra SK, Baldwin EA (1997). Mango. Post Harvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. *Cab International*. 85-120.
16. Narasimha Char BL, Reddy BR, Thirumala Rao SD (1977). Processing Mango Stones for Fat. *JAOCS*, **54**, 494-498.
17. Rukmini C, Malini Vijayaraghavan (1984). Nutritional and Toxicological Evaluation of Mango Kernel Oil. *JAOCS*, **61**, 789-792.

18. Salisová M, Toma S, Mason TJ (1997). Comparison of conventional and ultrasonically assisted extractions of pharmaceutically active compounds from "Salvia officinalis". *Ultrasonics Sonochemistry*, **4**, 131-134.
19. Snyder JL, Grob RL, McNally ME, Oostdyc TS (1992). Comparison of Supercritical Fluid Extraction with classical Sonication and Soxhlet Extractions for Selected Pesticides. *Analytical Chemistry*, **64**, 1940-1946.
20. Vinatoru M, Toma M, Radu O, Filip PI, Lazurca D y Mason TJ (1997). The Use of Ultrasound for the Extraction of Bioactive Principles from Plant Materials. *Ultrasonics Sonochemistry*, **4**, 135-139.
21. Zazueta-Morales JJ, Sapiéns L, Ordorica CA, Báez R, Torres JV & Anzaldúa-Morales. (1999). A Physicochemical and Nutritional Characterization of Mango Kernel (*Mangifera indica*), CV. Kent, For Food Purposes. *Universidad Autónoma De Sinaloa, Fac. C. Química y Biológicas*, **20A-34**.

Sitios en Internet:

22. Agronegocios. Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial en :
<http://oaxaca.gob.mx/sedic/agronegocios/spanish/mango.html>
23. Colombianos en el exterior en:
<http://www.colombianosenelexterior.com/investigacionesunad3.asp>
24. Cerpa Chávez, M. "Extracción de productos naturales mediante fluidos supercríticos: Fundamentos y Posibilidades de uso en el Perú" en:
<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2296/Extraccion.html>

25. Exploración de mercados de Colombia en:
http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/int_mango.htm
26. FAO en : <http://www.fao.org/inpho/INPhO/Compendium/Chapte#342.htm>
<http://www.fao.org> <http://www.faostat.fao.org>
27. Frutas Arcos en: <http://www.frutasarcos.com.mx/p2variedad.htm>
28. Infoagro en: www.infoagro.com y
http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm
http://canales.laverdad.es/canalagro/datos/frutas/frutas_tropicales/mango.htm
29. Laman Kerajaan Sabah, "Mango" en:
http://www.sabah.gov.my/tani/english/crop_mango.htm
30. Nacional de Chocolates en: http://www.chocolates.com.co/pi_boletin_04.htm
31. SAGARPA en: www.sagarpa.gob.mx
32. Secretaría de Estado de Agricultura de República Dominicana en :
<http://agricultura.gov.do/perfiles/mango.html>
33. Servicio de Información Agropecuaria de Ecuador en:
<http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/mango/iica.html#PRODUCCION>
34. Universidad de Georgia en: <http://www.uga.edu/fruit/mango.pdf>
35. Universidad de toronto en:
<http://www.chem.utoronto.ca/coursenotes/CHM416/extraction.pdf>
36. Variclean, "Ultrasonics Theory" en: <http://www.variclean.nl/theory.html>
37. Mel Temp, "Melting Point" en: <http://wulfenite.fandm.edu/labtech/melting.htm>

38. Zarazúa A y Ponce P. "Situación y Perspectivas del Mango en México: El Caso de los Productos Convenientes. Artículo del Centro de investigaciones Económicas, Sociales y Económicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial" (CIESTAAM) Chapingo, en:
- <http://www.chapingo.mx/agroind/congreso/ponencia/ponencias/Mesa%20I/Car tel/Situaci%F3n%20y%20perspectivas%20del%20mango....pdf>**

ANEXOS

ANEXO 1. Tablas de rendimientos de extracción por los métodos Soxhlet y sonicación.

METODO SOXHLET

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 6 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	6.54
2	6.51
3	6.57
Promedio	6.54

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 7 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	7.51
2	7.47
3	7.44
Promedio	7.47

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 8 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.01
2	9.09
3	9.04
Promedio	9.04

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 9 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.04
2	9.14
3	9.05
Promedio	9.08

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 10 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.05
2	9.03
3	9.11
Promedio	9.06

METODO POR SONICACIÓN

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 1 hr.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	6.78
2	6.80
3	6.83
Promedio	6.80

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 2 hr.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	7.99
2	7.95
3	8.34
Promedio	

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 3 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	8.03
2	7.99
3	8.01
Promedio	

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 4 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	8.01
2	8.007
3	8.02
Promedio	

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 5 hrs.

Harina Mango 'Keitt' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	8.02
2	8.01
3	8.003
Promedio	

**METODO SOXHLET
A LAS VARIETADES 'MANILA' Y 'KENT'**

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 8 hrs.

Harina Mango 'Manila' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	7.57
2	7.53
3	7.50
Promedio	

Rendimientos de extracción por el método Soxhlet a 8 hrs.

Harina Mango 'Kent' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	8.82
2	8.77
3	8.79
Promedio	

MÉTODO SONICACIÓN A LA VARIEDAD 'KENT'

Rendimientos de extracción por el método de sonicación a 3 hrs.

Harina Mango 'Kent' (0.5mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	8.26
2	8.21
3	8.17
Promedio	

ANEXO 2. Rendimientos de extracción por sonicación tomando en cuenta el tamaño de partícula

SONICACIÓN (Tomando en cuenta el tamaño de partícula) Solo mango 'Keitt'.

Rendimientos de extracción por sonicación a 1 hr.

Harina retenida malla #60 (0.25mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	6.65
2	6.71
3	6.69
Promedio	

Harina retenida Malla #70-100 (0.21-0.15mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	7.55
2	7.54
3	7.51
Promedio	

Rendimientos de extracción por sonicación a 3 hrs.

Harina retenida malla #60 (0.25mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.09
2	9.36
3	9.16
Promedio	9.20

Harina retenida Malla #70-100 (0.21-0.15mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	7.71
2	7.76
3	7.73
Promedio	7.73

Rendimientos de extracción por sonicación a 4 hrs.

Harina retenida malla #60 (0.25mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.23
2	9.18
3	9.21
Promedio	9.206

Harina retenida Malla #70-100 (0.21-0.15mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.78
2	9.69
3	9.73

Promedio	9.733
----------	-------

Rendimientos de extracción por sonicación a 5 hrs.

Harina retenida malla #60 (0.25mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.19
2	9.24
3	9.21
Promedio	9.213

Harina retenida Malla #70-100 (0.21-0.15mm)	
Ensayos	Rendimientos (%)
1	9.76
2	9.71
3	9.74
Promedio	9.736

ANEXO 3. Tablas del análisis estadístico.

Anexo 3.1 Comparación de los métodos de extracción.

H_0 = Los rendimientos de extracción del aceite de hueso de mango obtenidos no serán diferentes significativamente al comparar el método SX con el de SN.

ANOVA
SX vs SN

	Suma de Cuadrados	g l	Media de Cuadrados	F_0
Entre Grupos	21.701	9	2.411	432.751
Error	0.111	20	5.572E-03	$F_{0.05,9,20}$
Total	21.813	29		2.393

Como $F_0 > 2.393$ (Tablas), H_0 se rechaza,

es decir si afecta el rendimiento obtenido si utilizamos el método SX o SN, ahora se procede a encontrar entre qué niveles de los métodos hay diferencia, para esto utilizamos una comparación múltiple de medias.

**Comparación Múltiple de Medias
SX vs SN**

			Valor de $\alpha = 0.05$				
	TRATAMIENTO hrs	N	1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls	6.00	3					
	1.00	3		6.8033			
	7.00	3					
	3.00	3				8.0100	
	5.00	3				8.0110	
	4.00	3				8.0123	
	2.00	3				8.0933	
	8.00	3					9.0467
	10.00	3					9.0633
	9.00	3					9.0767
Tukey HSD	6.00	3					
	1.00	3		6.8033			
	7.00	3					
	3.00	3				8.0100	
	5.00	3				8.0110	
	4.00	3				8.0123	
	2.00	3				8.0933	
	8.00	3					9.0467
	10.00	3					9.0633
	9.00	3					9.0767
Duncan	6.00	3					
	1.00	3		6.8033			
	7.00	3					
	3.00	3				8.0100	
	5.00	3				8.0110	
	4.00	3				8.0123	
	2.00	3				8.0933	
	8.00	3					9.0467
	10.00	3					9.0633
	9.00	3					9.0767
Scheffe	6.00	3					
	1.00	3					
	7.00	3		7.4733			
	3.00	3			8.0100		

	5.00	3			8.0110	
	4.00	3			8.0123	
	2.00	3			8.0933	
	8.00	3				9.0467
	10.00	3				9.0633
	9.00	3				9.0767

Nota: Los cuadros de diferente color, son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$)

Anexo 3.2 Comparación de rendimientos obtenidos de las tres variedades de mango por el método Soxhlet.

H_0 = Los rendimientos de extracción del aceite de hueso de mango obtenidos de las tres variedades no serán diferentes significativamente de una variedad a otra.

ANOVA

Rendimientos obtenidos de las tres variedades por el método Soxhlet.

	Suma de Cuadrados	g l	Media de Cuadrados	F_0
Entre Grupos	3.942	2	1.971	1689.41
Error	7.00E-03	6	1.1676E-03	$F_{0.05,2,6}$
Total	3.949	8		5.143

Como $F_0 > 5.143$ (Tablas), H_0 se rechaza,

Es decir los rendimientos varían significativamente ($p=0.005$) de una variedad a otra por el método Soxhlet.

Anexo 3.3 Comparación de rendimientos tomando en cuenta el tamaño de partícula.

H_0 = Los rendimientos de extracción del aceite de hueso de mango obtenidos no serán diferentes significativamente al comparar los tamaños de partícula de la harina a extraer.

ANOVA

0.25mm vs 0.21-0.15mm

	Suma de Cuadrados	g l	Media de Cuadrados	F_0
Entre Grupos	27.719	7	3.960	1239.085
Error	5.113E-02	16	3.196E-03	$F_{0.05,7,16}$
Total	27.770	23		2.657

Como $F_0 > 2.657$ (Tablas), H_0 se rechaza,

es decir el tamaño de partícula si afecta a los rendimientos obtenidos por el método de SN, ahora de nuevo tenemos que encontrar entre qué niveles de los métodos hay diferencia, para esto volvemos a utilizar una comparación múltiple de medias.

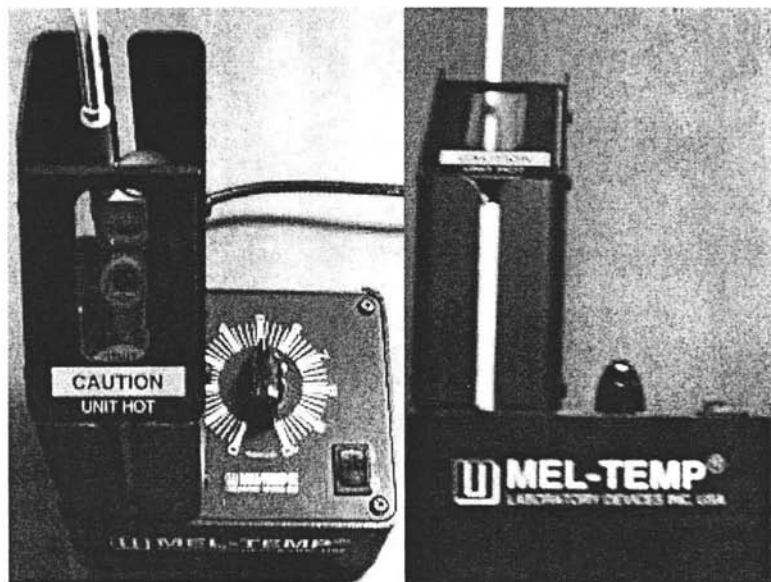
**Comparación Múltiple de Medias
0.25mm vs 0.21-0.15mm**

Valor de $\alpha = 0.05$							
Método estadístico	TRATAMIENTO EXTRACCIÓN SN	N	1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls	1 ^{a,c}	3					
Tukey HSD	5 ^{b,c}	3		7.5833			
Duncan	6 ^{b,d}	3			7.7833		
Scheffe	2 ^{a,d}	3				9.2033	
	3 ^{a,e}	3				9.2067	
	4 ^{a,f}	3				9.2133	
	7 ^{b,e}	3					9.7333
	8 ^{b,f}	3					9.7367

Tamaño de partícula: ^a0.25mm ^b0.21-0.15mm Tiempos: ^c1h, ^d3h, ^e4h, ^f5hr

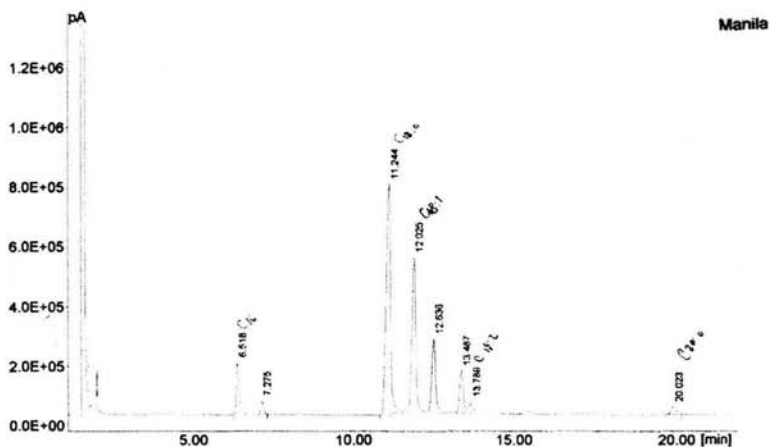
Nota: Los cuadros de diferente color en el cuadro anterior, son diferentes significativamente ($p \leq 0.05$)

ANEXO 4. Equipo 'Mel-Temp' de determinación de punto de fusión por el método de capilar.

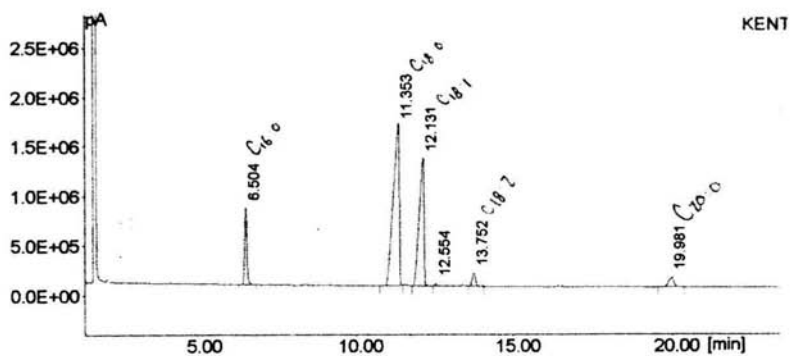


ANEXO 5. Cromatogramas de los ácidos grasos presentes en la grasa de la semilla del hueso de mango y estándares.

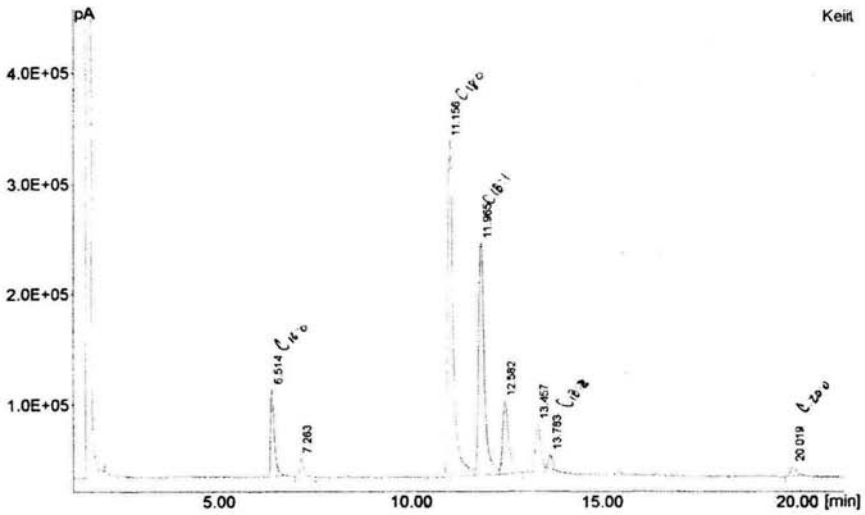
Cromatograma Mango 'Manila'.



Cromatograma Mango 'Kent'.



Cromatograma Mango 'Keitt'.



Cromatograma Estándares.

