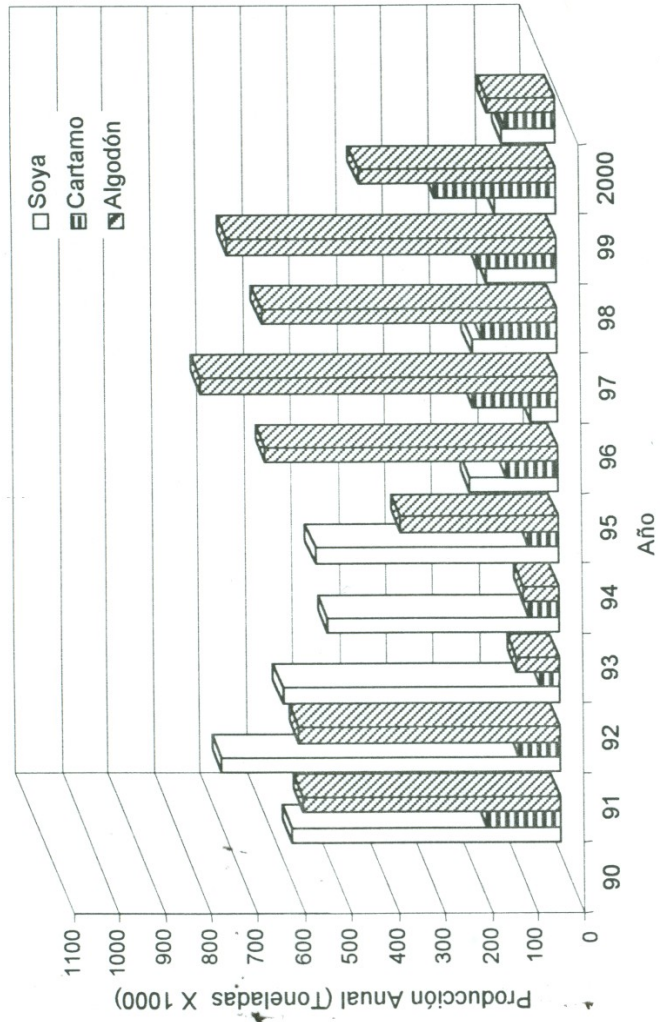


## REVISION BIBLIOGRAFICA

El frijol soya ha sido la oleaginosa dominante en el mercado mundial en los últimos años, representando más del 50% del total de la producción. De una producción mundial de oleaginosas de alrededor de 285 millones de toneladas en el año 2000, el 56.84% fue de frijol soya seguida por algodón (18.94%), colza (14.10%), cacahuete (12.10%) y por último girasol (9.40%) (FAO, 2000). Con respecto a la producción mundial de aceites vegetales en el año 2000 (90,157,110 Ton), el aceite de soya, ocupó el primer lugar (25.77%), seguido por el aceite de palma (24.34%), el aceite de colza (13.7%) y el aceite de girasol (10.55%) (FAO, 2000).

En México, el mercado de las oleaginosas está regido por el consumo de pastas proteicas, el cual representa un promedio de 3.2 millones de toneladas en los últimos tres ciclos, de las cuales la pasta obtenida de la semilla de soya representa alrededor del 78%, la pasta de canola el 9% y la de algodón 5% (López, 1996). Sin embargo, a partir de 1990 la producción de semilla de soya en México empezó a decaer fuertemente (**Figura 1**).

Entre las causas fundamentales en el descenso de esta oleaginosa se encuentran: la plaga conocida como "mosquita blanca", la sequía y las nuevas políticas agrarias las cuales han provocado que sea más costoso para el industrial importar estas semillas o su aceite crudo a nuestro país, que producir la semilla de soya por nosotros mismos. Esto ha traído como consecuencia la devastación la mayor parte de las áreas de cultivo de Sinaloa y Sonora, principales estados productores de esta oleaginosa (Alvarez, 1996). Esto ha dado como resultado que la producción reportada para frijol soya para el 2000 sea de 114,479 toneladas, siendo los principales productores en México: Tamaulipas (57,080 Ton), Sinaloa (52,497 Ton), Chiapas (14,137 Ton) y Campeche (2,830 Ton). Ante esta situación se ha tenido que cubrir este déficit con semilla de soya



**Figura 1.** Producción de Oleaginosas en México (1990-2000).

Fuente: FAO, 2000

importada de Estados Unidos de Norteamérica. Los volúmenes de frijol soya importados en el año de 1999 fueron alrededor de 4,068,063 TM (FAO, 2000).

### **Producción de Aceite de Soya**

La oferta total de aceites y grasas para el mercado nacional es de 1.7 millones de toneladas, de las cuales el 53.2% se comercializa como aceite embotellado, el 39 % como mantecas o margarinas industriales y el 7.8% como manteca de cerdo (Becerra, 1996). El aceite de soya es considerado el principal aceite obtenido en nuestro país, llegando a representar en promedio en los últimos 5 años el 40% del mercado de aceites y grasas vegetales (CAPRO, 1997).

Ante esta situación de dominio del aceite de soya en la oferta total de grasas en México, resulta de suma importancia aprovechar sus propiedades nutricionales, como su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados esenciales para el humano y su contenido de tocoferoles (vitamina E) (Emken, 1994). Sin embargo, el procesamiento del aceite de soya presenta algunos aspectos que deben considerarse en forma especial durante su procesamiento:

1. La pérdida de tocoferoles, los cuales se reducen alrededor del 50% durante el procesamiento del aceite de soya (Dougherty, 1988).
2. La transformación de la estructura química de los ácidos grasos poliinsaturados esenciales a sus isómeros *trans*, trae como consecuencia la indisponibilidad de ellos para el organismo. Estos ácidos grasos *trans* no deben exceder el 1% al salir el aceite del desodorizador (Kellens, 1997).

### **Composición de los Aceites**

Los aceites vegetales son compuestos insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos, como el hexano, cloroformo y éter de petróleo.

### **Triacilgliceridos**

Los aceites están constituidos predominantemente por triacilglicéridos y éstos a su vez por ésteres de tres ácidos grasos monocarboxílicos y el glicerol. Estos ácidos grasos generalmente poseen un número par de átomos de carbono ( $C_{14}$  -  $C_{22}$ ) y pueden ser saturados e insaturados (Lenhinger, 1982).

### **Acidos Grasos**

Los lípidos son compuestos importantes en nuestra dieta, no solo por su alto valor energético sino por su contenido de vitaminas liposolubles (vitamina E) y ácidos grasos esenciales. En el aceite de soya se encuentran ácidos grasos saturados como el ácido palmítico ( $C_{16}$ ) y el ácido esteárico ( $C_{18}$ ); monoinsaturados como el ácido oléico ( $C_{18:1}$ ) y poliinsaturados como el ácido linoléico ( $C_{18:2}$ ) y el  $\alpha$ -linolénico ( $C_{18:3}$ ).

A pesar de la importancia nutricional de los lípidos, su consumo se debe regular. Grundy (1997), realizó una recopilación de estudios concluyendo que existen las suficientes evidencias de que el ácido palmítico ( $C_{16}$ ), ácido mirístico ( $C_{14}$ ) y el ácido láurico ( $C_{12}$ ) aumentan la concentración de colesterol sérico, no así el ácido esteárico ( $C_{18}$ ). Mientras el consumo de ácidos grasos mono y poliinsaturados (cis), reducen la concentración de colesterol sérico y las lipoproteínas de baja densidad.

**Acidos Grasos Esenciales.** Los aceites vegetales contienen ácidos grasos poliinsaturados de especial importancia nutricional, entre los cuales están el ácido linoleico (n-6) y el ácido linolénico (n-3). Estos ácidos grasos se consideran esenciales para el crecimiento y desarrollo del organismo humano. Son precursores de prostaglandinas, hormonas que desempeñan una actividad importante en la regulación de algunas funciones fisiológicas y bioquímicas del organismo humano. Cuando existe deficiencia de estos ácidos grasos esenciales

se reduce el crecimiento, la síntesis de prostaglandinas y se producen daños en la piel. El aceite de soya es una importante fuente de ácidos grasos, presentando un contenido de 56% de ácido linoleico y 8% de ácido linolénico (Bockisch, 1998).

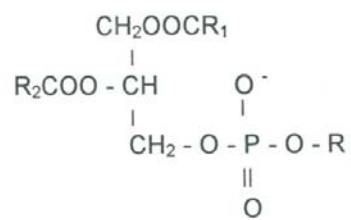
### **Fosfolípidos**

Los fosfolípidos son diacilglicéridos ( $R_1$ ,  $R_2$ ) que contienen en su estructura una molécula de ácido fosfórico unida al glicerol ( $C_3$ ) mediante un enlace éster. En el aceite de soya se encuentran principalmente tres diferentes fosfolípidos: fosfatidiletanolamina, fosfatidilcolina y fosfatidilinositol (**Figura 2**).

### **Tocoferoles**

Entre los antioxidantes naturales de uso comercial más importantes se encuentran: los tocoferoles, ácido cítrico, ácido ascórbico y los extractos de algunas plantas (Rosemary). Estos tienen la ventaja de ser utilizados como un ingrediente natural en los alimentos y de tener una mayor seguridad en su uso que los antioxidantes sintéticos (Rathjen y Steinhart, 1997). Los tocoferoles comúnmente denominados como vitamina E son importantes inhibidores de la reacción de oxidación tanto en los sistemas biológicos como en los alimentos (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996; Ziller, 1996).

**Fuentes Naturales de Tocoferoles.** Estos compuestos son sintetizados solo por las plantas y son un importante nutrimento para humanos y animales, su concentración depende del contenido de ácidos grasos insaturados en los aceites (**Tabla 1**). Los tocoferoles se encuentran en cuatro formas:  $\alpha$ -tocoferol,  $\beta$ -tocoferol,  $\gamma$ -tocoferol y  $\delta$ -tocoferol (**Figura 3**). El isómero  $\alpha$ -tocoferol es el más activo biológicamente y el  $\gamma$ -tocoferol es el isómero con mayor actividad antioxidativa en los aceites.



**Figura 2a.** Formula General para un Fosfolípido.

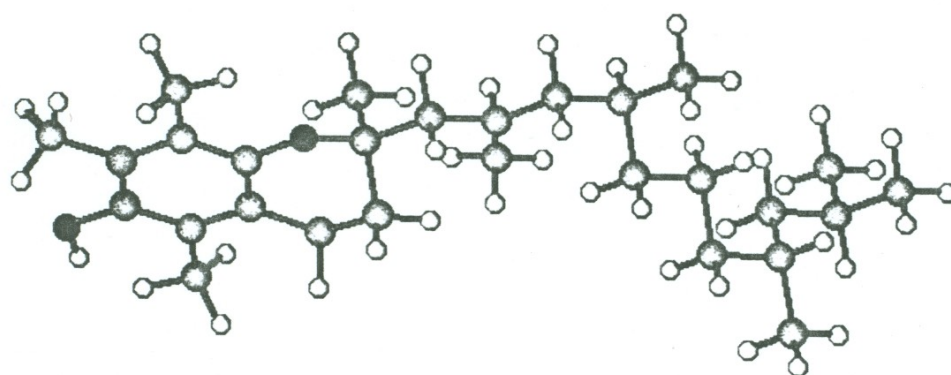
R	Nombre
H	Acido fosfatídico
$\text{CH}_2\text{CH}_2 - \text{NH}_3^+$	Fosfatidiletanolamina
$\text{CH}_2\text{CH}_2 - \text{NH}^+ (\text{CH}_2)_3$	Fosfatidilcolina
$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_5$	Fosfatidilinositol

**Figura 2b.** Fosfolípidos mas comunes en Aceite de Soya.  
Fuente: Lehninger, 1982

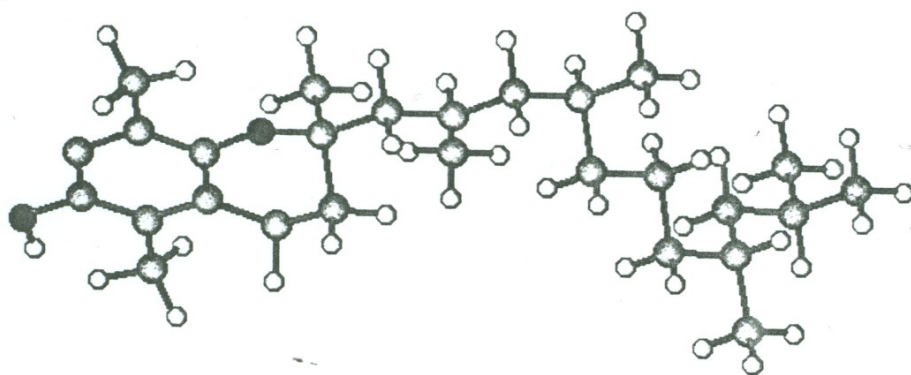
**Tabla 1.** Contenido de Tocoferoles Totales en Aceites Vegetales Crudos.

Aceite	Tocoferoles totales (ppm)	Valor de Iodo	Insaponificables (%)
SOYA	1700-2000	120-143	0.6-1.6
CANOLA	700-1200	110-126	0.5-1.2
MAIZ	1000-1500	127-133	0.4-1.2
GIRASOL	600-800	110-144	0.3-1.3
OLIVO	150-200	75-94	0.4-1.1

Fuente: Kellens, 1997.



$\alpha$  - Tocoferol



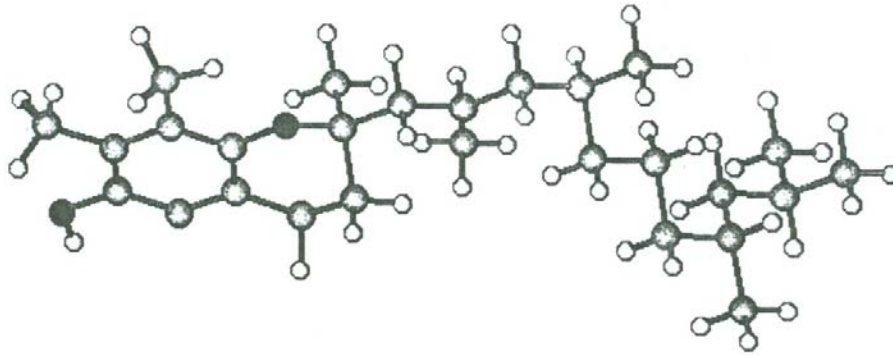
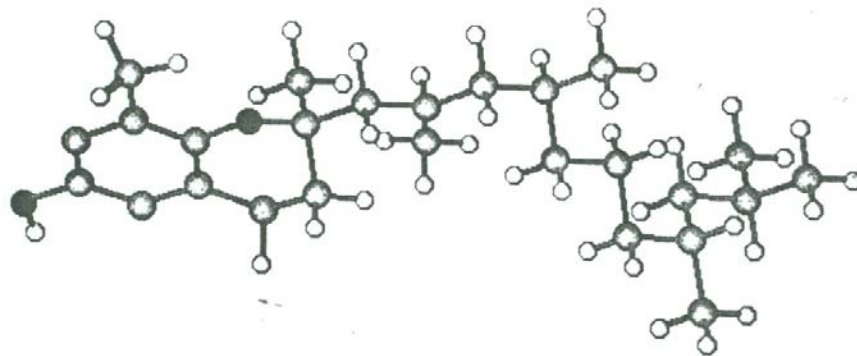
$\beta$  - Tocoferol

● Oxigeno    ● Carbono    ○ Hidrogeno

**Figura 3.** Estructura de los Tocoferoles  
Fuente: Kamal y Appelqvist, 1996.



Continuación...

 $\gamma$  - Tocoferol $\delta$  - Tocoferol

● Oxigeno      ● Carbono      ○ Hidrogeno

**Figura 3.** Estructura de los Tocoferoles  
Fuente: Kamal y Appelqvist, 1996.

Una característica importante de los tocoferoles es su sensibilidad a la luz y temperatura (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). Los tocoferoles han adquirido una gran importancia, debido al creciente interés por la industria de alimentos por reducir el consumo de antioxidantes sintéticos y aumentar el uso de antioxidantes naturales. Entre los antioxidantes naturales, los tocoferoles son reconocidos como los más potentes (Rathjen y Steinhart, 1997).

**Actividad como Vitamina E.** Se conoce como vitamina E a la mezcla de isómeros de tocoferoles y tocotrienoles reconocidos por su eficiente inhibición de la oxidación lipídica en alimentos y sistemas biológicos. La actividad antioxidativa de estos compuestos se encuentra influenciada por su estructura química, la cual define la habilidad para donar el hidrogeno que se encuentra en el grupo fenólico a los radicales libres. La actividad como vitamina E es diferente para cada isómero y ésta se aumenta cuando el anillo fenólico esta metilado completamente ( $\alpha$ -tocoferol). Otra característica importante es el grado de insaturaciones en la cadena alifatica, esta es la causa de que la actividad como vitamina E de los tocotrienoles sea menor a la del correspondiente tocoferol, por ejemplo el  $\alpha$ -tocotrienol solo posee el 30% de la actividad como vitamina E del  $\alpha$ -tocoferol y el  $\beta$ -tocotrienol tiene el 10% de la actividad biológica del  $\beta$ -tocoferol (**Tabla 2**) (Kamal y Appelqvist, 1996).

El  $\alpha$ -tocoferol es el que posee mayor actividad antioxidativa, seguido en orden decreciente por los isómeros  $\beta$ -tocoferol >  $\gamma$ -tocoferol >  $\delta$ -tocoferol. Esta actividad antioxidativa se determinó a cada uno de los isómeros en una solución homogénea de diclorobenceno y concuerda con la encontrada en los sistemas vivos. Sin embargo, la actividad antioxidativa "in vitro" de los isómeros del tocoferol es diferente en aceites y grasas. En este caso la mayor actividad es del  $\delta$ -tocoferol seguido del  $\gamma$ -tocoferol y por último el  $\alpha$ -tocoferol. Este cambio en la actividad antioxidativa de los isómeros del tocoferol, se debe a que la actividad de los tocoferoles, en este caso, no solo depende de su reactividad química,

**Tabla 2.** Actividad como Vitamina E (%) de diferentes Tocoferoles y Tocotrienoles.

Nombre	Actividad (%)
d- $\alpha$ -tocoferol	100
d- $\beta$ -tocoferol	50
d- $\gamma$ -tocoferol	10
d- $\delta$ -tocoferol	3
d- $\alpha$ -tocotrienol	30
d- $\beta$ -tocotrienol	5
d- $\gamma$ -tocotrienol	No conocida
d- $\delta$ -tocotrienol	No conocida

Fuente: Kamal y Appelqvist, 1996.

sino que además esta reacción es afectada drásticamente por la temperatura, luz y presencia de otros compuestos que actúan como prooxidantes (Kamal y Appelqvist, 1996).

**Aspectos Nutricionales de la Vitamina E.** El  $\alpha$ -tocoferol actúa como antioxidante en los sistemas biológicos atrapando los radicales libres peróxido (Gey, 1993). Otros estudios asocian el desarrollo de la arteriosclerosis con niveles bajos en el consumo de  $\alpha$ -tocoferol (Bieri, 1987). Estudios epidemiológicos muestran una fuerte evidencia de que los antioxidantes naturales (vitamina E, vitamina C y  $\beta$ -carotenoides), en especial la vitamina E, tiene un efecto preventivo en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, disminuyendo la susceptibilidad a la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad; estas lipoproteínas oxidadas son las iniciadoras de la arteriosclerosis (Aruoma y Cuppett, 1997; Packer y Fuchs, 1993; Qureshi y Col., 1995). La Vitamina E es necesaria para el metabolismo celular (respiración celular, metabolismo del ácido nucleico) y es un efectivo antioxidante natural de los ácidos poliinsaturados de las membranas biológicas y de las lipoproteínas plasmáticas (Aruoma y Cuppett, 1997). Protege a las células de la oxidación en combinación con ácido ascórbico y algunas enzimas (glutacion peroxidasa, superóxido dismutasa y catalasa) (Eitenmiller, 1997).

Algunos estudios indican que ingestas elevadas de frutas y vegetales reducen de manera considerable los riesgos de cáncer, sin embargo es difícil asegurar que esta disminución se deba al contenido de vitamina E presente en estos (Nesaretnam y Col, 1998; Block, 1992; Diplock, 1994).

### **Procesamiento de Aceite de Soya**

Tradicionalmente, la finalidad de refinar el aceite de soya ha sido eliminar las impurezas liposolubles, que se encuentran presentes en el aceite crudo y así producir un aceite con las mejores normas de calidad, como mejorar el sabor,

aparición y estabilidad oxidativa. Sin embargo, en países desarrollados como Japón, E.U., Canadá y países Europeos, cada vez ponen mayor énfasis en no afectar las propiedades nutricionales. Esto significa que al refinar eficientemente aceites vegetales se tienen que eliminar impurezas tales como: sólidos residuales del proceso de extracción, fosfolípidos (gomas y complejos metálicos de calcio, magnesio y fierro), ácidos grasos libres, peróxidos, polímeros, productos secundarios de oxidación y pigmentos, cuidando no reducir las vitaminas naturales (tocoferoles) especialmente durante el proceso de blanqueado y desodorización (Kellens, 1997; Beauregard, 1996).

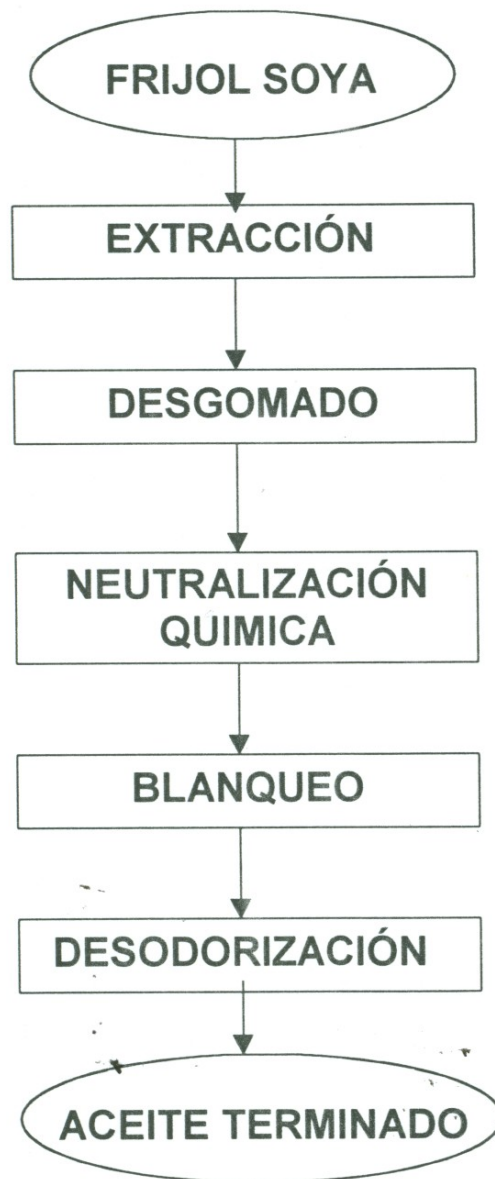
Erickson (1995), recomienda que para obtener un aceite con estabilidad oxidativa, se deberán eliminar todas las impurezas (no triacilglicéridos) y obtener al final un producto con un contenido total de triacilglicéridos no inferior al 99.5%. Esto se logra a través de una eficiente realización de las operaciones unitarias: desgomado, refinación química, blanqueo y desodorización (**Figura 4**).

### **Desgomado**

La operación de desgomado es el primer paso de la refinación del aceite crudo y tiene como objetivo separar los fosfolípidos, las partículas metálicas (sales de calcio, magnesio y fierro) y todas las partículas sólidas del aceite y dándole así mayor estabilidad a la oxidación lipídica, haciendo más eficiente su refinación alcalina y blanqueo (List y Col., 1978). Esto puede conseguirse en dos etapas:

- 1ª. Eliminando los fosfolípidos hidratables al agregar agua al aceite.
- 2ª. Eliminando los fosfolípidos no hidratables al agregar ácido al aceite.

El aceite desgomado con agua debe tener un contenido final de fósforo no mayor de 150 ppm mientras que el aceite desgomado con ácido el contenido final de fósforo debe ser menor de 50 ppm. (Erickson, 1995).



**Figura 4.** Procesamiento del Aceite de Soya.

## Neutralización

La operación de refinación puede realizarse por el método químico con sosa cáustica, la cual también es llamada neutralización o por el método físico el cual es una refinación por destilación con vapor. Esta etapa tiene como finalidad reducir al mínimo los fosfolípidos y los ácidos grasos libres por medio de una saponificación con una solución de NaOH (Erickson, 1995). Se eliminan también del aceite otras sustancias indeseables como: sustancias sólidas, ceras, pigmentos y esteroides. Por lo tanto, es importante seleccionar la más adecuada concentración de NaOH, el más estricto control en su dosificación proporcional, la mejor temperatura del aceite al momento de la adición, el tiempo de contacto necesario para la formación del cristal de jabón y la temperatura más idónea para la centrifugación o decantación (Erickson, 1995).

## Blanqueo

El proceso de blanqueo con tierras ácidas activadas, es el paso más importante del procesamiento de aceite de soya. Esto ha traído como resultado la confirmación de que el blanqueo afecta a los aceites más allá de la remoción de material colorante y que además este proceso es determinante en la estabilidad del aceite blanqueado (Villa, 1995, Ziller, 1996). La reducción del color del aceite de soya, ocurre durante todos los pasos de su procesamiento: desgomado, refinación con sosa cáustica, blanqueo, hidrogenación y desodorización. Sin embargo la operación de blanqueo es fundamental en el aceite de soya, debido a que además de la reducción de color son reducidos los tocoferoles, productos primarios y secundarios de oxidación, trazas de fosfolípidos (gomas), jabón y metales traza (calcio, magnesio y hierro) (Bravo, 1993; Mag, 1990). Actualmente se está teniendo cuidado con las temperaturas, que se utilizan así como en el tipo de tierras y el tiempo de contacto durante dicho proceso para tener la mayor eliminación de los compuestos coloridos que afectan la calidad de los aceites (Mag, 1990; Bockisch, 1998).

## **Desodorización**

El objetivo de la desodorización es obtener un aceite, sin olor, con apenas un ligero sabor a almendra, un color tenue (10A 1R), un contenido de AGL menor del 0.05% y una buena estabilidad oxidativa (Erickson, 1995). La desodorización consiste en inyectar vapor de agua al aceite que se encuentra a una presión absoluta baja (2-4 mm de Hg) y a una temperatura lo suficientemente alta (230-250°C) para eliminar por arrastre de vapor los ácidos grasos libres, hidrocarburos insaturados, aldehídos y cetonas, compuestos que si no son eliminados proporcionan al aceite olores y sabores desagradables (Zehnder, 1995). La práctica mas adecuada es destilar:

1. A la menor temperatura posible, así se obtiene un producto mas estable a la oxidación y con la menor formación de isómeros *trans*.
2. A la menor presión absoluta, se asegura la destilación a la menor temperatura posible y con la menor cantidad de vapor de arrastre.
3. Con vapor de arrastre seco, para evitar la aparición de olores y sabores desagradables en el aceite desodorizado (Villa. 1996).

Debido a que durante el proceso de desodorización el aceite se lleva a temperaturas alrededor de los 240°C, es de gran importancia que el aceite que entra a este proceso tenga un alto contenido de tocoferoles para que de esta manera la pérdida sea menor (<25%).

### **Aspectos Fundamentales del Proceso de Blanqueo**

Este es un proceso importante usado para la remoción de impurezas de grasas y aceites. Se realiza después de la etapa de neutralización y a esta la antecede la etapa de desgomado en el proceso de refinación de los aceites. Las etapas de desgomado y neutralización involucran procesos químicos en la eliminación de los compuestos indeseables, por el contrario en la etapa de desodorización se involucran procesos físicos. En la etapa de blanqueo se



involucran una combinación de ambos, por algunos autores consideran al blanqueo como parte fundamental en el proceso de refinación de los aceites (O'Brien, 2000).

Para entender el proceso de blanqueo se requiere conocer las propiedades de las tierras de blanqueo y de igual manera la gran diversidad de impurezas que se encuentran presentes en los aceites, con la finalidad de eliminarlas de una manera mas fácil y sencilla. En este proceso se utilizan tierras activadas, estas son silicatos de aluminio (bentonita, atapulgita, montmorillonita) las cuales contienen una cantidad relativamente alta de magnesio, calcio o fierro. En su estado natural las tierras de blanqueo no poseen la capacidad de blanquear o adsorber las sustancias coloridas (O'Brien, 2000; Mag, 1990; Bockisch, 1998).

La activación de estas tierras consiste en transformar los silicatos en sílica coloidal que posee un fuerte poder adsorbente. Esta transformación es realizada por medio de vías químicas, debido a la acción del ácido sulfúrico o clorhídrico. La temperatura a la cual se realiza esta activación oscila entre los 80-130°C. La calidad de la tierra depende de la cantidad de ácido empleado, del tiempo y de la temperatura de la reacción. Después de la reacción, las tierras son lavadas, para eliminar los restos de ácidos y las sales metálicas que se han formado por la acción del ácido; luego las tierras son secadas y molidas. La humedad óptima que deben tener estas tierras es de 10%. El tamaño del granulo de la tierra y consecuentemente la superficie especifica tiene una gran importancia (Bockisch, 1998).

El propósito de esta etapa es obtener un aceite estable a la oxidación al eliminar todos los productos de oxidación y los promotores de la oxidación. Los productos de la oxidación son los hidroperóxidos (determinados por el valor de peróxido) y los aldehídos y cetonas (determinados por el valor de p-anisidina). Los principales promotores de la oxidación son la clorofila, las trazas de

fosfolípidos y las partículas metálicas. La pérdida de aceite en este proceso está relacionada con la cantidad de arcilla clarificante utilizada. El aceite proveniente de este proceso debe estar libre de partículas de arcilla, tener una apariencia limpia y clara y un contenido de fósforo menor de 1.0 ppm, además debe tener un contenido de clorofila, valor de peróxido y jabones igual a cero. El contenido de hierro debe de ser inferior a 0.1 ppm y el cobre de 0.05 ppm (Villa, 1996).

### Teoría del Blanqueo

Las partículas coloridas que deben ser eliminadas durante el proceso de blanqueo se encuentran presentes en todos los aceites en forma coloidal. Cuando se adicionan las tierras de blanqueo al aceite, se presentan diferentes tipos de procesos físicos, por ejemplo: adsorción, pero también puede ser un proceso químico entre los diferentes compuestos coloridos y los centros activos de las tierras de blanqueo. En ambos casos el proceso de blanqueo es llevado a cabo en la superficie de las tierras de blanqueo. En algunos casos el proceso de blanqueo se realiza sin la transformación de los compuestos a eliminar como la clorofila y los carotenos, caso contrario al que ocurre con los peróxidos que son transformados a aldehídos y cetonas y que se eliminan en la etapa siguiente (desodorización).

Matemáticamente el proceso de Blanqueo sigue las isoterms de adsorción de Freundlich, la cual es una adecuación de la ecuación de Langmuir. Estas ecuaciones son válidas para temperatura constante y describen la dependencia de la cantidad adsorbida de una sustancia ( $k$ ) en relación a la cantidad residual ( $c$ ) en el solvente (en este caso en el aceite).

$$k/k_0 = \alpha (c/c_0)^b \quad (1)$$

En forma simplificada:

$$k_r = \alpha (c_r)^b \quad (2)$$

O lo que vendría a ser lo mismo:

$$\log k_r = \log \alpha + (\log b) (\log c_1) \quad (3)$$

Donde los índices 0 y 1 indican las cantidades relativas iniciales y finales, respectivamente,  $K_r$  es la relación de los componentes adsorbidos,  $c$ , es la cantidad de componentes no adsorbidos y  $b$ , son las constantes específicas del sistema. Si se incluye una cantidad de adsorbente  $m$  (agente blanqueador) entonces se obtiene como resultado lo siguiente:

$$k = (m)(\alpha) + (c^b) \quad (4)$$

O lo que vendría a ser igual a:

$$\log k - \log m = \log \alpha + (b) (\log c) \quad (5)$$

Al desarrollarse diferentes tipos de procesos de blanqueo con diferentes tipos de tierras,  $\alpha$  es una medida de la cantidad relativa de tierras que van a ser usadas para obtener un determinado resultado en el blanqueo. Manteniendo el producto de  $m$  y  $\alpha$  constantes, por ejemplo a un  $\alpha = 0.25$ , la cantidad de tierras de blanqueo debe de ser cuatro veces mas alta para un  $\alpha = 1.0$ . Se han realizado diferentes trabajos en donde se han desarrollado diferentes valores para  $\alpha$  y  $b$ , esto debido al equipo utilizado en el proceso, tipo de tierra utilizado y básicamente al tipo de aceite a blanquear (Bockisch, 1998).

### **Acción de las Tierras de Blanqueo**

La mejor propiedad conocida de las diferentes tierras de blanqueo es la adsorción de los diferentes cuerpos coloridos tales como los carotenos y la clorofila. Este tipo de adsorción es debida a las fuerzas de van der Waals la cual es conocida como una simple adsorción física. Cuando se involucran reacciones químicas se denomina quimioadsorción. Un criterio importante en la adsorción física que debe de ser tomado en cuenta es la habilidad del adsorbente a adsorber una cierta sustancia (O'Brien, 2000; Bockisch, 1998).

**Tabla 3.** Diferentes Compuestos a Eliminar en la Etapa de Blanqueo.

Característica	Influencia en:
Acida	Fosfatidos, clorofila, ácidos grasos libres, jabón.
Catalítica	Dienos conjugados, carotenos, cuerpos coloridos, peróxidos, cetonas, aldehídos, ácidos grasos trans, ácidos grasos libres, dimeros, polímeros, hidrocarbonos.
Intercambiadora de iones	Fosfatidos, clorofila, ácidos grasos libres, jabón, metales traza.
Adsorción	Fosfatidos, clorofila, carotenos, ácidos fosfórico, dimeros de ácidos grasos libres, polímeros, hidrocarbonos.

Fuente: O'Brien, 2000.

(Totox). Una actividad catalítica alta es igualada con un bajo valor de peróxidos después del blanqueo. Valores altos en los productos secundarios de la oxidación tales como los aldehídos y cetonas vienen a ser el producto de la descomposición de los hidroperóxidos. De la misma manera puede haber la formación de ácidos grasos conjugados los cuales son muy susceptibles a sufrir oxidación, no así los no conjugados, por lo cual se recomienda llevar a cabo el proceso de blanqueo bajo la utilización de vacío o usando nitrógeno y de igual forma el almacenamiento del aceite debe ser mediante atmósferas de nitrógeno en los envases.

### 3. Acción iónica: eliminación de iones metálicos.

Durante el proceso de la activación ácida de la montmorillonita, la capacidad intercambiadora de iones (CEC) decrece. Una bentonita de alta calidad tiene un CEC de 80-100 mVal/100 g. Existen tierras de blanqueo activadas que puede tener valores mas bajos de activación y todo depende de su utilización en la eliminación de los diferentes tipos de impurezas. De la misma manera durante la activación de las tierras de blanqueo se incrementa la porosidad, lo cual incrementa la velocidad de adsorción. Los iones metálicos que deben ser reducidos del aceite son:

- a. Hierro, cobre, zinc, arsénico: son poderosos catalizadores de oxidación.
- b. Calcio y magnesio: fosfolípidos no hidratables.

La cantidad de tierra es importante en el proceso de blanqueo por lo cual se recomienda utilizar cantidades definidas para cada aceite. La **Tabla 4** muestra el contenido de tierras de blanqueo que se destina para cada tipo de aceite procesado (Mag, 1990).

**Tabla 4.** Cantidad de Tierras de Blanqueo Recomendadas para Diferentes Tipos de Aceites.

Aceites	Cantidad de Tierras (%)
Soya	0.2-0.4
Girasol	0.2-0.3
Germen de Maíz	1.0-1.5
Canola	0.5-0.8
Nuez	0.4-0.8
Algodón	1.0-2.0
Orujo de Oliva	2.0-4.0
Oliva <sup>1</sup>	1.0-2.0
Salvado de arroz	3.0-5.0
Palma <sup>1</sup>	0.7-1.5
Palmiste <sup>1</sup>	0.5-1.0
Coco	1.5-2.5

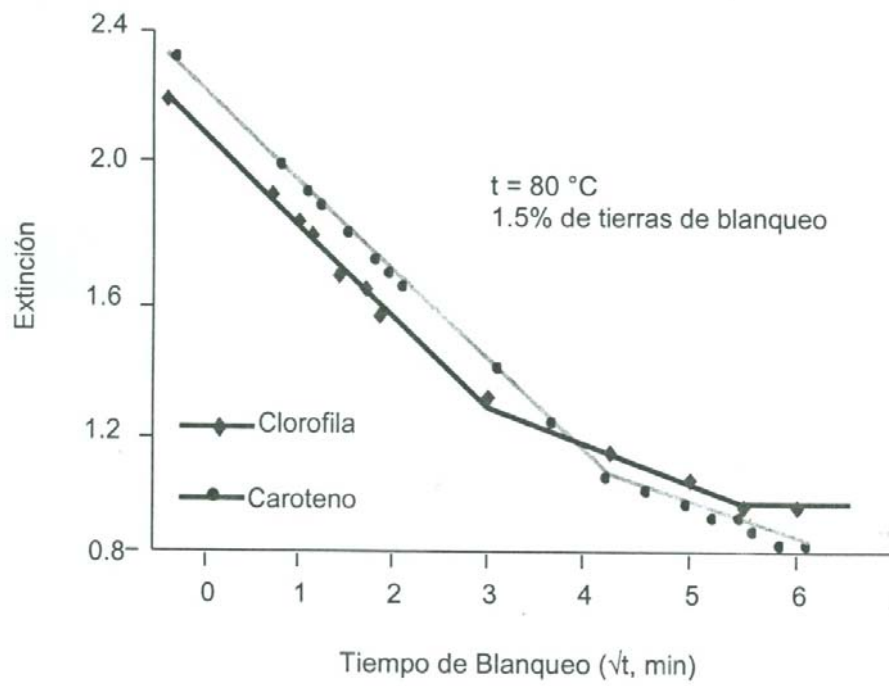
<sup>1</sup> En refinación física.  
Fuente: Villa, 1996.

## Factores que Afectan el Proceso de Blanqueo

En la etapa de blanqueo del proceso de refinación de los aceites existen diferentes factores que son de gran importancia y que deben ser manejados con un estricto control y son: el tiempo de contacto, temperatura de blanqueo, cantidad de tierras, vacío y la humedad.

**Tiempo.** El tiempo necesario para la remoción máxima del color depende de la calidad de las tierras de blanqueo y de la temperatura de blanqueo. Se ha encontrado que una decoloración óptima se obtiene después de los 35 minutos, utilizando para ello una temperatura de 105 °C y el tiempo óptimo de blanqueo fue decreciendo cada 5 minutos cuando la temperatura se incrementa a 120 °C. La remoción del color se incrementa con incrementos en la temperatura o en el tiempo, sin embargo, tiempos prolongados de contacto de las tierras de blanqueo con el aceite y altas temperaturas, puede causar reversión del color. El tiempo de contacto óptimo para muchos aceites se encuentra en el rango de 20-30 minutos a una temperatura de 90-100 °C. Se recomiendan tiempos cortos cuando se utilizan temperaturas altas. Grandes tiempos de exposición del aceite con las tierras de blanqueo y altas temperaturas disminuyen la estabilidad oxidativa o la calidad de grasas y aceites terminados (O'Brien, 2000; Bockisch, 1998).

Las gráficas que explican el comportamiento del proceso de blanqueo respecto al tiempo muestran dos diferentes comportamientos. De acuerdo a recientes teorías, en la primera fase, la estabilidad del coloide es bloqueada cuando las tierras de blanqueo son añadidas y las sustancias estabilizadas del coloide son adsorbidas. En la segunda fase, las partículas coloidales forman agregados, donde estas también son adsorbidas; tales partículas pueden ser vistas con la ayuda de un microscopio (**Figura 5**).

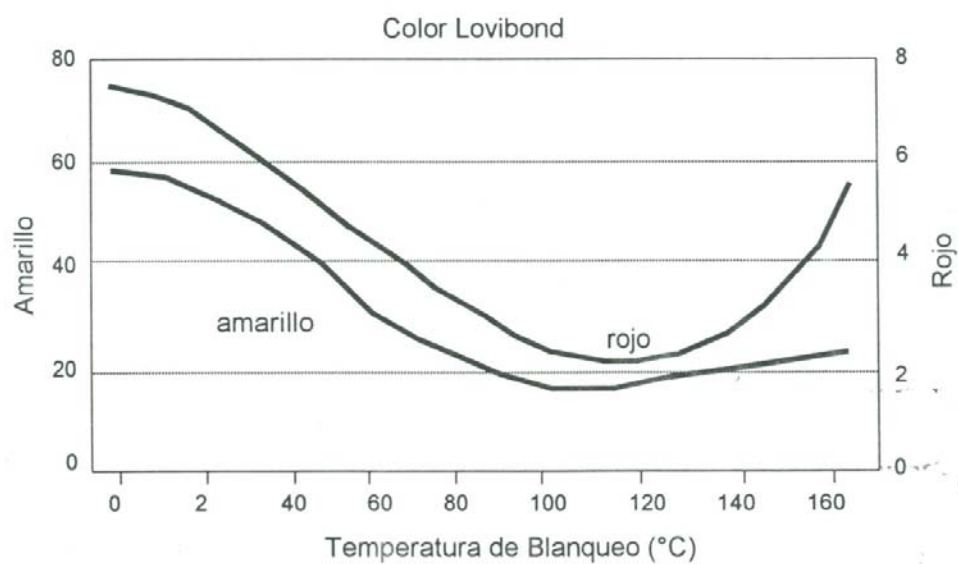


**Figura 5.** Efecto del Tiempo de Blanqueo en la Extinción de Pigmentos.  
Fuente: Bockish, M. 1998.



**Cantidad y Calidad de las Tierras de Blanqueo.** De acuerdo a la ecuación antes descrita de Freundlich, la remoción de las impurezas se incrementa con la cantidad de adsorbente. Sin embargo, es difícil de calcular la mínima cantidad de tierras de blanqueo necesarias para un eficiente proceso. Esto se debe a que los diferentes tipos de aceites contienen impurezas de diferentes fuentes y cantidades que pueden interactuar de manera distinta con las tierras de blanqueo. Las impurezas encontradas pueden ser jabón o fosfolípidos si el aceite es procesado por refinación alcalina o fosfolípidos y otras gomas en el caso de refinación física. El jabón tiene la particularidad de bloquear los sitios activos de las tierras de blanqueo y los fosfolípidos bloquean el efecto de acción en la superficie de las tierras de blanqueo. Los jabones y las gomas en algunas ocasiones forman partículas grandes con las tierras de blanqueo, las cuales tienen como resultado una caída de la presión durante la filtración. Por tal motivo la presencia de estas impurezas requiere de un alto consumo de tierras de blanqueo o tierras de blanqueo con un mayor grado de activación para poder remover los cuerpos coloridos adecuadamente y poder descomponer los hidroperóxidos. El aceite después del proceso de blanqueo debe de ser de color claro. Esto se logra por efecto de la presión utilizada en el filtrado cuando la concentración de tierras es la adecuada para no dejar pasar ninguna impureza en el filtro. Además altas concentraciones de tierras de blanqueo fortalecen la purificación de las grasas y aceites (O'Brien, 2000; Mag, 1990; Bockisch, 1998).

**Temperatura.** Las temperaturas de blanqueo usualmente se encuentran dentro del intervalo de 90-110 °C, mientras que aceites difíciles de blanquear requieren temperaturas más altas de 120 °C, sin embargo, la reducción del color debe ser esperada a la temperatura más baja posible. El uso de temperaturas altas disminuye la viscosidad del aceite favoreciéndose las reacciones que van a reducir la calidad y la vida media del mismo (reacciones de oxidación y reacciones de fijación de color) (**Figura 6**). Se han visto diferentes tipos de reacciones en la superficie de las tierras de blanqueo las cuales tienen como finalidad la reducción del color y lograr el equilibrio para su disminución, es



**Figura 6.** Reducción del Color en el Aceite Blanqueado con Respecto a la Temperatura.

Fuente: Bockish, M. 1998.

por ello que según la teoría de van't Hoff, existe una doble velocidad de reacción con incrementos de temperatura de 10 °C. Cabe mencionar además que la temperatura depende en forma directa del tipo de aceite (composición) de los productos y sus impurezas (Bockisch, 1998).

**Presión.** En tiempos pasados el blanqueo de aceites, era realizado bajo condiciones atmosféricas. Sin embargo el efecto determinante del oxígeno en la calidad o estabilidad oxidativa se encuentra bien establecida a partir de 1929 (Eckart, O. 1929). Eicke, (1984), reporto el efecto de la presión (atmosférica y bajo vacío) sobre el valor de peróxidos y el color, detectándose un incremento de ambos parámetros cuando el blanqueo se llevaba a cabo a presión atmosférica (presencia de oxígeno), mientras que este efecto no se presento con el uso de vacío (**Tabla 5**).

Esto indica que las condiciones atmosféricas de blanqueo son las adecuadas para que se lleve a cabo la oxidación (presencia de oxígeno y altas temperaturas). Obviamente el proceso de blanqueo ofrece una mejor protección del aceite a la oxidación cuando es procesado bajo vacío, es decir todas las grasas y aceites deben de ser procesados protegiéndolos del oxígeno para obtener un aceite sin sabor, estabilidad oxidativa y con mayor vida de anaquel (O'Brien, 2000).

**Humedad.** La cantidad de humedad presente en el aceite a ser blanqueado debe de ser <0.2% con el fin de cuidar que el aceite no puede sufrir hidrólisis de sus ácidos grasos, la cual es catalizada por las tierras de blanqueo. Sin embargo, una cantidad de humedad optima (5-10%) debe de estar presente en las tierras para asegurar su buena eficiencia. Tierras de blanqueo no secadas pueden contener mas del 10% de humedad.

**Tabla 5.** Blanqueo de Sebo: a Presión Atmosférica y Utilizando Vacío <sup>1</sup>

Temperatura (°C)	Presión (mm de Hg)	Color FAC <sup>2</sup>	PV <sup>2</sup>
90	Atm	175	16
90	50	25	2
110	Atm	225	14
110	50	15	2
130	Atm	225	24
130	50	75	1

<sup>1</sup> Condiciones: 5% de Tonsil Estándar 310 FF; tiempo 30 min.

<sup>2</sup> Abreviaciones: FAC = Fats Analysis Committee of AOCS; PV = Valor de Peróxido.  
Fuente: O'Brien, 2000.

### **Pérdida de Tocoferoles durante el Blanqueo de Aceites Vegetales**

Frandsen (1996), reportó que el tocoferol se encuentra en mayor concentración en el aceite crudo de soya (1,200 ppm) en comparación con aceite de maíz (900 ppm) y algodón (790 ppm). Sin embargo, Fourier y Basson (1989) y Chu y Lin (1993), encontraron que la concentración de tocoferol en el aceite crudo se ve fuertemente disminuida cuando el aceite está húmedo o se almacena por largos periodos de tiempo.

Ferrari y Col. (1996), reportaron que los niveles de tocoferol en los aceites se reducen durante su procesamiento y almacenamiento. La reducción se da durante el desgomado, neutralización, blanqueo y principalmente la desodorización, debido a que los tocoferoles son volátiles a las condiciones de desodorización. La reducción de los niveles de tocoferol se ven claramente establecidos en la **Tabla 6**, en donde se muestran los porcentajes de retención en las diferentes etapas del procesamiento. En el estudio aquí propuesto se recomienda mantener la protección natural de los aceites a través de la optimización de las condiciones del proceso de blanqueo para poder estar a un nivel de competencia con los diferentes aceites que se producen en otros países.

### **Análisis Físico y Químico de los Aceites**

Con la finalidad de establecer la calidad de los aceites y grasas se utilizan parámetros físicos y químicos. Este tipo de parámetros son evaluados por una serie de metodologías que son específicas para los aceites y grasas, para lo cual existe una recopilación de técnicas en "Official Methods and Recommended Practices" editados por la American Oil Chemists' Society (1997, AOCS). Los resultados obtenidos en este tipo de análisis proporcionan una serie de información de los aceites y grasas, su origen, su naturaleza y composición, además del tipo de procesamiento y almacenamiento que pudo ser proporcionado a nivel industrial y comercial. Esta información proveniente de los diferentes análisis puede ser un punto importante en la aceptación o rechazo de

**Tabla 6.** Efectos del Procesamiento en el Contenido de Tocoferol en Aceite de Soya.

Etapa de Procesamiento	Otros Países <sup>1</sup>		México <sup>2</sup>	
	mg/100g	% de retención	mg/100g	% de retención
Crudo	167	100	114	100
Desgomado	158	94.6	107	93.8
Neutralización	155	92.8	100	87.7
Blanqueo	147	88.0	93	81.5
Desodorización	114	68.3	60	52.6

Fuente <sup>1</sup>: Young, 1989

<sup>2</sup>: Medina y Col, 2000.

la materia prima a ser procesada o el producto terminado, además de definir su calidad la cual repercutirá directamente en el precio del producto o en los posibles cambios durante el proceso y almacenamiento (Lusas y Hernández, 1983). A continuación se enumeran algunos de los métodos contenidos en este manual, que tienen como finalidad evaluar la calidad de los aceites y los cuales serán utilizados en este trabajo:

### **Acidos Grasos Libres (AGL)**

Esta determinación es definida como el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar los ácidos grasos libres de un gramo de muestra de un aceite o grasa y es expresado como el porcentaje de ácido oleico; este es un parámetro que indica el grado de descomposición de los triacilgliceridos que se encuentran presentes en el aceite.

La realización de este análisis tiene como finalidad determinar la acción efectiva de la saponificación de los ácidos grasos en la etapa de neutralización química del proceso de refinación de los aceites. Además esta determinación tiene un fin secundario que es determinar las posibles perdidas en la refinación debida a este proceso. El valor máximo recomendado para el aceite de soya después de la etapa de neutralización debe de ser menor del 0.08% (expresado como ácido oleico) (Erickson, 1995).

### **Valor de Peróxidos (VP)**

Este método tiene como finalidad determinar los peróxidos por medio de una simple titulación. En esta determinación se cuantifican los productos primarios de la reacción de oxidación de las grasas y aceites. El resultado se expresa como los miliequivalentes de peróxidos encontrados en un kilogramo de aceite y que son oxidados por el yoduro de potasio.

Este análisis tiene la finalidad de evaluar la calidad de los aceites en cada una de las etapas del procesamiento de los aceites y a su vez durante su almacenamiento. Según la Norma Oficial Mexicana (NOM, 1985) es recomendable para un aceite de soya desodorizado un valor de 2.0 mEq/Kg. Sin embargo, Villa (2001), recomienda que después de la etapa de blanqueo el valor de peróxidos debe de ser de cero y después de la etapa de desodorización obtener valores menores de 1 mEq/Kg. Esto tendrá como consecuencia la obtención de un aceite con mejor estabilidad oxidativa al final del proceso de refinación.

Los compuestos que son analizados por esta metodología (peróxidos) presentan una variación durante la reacción de oxidación. En la primera etapa de esta se tiene un pico máximo al graficarse contra el tiempo y posteriormente empiezan a decaer, esto se debe a que estos compuestos en la segunda etapa de la reacción de oxidación se empiezan a descomponer en nuevos compuestos que no pueden ser analizados por este método y estos compuestos son aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos, para lo cual existe otra metodología (Gray, 1978).

#### **Valor de *p*-anisidina (VA)**

Esta determinación tiene como finalidad la cuantificación de los productos secundarios de la reacción de oxidación de las grasas y aceites, los cuales son los responsables de proporcionar los malos olores y sabores en los aceites. Este método es una medición colorimétrica a 350 nm. La cual se basa en la reacción colorimétrica entre el reactivo *p*-anisidina y los compuestos secundarios de la oxidación (aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos). Los aceites desodorizados deberán tener valores de *p*-anisidina igual o menores a 2 mmol/kg para considerarse con buena estabilidad oxidativa (Lusas y Hernández, 1983).



El uso del valor de peróxidos (VP) y el valor de p-anisidina (VA) proporciona una información completa de la reacción de oxidación de los aceites. Con estos dos valores se puede predecir la estabilidad oxidativa y es calculado a través del TOTOX = VA + 2VP. Para obtener un aceite nuevo con estabilidad oxidativa se recomienda que el valor del TOTOX no exceda de 4.

## Color

**Lovibond.** La determinación de color en la industria aceitera se realiza en un colorímetro el cual es conocido como tintómetro (Tintometer Lovibond). Este método se basa en la comparación del color de los aceites haciendo sombra contra tres juegos de vidrios coloridos primarios: rojo, amarillo y azul (AOCS, Cc 13e-92). El equipo antes mencionado tiene la versatilidad no solo de establecer los valores de color del aceite, si no que además se pueden obtener los valores de otros constituyentes en el aceite como es el caso de la clorofila A y B que son de gran importancia a nivel industrial como un parámetro de calidad en la etapa de blanqueo durante el proceso de refinación de aceites. El color recomendado por la Norma Oficial Mexicana (NOM, 1985) para un aceite desodorizado es de 20 amarillo y 3 de rojo.

**Espectrofotométrico.** Una prueba rápida y segura para la determinación del color a nivel laboratorio es el método espectrofotométrico, el cual se basa en la determinación del color midiendo los valores de absorbancias a diferentes longitudes de onda (460, 520, 550 y 670 nm) AOCS Cc 13c-50.

Los valores de color espectrofotométrico son equivalentes a los valores de color rojo en los diferentes aceites, es decir:

$$\text{Color} = 1.29\text{Abs}_{460} + 69.7\text{Abs}_{520} + 41.2\text{Abs}_{550} - 56.4\text{Abs}_{670} \quad (6)$$

Donde Abs: es la absorbancia medida a esa longitud de onda.

## **Jabón**

Esta determinación tiene como finalidad la cuantificación del jabón proveniente de la etapa de neutralización. Consiste principalmente en lavar el aceite con agua para posteriormente eliminar el jabón por filtración. Esta determinación se basa en la cuantificación de la alcalinidad del aceite tomando como base al oleato de sodio. Esta determinación es de gran importancia antes de que el aceite entre a la etapa de blanqueo debido a que el jabón tiene en su estructura iones metálicos que van a inactivar los sitios activos de las tierras ácidas de blanqueo y por lo consiguiente no podrán desarrollar su función. Se menciona que el contenido de jabón en el aceite neutralizado debe ser menor de 30 ppm y a la salida del blanqueo debe contener un valor menor de 1 ppm (Villa, 2001).

## **Dienos Conjugados**

En la estructura de los ácidos grasos poliinsaturados no es común encontrar a los dienos conjugados. Por lo tanto, estos son el resultados de una modificación estructural de los ácidos grasos poliinsaturados durante la autoxidación o durante la hidrogenación parcial de los aceites vegetales (Banni y Martin, 1998). Para llevar a cabo esta determinación se realiza mediante el método espectrofotométrico. Los aceites que contienen ácidos grasos poliinsaturados y a su vez dienos conjugados tiene la característica de absorber en el ultravioleta, dentro de una región comprendida entre los 230-235 nm, con un máximo a los 233 nm. El aumento de los dienos conjugados se debe al incremento en el consumo del oxígeno utilizado en la oxidación de los aceites debido a la formación de los hidroperóxidos en las etapas iniciales de la misma, por lo cual resulta de suma importancia esta determinación ya que indica el avance del inicio de la oxidación (White, 1994).

## Elementos Traza

**Fósforo.** En el procesamiento de los aceites vegetales existe una etapa que es conocida con el nombre de desgomado y tiene como finalidad eliminar todas las gomas hidratables y no hidratables, es por ello que la cuantificación del fósforo es importante ya que este se encuentra formando parte de las gomas hidratables y es conocida comúnmente como "lecitina". Un aceite que se ha desgomado adecuadamente debe contener un valor menor de 1 ppm de fósforo.

La cuantificación del fósforo se realiza en base al método AOCS, Ca 12-55, el cual consiste en una digestión del aceite en presencia de óxido de zinc, con el fin de que el fósforo que se encuentra en forma de metal y pirofosfato, mediante la digestión se transforme en ortofosfato, el cual al reaccionar con molibdato, pasa a fosfomolibdato de amonio que al contacto con un agente reductor (sulfato de hidrazina o ferroso) forma un compuesto colorido (azul de molibdeno) el cual tiene una absorbancia máxima a 660 nm.

**Calcio, Magnesio y Hierro.** Estos tres elementos se encuentran en el aceite de soya formando sales con "fosfolípidos". Estas sales tienen la característica de ser más liposolubles que los fosfolípidos normales (gomas no hidratables) teniendo un efecto inverso en la estabilidad de los aceites, es decir tiene la característica de ser prooxidantes (hierro > calcio > magnesio) (Erickson, 1995). Después de que un aceite es procesado en forma adecuada este debe tener niveles de calcio y magnesio inferiores a 1 ppm y en el contenido de hierro cantidades menores a 0.1 ppm (Villa, 2001).

**Cobre.** Este metal no debe de ser encontrado normalmente en los aceites vegetales, sin embargo, es recomendable que continuamente se este monitoreando debido a que posee la característica de ser un prooxidante muy potente (Coppin y Pike, 2001), este se puede encontrar en el aceite por contaminación durante alguna de las etapas del proceso o en los tanques de

almacenamiento. Los valores de cobre en los aceites debe de ser menores a 0.05 ppm (Villa, 2001). El análisis de este metal se puede realizar por la misma metodología utilizada para hierro, calcio y magnesio (espectroscopia de absorción atómica o por ICP) (Perkin Elmer, 2000).

La metodología mas utilizada para la cuantificación de estos elementos es mediante la espectroscopia de absorción atómica y mas recientemente por medio de espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado por inducción (ICP), esta metodología tiene como finalidad la detección de elementos traza en aceites comestibles que contengan niveles menores de 1 ppm (Perkin Elmer, 2000).

#### **Evaluación de Calidad de Aceite de Soya Producido en México**

A partir de Febrero de 1993, dentro del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), se lleva a cabo un Programa de Colaboración Técnica y Científica con la Asociación Americana de Soya, teniendo como objetivo la realización de cursos de capacitación para al Industria Aceitera Nacional. A partir de 1995, se evalúa la calidad de los aceites de soya producido en México y Centroamérica.

Después de evaluar la calidad de los aceites producidos por estas compañías, durante tres años, se observó una alta variabilidad en su calidad. No existe un control estricto de la calidad del aceite crudo de soya que procesan, debido a que en México la lecitina de soya no tiene un interés comercial. Los industriales mexicanos eliminan las gomas durante la neutralización, presentándose, un aumento de las pérdidas por refinación. Esto es debido a que los precipitados formados en los tanques de almacenamiento o pipas de transporte dificulta el filtrado del aceite. Por otro lado, estos aceites presentan valores altos de Ca, Mg y Fe. Los resultados de la evaluación mostraron que el 68% de los aceites analizados presentaron valores de peróxidos menor a 0.6

meEq/kg. Con respecto a su estabilidad oxidativa se encontró que el 70% de los aceites analizados presentan una estabilidad similar a los aceites procesados en E.U. Sin embargo, los aceites mexicanos, a diferencia de los aceites patrón, utilizan antioxidantes sintéticos (TBHQ) para mejorar su estabilidad oxidativa (Medina y Col. 1998).

En un estudio posterior (Medina, 2000), donde se analizó el contenido de tocoferoles en aceites de soya provenientes del 72% del total de las refinerías mexicanas, se encontró que todas las muestras presentaron pérdidas de tocoferoles mayores de 30%, después de la desodorización. Además se determinó en cuál de las operaciones unitarias de la refinación del aceite de soya se presenta la mayor pérdida de tocoferoles, encontrándose que tanto en la refinación química como física de aceite de soya el contenido de tocoferoles se reduce principalmente durante el blanqueo (13% de pérdida) y la desodorización (48% de pérdida)(Medina y Col. 2000).

Ante esta situación la industria aceitera Mexicana se ve en la necesidad de optimizar el proceso de refinación para reducir la pérdida de tocoferoles, esto le permitirá obtener un aceite con estabilidad oxidativa similar a la de los aceites de Estados Unidos pero sin el uso de antioxidantes sintéticos.