

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Las grasas y aceites forman parte importante de la dieta de los seres humanos y más del 90% de la producción de los mismos a nivel mundial proceden de fuentes vegetales, animales y marinas (Kirk y col., 1999). Ambos grupos están constituidos por prácticamente 100% de triacilglicéridos, los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol. Tradicionalmente, los ácidos grasos se definieron como ácidos monocarboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono, que podían ser saturados o insaturados (Badui, 1996).

Todas las grasas y aceites están formadas por una combinación de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y ácidos grasos poliinsaturados (AGP), pero generalmente predomina uno de ellos. Los ácidos grasos son componentes importantes de la dieta de los seres humanos; constituyen un aporte energético considerable de 2.25 veces mayor al aporte de los carbohidratos y las proteínas (Simopoulos y col., 1999).

La clasificación de las grasas y aceites está basada solamente si el material es sólido o líquido a temperatura ambiente. El ácido graso que predomina determina las características físicas de la grasa (O'Brien, 2000). Los lípidos que son sólidos a temperatura ambiente se les denominan grasas y su estado físico se debe a que están compuestas principalmente por AGS, lo cual hace que posean una temperatura de fusión relativamente elevada, más alta que la ambiental y tienden a ser sólidas a temperatura ambiente. Dentro de este tipo de grasas se encuentran la mantequilla, manteca de cerdo, manteca de res, estearina de palma, lácteos, algunas carnes, entre otras (O'Brien, 2000; Valenzuela y col., 2000).

Los aceites a temperatura ambiente son líquidos, debido a que contienen una gran proporción de AGM y AGP. El punto de fusión es directamente proporcional al grado de insaturación (Fennema, 1996). En los aceites se encuentran algunos ácidos grasos de impacto nutricional como son los omega-3 (ω -3) y los omega-6 (ω -6). Estos ácidos grasos son considerados esenciales ya que son imprescindibles para garantizar el

correcto funcionamiento del cuerpo humano, y este no tiene la capacidad de sintetizarlos, por lo que depende de la dieta para obtenerlos. Los aceites de girasol, canola, oliva, cártamo, pescados, son una fuente importante de ω -3 y ω -6 en la dieta (Gregory y col., 1990). Debido al impacto nutricional que tienen los ω -3 se han buscado diversas estrategias para incrementar su contenido y consumo en algunos alimentos (Valenzuela y col., 2000).

Las grasas y aceites tienen usos muy versátiles por las diferentes propiedades funcionales que aportan en la industria de alimentos. La grasa contribuye al sabor, textura, palatabilidad de diversos alimentos (Kirk y col., 1999). Las características físicas, funcionales y propiedades sensoriales de las grasas y aceites son en parte determinadas por la composición de los ácidos grasos, pero también son afectadas por la distribución de ácidos grasos en los triglicéridos (O'Brien, 2000). Las grasas y aceites de uso comercial en alimentos provienen de diversas fuentes, unas más tradicionales que otras, pero existen muchas materias primas de donde se pueden extraer estos lípidos.

Mantecas Procedentes de Fuentes Animales

Existen grasas que provienen de animales sacrificados, cuyo tejido adiposo se somete a un proceso térmico para romper las células y liberar su contenido; dentro de esta categoría se encuentran el sebo de puerco y res (Badui, 1996).

Manteca de Cerdo. El término manteca fue usado para describir la función de la grasa obtenida del cerdo, esta se define como la grasa que se derrite y clarifica del tejido graso, saludable y fresco del puerco (*Sus scrofa*) de consistencia sólida o semisólida. La manteca de cerdo está formada esencialmente de los glicéridos de los siguientes ácidos grasos: oleico (35-62%) linoleico (3.0-16%), mirístico (0.5-2.5%), palmítico (20-32%) y esteárico (5.0-24%). Su punto de fusión varía de 33-45°C; da cierta indicación de su origen. El valor de yodo de la manteca de cerdo varía según la parte del animal de la cual se haya obtenido la grasa, se ha demostrado que el valor de yodo de la manteca de cerdos jóvenes es más alto que los animales maduros debido a que los aceites que

asimila el animal se transfieren a su grasa con poca variación de los ácidos grasos. Se han reportado cifras mayores de valores de yodo de 90 para la manteca que se obtiene de cerdos que se alimentan con frijol soya (valor de yodo del aceite de soya: 128). El nivel de colesterol de la manteca de cerdo es aproximadamente de 100 mg/100 g. La manteca de puerco era aplicada en varios alimentos debido a la plasticidad que impartía (Kirk y col., 1999).

Manteca de Res. La grasa (sebo comestible) es la grasa derretida y clarificada que se extrae de diversos tejidos del ganado bovino (*Bos taurus*) esta se empleaba para elaborar una gran versatilidad de alimentos, actualmente una gran variedad de mantecas son formuladas con sebo de res por sus características físicas. Esta contiene alta cantidad de ácidos grasos saturados, los cuales son responsables de la consistencia sólida. en muchos casos los aceites son sometidos al proceso de hidrogenación para disminuir el grado de insaturación y obtener grasas consistentes y funcionales como el sebo de res (O'Brien, 2004).

La geometría de los triglicéridos del sebo de res es altamente asimétrica, contiene alta proporción de ácido palmítico el cual promueve la cristalización hacia la forma polimórfica β' . La estructura cristalina β' , el contenido de sólidos y la plasticidad provee de una excelente matriz para una rápida incorporación de esta grasa durante el mezclado en masas, debido a que las paredes atrapan y retienen pequeñas burbujas de aire durante y después del mezclado; el sebo de res es funcional e ideal para muchas aplicaciones en la industria de alimentos como: panificación, pastelería, hojaldres, mantecas y margarinas que se obtiene mezclando el sebo de res con aceites vegetales debido a la lubricación que imparte (O'Brien, 2004).

El sebo de res tiene altos niveles de colesterol (~1000 ppm) y contiene aproximadamente 5% de ácidos grasos *trans*, el cual es característico del sistema digestivo de los rumiantes (O'Brien, 2004). En el rumen de los animales rumiantes, los ácidos grasos insaturados de la dieta son susceptibles a la biohidrogenación. La biohidrogenación es un proceso por medio del cual los ácidos grasos insaturados son hidrogenados por microorganismos presentes en el rumen, dando lugar a productos

finales más saturados (Demirel y col., 2004). Los resultados de los estudios médicos recomiendan disminuir el consumo de grasas saturadas y ácidos grasos *trans* debido a que una dieta abundante en AGS y AGT se asocia con efectos graves en la salud (O'Brien, 2004).

Aspectos de Nutrición y Salud Relacionados al Consumo de Mantecas Provenientes de Fuentes Animales

La composición de ácidos grasos y colesterol de los alimentos se ha hecho cada vez más importante en los últimos años, debido a la preocupación de los efectos que tienen en la salud humana. El Departamento de Salud de los Estados Unidos (COMA, 1994) ha recomendado la reducción de la ingesta de grasa saturada y el incremento en la ingesta de grasa insaturada. Dentro de los ácidos grasos insaturados se recomienda un incremento de los ω -3 en relación a los ω -6, los cuales tienen un efecto regulatorio del colesterol sanguíneo.

Se sabe desde hace tiempo que una dieta abundante en AGS se asocia con unas concentraciones plasmáticas elevadas de colesterol (Mathews y Van, 1998). En términos generales las grasas saturadas se conocen como las "grasas malas" se han reportado que tienden a elevar el colesterol en la sangre y causar arterosclerosis. Sin embargo, no todas las grasas saturadas tienen el mismo efecto en el colesterol sanguíneo. Por ejemplo, el ácido esteárico no eleva el colesterol en sangre (Bonanome y Grundy, 1988; Kelly y col., 1999, 2001).

De manera similar, el ácido palmítico, otro de los principales ácidos grasos saturados presentes en la estearina de palma, no eleva de manera consistente los lípidos en sangre. Por otra parte, el ácido mirístico (C14:0) es el ácido graso más aterogénico ya que tiene el potencial de elevar cuatro veces más el colesterol en relación al ácido palmítico (Ulbricht y Southgate, 1991). Por otro lado, se ha demostrado que los ω -3 en particular, los de cadena muy larga, como el ácido eicosapentanoico (C20: 5n-3) y el

ácido docosahexanoico (C22:6n-3) tienen propiedades anti-inflamatorias y anti-mutagénicas (Gregory y col., 1990).

Por los daños que ocasiona a la salud el consumo de las mantecas animales; estas fueron remplazadas por mantecas vegetales las cuales se obtienen por medio del proceso de hidrogenación (Wheeler y col., 1995). Las mantecas son preparadas con aceites vegetales los cuales son más saludables que el sebo de res. Esta percepción es justificada debido que las grasas animales contienen colesterol y alta cantidad de ácido palmítico (Edward y col., 1995).

El Proceso de Hidrogenación Para la Elaboración de Mantecas Vegetales

La hidrogenación es un proceso de manipulación química, a nivel de los ácidos grasos, para producir aceites o grasas con características funcionales específicas. Este proceso fue desarrollado a principios de este siglo en Europa y desde entonces se ha difundido en todo el mundo. Se caracteriza por, la disminución del grado de insaturación de los ácidos grasos incrementando de este modo su resistencia a la oxidación y modificando su punto de fusión, forma de cristalización y comportamiento plástico (Badui, 1996; O'Brien, 2004).

• Durante la hidrogenación los ácidos grasos insaturados están sujetos fundamentalmente a tres transformaciones químicas: a) saturación de una proporción determinada de las dobles ligaduras; b) la isomerización *cis-trans* de otra parte de dichos ácidos, y c) la isomerización posicional de algunas insaturaciones, se llevan a cabo en menor intensidad que los otros dos cambios. La intensidad de estas reacciones determina las propiedades físicas y químicas de las mantecas hidrogenadas, así como su estabilidad oxidativa. Este proceso se puede efectuar en sistemas continuos, pero comúnmente se emplean los de lote (batch). El reactor se carga con el aceite y se le añade de 0.03 a 0.10% de catalizador níquel; se calienta a una temperatura que oscila de 140 a 225°C y se inyecta hidrógeno gaseoso a una presión de 1 a 4 atmósferas (15 a 60 lb/in²), se agita continuamente para homogenizar el catalizador en el líquido y ayudar a disolver mayor

cantidad de gas. La reacción sucede en un sistema trifásico: el catalizador sólido, los triacilglicéridos líquidos y el hidrógeno gaseoso con la solubilidad limitada (Badui, 1996; O'Brien, 2004).

Al iniciar la reacción se genera una gran cantidad de calor (es una transformación exotérmica), por lo que el reactor necesita un buen sistema de enfriamiento para controlar adecuadamente la temperatura. El calor generado es suficiente para incrementar aproximadamente 1.6°C por cada unidad que se reduce el índice de yodo. El avance de la hidrogenación se controla fácilmente y se puede interrumpir en cualquier momento; para medirlo se extrae una muestra de manera periódica y se determina el índice de refracción que está en función de las dobles ligaduras. Una vez alcanzado el grado de transformación necesario, se detiene el suministro del gas y se enfría hasta unos grados por encima de la temperatura de fusión para mantenerlo líquido y se pasa por un filtro prensa en donde se recupera el catalizador.

Es muy importante controlar la intensidad de la hidrogenación debido a que un exceso provoca la formación de grasas duras y quebradizas compuestas exclusivamente por triacilglicéridos saturados. Como resultado del proceso de hidrogenación se obtiene como producto mantecas vegetales hidrogenadas de un determinado punto de fusión. Por lo general se busca que sea entre 33-45°C, el valor más bajo de punto de fusión es para consumo y el más elevado para que actúen en repostería (Kirk y col., 1999).

Mantecas Vegetales Hidrogenadas

Las mantecas vegetales son productos que se caracterizan por su base cien por ciento de aceite vegetal hidrogenado, son un material graso sólido de consistencia firme pero manejable, con bajo o medio grado de solidificación sobre un amplio rango de temperaturas, con la función de producir pasteles, tortillas, panes, galletas suaves y quebradizas, entre otros. Poseen un tratamiento térmico y mecánico similar a las

margarinas. Las mantecas son productos en dos fases, una mezcla de una fase líquida en una fase sólida, la cual va depender de los cristales microscópicos del triglicérido (O'Brien, 2000). Las mantecas deben de mantener sus propiedades fisicoquímicas y sensorialmente, con ciertas especificaciones de calidad para poder ser utilizadas por los industriales en la elaboración de alimentos.

Análisis de Calidad de las Mantecas Vegetales

Existen un gran número de análisis para evaluar las características físicas y químicas de las grasas sobre todo instrumentales, que son más rápidos y exactos; sin embargo, los tradicionalmente empleados son de rutina en muchos laboratorios e industrias y se usan para llevar a cabo un adecuado control de calidad. Los resultados de estos análisis ofrecen mucha información sobre la naturaleza, el origen y el posible comportamiento de las grasas en diferentes condiciones de almacenamiento y procesamiento (Badui, 1996; Fennema, 1996).

La estabilidad de una grasa se define como la resistencia de la grasa a cambiar sus características químicas o a una desintegración física (Smouse, 1995). La calidad de una grasa es una característica esencial, que normalmente a escala industrial es la cualidad que el consumidor acepta o espera en un determinado producto que contiene grasa. La calidad de las grasas puede evaluarse por su estabilidad a la oxidación, hidrólisis y/o polimerización. Este tipo de reacciones modifica la calidad funcional como son: la formación de un cristal, una emulsión, y la presentencia de espuma. La estabilidad de la grasa a la oxidación es directamente afectada por parámetros físicos como son: la temperatura, aire, luz y catalizadores metálicos (Labuza, 1979).

En la evaluación de las características de la grasa para productos alimenticios: el sabor y el olor son importantes. Una evaluación de las propiedades sensoriales requiere de una habilidad considerable que solo se puede adquirir por una práctica prolongada y sistemática. Se debe asegurar que los olores y sabores no vengan de una incipiente rancidez, la cual puede afectar la salud del consumidor (Pyler, 1988). Las constantes físicas y químicas de las mantecas de origen vegetal deberán corresponder a las

indicadas en la Tabla 1, se considerarán como referencia; el contenido de humedad no deberá ser mayor de 0.5% en las mantecas o grasas. No deberán contener más de 0.25% de acidez libre, expresada como ácido oleico y no más de 100 ppm de jabón (O'Brien, 2004; Pyler 1988).

A la fecha de elaboración de las mantecas vegetales, el límite máximo de peróxidos será de 2.5 meq de oxígeno peróxido/kg. de grasa, en su período de vida útil y almacenados de acuerdo a lo indicado en la etiqueta. No deberán presentar sus características sensoriales alteradas. Las mantecas plásticas con un color blanco puro (o un color agua-transparente en caso de una grasa fluida) son generalmente preferidas sobre aquellas de color amarillo (Pyler, 1988).

El color de las mantecas se puede controlar en gran margen regulando el tamaño del cristal de grasa, con incorporación de aire o nitrógeno y la atemperación de la manteca, por supuesto, cualquier color del aceite base debe ser removido. La mayoría de las mantecas tienen un valor en las unidades rojas del Lovibond menor de dos. El color puede experimentar algunos cambios durante almacenamientos prolongados a temperaturas tibias debido a la alteración de la estructura cristalina (Pyler, 1988).

No se consideran aptos para el consumo los alimentos que presenten rancidez, alteración química y/o microbiológica, que contengan materias extrañas, restos de tejidos vegetales o animales, restos de solventes, aceites de origen mineral y aditivos no autorizados. La distribución y comercialización de los aceites, mantecas y grasas comestibles deberá realizarse en sus envases originales, prohibiéndose su fraccionamiento en el punto de venta (NMX, 2005).

Funcionalidad de Mantecas Vegetales en los Alimentos

Las mantecas tienen usos muy versátiles por las diferentes propiedades funcionales que aportan en la industria de alimentos. Las características físicas, funcionales y propiedades sensoriales de las grasas son determinadas por la composición

Tabla 1. Especificaciones de las Mantecas para Uso Industrial.

Características	Límites
Color (Rojo o Amarillo)	2.0 R, 15A máximo
Ácidos grasos libres (% oleico)	0.25 máximo
Valor de peróxidos (meq. /kg. máximo)	2.5
Humedad (%)	0.5 % máximo
Sabor (+) (-)	Suave
Olor (+) (-)	Neutro (Caliente)
Contenido de Fósforo (ppm. Máximo)	1 ppm. máximo
Punto de Fusión (°C)	35 - 45°C
Contenido de Grasa Sólida (%)	20°C (22±3%)
Estabilidad al Método de Oxígeno Activo (h)	75 h
Penetrómetro Temp. a 28°C (mm/10g)	150-300 mm/10g
Índice de Grasa Sólida (%)	26°C (17±1%)

Fuente: O'Brien, 2004; Pylar 1988.

de los ácidos grasos, pero también son afectadas por la distribución de ácidos grasos en los triglicéridos. Una manteca proporciona estabilidad a los alimentos debido a que prolonga la vida de anaquel, imparte plasticidad, proporciona buenas características texturales y apariencia a los alimentos, imparte lubricidad, propiedades de cremado, capacidad de retención de aire en el producto, mejora en palatabilidad del producto, barrera contra la humedad y transferencia de calor (O'Brien, 2000).

Las mantecas se pueden utilizar para elaborar una amplia variedad de alimentos como pan, donas, galletas, pasteles, tortillas de harina de trigo; también forman parte de cubiertas para chocolate entre otras aplicaciones. La manteca tiene la función de contribuir acortamiento (sólido y suave al mismo tiempo) a los productos horneados debido a la cohesión molecular que imparten los cristales grasos al interactuar con las macromoléculas de carbohidratos y proteínas de la harina durante el mezclado y horneado (O'Brien, 2000). Otra capacidad de las grasas es formar emulsiones, esta capacidad les permite hacer pasteles con poca cantidad de harina y una gran cantidad de azúcar y humedad. Su poder emulsificante permite retener agua, su importancia radica en la producción de ciertos productos rellenos. Las propiedades de la grasa como emulsificante se pueden mejorar con el ajuste de la estructura de la grasa y la adición de compuestos superficialmente activos (Pylar, 1988).

• Las grasas actúan como plastificante, dan suavidad, mejoran el volumen y tienen un efecto antienvjecimiento cuando se agregan a la formulación del pan. Sin embargo, el efecto no es lineal; poca grasa (menos de 3%) produce un pan de iguales características a uno elaborado sin grasa. Sin embargo, al utilizar mayor grasa (6%) hay un incremento en la calidad del pan, después se obtiene una pequeña mejora en la calidad de panificación (Baltasavias y col., 1999). La consistencia, la plasticidad, las propiedades de emulsificación o cremado de los alimentos elaborados con mantecas son determinadas por la posición de los ácidos grasos saturados e insaturados en el triglicérido. Los triglicéridos son los más abundantes en la naturaleza y principales componentes de todas las grasas y aceites representando más de 95% de su composición.

estos están compuestos por una molécula de glicerol y tres ácidos grasos (O'Brien, 2000; Kirk y col., 1999).

Características Químicas de la Manteca Vegetal

Más del 90% de los AGT en los alimentos es producido por la hidrogenación, la cual imparte firmeza a las mantecas y margarinas a través de la saturación de los dobles enlaces y a la conversión de las dobles ligaduras a la configuración *trans*. Generalmente, las grasas hidrogenadas contienen entre un 20-40% de AGT, las cuales son los responsables de las formas polimórficas (α , β y β') de los cristales de grasa (Lida y col., 1998; Mayamol y col., 2004). El polimorfismo es un fenómeno mediante el cual las grasas cambian de tipo de cristal hasta llegar al termodinámicamente más estable; este se observa en el estado sólido sin que exista fusión del lípido (Badui, 1996). Las formas polimórficas son formas cristalinas de la misma composición química pero de diferente estructura que, al fundirlas, dan fases líquidas idénticas. Cada forma polimórfica denominada a veces modificación polimórfica, se caracteriza por poseer distancias reticulares (determinadas por rayos X), volumen específico, punto de fusión, entre otras. Gran parte del conocimiento actual de la estructura cristalina y del comportamiento de las grasas deriva de estudios de difracción de rayos X (Fennema, 1996).

Estructuras Cristalinas de las Grasas. De las formas polimórficas, los cristales β' son los más deseados debido a su mayor área superficial, el arreglo más fino (empacado de más cristales pequeños), y su gran capacidad de retención de aceite. Cuando los triacilglicéridos contienen diferentes ácidos grasos, algunas formas polimórficas se obtienen más difícilmente que otras; por ejemplo, en algunos casos las formas β' tienen puntos de fusión más altos que las β (Fennema, 1996; O'Brien, 2004).

Los triacilglicéridos PStP (P: palmítico; St: estearina) de los aceites de semilla de algodón hidrogenado tienden a cristalizar en una forma β' de densidad relativamente alta. Esta forma tiene un efecto más endurecedor (cuando se añade a los aceites) que la forma extendida β , que ordinariamente adoptan los glicéridos StStSt (St:estearina) del

aceite de soya endurecido (Fenema, 1996). Los aceites de algodón, palma y colza, la grasa de leche, el sebo y las mantecas de cerdo modificadas tienden a producir cristales β' persistentes.

En la elaboración de mantecas, margarinas y productos de panificación son convenientes los cristales β' , por que facilitan la incorporación de gran cantidad de aire en forma de pequeñas burbujas, permitiendo lograr productos con mejores propiedades reológicas y sensoriales (O'Brien, 2004). Los cristales polimórficos β (empaquetamiento triclinico), tienen dos unidades metileno que forman la unidad de repetición etileno, y en los planos en zigzag son paralelos, este tipo de empaquetamiento se da en los *n*-hidrocarburo, en los ácidos grasos y en los triacilgliceridos. Es la forma polimórfica más estable (Fennema, 1996).

Las grasas formadas por un número relativamente bajo de triacilgliceroles estrechamente emparentados evolucionan rápidamente hacia formas estables β (Fenema, 1996). Entre las grasas que cristalizan en forma β se encuentran: los aceites de soya, cacahuate, maíz, oliva, coco y cártamo, así como la manteca de cacao y aceite de palma (O'Brien, 2004).

En la industria algunos aceites son mezclados con un mínimo del 5% de grasa sólida o 20% de una base hidrogenada que forma cristales β' . Estas grasas deben de tener puntos de fusión más altos para que el total del producto pueda cristalizar en la forma β' . Las grasa que exhiben una forma β' estable parecen ser más suaves y proveen de una buena aireación. Por otro lado, la forma polimórfica β tiende a producir un producto granuloso con una pobre capacidad de aireación. Lo cual tiene efectos adversos en la producción de un pan con un buen volumen y textura (O'Brien, 2004).

Plasticidad de las Mantecas. Se llama plasticidad de una manteca su grado de flexibilidad al ser moldeado. En cambio, la textura es la estructura física de las partículas que constituyen el cuerpo de la grasa o su superficie. Una manteca podrá presentar una plasticidad dura, y al mismo tiempo una textura granulosa o lustrosa. Para lograr la plasticidad necesaria, los ingredientes grasos se congelan rápidamente para que

cristalicen y se someten a un batido por un transportador (picker-box) provisto de aspas montadas en sentido radial y helicoidal o a un raspado por paletas rotatorias (votator) (Mayamol y col., 2004).

El rango de plasticidad, es de mayor importancia para el desempeño de la grasa en muchas aplicaciones en la panificación. Para medir la plasticidad se usa una técnica de penetración (penetrómetro), este expresa por la mayor o menor profundidad a que penetra un cono metálico a través de la superficie de la muestra de grasa, en determinadas condiciones de temperatura usualmente son 10, 21.1, 32.2 y 35°C. La grasa aparenta ser un material homogéneo (sólido plástico) que consiste de una masa microscópica de cristales que encierran una importante proporción de aceite. Esta combinación de grasa cristalina que imparte un carácter plástico a la manteca así como a otras grasas sólidas (Pylar, 1988).

Condiciones Esenciales en la Plasticidad de la Grasa. Estas son: la existencia de la fase líquida como la sólida, o cualquiera de las dos fases debe ser capaz de comportarse como sólido y líquido. Segundo, la fase sólida debe tener suficiente dispersión fina en la masa para poder mantenerse unida por fuerzas cohesivas internas, sin que las partículas sólidas sean afectadas por fuerzas gravitacionales o que permitan que la fase líquida se exude de la masa. Tercero, las dos fases deben estar en las proporciones correctas, la proporción de partículas sólidas debe ser adecuada para proveer un flujo libre de grasa, pero no preponderar lo suficiente como para formar una red interconectada rígida (O'Brien, 2004).

La firmeza de la grasa plástica o manteca esta influenciada por varios factores como son: la temperatura, tamaño de las partículas sólidas de grasa, la forma del material cristalino, la rigidez del cristal y la proporción sólido-líquido. El contenido de sólidos de diferentes grasas plásticas varían con la temperatura; esto es porque la diferente composición de los componentes de la grasa son sólidos a bajas temperaturas se van licuando progresivamente a medida que se eleva la temperatura (Pylar, 1988). En

general, cambios relativamente pequeños en el contenido de sólidos tendrán un efecto importante en la consistencia de las grasas (O'Brien, 2004).

Las mantecas que poseen la mejor consistencia funcionan dentro de un contenido de sólidos entre un 15 y un 25%, cambios pequeños de 1% pueden alterar la consistencia. El valor plástico de la grasa es la habilidad de ablandar los productos horneados. La mejor proporción de grasas insaturadas que posee la manteca tiende a proporcionar un mejor poder plástico a la masa. Los sebos frecuentemente exhiben una plasticidad mejor que las grasas vegetales hidrogenadas. La capacidad de la grasa de retener aire durante el proceso de mezclado es de gran importancia en la producción de la mayoría de los pasteles y cremas (Brooker, 1996).

A la grasa comúnmente se le asocia con un material sólido, sin embargo, es predominantemente fluida. Una grasa plástica consiste de un tercio de triacilglicéridos sólidos cristalinos; otros componentes como emulsificantes u otros aditivos que están suspendidos en los dos tercios compuestos de triacilglicéridos líquidos. Por lo tanto, las grasas plásticas como las mantecas, margarinas, y productos especiales están compuestas de una base sólida de cristales íntimamente mezclados con una fase líquida de aceite (O'Brien, 2004).

La fuerza estructural de la grasa se debe a la tendencia de las partículas sólidas a interrelacionarse. Técnicamente, una grasa es sólida mientras que el efecto de las interrelaciones sean lo suficientemente grandes para resistir totalmente las pequeñas fuerzas de deformación. Cuando el esfuerzo se incrementa, llega a un punto donde la estructura del producto permite un flujo plástico, por lo tanto, la relativa firmeza, blandura, o consistencia, de una grasa es una medida de la fuerza o de la carga requerida para causar un flujo plástico. Los productos grasos tienden a ser blandos a medida que el contenido de cristales disminuye por la fusión parcial y firmes cuando el contenido de cristales se incrementa por las bajas temperaturas.

La consistencia de las grasas se debe medir a varias temperaturas para determinar su rango de plasticidad, es decir, el rango de temperaturas sobre el cual la grasa es capaz de ser moldeada. Normalmente las muestras se miden de tres o cinco temperaturas

diferentes, que oscila de 4.5 a 38°C. Las muestras son evaluadas para determinar la suavidad relativa a bajas temperaturas y la firmeza a altas temperaturas. Los productos con rango plástico son manejables tanto en bajas como a altas temperaturas. Un rango perfecto de plasticidad, si es que existe, tendrá la misma penetración a todas las temperaturas dentro del rango. La evaluación de los datos de penetración indica que el rango de penetración en la grasa está entre 150 y 300 mm./10g entre diez gramos de penetración del cono del penetrometro (O'Brien, 2004).

Aspectos de Nutrición y Salud con el Consumo de Ácidos Grasos *Trans*

Durante la hidrogenación sucede la saturación de los dobles enlaces, si no también la isomerización posicional y geométrica de los mismos. La formación de isómeros *trans* es muy importante ya que se comportan físicamente como una unión saturada (ejemplo, temperatura de fusión). El ácido linoléico en estado natural es (*cis-cis*) pero si uno de sus dobles enlaces se isomeriza se produce el (*cis-trans*), que tiene un punto de fusión semejante al ácido oléico (que es *cis*). El efecto de este fenómeno se aprecia perfectamente en la producción de margarinas y mantecas vegetales que, contrariamente a lo que se supone, solo aumenta de manera mínima su proporción de ácidos saturados; estos productos son sólidos debido, en gran medida a su alto contenido de ácidos grasos *trans*. Las margarinas comerciales se ha comprobado que se tiene un promedio de 21.7% de ácidos grasos *trans* (desde 9.9 a 28.7 gr. por cada 100 gr. de producto), las mantecas con alta cantidad de ácidos grasos *trans* presentan un 32% de AGT y un índice de yodo de 40 gr. I₂/100 gr. de grasa (Eller y col., 2005).

En la última década se han publicado diversos estudios que demuestran que los ácidos grasos *trans* poseen efectos adversos en la salud, se sabe que se absorben, metabolizan e incorporan a los tejidos de igual forma que los *cis*. Sin embargo, no presentan actividad de ácido graso indispensable, como es el caso del ácido graso linoléico que la pierde cuando se isomeriza, interfiere además con el metabolismo de los *cis* y provoca deficiencia de éstos. A esto se le atribuido la aparición de la enfermedad

vascular isoquémica e incluso se ha sugerido que existe relación entre el consumo de ácidos grasos *trans* y la aparición de cáncer. Se considera que debido a que los isómeros *trans* ocupan estéricamente una mayor superficie que los *cis*, su incorporación en la síntesis de triacilglicéridos, fosfolípidos y lipoproteínas es diferente, afecta la permeabilidad de las membranas y la formación de tejido adiposo, entre otros (Badui, 1996; Stauffer, 2005).

Las grasas *trans* se consideran un factor de riesgo para las enfermedades cardiovasculares (Chami y col., 2005). Este tipo de grasas parcialmente hidrogenadas se utilizan para la elaboración de productos de repostería industrial como panes, galletas, pasteles, bollos, barras de cereal, tortillas de harina de trigo entre otros. En países como Islandia y Finlandia han disminuido la cantidad de ácidos grasos *trans* en sus alimentos. A partir de enero del 2006 en Estados Unidos y Europa se estableció por normatividad que los empaques deberían especificar el contenido de grasa *trans*.

En vista de esta regulación muchas industrias disminuyeron la aplicación de ácidos grasos *trans* en los productos alimenticios (Eller y col., 2005; Stauffer, 2005; Bejosano y col., 2006). Una ventaja industrial de comercialización se transformó en un riesgo para la salud, debido a la modificación que sufren los ácidos grasos en el proceso de hidrogenación (Dzisiak, 2004). Sin duda, el objetivo de eliminar las grasas *trans* está aparejado con la necesidad de no incrementar significativamente las grasas saturadas. Este objetivo es difícil de lograr porque las grasas hidrogenadas se volvieron populares porque eran originalmente una alternativa saludable a las grasas sólidas saturadas como el sebo de res o puerco y grasas tropicales (aceite de palma) (Stauffer, 2005).

Existen en la industria de alimentos la tendencia a volver al aceite de palma. “A diferencia de los 80s, ahora existe suficiente evidencia científica que soporta el hecho que el aceite de palma es un aceite comestible saludable y nutritivo”. El aceite de palma es rico en palmítico y oléico, pero también contiene suficiente cantidad de ácidos polinsaturados. Debido a su composición natural, el aceite de palma es fácilmente

fraccionado en aceite líquido, oleína de palma (alto en monoinsaturado) y estearina de palma (grasa sólida, alta en ácido palmítico) (Baking and Snack, 2005).

Aceite de Palma

El aceite de palma es producido por el fruto de la palma (*Elaeis guineensis*). Esta palma se desarrolla en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales del mundo pero particularmente en Malasia e Indonesia (Cottrell, 1991; O'Brien, 2004). Los racimos de frutos son cortados de las palmas cuando están maduras y se transportan al molino, los racimos son esterilizados y la fruta es separada del racimo, para posteriormente extraer el aceite por medio de prensado. El aceite de palma crudo es centrifugado, secado y filtrado (Cottrell, 1991).

El aceite que se obtiene es limpio, estable y de intenso color rojo-naranja, debido al contenido de antioxidantes naturales como tocotrienoles (73%) y tocoferoles (27%), este aceite es usado directamente para cocinar en muchas partes del mundo (O'Brien, 2004). El aceite de palma tiene buena estabilidad a la oxidación, esta regularmente disponible y económicamente viable para su refinación y proceso (Berger y Aini, 2005).

Actualmente el aceite de palma es la materia prima de una gran variedad de productos alimenticios. Este se introdujo hace varios años para la elaboración de margarinas y mantecas, el cual se limitó a un 40% debido a que una mayor proporción podría causar una lenta cristalización promoviendo la formación gránulos y un endurecimiento del producto cuando se procesaba de manera convencional. La observación de la estructura de los triacilglicéridos del aceite de palma da las posibles razones de este fenómeno. Sugiere que la granulosidad esta asociada con la proporción de triacilglicéridos simétricos y los no simétricos, se consideran niveles altos de triacilglicéridos simétricos porcentajes del 40-45% (Stauffer, 2005).

El aceite de palma tiene una composición de ácidos grasos característica (Tabla 2), diferente a cualquier otro aceite vegetal; debido a que contiene casi la misma proporción de ácidos grasos saturados e insaturados. Otra característica importante es que una parte

significativa de los ácidos grasos saturados (10-16%) en sus triacilglicéridos están en la posición sn-2. Su contenido de grasa sólida (SFC) es de 48% a 10°C, de 14% a 21°C y de 6% a 33°C (O'Brien, 2004).

El aceite de palma es fraccionado por cristalización y una subsecuente interesterificación para producir la estearina de palma de alto punto de fusión (grasa sólida) y la fracción de oleína (la porción líquida) de bajo punto de fusión, son utilizadas ampliamente en alimentos (Cottrell, 1991). La temperatura de filtración gobierna la composición de los ácidos grasos y el porcentaje de rendimiento de estearina. Un pequeño porcentaje de estearina se remueve a los 33°C y este es totalmente saturado. Al enfriar la oleína a 21°C se obtiene casi la misma cantidad de estearina pero con una cantidad mayor de ácidos grasos insaturados; si es enfriada la segunda oleína a 10°C produce una tercera mayor cantidad de fracción de estearina con una composición diferente de ácidos grasos (Stauffer, 2005)

Las propiedades de la estearina son diferentes a la fracción de estearina que se obtiene de un simple fraccionamiento del aceite de palma crudo a 10°C. El proceso de fraccionamiento de aceite de palma es base para una gran variedad de productos como: análogos elaborados de aceites hidrogenados y mantecas con propiedades similares a las hidrogenadas (Stauffer, 2005). Las características y la composición de los ácidos grasos de las fracciones del aceite de palma: estearina de palma y oleína de palma se presentan en la Tabla 2.

Estearina de Palma

La estearina de palma es la parte sólida obtenida del fraccionamiento del aceite de palma. Esta tiene un alto contenido en glicéridos sólidos, confiriéndole una gran consistencia sin necesidad de someterse al proceso de hidrogenación (Norizzah y col., 2004). A pesar de que la estearina es la fracción pequeña (la proporción promedio de estearina/oleína es de 25/75), es una grasa de mucha importancia comercial a nivel mundial. Las características físicas de la estearina difieren significativamente de aquellas del aceite de palma (Siew y col., 2004).

Tabla 2. Características y Composición de los Ácidos Grasos del Aceite de Palma, Oleína de Palma y Estearina de Palma.

Características	Aceite de Palma	Oleína de Palma	Estearina de Palma
Punto de suavidad (°C)	31.0- 38.0	19.0-24.0	44.0-56.0
Solidificación T°C	42.0-46.0	-	46.0-54.0
Densidad a 50/25°C	0.892-0.893	0.909-0.903	-
Densidad a 60/25°C	-	-	0.882-0.891
Índice de Yodo (gr. I ₂ /100 gr.)	51.0-55.0	51.0-61.0	22.0-49.0
Valor de Saponificación (100 ppm)	190-202	194-202	193-206
Punto Frío (°C)	-	6.0-12.0	-
Materia Insaponificable (%)	-	-	0.1-1.0
Contenido de Sólidos de Grasa (NMR) (%) a :			
10°C	47-56	28-52	54-91
20°C	20-27	3-9	31-87
30°C	6-11	0	16-74
40°C	1-6	-	7-57
50°C	-	-	0-40
Composición de Ácidos Grasos (%):			
Mirístico (C14:0)	1-1.5	1-1.5	1-2
Palmitico (C16:0)	42-47	38-42	47-74
Estearico (C18:0)	4-5	4-5	4-6
Oléico (C18:1)	37-41	40-44	16-37
Linoléico (C18:2)	9-11	10-13	3-10

Fuente: O'Brien, 2004

Los ácidos palmíticos tienden a emigrar a la fracción de estearina; sin embargo, el contenido de ácidos grasos de la fracción de oleína es muy similar al aceite normal de palma. La mayoría de los productos de oleína tienen índices de yodo con un rango relativamente estrecho (56-58 gr. I₂/100 gr.), pero la fracción de estearina exhibe un rango amplio (25-49 gr. I₂/100 gr). El punto de ablandamiento de la estearina de palma está directamente relacionado al proceso de fraccionamiento utilizado: de 56-53°C para el proceso de detergentes, 51 a 50°C para el proceso de secado lento, y 49 a 46°C para el proceso de secado rápido (O'Brien, 2004).

Aplicaciones de la Estearina de Palma en Alimentos

La estearina de palma tiene características importantes que determinan una gran versatilidad para ser utilizado en la alimentación e industria. Esta es una fuente de grasa endurecida naturalmente, asimismo, su contenido de triglicéridos con alto punto de fusión, permite su inclusión en la formulación de productos con un rango plástico muy alto y como componente de formulación de mantecas de panificación, margarinas, entre otras (Toro y col., 2000).

El alto contenido de grasa sólida (SFC) de la estearina de palma permite su uso como componente de las margarinas, mantecas blandas y mantecas duras. Es una buena alternativa para la sustitución de las mantecas vegetales hidrogenadas (ácidos grasos *trans*), grasas animales que contienen alta cantidad de ácidos grasos saturados para consumo humano, materia prima para oleoquímicos entre otras aplicaciones. Esta puede emplearse sola o en mezclas con aceites para mejorar la textura del producto final (Uesugí, 2006). Existe necesidad de aceites que no solo sean bajos en ácidos grasos saturados (AGS), libres de AGT que estén disponibles para las aplicaciones comerciales de freído. En el mercado existen aceites disponibles como: el aceites de girasol (medios y altos en oleico) aceites de canola y aceites de cártamo alto ácido oléico naturalmente estable (Stauffer, 2005).

Aceite de Cártamo Alto en Ácido Oléico

La planta de cártamo cuyo contenido de ácido oléico proviene de una modificación genética. Esta planta produce un aceite el cual los niveles normales de ácido linoléico y oléico son invertidos (alto niveles de ácido oléico en lugar de linoléico). Este aceite tiene mayor estabilidad a la oxidación debido a la eliminación de una doble ligadura del ácido linoléico (O'Brien, 2004).

A nivel mundial México es uno de los principales productores de semilla de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) reportándose una producción de 182,674 toneladas en el 2004 y es el país que más aceite de cártamo exporta. El cártamo alto oléico es una de las oleaginosas que se cultivan en mayor proporción en el Noroeste de México debido a que es una variedad que se ha adaptado a las condiciones climatológicas del norte del país. Ubicando a Sonora como el principal productor del país cuya aportación de la producción nacional es de 50.32% (SAGARPA, 2004).

Actualmente, el aceite de cártamo alto en ácido oléico esta adquiriendo interés debido a que el consumo de ácidos grasos monoinsaturados, esta asociado con la disminución de enfermedades cardiovasculares (Jewett, 2002). Este aceite es comparado con el aceite de oliva respecto al contenido de ácidos grasos monoinsaturados, esto permite que sea considerado como un aceite con potencial económico alto (Garduño, 2002). Por lo tanto, la industria aceitera lo esta promoviendo como una alternativa de aceite con alto valor nutritivo. Los productos elaborados con el aceite de cártamo con alto contenido en oléico pueden proporcionar buenos atributos que los consumidores prefieren como son: sabor, textura y estabilidad a la oxidación (Ericsson, 1990).

Composición y Características Físicas del Aceite de Cártamo Alto Contenido en Ácido Oléico

El aceite es, bajo en AGS, libre de AGT y no requiere de hidrogenación en la mayoría de sus aplicaciones comerciales, incluyendo el freído y la panificación. Además, el aceite de cártamo oléico tiene una calidad nutricional y atributos sensoriales

Tabla 3. Composición del Aceite de Cártamo Alto en Oléico y sus Características Físicas.

Características	Regular	Rango
Gravedad específica (g/ml.)	-	0.910 a 0.920
Índice de refracción, 25°C	-	1.467 a 1.469
Valor de Yodo (gr. I ₂ /100g)	87.0	85.0 a 95.0
Número de Saponificación (100 ppm)	-	186 a 197
Número de Insaponificación (%)	-	1.5 máx.
Punto de Fusión (°C)	-19	-
Prueba de Frío (horas)	24	-
Cera (%)	0.5	-
AOM estabilidad (h)	40.0	35.0 a 45.0
Composición de Ácidos Grasos (%):		
Laurico (C12:0)	0.1	<0.1
Palmítico (C16:0)	3.6	5.0 a 6.0
Palmitoléico (C16:1)	0.1	<0.2
Esteárico (C18:0)	5.2	1.5 a 2.0
Oléico (C18:1)	81.5	74.0 a 80.0
Linoléico (C18:2)	7.2	13.0 a 18.0
Linolénico (C18:3)	0.1	<0.2
Araquidónico (C20:0)	0.4	<0.3
Gadoleico (C20:1)	0.2	<0.2
Behénico (C22:0)	1.2	<0.2
Lignocérico (C24:1)	0.3	-
*Hábito de Cristalización	β	-

AOM: Método de Oxígeno Activo

Fuente: O'Brien, 2004.

comparados con el aceite de soya parcialmente hidrogenado (Dzisiak, 2004). El aceite de cártamo es alto en el contenido de monoinsaturados (Tabla 3). Cuyas características son similares a las del aceite de oliva y girasol alto en oléico. El aceite de cártamo alto en oléico retiene el color y sabor característicos del aceite de cártamo linoléico y presenta mayor estabilidad a la oxidación (Tabla 3). Los aceites alto en oléico pueden sustituir el empleo de los aceites parcialmente hidrogenados en las industrias donde es indispensable el manejo de grasas y aceites. Debido a que estos aceites contribuyen con ácidos grasos *trans* los cuales están asociados con la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Mayamol y col., 2004).

Se han realizado investigaciones sobre el empleo de mezclas de aceites vegetales con grasa saturada para evitar el uso de las mantecas vegetales hidrogenadas y aceites parcialmente hidrogenados con el fin de, disminuir y evitar daños a la salud; estos estudios han mostrado una disminución de grasa *trans* en los alimentos procesados con el uso de estas mezclas (Miller, 2006). Existen opciones que son utilizados para reducir los niveles de ácidos grasos *trans*; la utilización de tri-estearinas evita el proceso de hidrogenación, evitando la producción de enlaces *trans* pero, el inconveniente es que aumentan los ácidos grasos saturados.

- Las grasas pueden ser formuladas con niveles mínimos de ácidos grasos *trans*, pero los ácidos grasos saturados son requeridos por el contenido de sólidos, por que proporciona la funcionalidad de productos plásticos y líquidos. El reducir los ácidos saturados puede ser una opción pero, un producto libre de saturados es probablemente imposible funcionalmente de mantenerse (O'Brien, 2004).

La industria de los alimentos tiene el reto de tomar decisiones concernientes al uso de grasas *trans*, ya sea mantenerlas, eliminarlas o mitigarlas. Parte de este proceso se debe a la reflexión por el consumidor hacia las grasas *trans*, y por consiguiente, la investigación se ha orientado al desarrollo de alternativas más saludables (Stauffer, 2005). Actualmente los procesadores de grasas y aceites ofrecen productos reducidos en grasas saturadas y ácidos grasos *trans* por ejemplo: aceite para frituras, mantecas

líquidas para panadería, aceites de cártamo, girasol, canola alto en ácido oléico para elaborar margarinas que reemplazarán a los parcialmente hidrogenados.

Como respuesta a la demanda de los consumidores por disminuir la ingesta de grasa saturada y grasa *trans*, en las últimas décadas la industria de alimentos ha implementado una serie de estrategias para disminuir su contenido en los productos alimenticios (Mayamol y col., 2004). Algunas opciones disponibles para formular productos libres de ácidos grasos *trans* con un aceptable índice de grasa sólida y punto de fusión pueden ser obtenidos por medio de mezclas de grasa saturada y aceites vegetales, también por medio del proceso de interestificación y por los aceites modificados genéticamente (monoinsaturados) (O'Brien, 2004).

Mantecas Libre de Isómeros *Trans*

Con el plazo obligatorio en la colocación de las etiquetas del contenido de grasa *trans* en los alimentos a partir del primero de enero del 2006, industriales de alimentos van a ser mayormente impactados por la nueva disposición en la etiqueta, son los panificadores y botaneros entre otros. Estos han hecho o tendrán que hacer nuevas formulaciones con libre de isómeros *trans*. La solución al problema de las grasas *trans* cae dentro de tres categorías: reformulaciones, procesos tecnológicos alternativos y fuentes alternativas de aceites (Stauffer, 2005).

En la producción de mantecas libre de isómeros *trans*, la selección de las mezclas de grasas y el proceso de cristalización son críticos. Aun cuando los aceites vegetales tengan un mejor valor nutricional que las grasas, su aplicación a ciertos alimentos se verá limitada, sobre todo, en la elaboración de pan y tortillas de trigo debido a que no incrementa el volumen en pan y expansión de las tortillas, de la manera como lo hacen las grasas sólidas. Los aceites forman gotas esféricas las cuales tienen un mínimo de superficie expuesta, lo cual hace imposible aumentar la interfase agua-grasa. Los aceites no son aditivos favorables en este tipo de productos alimenticios (O'Brien, 2004; Mayamol y col., 2004; Bejosano y col., 2006)

Dentro de estas tres categorías para la preparación de las grasas reducidas o cero *trans* se utilizan varios procesos como: la utilización del proceso de interesterificación de mezclas de grasa saturada con aceites vegetales. La interesterificación es un proceso que cambia la distribución patrón de los ácidos grasos en el triglicérido, obteniéndose grasas con características de fusión y cristalización diferentes. Se habla de intraesterificación si los cambios ocurren dentro de la misma molécula. El proceso se realiza en reactores a baja temperatura (50-100°C) utilizando como catalizadores metales alcalinos (Edward y col., 1995).

Otra alternativa es la utilización de las fracciones de las grasas tropicales principalmente fracciones de estearina, estas fracciones se utilizan mezclándolas con aceites vegetales. Este último método involucra el mezclado directo de ácidos grasos saturados con aceites vegetales, este proceso tiene la ventaja de no ser un proceso químico y dirigirse hacia los consumidores de productos naturales (Jeyarani y col., 2003). Las mantecas originalmente estaban compuestas de mezclas de aceite con estearina; la grasa sólida de bajo valor de yodo, puede reemplazar la porción de estearina en las mezclas para elaborar formulaciones. Las mantecas obtenidas de estas mezclas tienen como propósito proporcionar plasticidad y productos con características deseables en panadería, pero la estabilidad a la oxidación será limitada debido a los altos niveles de ácidos grasos insaturados. Estos productos pueden tener cero grasa *trans* con una cuidadosa deodorización (O'Brien, 2004).

Mezclas de grasa saturada, aceite de palma y aceites líquidos pueden cumplir con los requerimientos funcionales para productos de panadería. Mezclas de aceites altos en ácido láurico (C12:0) con grasa saturada son recomendados para productos de confitería, entre otros (O'Brien, 2004). Una grasa funcionalmente buena es aquella que contiene una gran cantidad de ácidos grasos saturados de cadena larga de 16 a 18 carbonos y con un rango de fusión entre 45 a 60°C. Para la industria, es importante obtener grasas libres o bajas en ácidos grasos *trans* (AGT) que impartan propiedades físicas similares a las grasas hidrogenadas, además, es importante que en este proceso no se incremente la cantidad de ácidos grasos saturados.

Proceso de Elaboración de Mantecas Libre de Isómeros *Trans*

La mezcla homogenizada se pasa por enfriadores tubulares a alta presión para que solidifique. Unas cuchillas rascan la mezcla endurecida y la hacen avanzar. Al descender la temperatura las grasas cristalizan, pero no lo hacen todas igual, incluso una misma grasa puede cristalizar de diferentes formas según las condiciones. A este fenómeno se le llama polimorfismo. En algunas ocasiones, al elevar la temperatura una forma cristalina puede fundir pero inmediatamente convertirse en otra forma cristalina de punto de fusión más alto. El tipo de cristalización tendrá gran importancia en las características finales de la manteca (textura, punto de fusión, etc). Las diferentes formas cristalinas estudiadas por difracción de Rayos X se clasifican, de menor a mayor estabilidad termodinámica, aunque sólo existen 3 formas: α , β' y β (Fennema, 1996).

Al cristalizar los grupos finales polares tienden a asociarse entre ellos por fuerzas dipolares para formar planos a lo largo de dos ejes mientras que la cadena hidrocarbonada se sitúa a lo largo de un eje perpendicular al plano. La orientación de los periodos en zig-zag de la cadena hidrocarbonada y el ángulo que forman respecto al eje determinan la estabilidad de la estructura cristalina (la forma β , típica de ácidos grasos saturados forma un ángulo de 60° respecto al eje perpendicular al plano). Otros factores que influyen en la cristalización son:

Composición de los Ácidos Grasos de los Triglicéridos. Tres ácidos grasos iguales suelen cristalizar en forma β (tri-estearina) mientras que tres diferentes lo suelen hacer en forma β' .

Tipo de Ácido Graso. Mantecas que tengan en su composición más de un 20% de palmítico cristalizan en forma β' .

Posición de los Ácidos Grasos en el Triglicérido. Los aceites vegetales presentan los ácidos grasos saturados en posición 1 ó 1-3, mientras que la manteca de cerdo tiene el

60% del palmítico en posición 2. Al interesterificar estas grasas varían los porcentajes de situación de la saturación y se obtienen cristalizaciones en forma β' en vez de β .

Forma en que el Triglicérido se Coloca Espacialmente. La forma α es mucho más inestable y variable. En la cristalización tipo β la cadena en posición 2 o central se alinea en la misma dirección que las cadenas de los extremos, 1 ó 1', mientras que la otra se dispone paralela tomando la forma de silla. El empaquetamiento de los triglicéridos determina formas más o menos compactas de cristales tipo β . En la cristalización tipo β' la cadena central se dispone en sentido opuesto a la 1 y 1', tomando la forma de horca o diapasón.

Además de la forma de cristalización es de suma importancia el contenido en grasas sólidas (CGS), es decir el porcentaje de grasa sólida o cristalizada respecto al contenido total de grasa a una temperatura dada, que determina junto con el tipo de cristalización las características de plasticidad de la manteca (consistencia y fusión). El CGS se determina por Resonancia Magnética Nuclear (RMN) como mínimo a cuatro temperaturas (10, 20, 30 y 40°C) en Europa y cinco temperaturas (10, 21,1, 26,7, 33,3 y 40°C) en Estados Unidos. Estos valores permiten elaborar un perfil de fusión característica de cada manteca o rango de temperatura en el cual una manteca mantiene sus características plásticas (Fennema, 1996; O'Brien, 2004).

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE MANTECAS LIBRE DE ISÓMEROS *TRANS*

En las mantecas, la consistencia es muy importante debido a que determina los usos y aplicaciones en panadería y otros productos. La consistencia de las mantecas es controlada por dos factores: el primero es la composición de la mezcla de grasa y el segundo las condiciones del proceso usadas en la cristalización, empaque y equilibrio del producto. Las características físicas de las mantecas se correlacionan con la consistencia de las mantecas en el empaque; por lo tanto, es importante desarrollar y

especificar las condiciones de cristalización para cada producto, esto con la finalidad de obtener uniformidad en las mantecas.

Las condiciones de plasticidad que afectan la consistencia son: la temperatura de preenfriamiento, la presión de la unidad de enfriamiento, temperatura de la unidad de enfriamiento, incorporación del gas durante el mezclado, presión en la unidad de trabajo, temperatura de salida de la unidad de trabajo, presión de relleno, temperatura de equilibrio y temperatura de almacenamiento (O'Brien, 2004). En la producción de mantecas sin usar la hidrogenación, la selección de la mezcla de grasas y el proceso de cristalización son críticos.

Temperatura de Cristalización. El crecimiento del cristal presente en la grasa es afectado por la temperatura de cristalización, una alta viscosidad es resultado de una baja temperatura la cual reduce la velocidad del crecimiento del cristal. Controlar la temperatura después de la cristalización es muy importante para la transformación de las formas polimórficas α , β y β' (O'Brien, 2004).

Velocidad de Agitación. La formación del cristal es acelerado por agitación la cual induce la formación del cristal, sin embargo, una velocidad de agitación moderada es recomendada porque aumenta la fuerza cortante para romper por cizallamiento los cristales recién formados en pequeños fragmentos, de este modo se producen cristales más pequeños en lugar de cristales grandes indeseables (O'Brien, 2004).

Velocidad de Enfriamiento. La velocidad de enfriamiento es el factor primario para determinar el tamaño, cantidad y estabilidad del cristal formado (O'Brien, 2004).

Investigaciones Realizadas Sobre Mantecas Libre de Isómeros *Trans*

El empleo de mezclas de aceites y grasas saturadas se están utilizando debido a que estas disminuyen el contenido de ácidos grasos *trans*, los cuales están relacionadas con daños a la salud, por lo tanto, el empleo de mezclas de aceites vegetales y grasas saturadas podría ser una buena alternativa de sustitutos de grasa *trans* para procesar

alimentos: panes, pasteles, tortillas, entre otros (Kaneko y col., 2005; Edward y col., 1995).

Varios investigadores están desarrollando grasas comestibles con propiedades físicas, sensoriales y características funcionales similares a las mantecas vegetales hidrogenadas, pero libre de isómeros *trans*. Para formular estas mezclas de grasa se usan principalmente fracciones de estearina. Se han realizado mezclas de estearina de palma con aceite de salvado de arroz, las grasas obtenidas variaron de acuerdo a la concentración de estearina de palma. Las mezclas fueron caracterizadas física y químicamente, las mezclas con proporciones más elevadas de estearina 60:40 y 65:35 mostraron fragilidad a bajas temperaturas que aquellas con menor cantidad. La mezcla más aceptable fue 50:50 de estearina de palma y aceite de salvado arroz, esta formulación no presentó ácidos grasos *trans* al compararse con la manteca hidrogenada. Las mantecas obtenidas de mezclas cero *trans* entran dentro de la categoría de mantecas de alta estabilidad (Mayamol y col., 2004).

En mezclas de estearina de palma con aceite de salvado de arroz el cristal α y β' disminuyeron al aumentar la concentración de estearina de palma. A una alta concentración de estearina de palma se formó el cristal β . Para la formación del tipo de cristal influyó la velocidad de agitación de las aspas cuando se llevaba a cabo la cristalización de la manteca, a baja velocidad de 50 rpm se formaron cristales grandes y a velocidades de 100 y 150 rpm se formaron cristales pequeños debido a la desintegración de los cristales (Mayamol y col., 2004). El desarrollar sustitutos de grasas *trans* mezclando directamente grasa saturada con aceites insaturados para elaborar mantecas por medio de métodos que no involucra procesos químicos puede desplazar el empleo de grasa hidrogenada en la industria alimenticia (Kaneko y col., 2005).

(Kok y col., 1999) establecieron la veracidad de producir mantecas y margarinas libre de isómeros *trans* sin hidrogenación que son sensorial y funcionalmente similares a las margarinas comerciales. (Nor y col. 1999; Reddy y Jeyarani, 2001) sometieron una simple mezcla ternaria de aceite de palma-estearina de palma (PS)-oleína de palma a una serie de caracterizaciones físicas y químicas usando calorimetría de barrido diferencial

(DSC) y difracción de rayos X (XRD) para demostrar el proceso de preparación de una manteca comparable al vanaspati en términos de sus propiedades funcionales. Ellos recomendaron una mezcla de aceite de palma-PS-oleina de palma en una relación 80:5:15 para el mercado Malayo y una mezcla 60:20:20 para el mercado del Medio Oriente.

Se han desarrollado estudios de la cinética de la cristalización de la mezcla de estearina de palma con aceite de ajonjolí a varias concentraciones, concluyendo que la mezclas del 60:40% de estearina de palma/aceite de ajonjolí se obtuvo la formación de cristales β' estos cristales fueron más pequeños y en la concentración del 80-20% de estearina de palma/aceite de ajonjolí se formaron los cristales β (Toro y col., 2000).

En las mantecas, margarinas y productos de panadería son convenientes los cristales β' por que facilitan la incorporación de gran cantidad de aire en forma de pequeñas burbujas, lo que permite lograr productos con mejores propiedades reológicas y sensoriales. En la producción de margarinas y grasas similares a las lácteas se requiere la formación de cristales β' y no los β , debido a que estos cristales fácilmente aumentan de tamaño y tienden a dar una sensación granulosa que es inaceptable a la margarina y helados (Fennema, 1993). Por lo tanto, se recomienda realizar mezclas de estearina de palma con aceite de ajonjolí al 60:40 debido a que proporciona cristales polimórficos β' (Toro y col., 2000).

(Aini y col., 1999) realizaron mezclas utilizando estearina de palma (índice de yodo de 30 y 44), aceite de palma y oleina de palma elaborado muestras de vanaspati-manteca de aceite vegetal hidrogenado utilizada en la India y Pakistán- libre de grasa trans, las cuales catalogaron como grupo A y B. Estas muestras se analizaron física y químicamente. Ellos concluyeron que el grupo A (índice de yodo de 30), tuvo alto contenido de ácidos grasos insaturados y se presentó formación de cristales β' y en el grupo B (índice de yodo de 44), predominaron los cristales β . Por lo tanto, las mezclas del grupo A, presentaron cristales β' la cual fue mejor para elaborar vanaspati.

Se han realizado mezclas de aceite de palma con estearina de palma suave 80:20, 60:40 y 40:60 para la producción de pan blanco. Estas mezclas presentaron pequeñas

diferencias en las diferentes proporciones, en las mantecas texturizadas predominaron las cristales β' después de 16 semanas de almacenamiento. La mezcla 60:40 de estearina de palma con aceite de palma mostró una mínima formación de cristales β y las panes elaborados con esta mezcla permanecieron blandos después de dos a cuatro días (Berger y col., 2005).

Se han elaborado mezclas de grasas capaces de sustituir a las que se emplean actualmente en la elaboración de alimentos (grasa *trans*) y productos de panadería (pan, tortillas, entre otros). Esta mezcla de grasa contiene bajos niveles de ácidos grasos *trans* y está compuesta por una mezcla de aceite de girasol, canola o soya altos en ácido oleico y grasa saturada (estearina de palma). Esta fue utilizada en la elaboración de panes el cual presentó propiedades texturales similares a un pan elaborado con grasa *trans* (Miller, 2006). Existen otras fuentes alternativas de grasa que no necesitan estar hidrogenadas para estar en estado sólido o semisólido como son: el aceite de palma y estearina de palma (Dzisiak, 2004).

Las mezclas de estearina de palma y aceites tienen la tendencia de producir mantecas granuladas durante el almacenamiento debido al polimorfismo de los cristales de las grasas que tienden hacia la forma polimórfica β , la cual tiende a formar grumos y textura granulada pero un exceso en su utilización dará una textura arenosa, debido a su elevado punto de fusión. En severos casos la transformación del cristal puede resultar en exudación del aceite de la manteca y coalescencia parcial de la fase acuosa, con incremento de susceptibilidad microbiológica (Edward y col., 1995). Sin embargo, las mezclas que tienen concentraciones altas de aceite de palma son de alguna manera lentas para cristalizar y pueden causar problemas en algunas operaciones de empaquetado continuo (Berger y Aini, 2005).

Estas mantecas pueden emplearse como sustituto de mantecas hidrogenadas, las cuales pueden aplicarse a varios productos alimenticios como: panes, pasteles, galletas, barras de cereal, tortillas de trigo, entre otros, sin afectar las propiedades texturales, debido a que estos productos requieren de alta cantidad de grasa para su elaboración.

Tortillas de Harina de Trigo

La tortilla de harina de trigo es un producto de panificación indispensable en la dieta de la mayoría de las familias del norte de México (Martínez y col., 1999). En tiempos pasados las tortillas de harina de trigo se hacían diariamente en forma doméstica y se conocían popularmente como tortillas caseras; se elaboraban de manera artesanal, con recetas que pasan de generación en generación. La fabricación de tortillas a nivel comercial ha aumentado de manera importante, a tal grado, que en los centros urbanos más importantes del país, existen pequeñas industrias dedicadas a esta labor (Waniska y col., 1999).

La tortilla de harina se define como una mezcla química de ingredientes y cuyas características son de forma plana, circular, ligero color blanco y aproximadamente 1.0 a 2.0 mm de grueso y de 15-33 cm de diámetro (Srinivasan y col., 2000). Una tortilla de harina contiene: harina de trigo, agua, sal y manteca vegetal hidrogenada (*grasa trans*) la mayoría de las formulaciones para tortillas contienen entre 5 y 15%. Otros ingredientes empleados son: agentes leudantes, conservadores, emulsificantes, acondicionadores de masas, entre otros (Guo y col., 2003).

• La importancia de la aceptación de textura por el consumidor ha generado un creciente interés en los años recientes. Las grasas son de los principales ingredientes que afectan la textura de las tortillas de trigo. La mayoría de las tortillas que se comercializan en la actualidad son elaboradas con mantecas hidrogenadas que contienen aproximadamente del 12-30% de grasas *trans* este tipo de grasa se ha encontrado que tiene efectos negativos sobre la salud (Bejosano y col., 2006).

Proceso de Elaboración de Tortillas de Trigo

Las masas de harina para las tortillas son diferentes de aquellas utilizadas para elaborar pan principalmente en el contenido de agua y grasa utilizadas (Serna-Saldívar y col., 1988). Mientras que la formulación para pan contiene del 2 al 4% de grasa, la masa de harina para tortillas contiene alrededor del 15%. Además, las condiciones de

procesamiento y específicamente el horneado son muy diferentes entre la elaboración de pan y tortillas; en estas últimas, las temperaturas son menos drásticas.

Harina

La harina es el ingrediente más importante por medio de hidratación y la acción mecánica se forma una masa, la cual, se desarrolla de acuerdo a su contenido y características de sus proteínas (Serna-Saldívar y col., 1988). Las proteínas de la harina están compuestas por dos tipos: gliadina y gluténina, las cuales son principalmente responsables de la formación del gluten y comportamiento reológico de la masa (Badui, 1993).

Contenido de proteína en la harina. Se reporta que el contenido de proteína en la harina correlaciona con las características texturales que tiene la tortilla durante el almacenamiento (Bello y col., 1991, Qarooni y col., 1993, Suhendro y col., 1993, Wang y Flores, 1999). Asimismo, se ha reportado que las harinas con contenido de proteína de 11.5% son apropiadas para el prensado caliente de tortillas (Serna-Saldívar, 1988, Qarooni, 1993). Sin embargo, las harinas con alto contenido de proteína (11.5-14%) son necesarias para elaborar tortillas que se fabrican para prensado caliente (Serna-Saldívar., 1998). Se ha observado que, las tortillas preparadas con un alto contenido de proteína presentan manchas traslúcidas las cuales son defecto de calidad. Por otro lado, las tortillas preparadas con harinas de bajo contenido de proteína son blancas y con muy buena apariencia (Bello y col., 1991). Generalmente, más alto contenido de proteína en la harina, requiere mayor cantidad de agua (Serna-Saldívar, 1988, Qarooni, 1993).

Agua

El agua es importante debido a que sirve como medio para la incorporación y distribución de otros ingredientes; además se requiere para la formación del complejo del gluten. La temperatura del agua generalmente se ajusta para proporcionar una masa a 28 °C; lo cual es óptimo para el reposo. En la elaboración de tortillas se utiliza menos cantidad de agua y más manteca en la formulación; consecuentemente, el gluten no está completamente desarrollado como en el pan. Generalmente, la cantidad del agua varía

desde 45- 55%, dependiendo del tipo de harina, proteína de la harina, tipo de operación y la presencia de gomas y manteca (Serna-Saldívar y col., 1988).

Grasa-Aceite

La mayoría de las formulaciones para tortillas contienen entre 5-15% de manteca. Este ingrediente tiene una gran influencia en el manejo de la masa, sabor y textura de la tortilla. La manteca se incorpora a la red del gluten durante el mezclado y el manejo de la masa se mejora debido a que la grasa reduce la viscosidad. La grasa mejora la estabilidad de la tortilla debido a que actúa como lubricante e interactúa con las proteínas y el almidón durante el amasado, horneado y enfriamiento; además, probablemente disminuye el envejecimiento por modificación de las interacciones de los componentes del almidón especialmente la amilosa (Serna-Saldívar y col., 1988).

Sal

La mayoría de las formulaciones contienen del 1.3 –2 % de sal. La masa con mayor cantidad de sal es menos viscosa debido a que fortalece y endurece al gluten. La sal afecta el sabor de la tortilla, la vida de anaquel (disminuye la actividad de agua) y manejo de la masa (Serna-Saldívar y col., 1988). Es importante conocer como influyen los ingredientes en las propiedades texturales de las tortillas.

Las tortillas al ser elaboradas tienen ciertas características texturales de acuerdo a las condiciones establecidas durante todas las etapas del proceso. Si la materia prima y las condiciones fueron las óptimas, las tortillas tendrán propiedades texturales (firmeza y flexibilidad) adecuadas para el consumidor. Estas se conservarán por más tiempo blandas y fácilmente se doblarán sin trozarse, conforme se va perdiendo la frescura o mientras la tortilla envejece es más rígida, más firme y menos enrollable que las tortillas frescas. La habilidad de la tortilla para mantener su textura original y características sensoriales, es un grave problema debido a que durante el almacenamiento se presentan fenómenos que afectan las propiedades físicas de las tortillas (Waniska y col., 2004).

Efecto de los Componentes de la Harina de Trigo sobre la Textura de la Tortilla

Retrogradación del Almidón

La retrogradación del almidón en la tortilla no es importante debido a que no es relevante en el desarrollo de cambios texturales durante el almacenamiento. Se ha observado que las tortillas almacenadas bajo refrigeración mantienen características texturales por largos períodos de tiempos, más que, las almacenadas a temperatura ambiente (Torres, y col., 1993).

Los cambios de textura están relacionados al fenómeno de difusión (transferencia de humedad del gluten al almidón parcialmente gelatinizado) más que al rearreglo molecular. El tiempo de horneado no permite que ocurra la gelatinización completamente como ocurre en el pan (McDonough, 1996; Waniska, 1999). Por lo tanto, la retrogradación del almidón es menor. Además, la retrogradación que ocurre, hace la tortilla más dura, pero, no afecta de manera importante en la flexibilidad del gluten en la estructura de la tortilla (Waniska, 1999).

Cantidad de Grasa

Se reportan estudios sobre tortillas cuya formulación no incluye grasa y con grasa normal (15% en base al peso de la harina) donde se evaluaron las propiedades texturales con la celda de kramer obteniendo como resultado que las tortillas con una fórmula sin grasa necesitaron mayor fuerza para romperse que las elaboradas con una fórmula normal. El comportamiento del módulo de elasticidad fue mayor para las tortillas elaboradas con la fórmula sin grasa, esto, debido que las tortillas elaboradas con la fórmula sin grasa estuvieron firmes por ausencia de grasa (Yufeng y col., 2002).

Textura y Propiedades Texturales de las Tortillas de Harina de Trigo

La textura es un parámetro de calidad importante de las masas y tortillas, puede ser expresada en términos descriptivos. Estos incluyen dureza, firmeza, adhesividad y algunos otros. Los parámetros físicos incluyen términos como: elasticidad, plasticidad y viscosidad. Ambos tipos de términos previamente mencionados, no definen de manera satisfactoria la palabra textura (Mohsenin, 1986). Textura se define como la superficie visual o táctil de las partículas de un cuerpo o sustancia (Anonymus, 1985). La ciencia de los alimentos al definir textura incluye las características reológicas, especialmente durante la mordida y masticación (Lusas, 1998). Una definición aceptada sobre la textura es aquella donde describe el atributo de un producto alimenticio que resulta de una combinación de propiedades físicas y químicas, percibidas en gran medida mediante los sentidos del tacto, vista y oído.

La textura de los alimentos se representa por los términos de suave, firme o dura, que son parámetros de la textura, el grado de dureza. La textura se representa mediante: tierno, masticable y duro, que son los parámetros de masticabilidad (Yufeng y col., 2002). La textura de las tortillas es afectada por el proceso y el envejecimiento (Suhendro y col., 1999). La tortilla de harina mantiene sus características óptimas de textura durante las primeras horas de elaboración. Las propiedades texturales de un alimento están definidas como aquellas características físicas que sobresalen de sus elementos estructurales, que se perciben mediante el sentido del tacto y se relacionan con la deformación, desintegración, y el flujo del alimento bajo una fuerza (Bourne, 1982; Szczesniak y col., 1996).

Técnicas de Evaluación Textural

La textura de las tortillas de harina se puede medir subjetivamente y objetivamente (Wang y col., 1999). Para las mediciones subjetivas se requiere un panel de profesionales entrenados, pero este método no es lo sensible para monitorear los

cambios en la textura de la tortilla en un rango de 24 horas después de que fue horneada. Las mediciones objetivas están diseñadas para la imitación y desarrollo de las medidas subjetivas y requiere cierto equipo, como una máquina de pruebas universal. El método objetivo es cuantitativo, sensible, rápido y reproducible, comparado con los métodos subjetivos (Yufeng y col., 2002).

La forma de evaluar la textura se lleva a cabo mediante algunas técnicas instrumentales como son los métodos fundamentales, los imitativos y los empíricos. Los fundamentales son métodos diseñados para medir una o varias propiedades físicas bien definidas de una muestra y relacionar esta propiedad con las características texturales definidas por técnicas sensoriales. Los métodos imitativos son un grupo de técnicas que intenta simular en cierto grado las fuerzas y deformaciones a las que está sometido el alimento mientras se consume. Los métodos empíricos miden propiedades de los productos a menudo no bien definidas y no pueden expresarse fácilmente en unidades fundamentales. No obstante, para cierto tipo de alimentos se han encontrado resultados que relacionan uno o más atributos texturales y, de esta manera pueden emplearse como medida indirecta de tales atributos (Ceceña, 1998).

Prueba de Celda de Kramer

- Las principales propiedades texturales de la tortilla de harina de trigo que se han medido para un buen control de calidad son firmeza y rollabilidad. Un método utilizado para evaluar la firmeza en tortillas es utilizando la celda de kramer adaptada a un analizador de textura. Este método consiste en medir el esfuerzo máximo necesario o el trabajo requerido para romper un pedazo de tortilla de un área conocida. El diseño de la celda de kramer simula la acción de la masticación humana (Kramer, 1973). La desventaja del método de la celda de kramer es que presenta resultados de textura representados como dureza de la tortilla, la cual, no dice nada respecto a la elasticidad y flexibilidad de la misma. La firmeza de las tortillas de harina es expresada como la fuerza de comprensión en la curva de fuerza-distancia. Entre mayor es la fuerza de compresión más firme será la tortilla (Yufeng y col., 2002).

Método de Rollabilidad

La medición subjetiva de la textura de una tortilla incluye técnicas de rollabilidad y flexibilidad (Yufeng y col., 2002). La capacidad subjetiva de enrollamiento es usada para evaluar la textura de la tortilla. El objetivo de la rollabilidad es proporcionar valores de fuerza o trabajo requerido para enrollar una tortilla (Suhendro y col., 1998). La desventaja de la prueba es la capacidad subjetiva de enrollamiento de las tortillas no es suficientemente sensitiva para monitorear los cambios en la textura de las tortillas después de 24 horas de ser horneadas. Por esta razón, otras medidas objetivas para la textura han sido desarrolladas como la celda de extensibilidad y celda de kramer (Suhendro y col., 1999).