



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA

**PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN
Y REFINACIÓN DEL ACEITE DE SOYA
COMO PRODUCTO TERMINADO**

MONOGRAFÍA

Que para obtener el título de:

Licenciado en Química

PRESENTA:

Ángel Mario Almaraz Sánchez

Asesor: Dr. Javier Añorve Morgia

AGRADECIMIENTOS:

A Dios:

Por haberme brindado la fuerza, la sabiduría y el empuje cuando muchas veces sentía desfallecer, gracias porque nunca permitiste que el cansancio y los problemas fueran más fuertes que el coraje y el deseo de llegar a mi meta.

A mi Mama:

Por haberme educado y soportar mis errores. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar este sabio don de la responsabilidad. Tus ayudas fueron fundamentales para la culminación de esta monografía. ¡Gracias por darme la vida!. ¡Te quiero mucho Mama!

A mi papa:

Han pasado muchos años desde que nací, desde ese momento e incluso antes que eso, ya estabas buscando maneras de ofrecerme lo mejor. Has trabajado duro, y sin importar si llegaste cansado de tu trabajo, siempre tenias una sonrisa que ofrecer a tu familia. Las ayudas que me has brindado han formado bases de gran importancia, ahora soy consciente de eso..... Gracias papa.

A mis hermanos:

Porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi Tía Silvia:

Por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienes en mi.

A mi esposa:

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más difíciles. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Te lo agradezco muchísimo, amor.

A mis hijas:

Su afecto y su cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ustedes. Aún a su corta edad, me han enseñado y me siguen enseñando muchas cosas de esta vida..

Les agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Fueron mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de monografía, gracias mis hermosas bebés.

A la Lic. Ma. Lourdes:

Por haberme brindado su apoyo incondicional.

A mi asesor:

Con admiración y respeto por sus consejos, apoyo y asesoramiento que me brindo incondicionalmente en este proyecto.

A los miembros del Jurado:

Por sus valiosos aportes y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A la UAEH:

Por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de titularme y cumplir con mis objetivos y metas.

INDICE

CONTENIDO

	Página
Índice de Figuras	I
Índice de Gráficas	III
Índice de Tablas	III
Objetivo	1
Introducción	2
Antecedentes	3

CAPITULO 1. GENERALIDADES SOBRE LA SOYA

	Página
1.1 Descripción y Clasificación Botánica	5
1.2 Producción internacional y nacional de la soya	7
1.2.1 Producción Internacional	7
1.2.2 Producción Nacional	8
1.3 Composición de la semilla de soya	10
1.3.1 Proteínas	11
1.3.2 Lípidos	11
1.3.3 Vitaminas y minerales	11
1.3.4 Carbohidratos	12
1.3.5 Constituyentes Antinutricionales-Anticancerígenos	12
1.4 Usos y beneficios de la soya	12
1.4.1 Derivados de la soya	12
1.4.1.1 Usos y Beneficios del aceite de soya	13
1.4.1.2 Composición del aceite de soya	14

CAPITULO 2. GENERALIDADES SOBRE ACEITES VEGETALES

	Página
2.1 Composición de Aceites Vegetales	17
2.2 Fuentes y tipos de Aceites Vegetales comestibles	18
2.2.1 Aceite de Algodón	18
2.2.1.1 Principales aplicaciones	18
2.2.2 Aceite de Aguacate	18
2.2.2.1 Principales aplicaciones	19
2.2.3 Aceite de Cacahuete	19
2.2.3.1 Principales aplicaciones	19
2.2.4 Aceite de Canola	19
2.2.4.1 Principales aplicaciones	19

2.2.5 Aceite de Cártamo	19
2.2.5.1 Principales aplicaciones	20
2.2.6 Aceite de Cártamo Alto Oleico	20
2.2.6.1 Principales aplicaciones	20
2.2.7 Aceite de Coco	20
2.2.7.1 Principales aplicaciones	20
2.2.8 Aceite de Girasol	20
2.2.8.1 Principales aplicaciones	20
2.2.9 Aceite de Maíz	21
2.2.9.1 Principales aplicaciones	21
2.2.10 Aceite de Oliva	21
2.2.10.1 Principales aplicaciones	21
2.2.11 Aceite de Palma	21
2.2.11.1 Principales aplicaciones	21
2.2.12 Aceite de Soya	22
2.2.12.1 Principales aplicaciones	22

CAPITULO 3. MÉTODOS GENERALES DE EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE ACEITE DE SOYA

	Página
3.1 Proceso de Extracción de Aceite de Soya	24
3.1.1 Preparación de la Semilla	25
3.1.1.1 Limpieza	25
3.1.1.2 Secado	26
3.1.1.3 Quebrado	26
3.1.1.3.1 Primera Etapa del Quebrado (El Hullosenator)	27
3.1.1.3.2 Segunda Etapa del Quebrado	28
3.1.1.4 Laminado	28
3.1.1.5 Expandido	31
3.1.2 Extracción del Aceite de Soya	31
3.1.2.1 Extracción del Aceite de Soya por Extrusión	32
3.1.2.1.1 Prensado	33
3.1.2.2 Extracción por Solvente	34
3.1.2.2.1 Bondades del proceso de extracción por solvente	38
3.2 Refinación del Aceite de Soya	39
3.2.1 Refinación Física	40
3.2.1.1 Desgomado	40
3.2.1.2 Blanqueado	41
3.2.1.3 Desodorizado	42
3.2.2 Refinación Química	43
3.2.2.1 Desgomado	43
3.2.2.2 Neutralizado	44
3.2.2.3 Blanqueado	47
3.2.2.4 Desodorizado	48

CAPITULO 4. MÉTODO PROPUESTO PARA LA REFINACIÓN DEL ACEITE DE SOYA

	Página
4.1 Refinación Química	51
4.1.1 Desgomado y Neutralizado	51
4.1.2 Blanqueado	55
4.1.3 Desodorizado	58

	Página
5. Conclusiones	63
6. Recomendaciones	64
7. Glosario	65
8. Referencias	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Semilla de Soya	5
Figura 2. Estructura externa de la semilla de soya y esquema de un corte transversal de la semilla. Se observan los distintos tipos de tejidos de la semilla (composición interna)	6
Figura 3. Descripción estructura interna del grano de soya mediante microscopio. A) Corte de todas las capas de células que conforman la semilla. B) Cuerpos proteicos y C), D) Cuerpos lipídicos	7
Figura 4. A) Estructura interna de una semilla de soya previo a entrar a la sala de preparación y B) Estructura interna de la semilla ya procesada para ingresar a la sala de extracción de aceite	7
Figura 5. Diagrama de flujo del procesamiento del aceite de soya	24
Figura 6. Diagrama de flujo de preparación de la semilla de soya	25
Figura 7. Esquema de un Jet Dryer. Se puede observar la tolva de ingreso, el sistema de agitación, la cinta transportadora, el sistema de calentamiento de granos y la tolva de descarga. Fuente: imágenes otorgadas por técnico de planta de identidad reservada	27
Figura 8. Esquema de un molino quebrantador. Se observan los dos pares de rolos de acero, superior e inferior	28
Figura 9. Línea de proceso típico de una planta procesadora de soya (25TPD)	34
Figura 10. Esquema de extractor por percolación: A1) Válvula rotativa de carga de semilla, A2) Cuerpo del extractor, A4) Bomba de micela, A5) Filtro de micela, A6) Rotámetro (medidor de caudal para micela), A8) Rotámetro (medidor de caudal para solvente), A9) Filtro de solvente, B1) Transportador de harinas, B2) Desolventizador, B3) Ciclón separador de polvos, B4) Bomba de inyección de agua al ciclón	36
Figura 11. Esquema de extractor mixto percolación inmersión: A) Tolvin de carga, B) Cuerpo del extractor, C) Duchas del solvente, 1 al 6) Bombas de recirculación de solvente, D) Tornillo extractor de harinas, E) Agitador del extractor por inmersión, F) Tornillo de descarga de harinas, G) Elevador de cangilones para harina	37
Figura 12. Extractor de aceite por solvente transversal	38
Figura 13. Tecnología utilizada para la refinación química y física de aceites comestibles	40

Figura 14.	Diagrama de flujo proceso de refinación física de aceites comestibles	40
Figura 15.	Proceso del desgomado físico de aceites comestibles	41
Figura 16.	Proceso de blanqueo en la refinación física de aceites comestibles	42
Figura 17.	Diagrama de flujo en el proceso de refinación química de aceites comestibles	43
Figura 18.	Proceso de desgomado en refinación química de aceites comestibles	44
Figura 19.	Neutralizador – Blanqueador para el refinado de aceites comestibles	45
Figura 20.	Neutralización/Lavado/Blanqueo	46
Figura 21.	Etapa de blanqueo en el proceso de refinación química de aceites comestibles	48
Figura 22.	Etapa de desodorización en el proceso de refinación química de aceites comestibles	49
Figura 23.	Proceso de refinación del aceite de soya	53
Figura 24.	Proceso de refinación y blanqueo del aceite de soya	56
Figura 25.	Proceso de desodorización del aceite de soya	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1. Comportamiento del precio de la soya en el primer trimestre del año	9
Gráfica 2. <i>Comportamiento de la Siembra y Producción de Soya en Otoño-Invierno</i>	9
Gráfica 3. <i>Comportamiento de la Siembra y Producción de Soya en Primavera-Verano</i>	10

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Componentes de la semilla de soya	5
Tabla 2. Composición promedio de la semilla de soya	11
Tabla 3. Porcentaje de ácidos grasos en 100 g de aceite de soya	15
Tabla 4. Composición de aceites vegetales	18
Tabla 5. Medidas de la concentración de hidróxido de sodio en las soluciones a diferentes grados Baumé	47
Tabla 6. Parámetros para absorbentes como blanqueadores de aceites comestibles	47
Tabla 7. Medidas de la concentración de hidróxido de sodio en las soluciones a diferentes grados Baumé	52
Tabla 8. Parámetros de calidad en planta a la salida de la 1ª Centrifuga	54
Tabla 9. Parámetros de calidad en planta a la salida de la 2ª Centrifuga	54
Tabla 10. Parámetros de calidad en planta a la salida del Blanqueo	58
Tabla 11. Parámetros de calidad del aceite de soya RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado)	62

OBJETIVO

Extraer aceite comestible crudo mediante prensado de la semilla o frijol de soya y acondicionarlo mediante procesos de refinación, blanqueado, hidrogenación y desodorización para hacerlo apto para el consumo humano.

INTRODUCCIÓN

La soya se ha utilizado en Asia, desde hace aproximadamente 5,000 años y ha jugado desde entonces un papel crucial en la alimentación de los pueblos orientales como el chino y el japonés (Bressani, 1981).

No obstante, su reciente introducción en América, Estados Unidos se ha convertido en el principal productor de soya, en el año 2002 se produjeron 73 millones de toneladas, lo que representa el 40% de la producción mundial. Los países que más cultivan la soya en América Latina son Brasil y Argentina con una producción de 42 y 30 millones de toneladas, respectivamente, mientras que la producción en México, en ese mismo año, fue de 0.127 millones de toneladas.

En el año 2002, en México se cultivaron 76,000 hectáreas en el ciclo de primavera – verano distribuidas en los estados de: Tamaulipas (61%), Chiapas (15%), Sinaloa (10%), San Luis Potosí (8%) y Veracruz (4%), entre otros (2%).

En el año 2001, la demanda de soya en México fue de 4.6 millones de toneladas, sin embargo, la producción fue de sólo 0.121 millones de toneladas, importándose principalmente de Estados Unidos la cantidad restante (4.479 millones de toneladas).

Sin embargo, el 97% de la proteína de soya en el país se destina para consumo animal y sólo un 3% para consumo humano. Por lo tanto, uno de los recursos proteínicos más abundantes, de buena calidad y económicos se destina para la producción de proteína animal, la cual en la mayoría de los países latinoamericanos es escasa y cara y, por lo tanto, es consumida sólo por un pequeño segmento de la población.

La semilla se puede procesar para obtener directamente la materia prima para la elaboración de una gran variedad de productos alimenticios 100% de soya como son: leche, masa, queso, helado, yogurt, cacahuates, café, sopas y ensaladas, entre otros.

El proceso de extracción de aceite a partir de soya es el que mayor auge ha tenido en los últimos debido a que se obtiene un producto con un perfil de ácidos grasos saludables (alto contenido de ácidos grasos insaturados y presencia de los esenciales). Además que los subproductos obtenidos pueden utilizarse para alimentación animal como es el caso de la harina de soya. En el presente trabajo se resaltan las bondades del método de refinado aplicado por la empresa CARGILL, S. A. de C. V. al aceite de soya que como se describe es eficiente ya que permite obtener aceite con excelentes propiedades organolépticas, gran estabilidad química y altos rendimientos.

ANTECEDENTES

Los aceites vegetales crudos contienen impurezas indeseables que deben ser eliminadas en su mayoría durante las operaciones unitarias de la refinación. Estas operaciones permiten obtener un aceite apto para el consumo humano. El aumento de impurezas en el aceite se puede evitar con un manejo adecuado durante la extracción, refinación y desodorización.

Existen varios procesos para refinar a los aceites vegetales, dentro de los cuales está la refinación física y la química. En la primera se omite la etapa de neutralización. Los aceites que pueden ser sometidos a una refinación física son aquellos que presentan un bajo contenido de gomas o fosfolípidos (Bockish, 1998), y los aceites que pueden ser sometidos a una refinación química son aquellos que presentan un alto contenido de gomas o fosfolípidos. Los aceites obtenidos tanto de la refinación física como de la química presentan la calidad requerida para el consumo humano.

Los aceites de calidad alta son aquellos que poseen estabilidad oxidativa, color claro (Lovibond 10 Amarillo y 1 Rojo) y sabor a almendra suave. La importancia del proceso para producir un aceite con efectos biológicos benéficos radica en reducir la formación de isómeros trans y en dejar la mayor cantidad de tocoferoles y esteroides.

La presente monografía se estructura en cuatro capítulos. Se inicia con una descripción de las generalidades de la soya (capítulo 1) que es la materia prima de la que se partirá para la obtención del producto final, enseguida se hablan aspectos generales de los aceites vegetales (capítulo 2). Posteriormente se da un panorama general de los métodos que existen para extracción y refinación de aceites comestibles (capítulo 3) y se culmina particularizando en un método aplicado por la empresa CARGILL, S. A de C. V. para la extracción y refinación de aceite de soya (el aceite de soya es el producto obtenido, capítulo 4).

CAPÍTULO 1



GENERALIDADES SOBRE LA SOYA

1.1 DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

La soya, *Glycinemax*(Merr), es una planta leguminosa de la sub-familia de las *Papilionoidea* y del grupo de las Faseoleas. Es originaria de China, su utilización por parte del hombre se remonta probablemente al siglo XV. Sin embargo, sólo comenzó a cultivarse a nivel internacional durante el siglo XX, cuando la semilla fue introducida por primera vez en los EE.UU. para ser molida a nivel industrial. Posteriormente, se introdujo en Europa y en Sudamérica.

La soya es una legumbre (nombre asignado a las semillas de las leguminosas) de la familia de las Papilionáceas, donde aparecen también las judías y los guisantes. Es muy rica en nutriente, y de la que se obtienen varios productos alimenticios. Sus semillas son las más ricas en proteínas, grasas, vitaminas y minerales de todas las que se conocen.

Como cualquier otro cultivo leguminoso, la semilla de soya está esencialmente compuesta de una cubierta suave (cáscara) y un embrión. Su diámetro varía entre 5 y 10 mm y su peso (dependiendo de la variedad) entre 50 y 400 mg. La forma de la semilla es generalmente esférica color pardo-amarillento (Figura 1).

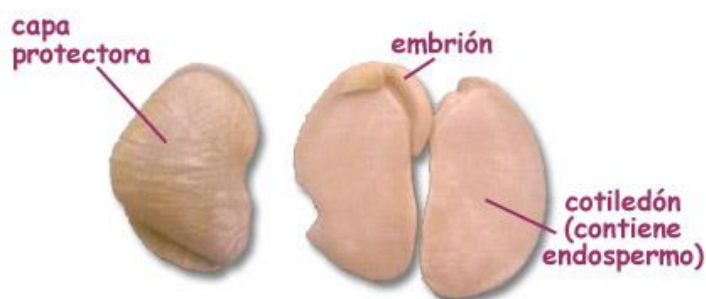


Figura 1. Semilla de Soya

En la Tabla 1 se muestra los porcentajes de los constituyentes químicos de los diferentes componentes del frijol o semilla de soya. Cabe resaltar que, el Cotiledón es el que mayor porcentaje de proteína, lípidos y cenizas presenta, en tanto que los carbohidratos son más abundantes en la cáscara.

Tabla 1. Componentes de la semilla de soya

Componente	Total (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
Semilla completa	100.0	40.3	21.0	4.9	33.9
Cotiledón	90.3	42.8	22.8	5.0	29.4
Cáscara	7.3	8.8	1.0	4.3	85.9
Germen	2.4	40.0	11.4	4.4	43.4

Por otra parte se puede observar (Figura 2, 3 y 4) que la estructura interna de la semilla de soya consiste de tres capas distintas:

- Una epidermis compuesta de células largas y compactas con forma de palizada que forman un lumen triangular. Esta epidermis está cubierta por una cutícula liviana.
- La hipodermis consiste de una capa simple de células de forma muy especial. Un parénquima basal formado por 6 u 8 capas de células no muy densas en contacto con el exterior, lo que permite intercambios gaseosos en los niveles del hilo y el micrópilo.
- Un endosperma separa la cubierta del embrión, este está formado por dos cotiledones semicirculares delimitados por una epidermis. Las células alargadas de los cotiledones se encuentran llenas de cuerpos proteicos rodeados por numerosos esferosomas de aceite.

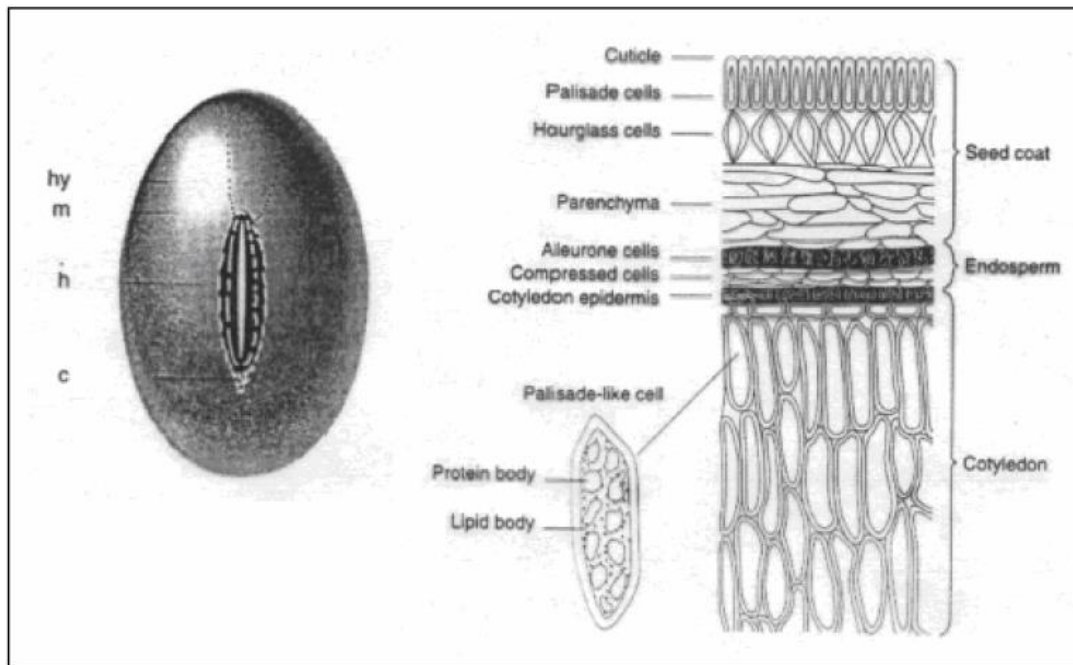


Figura 2. Estructura externa de la semilla de soya y esquema de un corte transversal de la semilla. Se observan los distintos tipos de tejidos de la semilla (composición interna)

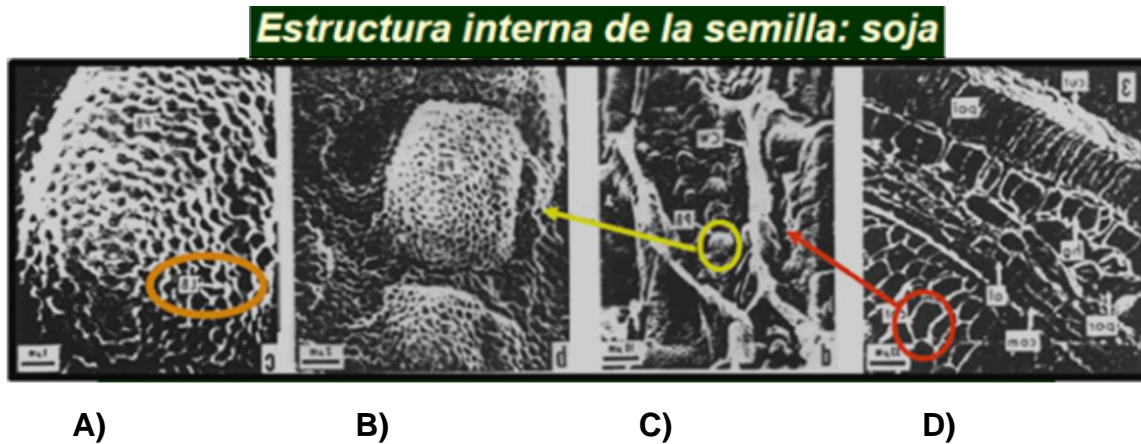


Figura 3. Descripción estructura interna del grano de soya mediante microscopio. A) Corte de todas las capas de células que conforman la semilla. B) Cuerpos proteicos y C), D) Cuerpos lipídicos

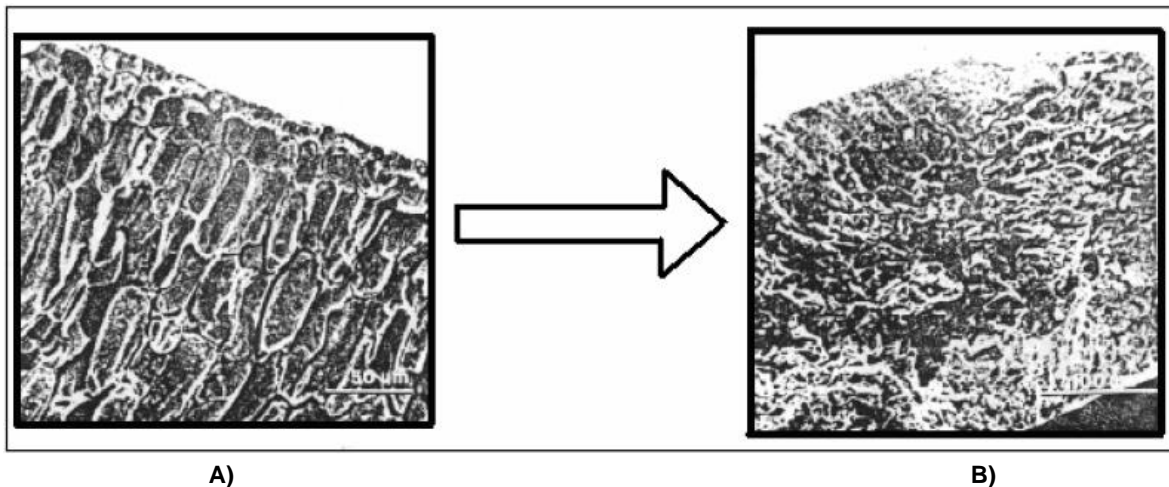


Figura 4. A) Estructura interna de una semilla de soya previo a entrar a la sala de preparación y B) Estructura interna de la semilla ya procesada para ingresar a la sala de extracción de aceite

Los cuerpos proteicos son esferas de diámetro 2-10 μm , que resisten la molienda moderada y pueden aislarse a partir de harina. Contienen la mayor proporción de proteínas del grano (proteínas de reserva) que se hidrolizan por proteasas durante la germinación y sirven de sustrato para el crecimiento del embrión.

1.2 PRODUCCIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL DE LA SOYA

1.2.1 Producción internacional

Los principales países productores de soya, de acuerdo al USDA (2013), son: Estados Unidos, en primer lugar, con una producción a finales de marzo de 89 millones de toneladas; Brasil en segundo lugar, con una producción de 88 millones

de toneladas, y Argentina en tercer lugar, con una producción de 54 millones de toneladas.

Para el año 2013, la estimación de la producción en los dos principales países (Estados Unidos y Brasil) fue incrementada desde enero hasta marzo. Cabe mencionar que para Brasil, en marzo se estimó una producción de 88.5 millones de toneladas, aunque esta fue menor en 1.5 millones con respecto a lo proyectado en febrero, 90 millones de toneladas, debido, según el USDA, a las cosechas tempranas en ese país.

Por otro lado la USDA (2013), reporta que los principales países importadores de soya son: China, con 69 millones de toneladas; Estados Unidos, 12.3 millones de toneladas, y México, con 3.65 millones de toneladas. Y los principales países exportadores son: Brasil con 45 millones de toneladas; Estados Unidos con 41.6 millones de toneladas, y Argentina con 8 millones de toneladas.

En el mes de marzo se redujeron los inventarios de soya, principalmente en Estados Unidos, Brasil y Paraguay. En ese contexto, la Unión Europea, Paraguay y Zambia, fueron los mayores exportadores en el primer trimestre.

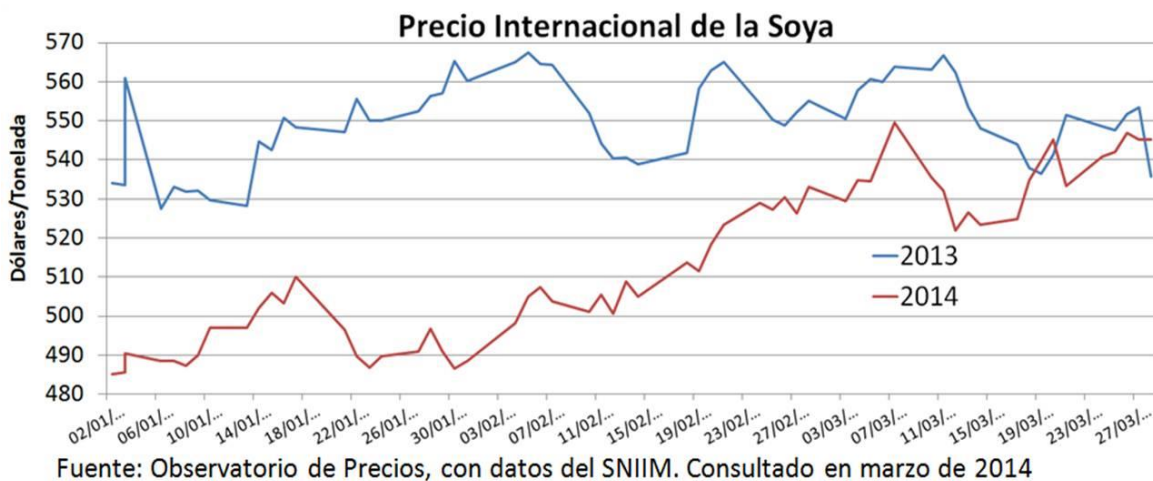
De acuerdo con los reportes del USDA, en el primer trimestre de 2014 no se registraron cambios en el balance de México, donde se mantienen constantes las estimaciones de una producción de 280 mil toneladas de soya y una importación de 3.65 millones de toneladas.

En cuanto al impacto en la economía, el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) de la Secretaría de Economía, reporta que, el precio de la soya en los mercados internacionales, principalmente en Estados Unidos, reportó una ligera recuperación a finales de marzo del 2013. La soya inició el año con un precio de \$485.15 dls/ton, lo que representó una caída de 9.2% con respecto a su precio registrado en el mismo período de 2013, cuando se vendió a \$534.17 dls/ton. No obstante, conforme transcurrió el primer trimestre del año, fue aumentando su precio, hasta alcanzar los niveles de 2013, llegando a venderse en la última quincena de marzo entre los \$540 y \$550 dls/ton como se muestra en la gráfica 1.

1.2.2 Producción Nacional

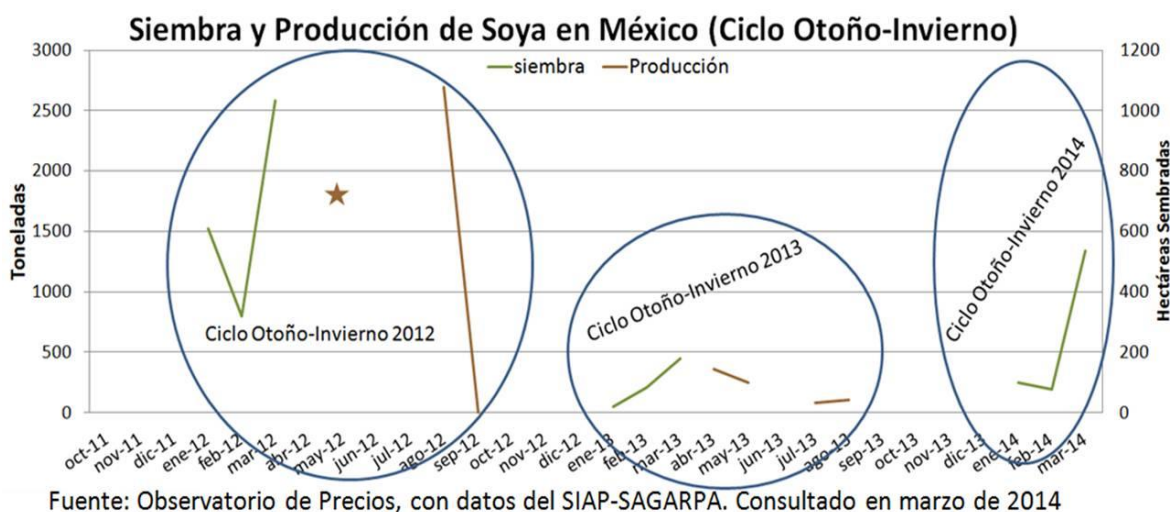
La siembra de soya en México se realiza en los meses de enero a abril y la producción alcanza su máximo en los meses de abril a agosto. Durante el ciclo otoño-invierno, la siembra y producción de soya en México es muy baja, ya que este cultivo requiere de un clima más cálido, como el del ciclo primavera-verano, obteniéndose en éste último la mayor producción.

Gráfica 1. Comportamiento del precio de la soya en el primer trimestre del año



Como se puede observar en la gráfica 2, durante 2013 la siembra y producción de soya fue menor a la realizada durante 2012. Para 2014 se ha programado una superficie de siembra superior a la de 2013, pero inferior a la de 2012.

Gráfica 2. Comportamiento de la Siembra y Producción de Soya en Otoño-Invierno



En lo que va del ciclo otoño-invierno 2014, de acuerdo a cifras reportadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA, se han sembrado 752 hectáreas de soya en Tamaulipas principalmente, seguido de Nuevo León, Chiapas y San Luis Potosí, lo que representa un aumento en la superficie de siembra del 56% comparado con la siembra en 2013, que fue de 482 hectáreas sembradas en el mismo ciclo de producción. No obstante, sigue siendo muy inferior, 62% menor a la observada en 2012, año en el cual se sembraron 1,970 hectáreas de soya.

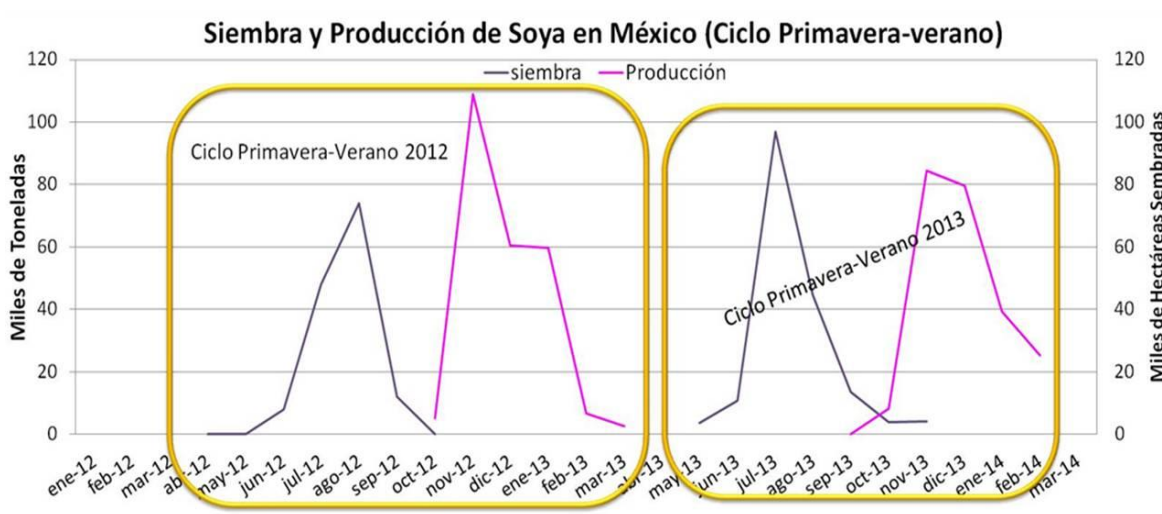
Durante el ciclo otoño-invierno 2013, se obtuvo una producción de 799 toneladas de soya, lo que representó una caída del 82% para este ciclo, comparadas con las 4,499 toneladas obtenidas en 2012.

Con respecto al ciclo primavera-verano, la siembra de soya en 2013 fue de 178.050 ha, lo que significó un aumento de 25% con respecto a la sembrada en el mismo ciclo de 2012, cuando se sembraron 142,170 hectáreas.

Pero a pesar del aumento en la siembra de soya su producción disminuyó pasando de 243,928 toneladas en 2012 a 236,967 toneladas en 2013, lo que representó una caída en la producción del 2.9%. Esto se debió a un incremento en la superficie siniestrada y una ligera disminución en los rendimientos promedios por hectárea, ya que en 2012 se obtuvieron rendimientos promedio de 1.7 ton/ha y en 2013 fueron de 1.5 ton/ha.

Para 2014 todavía no se dispone del programa de siembra de soya por parte de SAGARPA. Hay que tener en cuenta que en abril-mayo comienza la siembra del ciclo primavera-verano como se muestra en la gráfica 3.

Gráfica 3. Comportamiento de la Siembra y Producción de Soya en Primavera-Verano



Fuente: Observatorio de Precios, con datos del SIAP-SAGARPA. Consultado en marzo de 2014

1.3 COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE SOYA

La semilla de esta leguminosa está compuesta de cutícula, hipocotilo y dos cotiledones. Desde un punto de vista alimenticio y comercial sus principales componentes son proteínas y lípidos. En menor proporción contiene carbohidratos, vitaminas, minerales y agua (Tabla 2). Debido al alto contenido de lípidos se le considera una oleaginosa.

Tabla 2. Composición promedio de la semilla de soya

Composición	%
Carbohidratos	16
Vitaminas y minerales	13
Humedad	9
Lípidos	20
Proteínas	42

1.3.1 Proteínas

Las proteínas son esenciales para el crecimiento y reparación de los tejidos del organismo humano. Una dieta equilibrada debe aportar el 15% de la energía en forma de proteínas (FAO, 1985). La semilla de soya contiene un promedio de 40% de proteínas, cantidad considerablemente más alta que en cualquier otra leguminosa (promedio 20 a 30%) o cereal (8 a 15%). Además, las proteínas de soya contienen todos los aminoácidos esenciales para el organismo humano (Levinson, 1974).

Numerosos estudios de balance de nitrógeno demostraron que la proteína de soya, cuando es dada como la única fuente de proteína, es capaz de cubrir las necesidades de los adultos cuando es consumida a nivel proteínico recomendado (0.6 gramos / kilogramo de peso corporal / día).

1.3.2 Lípidos

En la soya los lípidos se encuentran en forma de aceite almacenados en pequeñas partículas esféricas de 0.3 a 0.5 μ m en diámetro, llamados esferosomas. Esta estructura ordenada se desintegra y los constituyentes se fraccionan durante el proceso comercial para la obtención de variedades de productos proteínicos (Jonsson, 1985). Los lípidos de la soya tiene una composición excelente; más del 80% de los ácidos grasos son insaturados, contiene además ácidos grasos esenciales como linolénico y linoleico. Además, el aceite de soya no contiene colesterol (ArgenBio, 2003; Acero, 2000).

1.3.3 Vitaminas y minerales

Casi todas las vitaminas principales, excepto vitamina C y D están presentes en cantidades variables. Las vitaminas hidrosolubles: la tiamina, piridoxina y ácido fólico están presentes en proporciones mayores comparadas con las otras. Respecto a los minerales, cantidades importantes de hierro, calcio y fósforo también se encuentran en el frijol soya (Vildoza, 2006).

1.3.4 Carbohidratos

Los principales carbohidratos en el frijol maduro son la sacarosa (disacárido) y la rafinosa (trisacárido). Un dato interesante es que el grano no contiene almidón, polisacárido comúnmente presente en muchos cereales (Tsai, 1983). Un aspecto importante, es la ausencia de lactosa (azúcar presente en la leche y causante de flatulencia en humanos), sin embargo se tiene pequeñas cantidades de estaquiosa, verbascosa y rafinosa (también causan esto). Así, los productos de soya ofrecen una alternativa para las personas que son alérgicas a la leche de vaca.

1.3.5 Constituyentes antinutricionales-anticancerígenos

La semilla de soya contiene algunos compuestos, como los inhibidores de proteasa y el ácido fítico, saponinas e isoflavonas que se han considerado tradicionalmente como antinutrientes (Gregorini, 2003; Wagner, 2008).

La comunidad científica ha comenzado a apreciar la importancia de los compuestos dietéticos no nutritivos o las sustancias fitoquímicas en alimentos - como el frijol soya- que presentan concentraciones relativamente elevadas de varios compuestos con una actividad anticancerígena comprobada (Wagner, 2008).

1.4 USOS Y BENEFICIOS DE LA SOYA

Por su alto contenido de nutrientes, la soya se puede utilizar para obtener una gran variedad de productos alimenticios. Quizás la principal característica de la soya es ser el único vegetal cuya proteína contiene todos los aminoácidos esenciales (excepto los azufrados) para el organismo por lo que es una fuente de proteína similar a la carne desde el punto de vista de los aminoácidos que contiene y tiene la ventaja de que no contiene colesterol y presenta bajos contenidos de grasas saturadas.

1.4.1 Derivados de la soya

A partir de la soya se obtienen distintos derivados, con las que incluso se pueden preparar distintos menús y sabores para las mesas.

Así los principales productos son el aceite, obtenido generalmente por el prensado de las semillas y la harina por molienda de las mismas. Otros derivados son:

leche, salsas, queso, los brotes de soya, el tofu, natío o miso. Uno de los platillos típicos a base de soya es el poroto tausi (frijol de soya salado y fermentado).

El consumo de productos de soya ha sido relacionado a beneficios al corazón y sistema cardiovascular principalmente por el hecho de que no contiene colesterol y ácidos grasos saturados. Otro de los beneficios asociados a la soya es la presencia de isoflavonas cuya estructura es similar a los estrógenos.

En 1999 la FDA (Departamento de Administración de Alimentos y Fármacos del gobierno de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) dictaminó que existían estudios de investigación correctamente diseñados, correctamente controlados y avalados por centros de investigación respetables que demostraban que la semilla de soya era un alimento saludable para el corazón y el sistema cardiovascular.

Desde esta fecha la FDA ha permitido que los alimentos que contienen al menos 3.25g de soya por porción puedan notificar al consumidor que son alimentos benéficos al corazón bajo la premisa básica de que 25g de proteína de soya al día como parte de una dieta baja en grasas saturadas y colesterol pueden reducir los riesgos de enfermedades del corazón.

La soya es también un alimento que permite seguir dietas para perder peso ya que como sustituto de carne contiene menos calorías. Por ejemplo, una hamburguesa de soya tiene 100 Kcal menos que una hamburguesa de carne.

1.4.1.1 Usos y beneficios del aceite de soya

Los aceites vegetales además de resaltar muchas de las características sensoriales de los alimentos, como el sabor, el aroma y la textura, son fuente importantes de vitaminas A, D, E y K y ácidos grasos esenciales que nuestro organismo no puede producir. Así, otros de los benéficos asociados a la soya son los derivados del consumo de aceite de estas semillas.

El aceite se extrae de la soya mediante el uso de disolventes, por este motivo para hacerlo apto para el consumo humano debe aplicarse un proceso de refinado. A pesar de dicho proceso, el aceite refinado conserva una buena cantidad de sus propiedades nutricionales, principalmente los ácidos poliinsaturados (linolénico y linoleico), la vitamina E y la lecitina.

El aceite tiene tanto aplicaciones en la industria de alimentos como en la manufacturera. A nivel comercial, se utiliza para la elaboración de aceites vegetales mixtos, margarinas, mayonesas, aderezos para ensaladas y mantecas

vegetales. También se utiliza para la fabricación de tintas para periódico, pinturas, para el control del polvo en silos de granos y en la fabricación de biodiesel como una nueva fuente de combustible renovable.

Algunos beneficios del consumo de aceite de soya se citan a continuación:

- Ayuda a proteger el sistema cardiovascular por su alto contenido en ácidos grasos omega 3 y omega 6.
- Ayuda a proteger el sistema nervioso tanto por su contenido en ácidos grasos, como su contenido en fosfolípidos.
- Ayuda a disminuir el colesterol malo.
- Ayuda a contrarrestar los efectos de la menopausia, gracias a su contenido en isoflavonas.
- Ayuda a reducir la presión arterial, a evitar enfermedades cardíacas y a proteger las membranas tanto de las células, como de todo el organismo, gracias a su contenido en vitamina E y vitamina A.

Otro producto importante obtenido de la fracción lipídica de la soya es la lecitina (1.5 a 2.5% de los lípidos totales). La lecitina es un fosfolípido que se separa del aceite a través de un proceso de desgomado y se vende como un producto de alto valor comercial. En el área de alimentos, se emplea ya que es un emulsificante muy eficaz en la elaboración de diversos productos (chocolates, galletas, y productos de panificación, entre otros), para asegurar una mezcla homogénea de todos sus ingredientes. Existen reportes médicos que indican que la lecitina puede tener ciertas propiedades curativas principalmente para enfermedades del sistema nervioso, cardiovascular y de los órganos que almacenan o transportan grasas en el cuerpo. Se ha comprobado que, en cantidades farmacéuticas, la lecitina puede ayudar al tratamiento de enfermedades como: disquinesia tardía, enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Gulle's de la Tourettes, ataxia de Friedrich e hipercolesterolemia. No se ha comprobado efectos benéficos por la ingestión de lecitina en personas sanas.

1.4.1.2 Composición del aceite de soya

El aceite de soya se destaca por su excelente calidad, directamente relacionada con sus ácidos grasos insaturados, su fluidez en un amplio rango de temperaturas, sus antioxidantes naturales y la posibilidad de hidrogenación selectiva.

El valor nutritivo depende en gran medida de la cantidad y composición de ácidos grasos polinsaturados (60% de los ácidos grasos totales) como se muestra en la Tabla 3 y, entre ellos, de la proporción de ácido linolénico (7 a 9%).

Aun cuando el ácido linolénico es importante desde el punto de vista nutricional, su presencia en el aceite de soya, constituye una desventaja desde el punto de vista organoléptico porque es responsable de la reversión del sabor y el olor. Para solventar dicho problema, generalmente se aplica hidrogenación selectiva y parcial del aceite, a través de métodos específicos que permiten reducir su concentración y aumentar la estabilidad.

Tabla 3. Porcentaje de ácidos grasos en 100 g de aceite de soya

NOMBRE	PORCENTAJE	No. De carbonos y dobles enlaces
Saturados		
Laurico	trazas	12:0
Mirístico	0.191	14:0
Palmítico	9.55	16:0
Esteárico	3.8	18:0
Insaturados		
Oleico	23.9	18:1
Palmitoleico	0.191	16:1
Linoleico	49.7	18:2
Linolénico	7.7	18:3
Araquidónico	Trazas	20:4

CAPÍTULO 2



GENERALIDADES SOBRE ACEITES VEGETALES

2.1 COMPOSICIÓN DE ACEITES VEGETALES

Los lípidos, en su mayoría, están constituidos por triglicéridos. Lo que distingue a un lípido de otro son el tipo de ácidos grasos que las conforman como son: ácidos grasos saturados (AGS), mono-insaturados (AGMI), poli-insaturados (AGPI) y ácidos grasos trans (AGT). Aquellos que tienen una mayor proporción de ácidos grasos saturados son sólidos a temperatura ambiente y se les conoce como grasas o mantecas, en tanto que cuando los ácidos grasos insaturados son la fracción mayoritaria, se les clasifica como aceites y se encuentran líquidos a temperatura ambiente (Badui, 2006).

Las grasas generalmente son de origen animal, mientras que los aceites se obtienen principalmente de fuentes vegetales. Siendo las semillas las más utilizadas para su obtención. Así, se pueden citar los aceites de coco, girasol, sésamo, oliva, almendra, nuez, cacahuete, linaza, colza, soya entre otras.

La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios.

El grado de insaturación medido mediante técnicas analíticas como el índice de yodo, permite clasificar a los aceites en cuatro grandes grupos como a continuación se cita

- Aceites saturados: índices de yodo de 5-50
 - Laúrico: copra, palmito, babasú (etc.).
 - Palmítico: palma
 - Esteárico: karité

- Aceites monoinsaturados: índices de yodo de 50-100
 - Oleico: aceituna, cacahuete, colza, sésamo, jatropha curcas.

- Aceites biinsaturados: índices de yodo de 100-150
 - Linoleico: girasol, algodón, maíz, soja, etc.

- Aceites triinsaturados: índices de yodo > 150

Los aceites vegetales comestibles son indispensables para mantener el equilibrio de los lípidos, colesterol y lipoproteínas que circulan en la sangre ya que tienen una función vital en el organismo humano.

En la Tabla 4 se observa el perfil de ácidos grasos de diversos aceites.

Tabla 4. Composición de aceites vegetales

Perfil de ácidos grasos ^a		Girasol	Maíz	Soya	Algodón	Canola	Oliva	Cacahuete	Palma	Coco
	C _{<14}	-	-	-	-	-	-	-	trazas	>55
Mirístico	C _{14:0}	-	traza	traza	1.0	traza	traza	0.3	1	17
Palmitico	C _{16:0}	6.4	10.7	9.5	23.8	5	10	9	43	9
Palmitoleico	C _{16:1}	traza	0.5	0.2	1	0.3	0.2	0.5	0.3	traza
Esteárico	C _{18:0}	5	2.4	4	2.5	2.2	3.5	3.3	4.8	2.5
Oleico	C _{18:1}	22.6	26	22	18.8	57	78	50	40	7
Linoleico	C _{18:2}	63	56	54	50.2	20.5	6.5	27	10	1.5
Linolénico	C _{18:3}	<0.5	1	7.3	traza	4.4	traza	8.4	traza	traza
	C _{≥20}	1.1	0.5	1.1	traza	4.4	traza	8.4	traza	traza
Características										
Índice Iodo		132	120	130	106	98	85	93	52	9
Índice Saponificación		191	190	192	194	172	190	191	200	255

^aPerfil en % de grasa verdadera.

2.2 FUENTES Y TIPOS DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES

Gracias a la gran diversidad de frutos y semillas oleaginosas que existen actualmente en el mercado, se tienen una amplia lista de aceites vegetales comestibles, entre los más importantes destacan:

2.2.1 Aceite de Algodón

Se obtiene de la semilla de algodón (*Gossypium spp*) por extracción mecánica y por solventes. El aceite crudo tiene una apariencia oscura y requiere de una refinación química para purificarlo. No contiene ácido linolénico.

2.2.1.1 Principales aplicaciones

Como condimento para ensaladas, para cocinar, botanas, mayonesa, sustituto de manteca de cacao, pastelería, productos horneados, margarina, manteca vegetal, mezclas de aceites.

2.2.2 Aceite de Aguacate

Se obtiene de la pulpa del fruto del árbol del aguacate (*Persea americana*) por extracción mecánica, prensado y centrifugación. Su apariencia es amarillo verdosa

y tiene un alto en contenido de ácidos grasos monoinsaturados. Tiene importantes aplicaciones en cosméticos, por sus características emolientes, rápida absorción en la piel y habilidad para actuar como protector contra los rayos del sol.

2.2.2.1 Principales aplicaciones

Tiene importantes aplicaciones en cosméticos, por sus características emolientes, rápida absorción en la piel y habilidad para actuar como protector contra los rayos del sol.

2.2.3 Aceite de Cacahuete

El aceite de cacahuete se obtiene por prensado mecánico y/o extracción por solventes de la semilla del cacahuete (*Arachis hypogaea*). El aceite ya refinado y desodorizado es de color amarillo pálido. Su composición es alta en ácidos grasos monoinsaturados y es muy estable.

2.2.3.1 Principales aplicaciones

Ideal como condimento para ensaladas, para cocinar y freír.

2.2.4 Aceite de Canola

Este aceite proviene de las semillas obtenidas de variedades de nabo con bajo contenido de ácido erúxico (*Brassicanapus*). Es obtenido por extracción mecánica y/o por solventes. Tiene bajo contenido de ácidos grasos saturados.

2.2.4.1 Principales aplicaciones

Condimento para ensaladas, para cocinar y freír, mayonesas, aderezos, margarinas y mantecas vegetales.

2.2.5 Aceite de Cártamo

El aceite de cártamo se obtiene por extracción mecánica y/o solventes de la semilla de cártamo (*Carthamus tinctorius*). El aceite refinado y desodorizado tiene un color amarillo claro. Su alto contenido de ácidos grasos polinsaturados (ácido linoleico) lo hacen muy deseable desde el punto de vista nutricional.

2.2.5.1 Principales aplicaciones

Como condimento para ensaladas, para cocinar y freír, en la elaboración de mayonesas.

2.2.6 Aceite de Cártamo Alto Oleico

Este aceite proviene de una variedad genética natural del cártamo, en la cual su composición de ácidos grasos es diferente a la tradicional. Contiene un alto nivel de ácido monoinsaturado (ácido oleico), muy importante para la nutrición. Es muy estable y tiene un color amarillo claro.

2.2.6.1 Principales aplicaciones

Condimento para ensaladas y otros platillos, para cocinar, freír, mayonesas, botanas.

2.2.7 Aceite de Coco

El aceite de coco es obtenido de la pulpa del fruto del cocotero (*Cocos nucifera*) por extracción mecánica y/o solventes. Contiene una gran cantidad de ácidos grasos saturados lo que le hace estable y resistente a la oxidación.

2.2.7.1 Principales aplicaciones

Para coberturas cremosas, coberturas para dulces y galletas, coberturas glaseadas, rociado de galletas, tostado de granos, mantecas duras, palomitas de maíz, sustitutos de manteca de cacao, mantecas para relleno de galletas y panadería, coberturas para postres fríos y congelados.

2.2.8 Aceite de Girasol

Se obtiene por extracción mecánica y por solventes de la semilla de girasol (*Helianthus annuus*). El aceite crudo contiene un alto porcentaje de ceras que deben eliminarse del aceite en un proceso de desencerado.

2.2.8.1 Principales aplicaciones

Ideal como condimento para ensaladas y otros platillos, para cocinar y freír, mayonesas, bases para margarina, mantecas vegetales para diferentes usos en panadería y repostería.

2.2.9 Aceite de Maíz

El aceite crudo del germen del maíz (*Zea mays*) se obtiene por extracción mecánica y/o solventes, que se refina, blanquea, desodoriza y ocasionalmente se desencera. El aceite terminado tiene una apariencia cristalina y color amarillo rojizo, con un sabor muy bien aceptado por el consumidor.

2.2.9.1 Principales aplicaciones

Para botanas, condimento para ensaladas y otros platillos, cocinar, margarinas, mezcla para panadería, coberturas, salsas, productos horneados, mayonesa.

2.2.10 Aceite de Oliva

Las aceitunas o fruto del olivo (*Olea europaea*) han sido recolectados desde hace tiempo para obtener aceite por medio de presión mecánica. Los diversos grados de aceite de oliva son definidos por parámetros de tipo de aceituna, sabor y proceso de elaboración. Los aceites de oliva extra-virgen y virgen tienen color verdoso (aceitunado) y sabor típico. Contiene un alto nivel de ácido oleico (monoinsaturado) que le confiere excelentes propiedades nutricionales.

2.2.10.1 Principales aplicaciones

Ideal como condimento para ensaladas y otros platillos, cocinar y freír, embutidos y enlatados de pescado.

2.2.11 Aceite de Palma

Se obtiene por extracción mecánica del fruto de la palma (*Elae eisguineensis*) y se puede complementar con extracción por solventes. El aceite crudo presenta una coloración anaranjada rojiza por su alto contenido de carotenos. Generalmente se refina físicamente para obtener y comercializar el grado RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado). En su composición de ácidos grasos predomina el ácido palmítico (40-48%).

2.2.11.1 Principales aplicaciones

Para mantecas vegetales, margarinas, pastelería, botanas, helados, mantequilla para crema de cacahuete, cacao y avellana, pastas, mezclas para sopa, panadería y repostería.

2.2.12 Aceite de Soya

El aceite que se obtiene del frijol de la soya (*Glycinemax*) por extracción mecánica y por solventes. El aceite crudo contiene entre 2.5-3.0% de fosfolípidos que tienen que eliminarse del aceite por procesos de desgomado y refinación química. Es un aceite polinsaturado que contiene ácido linoleico (omega 6) y ácido linolénico (omega 3)

2.2.12.1 Principales aplicaciones

Para frituras, comida rápida, condimento para ensaladas y otros platillos, ingrediente para cocinar, margarinas, mezcla de aceites, botanas, mezclas para panadería, coberturas, helados, frituras, cremas vegetales, productos para hornear, salsas, pastas, mayonesas.

De los aceites de origen vegetal, el de soya es el de mayor disponibilidad en el mercado mexicano. El aceite de soya destinado a la industria es crudo e incorpora las gomas que son muy ricas en fosfolípidos, antioxidantes y vitamina E, lo que mejora su digestibilidad y facilita su conservación durante el almacenaje. El alto contenido en ácido linoleico favorece su uso en cereales blancos por su efecto sobre el tamaño de la hojuela.

El aceite de soya se debe someter a diferentes procesos como el refinado, blanqueado, desgomado y desodorizado para hacerlo apto para el consumo humano. En dichos procesos se eliminan constituyentes no deseables en el aceite. Así, durante el refinado se pueden extraer las lecitinas.

Las oleínas son un subproducto generado también durante el refinado. En dicho proceso se separan los triglicéridos de los ácidos grasos libres que son los responsables de la acidez, mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH). A continuación, se separan ambas fases por centrifugación y decantación. Las pastas sódicas resultantes se neutralizan con ácido sulfúrico, originándose las llamadas oleínas aciduladas ("acidulated soap stocks"). Estas oleínas se lavan con agua abundante para arrastrar el exceso de sulfúrico, y se secan por decantación dando lugar a las oleínas comerciales.

CAPÍTULO 3



MÉTODOS GENERALES DE EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE ACEITE DE SOYA

3.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SOYA

El proceso para la obtención del aceite de soya se muestra en la figura 5, comienza con la preparación de las semillas, las cuales deben limpiarse, secarse y descascarillarse antes de enviarlas a la siguiente etapa que consiste en la extracción del aceite.

En la limpieza se retira la materia extraña que acompaña a las semillas de soya, tales como tierra, piedras, semillas en mal estado o metales, para esto último se pueden emplear imanes como es el caso cuando se quiere retirar el hierro. El descascarillado, se realiza mecánicamente, origina el agrietamiento de las semillas y su separación de la cáscara. Esta última debe retirarse por completo del proceso, debido a que absorbe aceite y puede originar menores rendimientos.

Lo anterior aunado al calentamiento a una temperatura aproximada de 75°C para coagular las proteínas ayuda a que el proceso de extracción sea mucho más fácil (Asociación Americana de Soja, 1995).

La extracción se realiza generalmente por prensado o con disolventes (generalmente hexano), para ello la soya se corta en copos y después se coloca en extractores de percolación y se sumerge en el disolvente. Éste último, se separa del aceite en evaporadores y se recupera para su reutilización.

El aceite obtenido tanto por prensado como por extracción con solventes contiene algunas impurezas tales como fosfolípidos, FFA, pigmentos, que pueden generar mal olor, mal sabor o menor inestabilidad. Para solventar lo anterior y hacer el aceite apto para el consumo humano, se aplica la el refinado. En esta etapa el material insoluble en aceite se elimina con la filtración y los materiales solubles se suprimen con diferentes procesos, entre los que se incluyen el desgomado (eliminación de fosfátidos), el refinado alcalino (lavado con una solución alcalina para eliminar los ácidos grasos libres, colorantes y gomas) y el blanqueo (con tierra activada o carbón activado para eliminar el color y las impurezas remanentes).



Figura 5. Diagrama de flujo del procesamiento del aceite de soya

3.1.1 Preparación de la semilla

En este punto como lo muestra la Figura 6 se incluyen las operaciones necesarias para poner a la semilla en las mejores condiciones para la extracción del aceite (Asociación Americana de Soja, 1995).

Algunas semillas fuentes de aceites como la canola y el cacahuate no precisan tratamientos especiales, pero hay otras que sí lo requieren tal es el caso de la semilla de soya, esto último como consecuencia de la creciente demanda de harina con alto contenido de proteínas, originando que la semilla de soya se deba someter a un proceso de descascarillado (Asociación Americana de Soja, 1995).

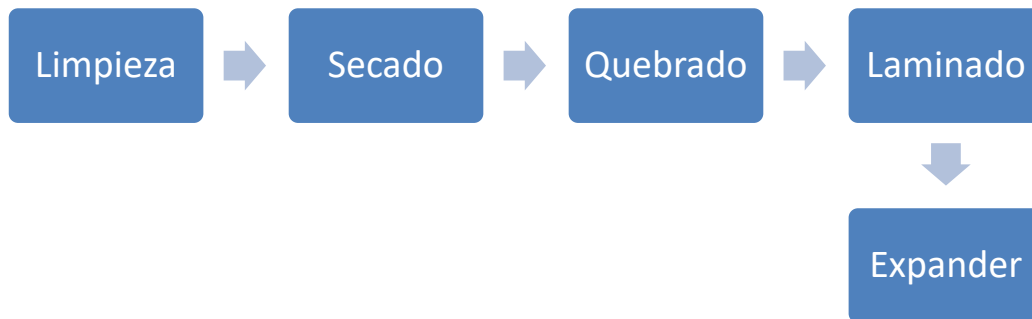


Figura 6. Diagrama de flujo de preparación de la semilla de soya

3.1.1.1 Limpieza

Las semillas oleaginosas al llegar a las industrias contienen diversas materias extrañas como son tierra, piedras, elementos metálicos, trapos, entre otros.

La finalidad de la limpieza es retirar todos estos elementos extraños antes que la semilla pase a ser procesada, ya que pueden originar graves daños en las instalaciones de procesos y arrojar materia indeseable al aceite demeritando su calidad (Asociación Americana de Soja, 1995).

Hoy en día no existe un mecanismo capaz de eliminar, por sí mismo, todas las posibles impurezas, y hay que recurrir a diversas máquinas especializadas, como son cribas con corrientes de aire, separadores magnéticos, entre otros.

La limpieza se basa en la utilización de cribas y ventiladores que generan una corriente de aire, en el que se considera el tamaño y la densidad de los granos y de las impurezas que los acompañan. La separación de estas impurezas,

favorecen el proceso de conservación, eliminando partículas con mayor contenido de humedad, o de mayor dimensión, para evitar que se puedan producir obstrucciones e inclusive incendios.

3.1.1.2 Secado

El objetivo principal del secado es reducir la humedad de la semilla de soya de modo que al pasar por los quebradores esta se pueda romper y descascarar con facilidad.

Las semillas ya acondicionadas, pasan a un equipo de secado instantáneo en el cual mediante aire muy caliente se completa el proceso (Figura 7). Los granos ingresan al equipo jet dryer a través de una tolva de entrada y se trasladan a lo largo de la secadora por una cinta metálica. El aire pasa a través de la cinta y del colchón de granos. Los granos ingresan a la secadora con una temperatura que está por encima de los 60 °C y deben salir a (88 °C ó 93 °C). En cuestión de minutos, la temperatura de la superficie de la cáscara aumenta más de 20 °F (6,6°C) haciendo que la cáscara se encoja y se afloje del grano (Fetzer, 1998).

El tiempo de residencia de los granos en el jet dryer se controla mediante la velocidad de la cinta, lo anterior en función de la intensidad de secado que se quiere lograr.

El aire caliente que se usa se recicla a través de un ciclón/filtro por medio del ventilador del sistema de aire principal, retirando del sistema de aire la cáscara suelta y el material fino que se hubiera separado del grano en la jet dryer.

El aire caliente de la secadora se obtiene mediante radiadores de vapor. Los granos fluyen por gravedad desde la jet dryer a los molinos quebradores (hulloosensors)(Mustakas, 1980).

3.1.1.3 Quebrado

Luego de la limpieza y secado, se procede a quebrar las semillas enteras utilizando rolos dentados, reduciéndolas a trozos de 1/8 del tamaño original para facilitar la operación del laminado. Este se realiza en dos etapas.

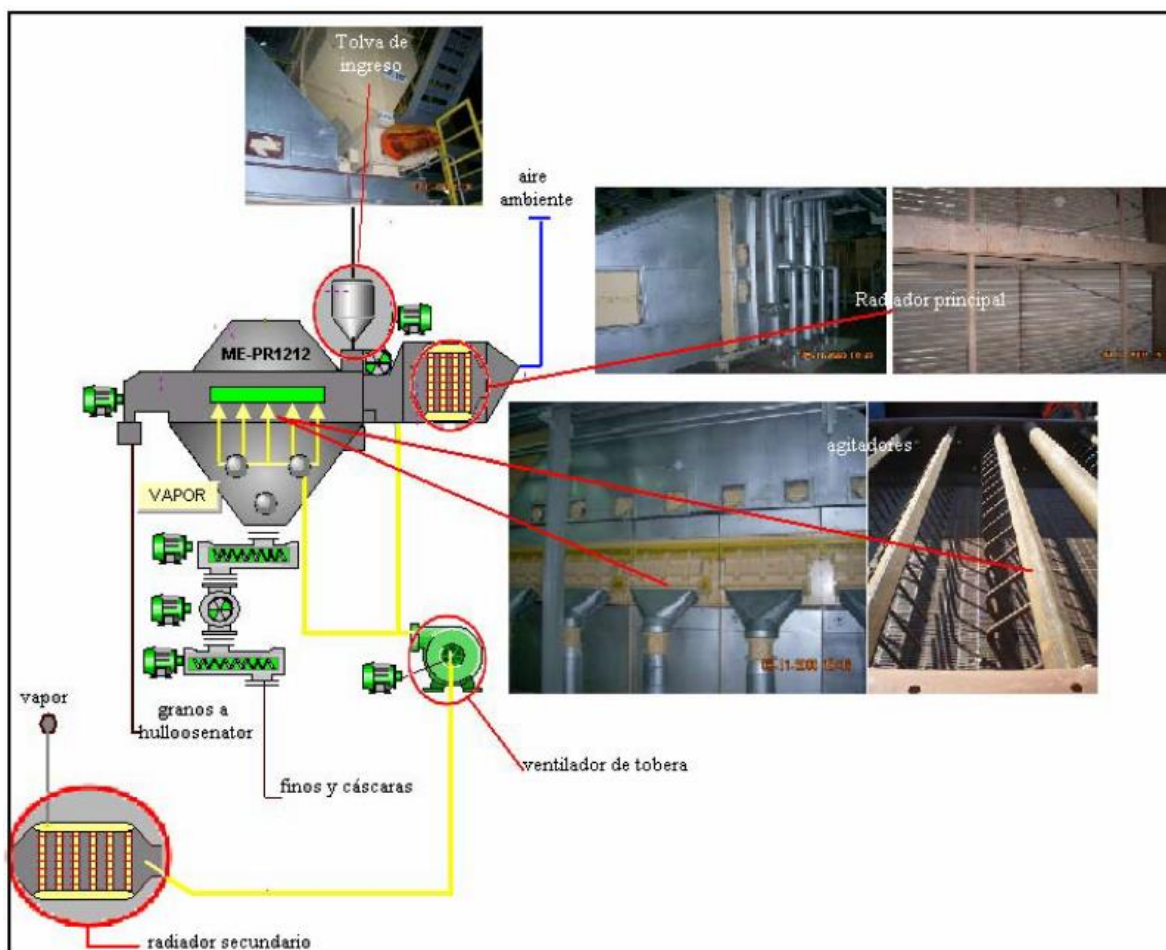


Figura 7. Esquema de un Jet Dryer. Se puede observar la tolva de ingreso, el sistema de agitación, la cinta transportadora, el sistema de calentamiento de granos y la tolva de descarga. Fuente: imágenes otorgadas por técnico de planta de identidad reservada

3.1.1.3.1 Primera etapa del quebrado (El Hulloosensor)

El “Hulloosensor” funciona aflojando la cáscara de los granos. Utiliza dos pares de rolos, los primeros de ellos son de acero corrugado y se usa para partir la soya en la mitad siguiendo su línea de fisura natural. El segundo par de rolos están recubiertos en goma y se usan para deslizar o raspar la cáscara de los granos quebrados a la mitad. A diferencia de los pares dobles de acero para quebrado o de las máquinas de impacto, los rolos de goma reducen la cantidad de finos. Desde el hulloosensor, el quebrado y la cáscara caen por gravedad al CCD (multiaspirador aire caliente).

La mezcla de cáscara suelta y de grano quebrado de la primera etapa pasa directamente al CCD. La mezcla cae en cascada chocando en contracorriente a aire caliente que fluye hacia arriba. La cáscara y los finos se extraen del aspirador y se separan en un ciclón. El aire caliente se recircula con cantidades controladas

de aire ambiente que se introducen a través de un calentador de aire que se usa para elevar la temperatura del aire ambiente variando la cantidad de acondicionamiento y secado. Los granos quebrados pesados y algo de cáscara pasan hacia la segunda etapa del quebrado.

3.1.1.3.2 Segunda etapa del quebrado

Los quebradores tienen un doble par de rolos de acero rotativos (Figura 8). Los granos de soya quebrados pasan por dos pares de rolos que fracturan las mitades en cuartas partes luego de pasar por el par superior y en octavas partes luego de pasar por el par inferior. Es muy importante entibiar los granos antes de quebrarlos, con la finalidad de minimizar la producción de partículas

Los granos de soya quebrados y la cáscara que queda de los rolos de quebrado caen al CCC (multiaspirador aire frío). La mezcla cae en cascada pasando por aire frío que fluye hacia arriba. La cáscara y los finos se extraen del aspirador y se separan en un ciclón. El aire se recircula con cantidades de aire ambiente controladas que se inducen para variar la cantidad de acondicionamiento y enfriamiento. El quebrado cae por el aspirador y se acondiciona a la temperatura y humedad necesarias para el laminado (Fetzer, 1998).

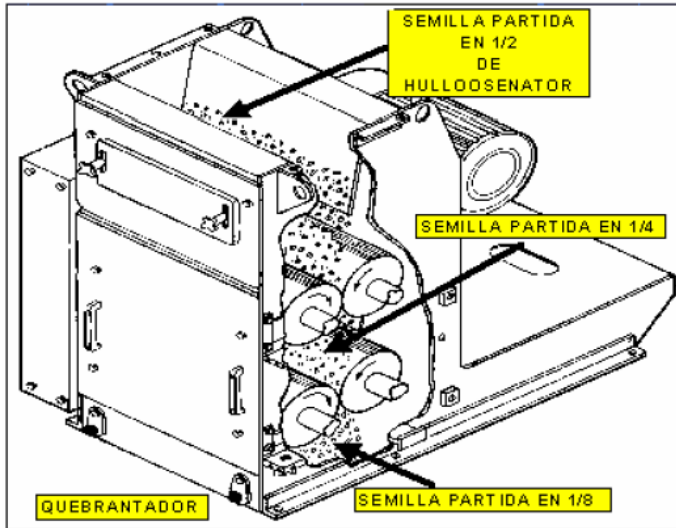


Figura 8. Esquema de un molino quebrantador. Se observan los dos pares de rolos de acero, superior e inferior

3.1.1.4 Laminado

El proceso de laminado consiste en convertir un trozo de material relativamente granular en una lámina delgada. En esta etapa se busca que, la lámina tenga de 4

a 6 veces la superficie del grano original. Además que haya un marcado descenso en la distancia entre el interior y la superficie de las partículas, esto para generar que el solvente, la humedad o el calor puedan saturar totalmente el producto, al recorrer una distancia máxima a través de la misma de 0,13 mm. Esta reducción en distancia aumenta la eficiencia en el extractor, (siguiente paso del proceso), debido a una mejor percolación del solvente a través de las láminas individuales y mejor drenaje de solvente de las láminas desgrasadas. Esto se describirá con mayor detalle en el siguiente paso del proceso.

Para lograr el mejor rendimiento de un molino laminador, los mejores resultados de extracción y los menores costos de proceso, la semilla debe ser apropiadamente preparada para la operación de laminado.

Para su preparación, las semillas grandes deben romperse en trozos no mayores de (4 mm a 6 mm), reduciendo el tamaño de partícula e incrementando la superficie de contacto. Además los trozos más pequeños requieren menos potencia para laminar, y pueden ser procesados a mayor caudal que los trozos grandes del mismo material. Cuando no se realiza el descascarado previamente, se debe, romper las semillas antes del laminado para retirar una porción de la cáscara e incrementar la capacidad del molino (al procesar mayor cantidad de semillas) y reduciendo el desgaste de los rodillos (al disminuir la presencia de materiales extraños).

Por otro lado, un buen trabajo de calentado antes del laminado reduce el consumo de energía en el laminador. El laminado de los porotos fríos (26 a 30 °C) exige una potencia de alrededor de 5 a 6 kWh por tonelada de semillas, mientras que el laminado preacondicionado de 55 °C a 60°C requiere sólo de 3 a 4 kWh por tonelada de semillas. La etapa de calentar los porotos quebrados (si durante el proceso industrial no se utiliza el método de descascarado en caliente), se realiza a menudo por medio de los "cookers" (cocinadores).

Un cocinador es un cilindro vertical con platos horizontales integrados que se calientan indirectamente con vapor. En el centro, un eje vertical mueve y transporta los porotos quebrados, que caen por gravedad de nivel en nivel.

Además la semilla debe ser acondicionada a 10 – 11 % de humedad y 65 – 70 °C, para cualquiera de los procesos que se utilicen (descascarado en caliente, frío o sin descascarar).

Durante el proceso de laminado de la semilla, se rompen algunas de las células que contienen aceite. La rotura máxima de paredes de células sólo se logra a altas

presiones (55 – 60 bar) y a través del uso de velocidades diferenciales entre rodillos, esto imparte una acción de corte que aunado a las elevadas fuerzas compresivas alarga el producto que se está laminando. Esta combinación de compresión y corte es necesaria para lograr un adecuado nivel de desintegración de la pared de la célula (Singh, 1999).

Los rodillos de laminado son de gran diámetro y usualmente fabricados de una variedad de grados de fundición de hierro con ejes de acero aleado en los extremos del rodillo, cuenta con rodillos de diferente composición para combinar características tales como rigidez, resistencia al desgaste, resistencia mecánica, resistencia al escamado, y propiedades térmicas.

Los rodillos de los laminadores generalmente son de diámetros variables que van desde 450 mm hasta alrededor de 800 mm. Los rodillos de mayor diámetro son ventajosos por su mejor ángulo de agarre y mayor capacidad de producción. Además, retienen al producto más tiempo, ofreciendo una menor velocidad de deformación y menor requerimiento de potencia. La longitud del rodillo no debe ser mayor a dos veces el diámetro del mismo, por lo tanto, los de mayor diámetro, al permitir longitudes mayores, incrementan la capacidad individual de la máquina.

Por otro lado es muy importante controlar la velocidad de los rodillos, debido que al aumentar esta se incrementa el patinamiento del producto en el contacto con el rodillo y pueden producirse más finos y mayor calentamiento friccional.

El mejor rendimiento de un molino laminador (y de la extracción) puede obtenerse sólo si la alimentación es manera uniforme y pareja. De esa manera los rodillos laminadores tratarán de procesar el 100% de la corriente de alimentación durante todo el proceso. La alimentación exagerada produce fuerzas de separación indeseables, láminas gruesas y altas cargas en los cojinetes y mandos, por el contrario, una alimentación disminuida no abastece los rodillos adecuadamente lo que origina el contacto metal con metal, causando astillado y “pitting” como resultado (Singh y col., 1999).

Los dos tipos de alimentadores más comunes empleados en molinos laminadores son de rodillos y por vibración. Los alimentadores de rodillo consisten en un rodillo que gira lentamente y en una compuerta de alimentación ajustable.

Los alimentadores vibratorios emplean una caja vibrante o canaleta para transportar el material de una tolva de alimentación a los rodillos. La velocidad de alimentación en un alimentador vibratorio es controlada ajustando la amplitud

(distancia que la caja viaja en cada carrera) o la frecuencia (número de carreras por segundo) de la caja en movimiento.

Luego del laminado, el material ya está en condiciones óptimas para ingresar a la sala de extracción. Sin embargo, algunas plantas realizan un paso extra en la preparación que se detalla a continuación (Pedrotti y Boling, 1999).

3.1.1.5 Expandido

En el expandido las láminas son calentadas con vapor directo y se hacen pasar a través de una matriz para transformarlas en cartuchos (collets). La inyección directa del vapor dentro de la torta, aumenta su nivel de humedad en un 2.3%. El vapor inyectado se condensa y es absorbido por la misma, en consecuencia libera su calor de vaporización y aumenta su temperatura. La humedad agregada de esta manera y el calor, ablandan y plastifican la torta. Posteriormente se transforma en una masa elástica que fluye hacia el exterior a través de la matriz. Durante la descarga a presión atmosférica, dicha masa se infla adquiriendo una estructura similar a una esponja.

Los expansores pueden tener un diámetro de 8", 10" ó 12" (20, 25 y 30 cm respectivamente) con una relación largo/diámetro igual a 12, y pueden estar equipados con accionamientos de 75 – 150 hp para las unidades de 8" y 10", y de 350 hp para las unidades de 12".

Una vez que pasa por los expansores, el material se enfría a unos 60 °C, y se le seca a una humedad final de alrededor del 10 %, para realizar la extracción del aceite (Pedrotti y Boling, 1999).

3.1.2 Extracción del aceite de soya

Para obtener los aceites de semillas oleaginosas se parte de las semillas preferentemente maduras, que suelen contener hasta un 30% más de aceite que las mismas semillas verdes. La extracción de la fase grasa puede realizarse mediante medios mecánicos (presión) o mediante disolventes (hexano). Ambos tipos han alcanzado una gran perfección y se usan en todo el mundo.

En el caso de las semillas oleaginosas se recurre a la extracción por presión cuando el contenido en aceite es mayor del 20%. Para extraer el aceite del material que lo contiene por presión, las paredes de las células que lo contienen deben romperse. Esto se puede conseguir molturando la semilla o fruto,

haciéndolos copos (“flaking”), pasándolos por rodillos o sometidos a grandes presiones.

En operaciones a gran escala, la extracción con disolventes es un medio más económico de obtención de aceite que la extracción por presión, y su aplicación va aumentando rápidamente, especialmente para la obtención de aceite de soya.

3.1.2.1 Extracción del aceite de soya por extrusión

Durante el extruido, el grano se desmenuza y calienta por fricción a través de un sistema de tornillos y frenos de cizallamiento internos, sin elementos de calentamiento externo, y su temperatura se eleva aproximadamente a los 130 a 150 °C (dependiendo de la humedad del grano) durante el período de circulación en el cañón, que no excede los 20 segundos, y es también sometida a una presión interna cercana a las 40 atmósferas. La soya extruida, sale al exterior, en forma de chorro, donde pasa a presión atmosférica súbitamente, produciendo la evaporación del agua, reduciendo con ello la humedad (4 a 6 %) a valores ideales para la extracción de aceite. Esta súbita descompresión produce también la ruptura de las celdas que contienen el aceite. Lo anterior produce también la liberación de tocoferoles, que actúan como antioxidantes naturales, prolongando la duración del aceite y el expeller. Este proceso produce los siguientes efectos positivos:

- 1) La desactivación de los factores antinutricionales de la soya tales como los inhibidores de tripsina y quimiotripsina, ureasa, fitohemaglutininas y factores alérgicos tales como la glicinina y beta-conglicinina.
- 2) Rotura y desmenuzamiento del grano a la forma de harina, reduciendo el trabajo que debe realizar la prensa para la extracción al romper las celdas que contienen al aceite y por lo tanto poniendo la soya extruida en condiciones óptimas de prensado para extracción de aceite.
- 3) Descenso de la humedad contenida en el grano (secado) por la pérdida en forma de vapor a la salida.
- 4) Calentamiento de la masa a prensar, generando la disminución de la viscosidad del aceite, y permitiendo mayor fluidez, mejor extracción y menor esfuerzo de la prensa.
- 5) Desactivación en el aceite de las enzimas que favorecen el enranciamiento (oxidación) del aceite y sabores desagradables, como la lipasa y la lipooxigenasa. Esto permite obtener aceites (y expandidos) de altísima calidad, estabilidad y duración y bajos niveles de fosfátidos y peróxidos (acidez).

3.1.2.1.1 Prensado

Una vez extruida la soya, se introduce en prensas de tornillo continuas para separar el aceite crudo del expeller.

Bajo condiciones óptimas se logran extracciones muy eficientes del aceite contenido, llegando al 14 % y más de extracción. Obtenida la soya ya expandida al pasar por las prensas continuas de tornillo (Expeller), contiene entre el 5 al 7 % de aceite, cerca del 6 al 7% de humedad, y entre 42 a 47 % de proteína. Estos valores dependen por supuesto de la calidad de la soya empleada, y las condiciones de humedad del grano.

La utilización de varias prensas de baja capacidad en el proceso, en lugar de una de alta capacidad facilita la obtención de expellers delgados (2-3 mm de espesor) y genera las siguientes ventajas:

- 1) Maximiza la extracción de aceite.
- 2) No se requiere enfriador para el expeller.
- 3) En caso de rotura de alguna prensa, el proceso no se detiene.
- 4) En caso de parada involuntaria (corte de energía), la limpieza y nueva puesta en marcha.
- 5) El desarme y limpieza de las prensas la puede realizar un solo empleado manualmente.
- 6) El costo de varias prensas más pequeñas es menor al de una grande.

En la Figura 9, se muestra el funcionamiento de una planta de extracción. El aceite crudo sale por filtración por debajo de las prensas, pasa por una malla perforada, con un tornillo a contracorriente, que transporta las gomas sólidas de vuelta a la prensa o a la salida de la extrusora para su reprocesamiento.

El aceite que pasa por la malla, fluye por gravedad mediante canaletas a una fosa a nivel de piso, donde se pre-decantan las gomas remanentes, y que a la vez sirve de pulmón al sistema. Esta fosa se puede dotar de una bomba de activación automática, que la vacíe al llegar a un nivel determinado y transporte el aceite a un tanque de decantado, de capacidad de un día de producción cada uno, parte de una serie que puede ser de 1 a 3 o más), de fondo cónico, donde se deja reposar por 24-72 horas a fin de decantar las gomas que se formen.

Una vez decantado el aceite durante el período previsto, se extraen las gomas por el fondo, y se transporta el aceite decantado al depósito, que puede ser de plástico, acero, u otro material inerte (acero inoxidable).

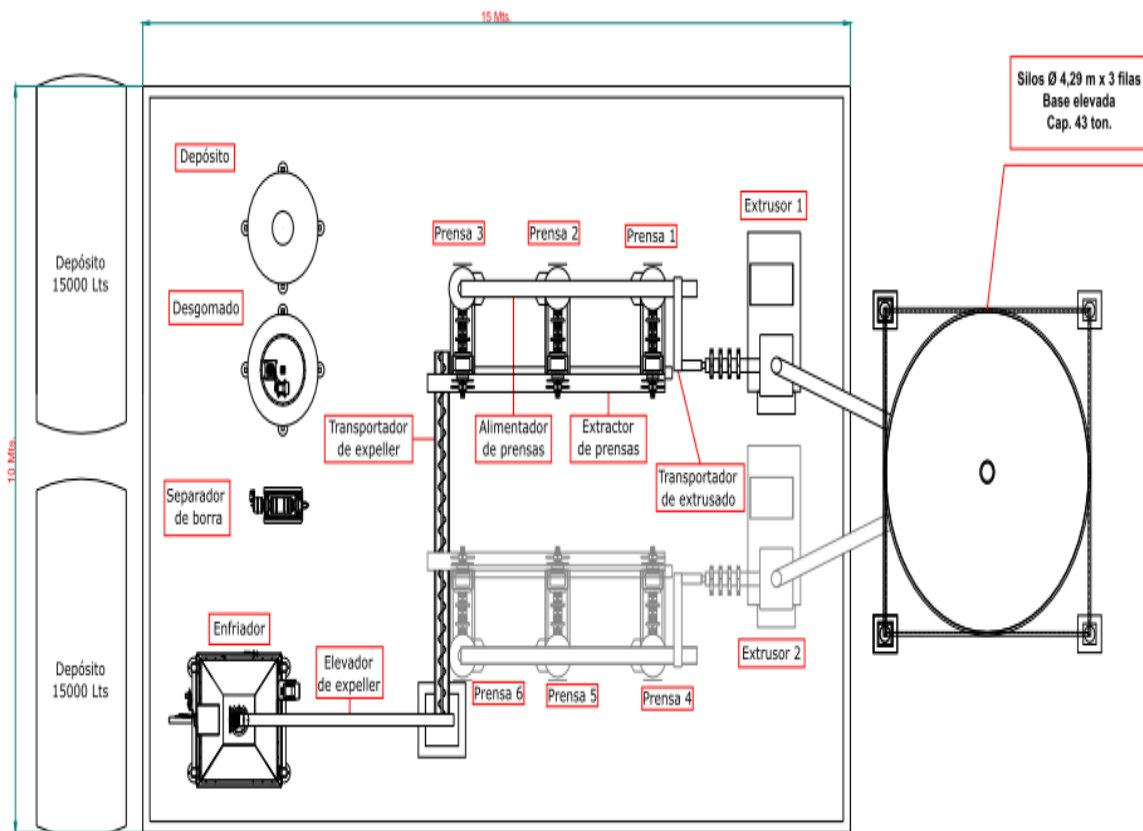


Figura 9. Línea de proceso típica de una planta procesadora de soya (25TPD)

3.1.2.2 Extracción por solvente

Como su nombre indica, la extracción con solventes se refiere a la obtención del aceite por medio de diversos solventes a partir de las semillas que la contienen. El proceso se basa en la difusión del disolvente en las células de la materia prima que contienen aceite, para obtener una disolución del aceite.

En esta operación se puede emplear benceno, tricloroetileno, sulfuro de carbono. Aunque el tricloroetileno es el que tiene mayor poder solvente, el hexano es actualmente el más utilizado. Lo anterior en función de las ventajas que su uso reporta como la de obtener mayor calidad de aceite, disminución de la peligrosidad, toxicidad, su economía comercial, el incremento de la comestibilidad de los diversos productos obtenidos a partir de la extracción, así como la menor corrosividad en las instalaciones y, las propiedades físicas del solvente (especialmente su bajo punto de ebullición).

Es importante resaltar que, las plantas para extracción con solvente están diseñadas para extraer el aceite directamente de semillas oleaginosas que contienen menos de 20% de aceite, después de la descamación, como en el caso de la soya. También se puede extraer aceite de tortas de pre-prensado o presionado completo de materias primas que contienen más del 20% de aceite como el girasol, cacahuate, algodón, almendras de palma, canola, copra, ricino.

El propósito de la planta de extracción con solvente es eliminar la mayor parte del aceite contenido en la semilla. La extracción se lleva a cabo sobre semillas preparadas o, la torta obtenida a partir de pre-prensado y consiste en una secuencia de cinco etapas o pasos:

- Preparación de semillas para la extracción, que incluye pre-prensado de semillas de alto contenido de aceite.
- La extracción de aceite a partir del material preparado con la ayuda de un solvente de calidad alimentaria.
- Disolventación-tostado de la semilla / comida desengrasada, a menudo combinado con el secado y enfriamiento de la comida.
- Destilación, para eliminar el disolvente del aceite extraído.
- Recuperación de solvente, que se reutiliza una y otra vez en el nivel de aspiración.

La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de solvente se puede realizar de tres formas:

1) Por percolación, que consiste en crear una lluvia de solvente sin inundar la masa de semilla (Figura 10). En este proceso la masa de las semillas preparadas se transportan en cangilones y sobre ellos se vierte una lluvia de solvente impulsado por bombas centrífugas ubicadas en la parte inferior extractor.

La extracción se realiza en contracorriente; es decir, que al principio la masa de semillas es lavada para extraer micela rica en aceite y después, a medida que se transporta hacia la descarga, el lavado genera mezclas cada vez más pobres en aceite, hasta el último lavado, que se efectúa con solvente puro.

2) Por inmersión, que se realiza cuando la masa de semilla va inmersa completamente en el solvente.

3) Sistema mixto, que consiste básicamente en la instalación de dos extractores en serie, uno primero por percolación y otro por inmersión, como aparece en la Figura 11.

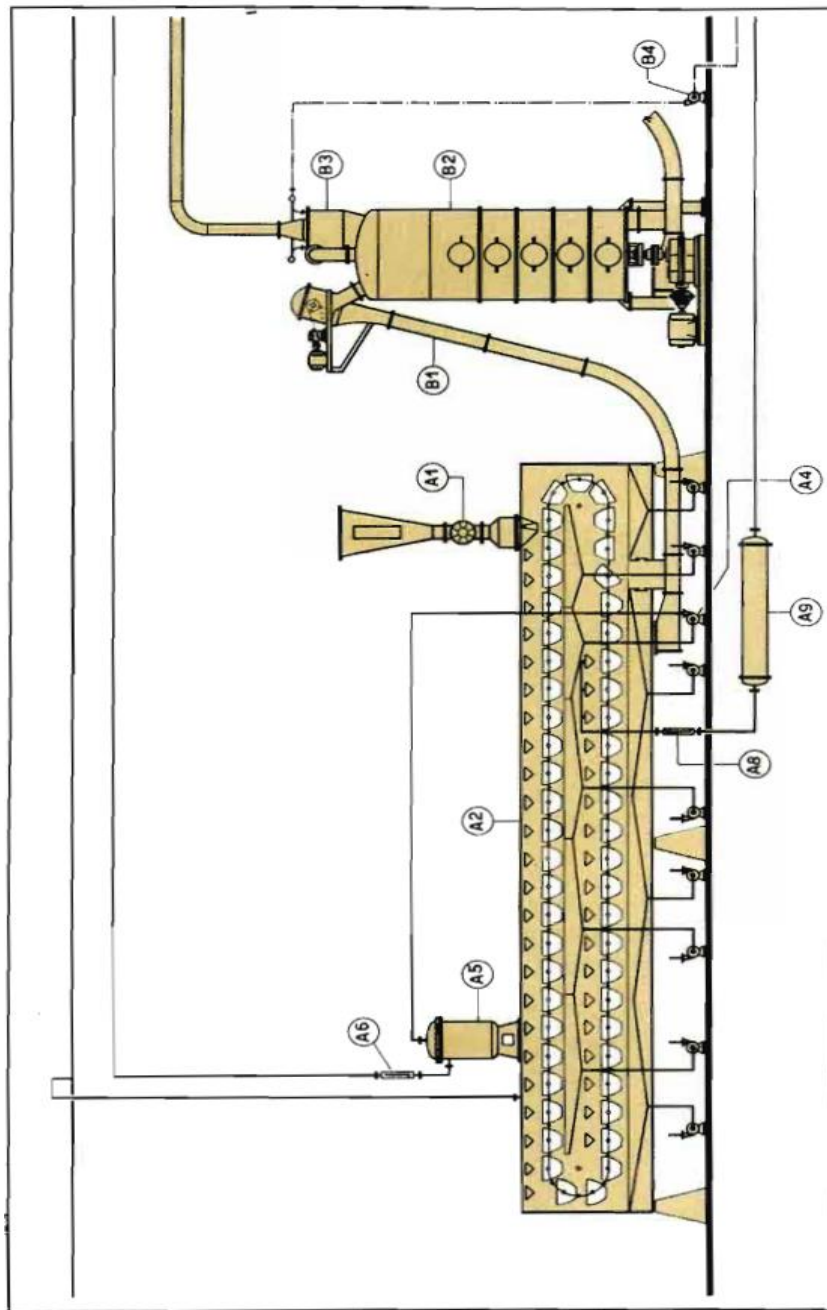


Figura 10. Esquema de extractor por percolación: A1) Válvula rotativa de carga de semilla, A2) Cuerpo del extractor, A4) Bomba de micela, A5) Filtro de micela, A6) Rotámetro (medidor de caudal para micela), A8) Rotámetro (medidor de caudal para solvente), A9) Filtro de solvente, B1) Transportador de harinas, B2) Desolventizador, B3) Ciclón separador de polvos, B4) Bomba de inyección de agua al ciclón

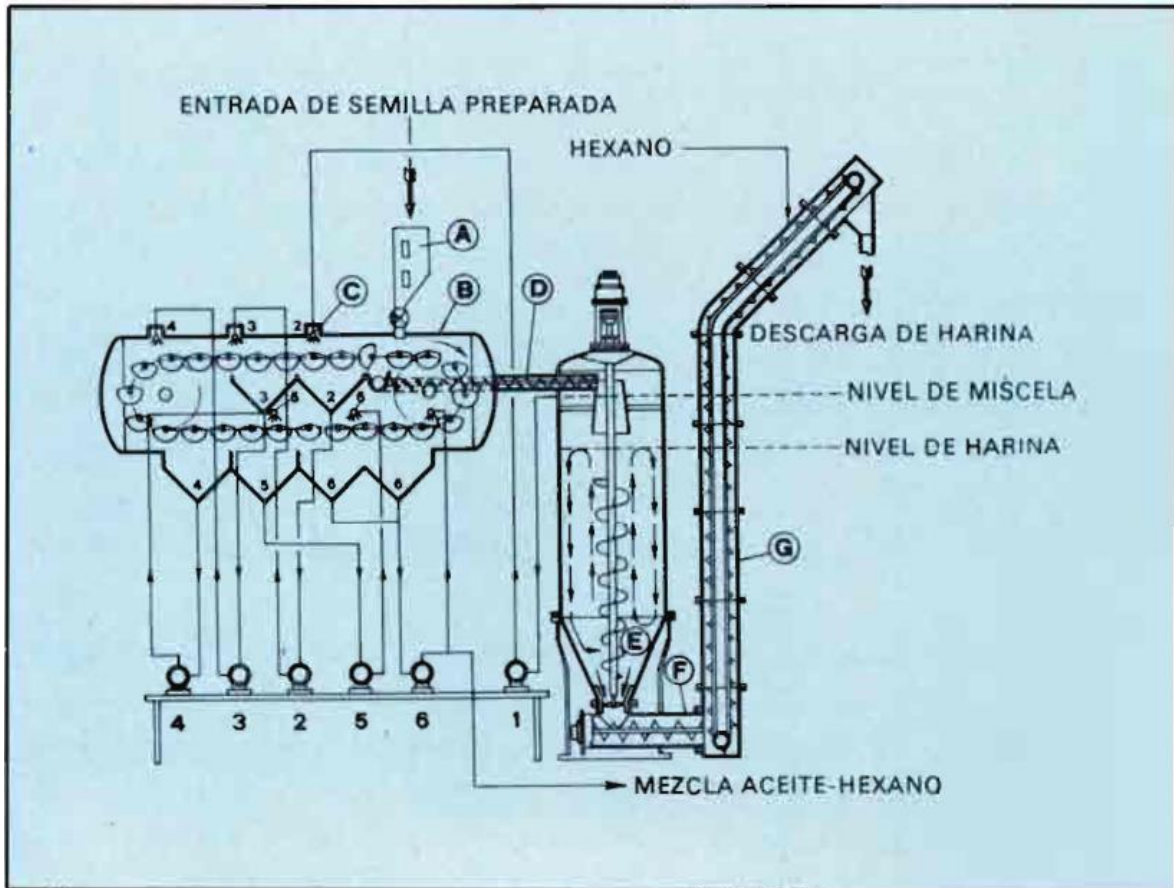


Figura 11. Esquema de extractor mixto percolación inmersión: A) Tolvin de carga, B) Cuerpo del extractor, C) Duchas del solvente, 1 al 6) Bombas de recirculación de solvente, D) Tornillo extractor de harinas, E) Agitador del extractor por inmersión, F) Tornillo de descarga de harinas, G) Elevador de cangilones para harina

El proceso de percolación suele ser más apropiado para la extracción del aceite que se encuentra en estado libre por la acción de tratamientos anteriores (se produce una extracción por disolución).

Por su parte, el proceso de inmersión es más adecuado para la extracción del aceite que aún se encuentra contenido en las células (se produce una extracción por difusión).

En la actualidad para la extracción por solvente se utilizan modernos extractores continuos. La elección del tipo de extractor deberá realizarse en base a la semilla o semillas a tratar, su preparación previa, los balances de materia, energía y rendimientos que presente, sin olvidar los aspectos de coste de la instalación.

3.1.2.2.1 Bondades del proceso de extracción por solvente

- La evaporación se lleva a cabo en vacío para una mejor calidad de aceite.
- Con el mismo sistema de extracción se pueden procesar diferentes materias primas.
- El sistema de recuperación de solventes a partir del tubo de gas es sumamente absorbente.
- Con la conservación de la energía total y la utilización de la repetición, el consumo de vapor de agua se reduce notablemente.

En la Figura 12 se describe el proceso de extracción, se observa que el material preparado se recibe en la tolva de alimentación a través del transportador giratorio. Este último sirve para regular la alimentación.

El extractor es un recipiente largo horizontal y rectangular en sección transversal. Un transportador de banda articulada en el interior del extractor recibe el material desde la tolva de alimentación y lo transporta a una velocidad determinada a partir del extremo de alimentación para la descarga final. La cinta transportadora se mueve sobre los carriles situados convenientemente dentro del extractor y monta en piñones especialmente construidos en cualquier extremo. La velocidad del transportador de banda es fácilmente ajustable dentro de límites deseados. Un amortiguador ajustable permite la regulación de la altura de la cama de material sobre la banda transportadora.

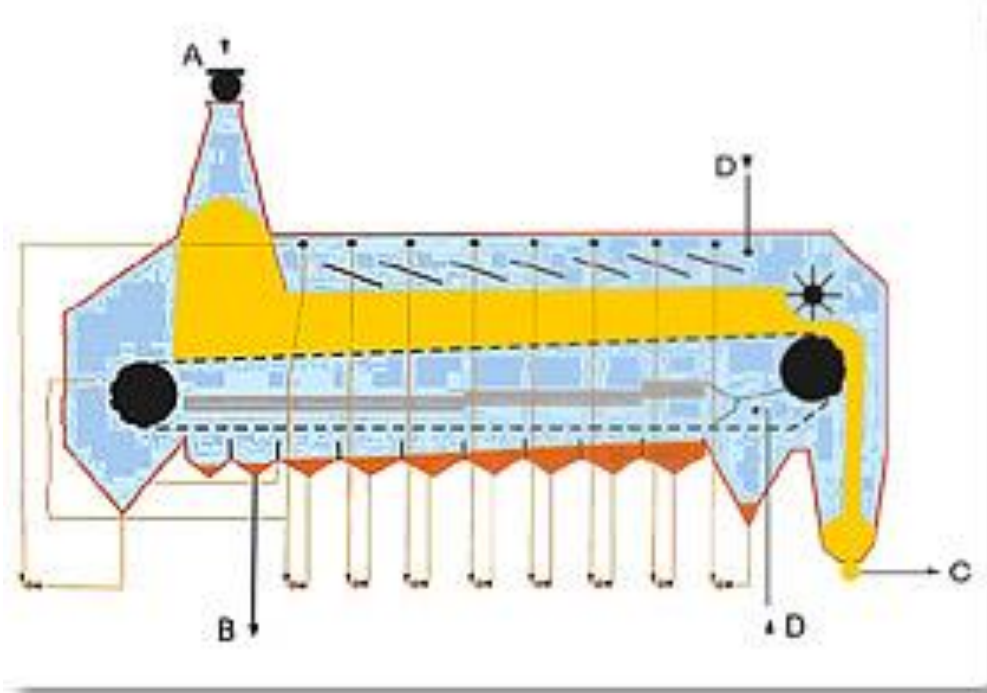


Figura 12. Extractor de aceite por solvente transversal

Posteriormente una serie de pulverizadores situados sobre el transportador de banda permiten una pulverización perfecta del solvente en la cama móvil. El drenaje de solvente fresco es admitido en el extractor cerca del extremo de descarga de la cama móvil de material y la micela completa se recupera de la etapa inicial, garantizando un buen flujo a contracorriente del material y el solvente. La micela se mueve en un circuito cerrado en cada una de las etapas debido al desbordamiento de cada tolva del extractor después de aumentar gradualmente su contenido de aceite. La limpieza de los transportadores de banda se lleva a cabo por pulverización, con un chorro de alta presión de solvente fresco sobre el retorno del transportador de banda en el extremo de descarga que garantiza una limpieza perfecta de la malla y que, además, descarta la posibilidad de obstrucción de la red y la canalización.

En pocas palabras, el proceso de extracción con solvente consiste en tratar la materia prima con hexano y recuperar el aceite por destilación de la solución resultante de aceite en hexano llamado micela. La evaporación y la condensación de la destilación de micela permiten la recuperación del hexano absorbido en el material, el cual se vuelve a utilizar para la extracción. El bajo punto de ebullición de hexano (67°C / 152°F) y la alta solubilidad de los aceites y grasas en ella son las propiedades explotadas en la planta de extracción con solvente.

3.2 REFINACIÓN DEL ACEITE DE SOYA

El aceite crudo es el producto de la extracción realizada a las semillas oleaginosas, este se caracteriza por que además de los triglicéridos contiene impurezas como fosfolípidos, clorofila, ácidos grasos libres, carotenos, ceras, hierro, calcio y magnesio. La refinación elimina todas estas impurezas del aceite, permitiendo obtener un aceite refinado apto para el consumo.

El proceso de refinación del aceite (Figura 13) comprende desgomado/neutralizado, blanqueado, desodorizado y “acondicionado”. Se puede realizar por métodos físicos o químicos dependiendo de la tecnología utilizada. El refinado físico significa el desgomado del aceite para la eliminación de ácidos grasos libres en el proceso de desodorización con vapor (destilación). En tanto que el refinado químico, consiste en la eliminación en forma de jabones sódicos de los ácidos grasos libres por neutralización ácido-base con sosa cáustica. Posteriormente en ambos casos el proceso se complementa con una etapa de decantación o centrifugación para eliminar las gomas o jabones formados.

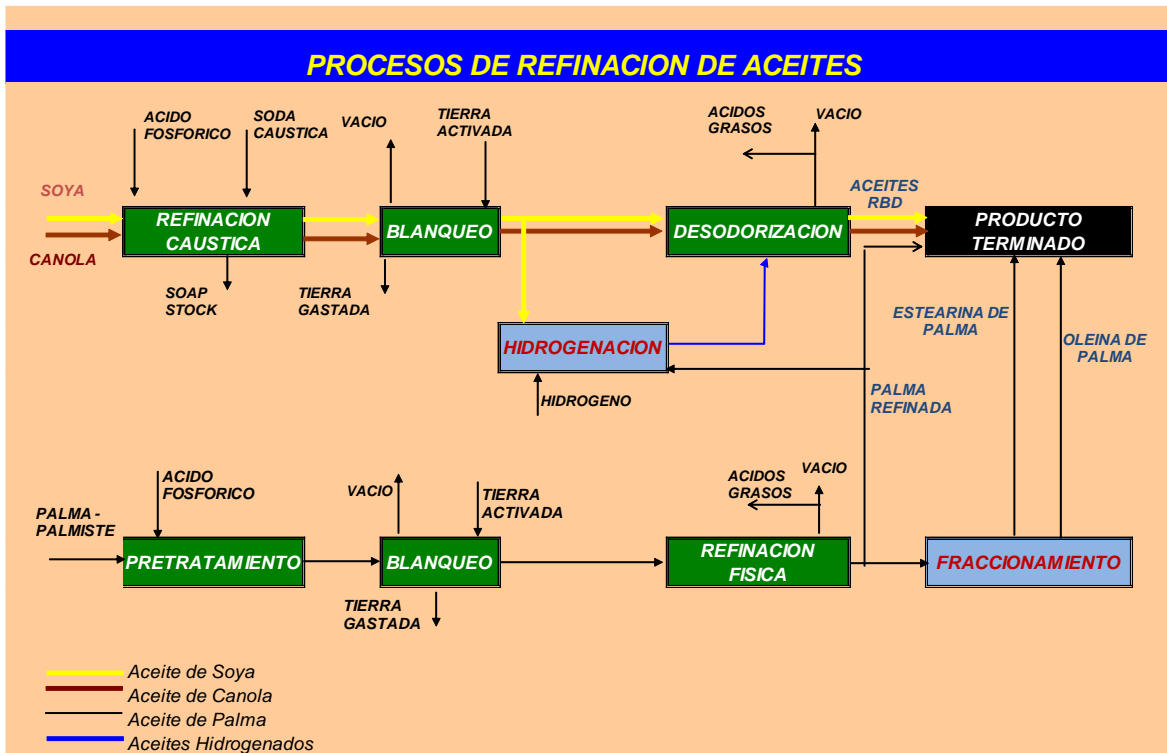


Figura 13. Tecnología utilizada para la refinación química y física de aceites comestibles

3.2.1 Refinación física

En la Figura 14 se muestra un diagrama de flujo de todos los pasos que se llevan a cabo durante el proceso de la refinación física.

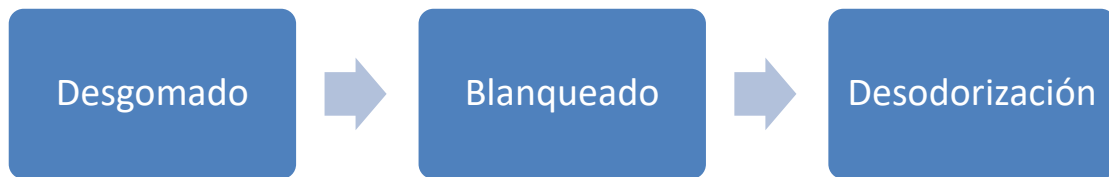
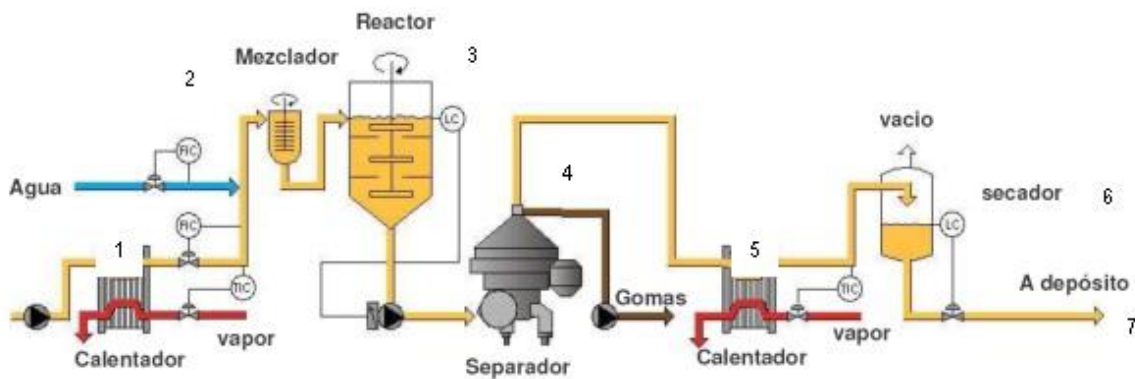


Figura 14. Diagrama de flujo proceso de refinación física de aceites comestibles

3.2.1.1 Desgomado

Es la primera etapa en el proceso de refinación física de aceites, es el más utilizada para procesar aceites crudos que tienen bajos niveles de fosfátidos y alto contenido de acidez como en el caso del aceite de palma, de palmiste y de soya. En esta última se realiza con ácido fosfórico concentrado para eliminar fosfátidos, metales y sustancias que producen color. También se puede efectuar con agua u

otro agente como el ácido cítrico, a elevada temperatura durante un tiempo suficiente para hidratar las gomas (Figura 15). Posteriormente el aceite se centrifuga para separar aceite y agua.



1. Calentamiento a temperaturas entre 60 -70°C
2. Adición de agua o ácido cítrico y mezclado
3. Retención y mezclado durante 30 minutos
4. Separación centrífuga de las gomas hidratadas
5. Secado de aceite desgomado
6. Secado para lecitina comestible
7. Reproceso con la harina.

Figura 15. Proceso del desgomado físico de aceites comestibles

3.2.1.2 Blanqueado

Una vez realizado el desgomado el aceite se transfiere al tanque blanqueador que se encuentra conectado al vacío (Figura 16). Mantener el vacío es indispensable para evitar la oxidación del aceite (parámetro de calidad del proceso) y arrastrar el vapor que está siendo inyectado y las trazas de humedad que aún estén presentes en el aceite.

En el tanque de blanqueo con el aceite crudo se agregan las tierras arcillosas, preparadas químicamente para adsorber todas las impurezas como hierro, níquel, cobre, jabones (álcalis), fosfátidos (gomas).

Posteriormente el aceite es filtrado en filtros de pulido, por su parte, las tierras van quedando atrapadas en los filtros y una vez que estos se han saturado las tierras se secan y se retiran por vibración.

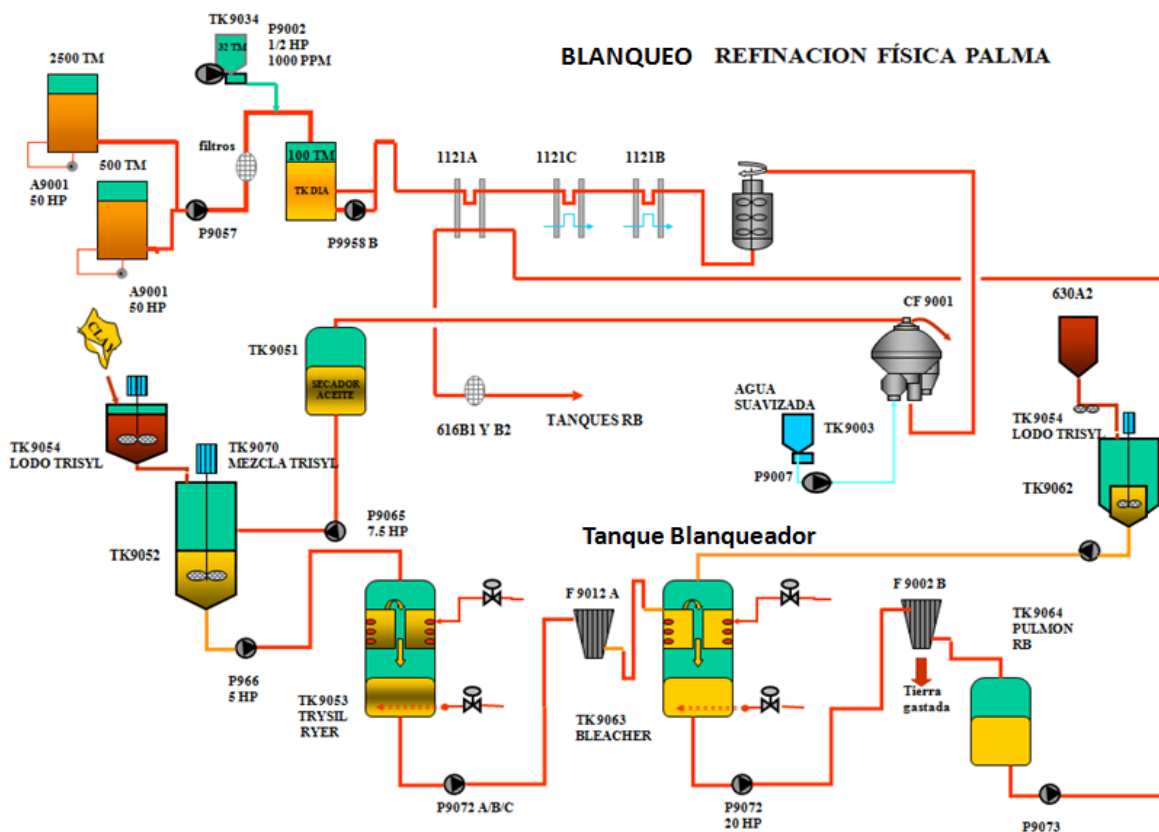


Figura 16. Proceso de blanqueo en la refinación física de aceites comestibles

3.2.1.3 Desodorizado

En esta etapa radica la principal diferencia entre el refinado químico (con sosa cáustica) y el físico. Lo anterior en función de que el refinado físico se basa en la mayor volatilidad de los ácidos grasos libres en comparación con los triglicéridos, teniendo como consecuencia que al aplicar la destilación con vapor a alta temperatura y a baja presión para eliminarlos, también se eliminan sustancias insaponificables y otros volátiles formados por la ruptura de productos de oxidación de lípidos, causantes del sabor y el olor como son los aldehídos, alcoholes, pigmentos y destrucción de peróxidos.

Las condiciones en que se realiza el proceso oscila entre 400-700 Pa de presión y a 220 - 270 °C de temperatura, dependiendo del tipo de aceite. Como el aceite debe dejarse en el destilador durante un tiempo 30 - 60 minutos, es necesario controlar muy bien las condiciones para evitar en lo posible los cambios químicos en el aceite.

Posterior a la desodorización el aceite se hace pasar por filtros pulidores con el fin de retener impurezas que pueden haber quedado en el aceite que sale del desodorizador.

3.2.2 Refinación química

La refinación química es más agresiva (neutralización con sosa caustica) y es utilizada cuando la exigencia de calidad del aceite resultante es menor, aunque el resultado es más consistente y estable.

Cada etapa en la refinación química de aceites vegetales crudos (Figura 17) se realiza con el fin de eliminar un tipo de impureza o elemento no deseable.



Figura 17. Diagrama de flujo en el proceso de refinación química de aceites comestibles

3.2.2.1 Desgomado

Aun cuando tiene la misma finalidad que se mencionó en el procesado físico, se presentan características distintivas en el proceso. Así, para el desgomado químico (Figura 18) el aceite crudo o virgen se trata con una solución diluida de ácido fosfórico para hidratar y precipitar los fosfolípidos al hacerse insoluble en la grasa. Este proceso se realiza en tanques dotados de un agitador, se incorpora agua en un 2% v/v a una temperatura de 70°C. El aceite pasa después a una centrifuga a gran velocidad en donde son removidos los fosfolípidos y el agua del aceite desgomado. Las gomas son deshidratadas o tratadas con peróxidos para la obtención de lecitinas, las cuales se utilizan en diversas industrias alimenticias.

En algunos tipos de aceites como el de semilla de algodón esta etapa no es necesaria. Sin embargo, para el caso del aceite de soya es indispensable ya que de lo contrario se presentarían una serie de defectos en el aceite durante el proceso como el que los triglicéridos se alteran con mayor facilidad adquiriendo sabores y olores desagradables, haya decantación en los tanques de almacenamiento, se tenga mayor susceptibilidad a la oxidación o haya formación de espumas durante el calentamiento.

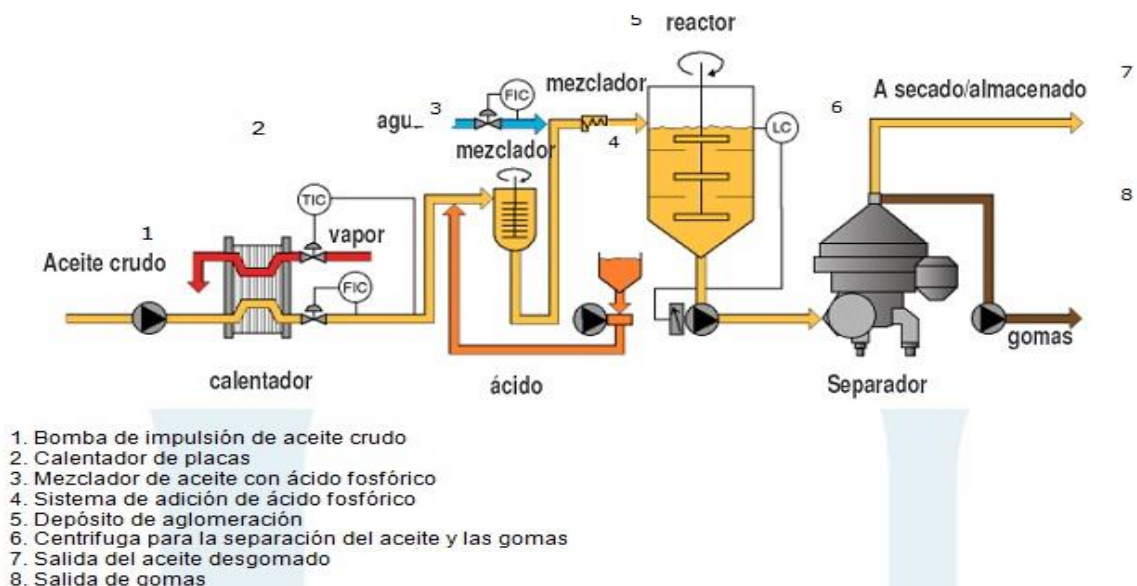


Figura 18. Proceso de desgomado en refinación química de aceites comestibles

3.2.2.2 Neutralizado

Consiste en agregar una sustancia neutralizante de carácter básico al aceite, generalmente solución de hidróxido de sodio. Para disminuir su acidez con las menores pérdidas del aceite

En esta etapa (Figuras 19 y 20) se eliminan ácidos grasos libres por la acción de sosa cáustica para neutralizar la acidez residual del aceite originada por su presencia. Para eliminar la totalidad de los ácidos grasos libres (AGL), sin deteriorar el aceite, se utiliza un vacío de hasta 5 mm de Hg y calentamiento a temperatura de 180-240 °C. Los aceites bien neutralizados contienen menos de 0.1% de ácidos grasos libres. Esto es recomendable especialmente si los aceites se utilizarán para el proceso de hidrogenación.

Tradicionalmente el aceite de soya se refina utilizando soluciones preparadas a diferentes grados baumé de hidróxido de sodio. Para realizar dicha refinación, es necesario dosificar la cantidad de álcalis (hidróxido de sodio) que se requiere para lograr neutralizar los ácidos grasos libres. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%Tx (1) = (FFA) (FAC) + EXCESO / \% NaOH / 100 (1)$$

Donde:

%Tx: Porcentaje de solución diluída de hidróxido de sodio necesaria para neutralizar 100 gramos de aceite.

FFA: Acidez inicial del aceite que desea neutralizar.

FAC: Factor del hidróxido de sodio (valor teórico de 0.142).

Exceso: Cantidad en exceso de solución diluida de hidróxido de sodio (para aceite de soya crudo 0.12 – 0.15% y para aceite de soya crudo desgomado corresponde a 0.10 – 0.12%).

% NaOH: Cantidad de hidróxido de sodio puro presente en las soluciones diluidas de hidróxido de sodio preparadas a diferentes grados baumé.

Para encontrar el factor (FAC) del hidróxido de sodio de la fórmula, se toma como base la reacción estequiométrica que ocurre, entre la sosa cáustica (NaOH) y los ácidos grasos libres presentes en el aceite de soya; para fines de cálculo se toma como referencia el ácido oleico.

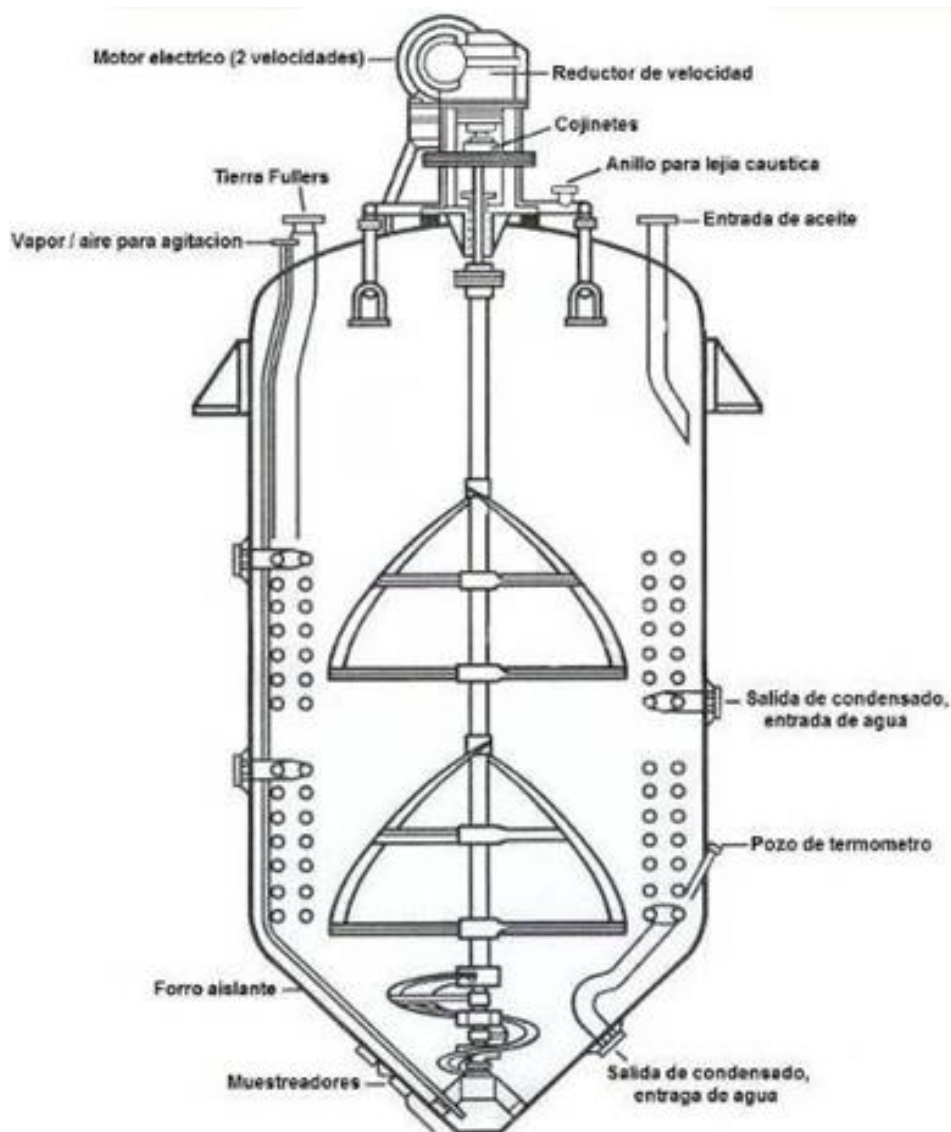
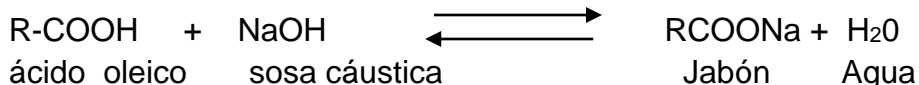


Figura 19. Neutralizador – Blanqueador para el refinado de aceites comestibles

La reacción de neutralización es la siguiente:



Por estequiometria se tiene, que un mol-gramo de ácido graso libre, es neutralizado por un mol-gramo de NaOH (sosa cáustica) por lo tanto, 40 gramos de sosa (peso molecular - gramo de la sosa), neutralizará a 282 gramos de ácido oleico (peso molecular - gramo del ácido oleico).

Planteado lo anterior se tiene que, un kilo de ácido graso libre (FFA) necesita para ser neutralizado $40/282 = 0.142\text{Kg}$ de sosa = FAC.

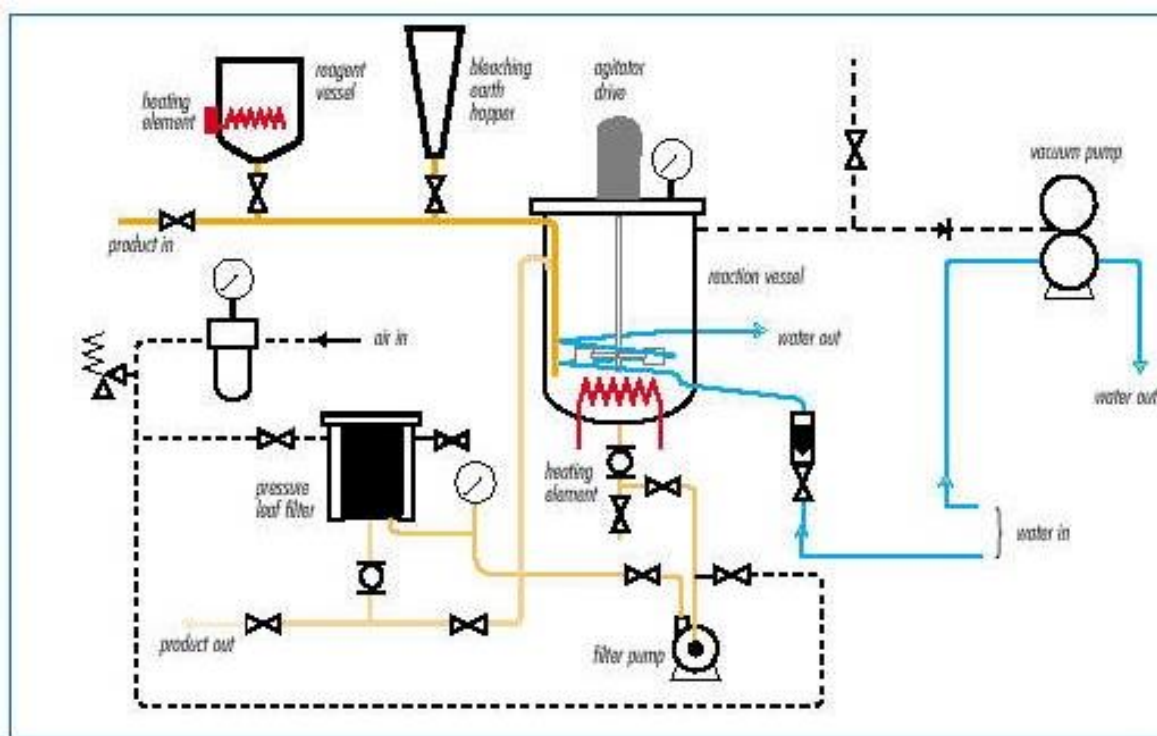


Figura 20. Neutralización/Lavado/Blanqueo

Por otro lado, para determinar el porcentaje de hidróxido de sodio se utiliza la Tabla 5, en la cual se encuentra la pureza de cada solución preparada a los grados baumé, que va desde 10° Be hasta 30° Be.

Después de la etapa de neutralización, el aceite lleva cierta cantidad de jabón en suspensión, el cual es removido por una serie de hasta tres lavados con agua

caliente, posteriormente el agua y el jabón son retirados por medio de una centrifugación. Terminado el proceso el aceite se envía a una torre de secado.

Tabla 5. Medidas de la concentración de hidróxido de sodio en las soluciones a diferentes grados Baumé

GRADO BAUMÉ 15° C	NORMALIDAD	CONTENIDO % NaOH
10	1.64	6.57
12	2.00	8.00
14	2.38	9.50
16	2.76	11.06
18	3.17	12.68
20	3.59	14.36
22	4.02	16.09
24	4.47	17.87
26	4.92	19.70
28	4.40	21.58
30	5.88	23.50

3.2.2.3 Blanqueado

El aceite neutralizado se blanquea, empleando tierras o arcillas decolorantes naturales, artificiales o activadas, (Tabla 6) con el fin de remover sustancias que aportan color al producto, como la clorofila, jabones y para descomponer los peróxidos. La mezcla de aceite y tierras blanqueadoras se agitan a una temperatura máxima de 90°C (Figura 21), la cantidad de tierra requerida depende del color del aceite y del grado de decoloración que se quiera obtener, en algunos casos para obtener mejores resultados se realizan mezclas de tierras y carbón activado. Después de realizado el blanqueo los blanqueadores se filtran quedando el aceite neutro blanqueado.

Tabla 6. Parámetros para absorbentes como blanqueadores de aceites comestibles

Blanqueadores	Densidad	Capacidad de relación de Aceite
Tierra decolorante natural	50	20 – 25 %
Tierra decolorante artificial	45	35 – 40 %
Carbón activado	30	50 %

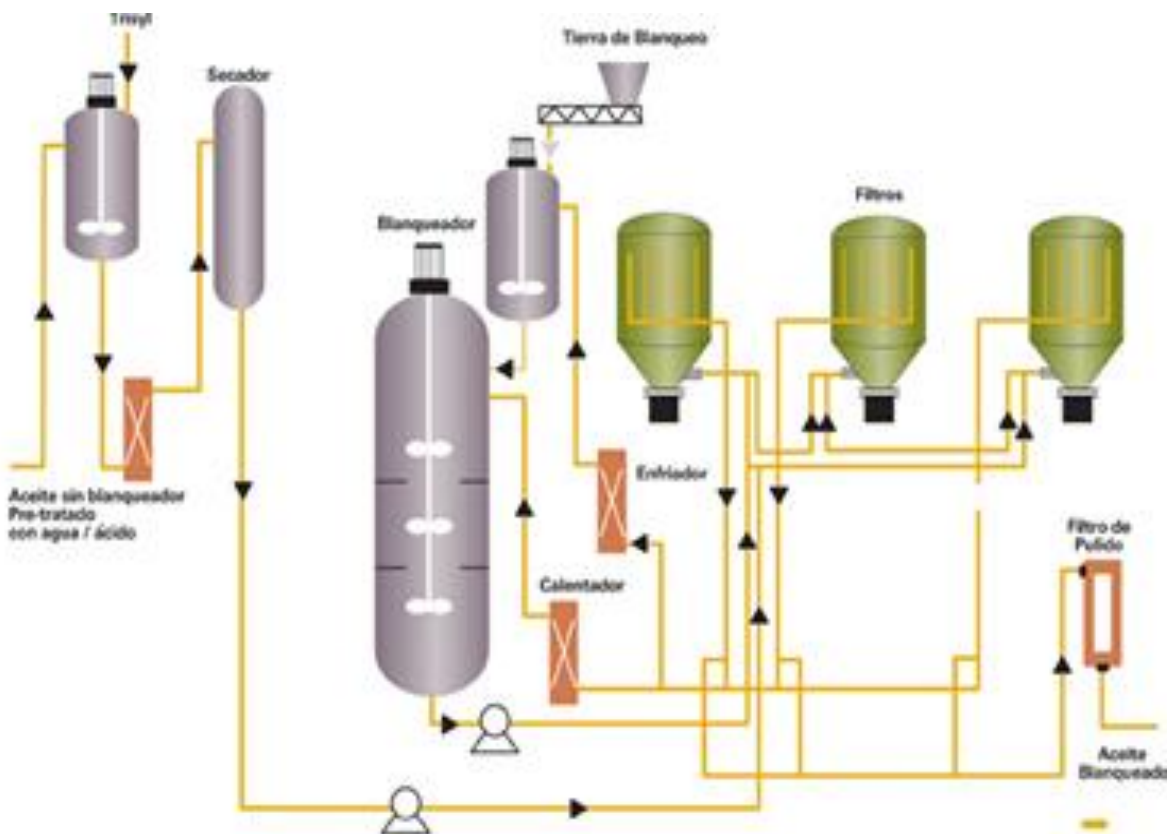


Figura 21. Etapa de blanqueo en el proceso de refinación química de aceites comestibles

3.2.2.4 Desodorizado

La desodorización se realiza con el fin de eliminar los compuestos volátiles que le imparten olores y sabores indeseables al aceite, como las cetonas y los aldehídos.

Este proceso consiste en una destilación con vapor seco para volatilizar los compuestos que producen estos olores. Se realiza a bajas presiones y altas temperaturas 180 a 220 °C. El aceite de algodón requiere de temperaturas más bajas, para la retención de una mayor cantidad de tocoferoles considerados como antioxidantes naturales.

En esta etapa se debe adicionar un antioxidante al aceite para prolongar la vida útil del producto ya que los tocoferoles antioxidantes naturales, presentes en el aceite crudo se eliminan.

En los desodorizadores el aceite cae en láminas delgadas (Figura 22), dentro de una torre de calefacción, a vacío y a vapor de agua a contracorriente. Se debe evitar todo contacto con el oxígeno, pues produce oxidaciones indeseables; el

vapor que se utiliza debe estar desaireado, no debe haber entradas de aire y el vacío debe ser muy elevado.

A veces se añaden secuestradores (ésteres de ácido cítrico) para impedir la acción catalítica de los iones metálicos. En la operación se destruyen también los peróxidos.

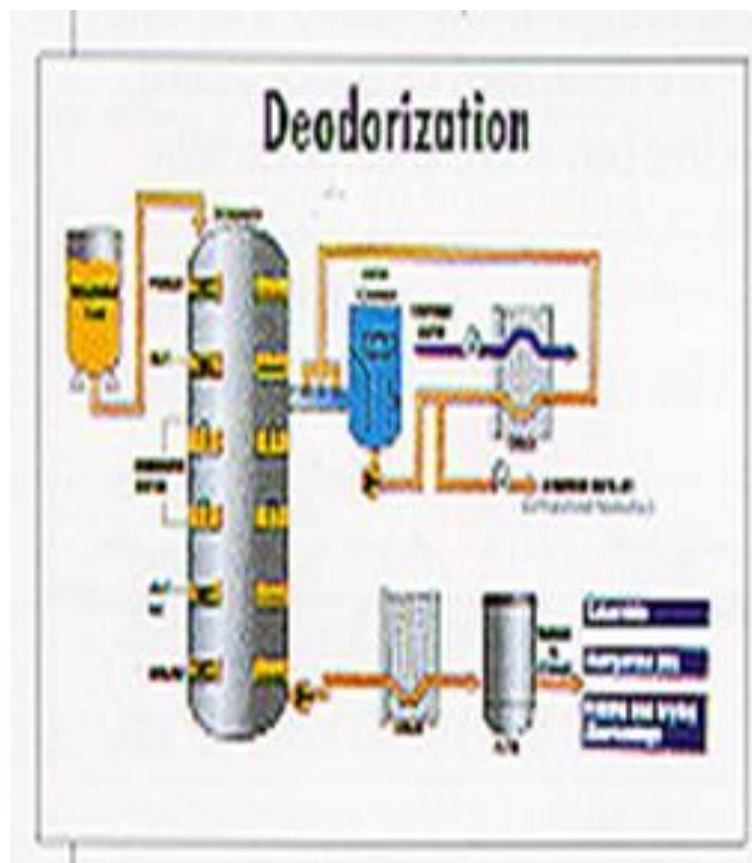


Figura 22. Etapa de desodorización en el proceso de refinación química de aceites comestibles

Después de aplicar las diferentes etapas, el producto es apto para consumo humano, pues los aceites neutralizados o refinados, blanqueados y desodorizados son de los productos más puros que se encuentran en el mercado.

CAPÍTULO 4



MÉTODO PROPUESTO PARA LA REFINACIÓN DEL ACEITE DE SOYA

4.1 REFINACIÓN QUÍMICA

Hay que tener en cuenta que no existen dos refinerías de aceite vegetal que sean iguales. Inclusive dentro de una misma empresa cuentan con distintos equipos y métodos, sin embargo los procesos básicos son los mismos. Por esta razón, solo se tratará los conceptos de la refinación cáustica o refinación química que son comunes para todas las refinerías.

Como ya se mencionó, la refinación química comprende las diferentes etapas descritas anteriormente (neutralizado, desgomado, blanqueado y desodorizado) para generar aceites aptas para el consumo humano.

Lo anterior debido a que el crudo de aceite vegetal contiene dos sustancias primarias (ácidos grasos libres y fosfatos) que deben ser eliminadas por la refinación química a fin de conseguir el producto final con el color, olor deseados, así como la menor sensibilidad a la oxidación.

Es importante durante la refinación remover estas impurezas para producir un aceite vegetal de calidad. Todo lo que se hace en la refinación de aceite vegetal es “remover”. Se adicionan sustancias al aceite solo para extraer las impurezas que este contiene, principalmente los fosfatos (existen dos tipos de fosfatos en el crudo, los fosfatos hidratables, que reaccionan con el agua, y los fosfatos no hidratables, que no reaccionan con el agua).

Cabe hacer mención que el proceso que a continuación se detalla es el utilizado en la empresa CARGILL y por cuestiones de confidencialidad se han omitido algunos detalles.

4.1.1 Desgomado y Neutralizado

El primer paso en la refinación cáustica es convertir estos fosfatos no hidratables, en fosfatos hidratables, a fin de removerlos más tarde al hacerlos reaccionar con agua. Esto se logra al pre-tratar el crudo con ácido fosfórico. El ácido fosfórico abre puntos en los fosfatos no hidratables donde después el agua puede reaccionar.

Lo primero que se hace es verificar la calidad del crudo para establecer los tratamientos que serán aplicados. Así, con un crudo de buena calidad, se necesitan entre 200 y 300 ppm (partes por millón) de ácido fosfórico, es decir una acidez no mayor a 1.5 % de ácidos grasos libres. Por el contrario, si el crudo es de baja calidad, se necesita una mayor cantidad de ácido.

Otro parámetro importante a considerar es el tiempo de retención, pues es el periodo necesario para que el ácido reaccione con los fosfatos no hidratables (desde 4 a 16 horas, o más). Este se ve condicionado por la calidad del crudo y la temperatura de la mezcla.

Por otro lado, la acidez de la mezcla, proporciona información de cuanta sosa hay que adicionarle para neutralizar el aceite. La cantidad real se determina con una fórmula (ver capítulo 3.3.2.2). En la Tabla 7 se manifiesta el porcentaje de sosa necesario para neutralizar el ácido. Por experiencia se tiene que un 10% de exceso de sosa produce buenos resultados si se parte de crudo de buena calidad.

Esta tabla provee la cantidad de sosa basada en los grados BAUME, o fuerza BAUME que es una medida de la gravedad específica de una solución, por eso puede utilizarse para medir la concentración del hidróxido de sodio o sosa en agua. Estos son parámetros de control muy importantes.

Tabla 7. Medidas de la concentración de hidróxido de sodio en las soluciones a diferentes grados Baumé

GRADO BAUMÉ 15° C	NORMALIDAD	CONTENIDO % NaOH
10	1.64	6.57
12	2.00	8.00
14	2.38	9.50
16	2.76	11.06
18	3.17	12.68
20	3.59	14.36
22	4.02	16.09
24	4.47	17.87
26	4.92	19.70
28	4.40	21.58
30	5.88	23.50

Otro aspecto importante es realizar la prueba para aceite neutro ya que sirve para controlar la operación completa y determinar los parámetros de productividad. Con este valor, se puede predecir un porcentaje de aceite bueno que se debería obtener, así como el porcentaje de impurezas que se deben remover. Por ejemplo, si esta prueba dice que el porcentaje de aceite neutro es de 3%, se sabe que el producto terminado debería aproximadamente representar un 97% en peso del crudo.

Cuando se inicia el proceso de refinación con el bombeo del aceite desde el tanque de alimentación hacia la refinería (Figura 23), se lleva a cabo un filtrado a fin de remover partículas grandes y añadir la sosa al 10% en peso. La sosa

reacciona con los ácidos grasos libres, neutralizando el ácido y formando jabones de sodio (soapstock), en tanto que el agua, hidrata los fosfatos produciendo gomas. Tanto estas como los jabones son retirados del aceite al ser insolubles en ella.

De esta manera se genera la mezcla de aceite/sosa/ácido que fluye a la bomba de alimentación de la refinación cáustica (Figura 23) y pasa al intercambiador de calor primario, donde el aceite es calentado de 165 °F a 170 °F para posteriormente ser transportado a la centrifuga primaria.

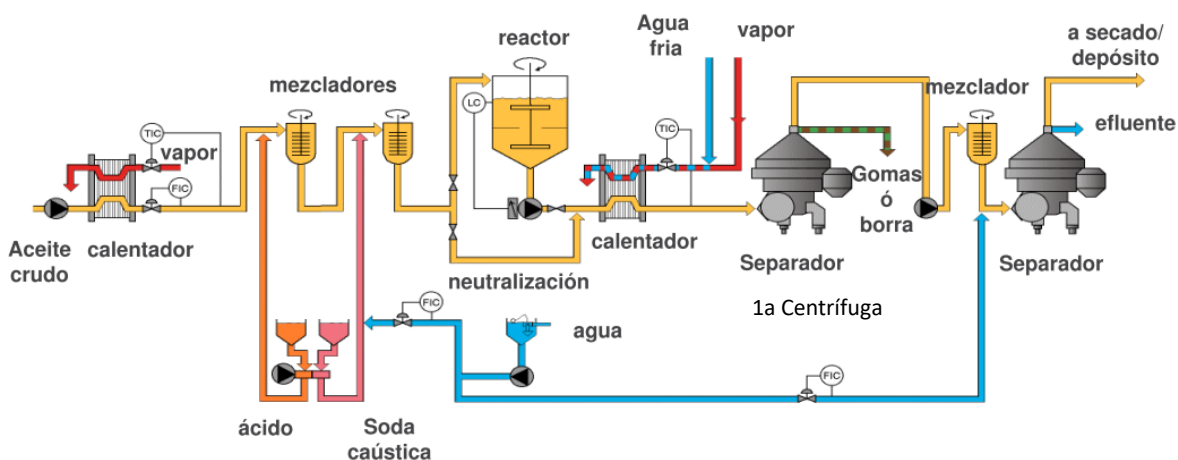


Figura 23. Proceso de refinación del aceite de soya

La centrifuga primaria de flujo continuo separa el líquido y el “soapstock” del aceite. De esta manera la mayoría de la sosa, el agua y los ácidos grasos libres son removidos como soapstock. El material más liviano o aceite, fluye hacia la centrifuga secundaria en donde se efectúa el lavado. Es muy importante controlar la presión en este punto debido a que si la contra presión es muy baja, el soapstock se mezclará con el aceite y no saldrá de la centrifuga, teniendo como resultado un aceite de baja calidad. Si la contra presión es muy alta, parte del aceite se irá con el soapstock, produciendo mermas en el rendimiento (pérdida de aceite).

Cada dos horas se analiza la descarga de la centrifuga primaria para asegurar que el proceso se está efectuando de manera correcta. El aceite que sale de la centrifuga debería contener entre 300 y 500 ppm de jabón. Resultados mayores indican que hay un problema con el proceso (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros de calidad en planta a la salida de la 1ª Centrifuga

1er Centrifuga	Valor Máximo
AGL (%)	0.035
Jabón (ppm)	350

En caso de observar problemas en esta etapa aun cuando las presiones en la centrifuga y en el pre-tratamiento del crudo son correctas, quizás pueda deberse al agregado incorrecto de la sosa. La solución es analizar el aceite de entrada y calcular el exceso de sosa.

El siguiente paso en la refinación cáustica, es el lavado para remover jabones residuales. Se empieza añadiendo 10% en peso de agua suave, 300 – 500 ppm de ácido fosfórico, puede ayudar para remover el jabón. El agua reacciona con los fosfatos y el jabón. El ácido fosfórico suprime la formación de una emulsión, reduciendo la pérdida de aceite, cuando este es separado del agua. El agua, el aceite y el ácido son bombeados hacia otro intercambiador de calor para elevar la temperatura hasta aproximadamente 200 °F.

En la centrifuga secundaria se separa el agua del aceite. Las impurezas solubles son arrastradas por el agua de descarga. Los puntos de control en el lavado de agua son el agregado de agua, de ácido fosfórico, la elevación de la temperatura y la limpieza de la centrifuga. El proceso del lavado del aceite complementa el refinamiento del proceso primario (centrifuga primaria) de refinación cáustica.

La descarga de la centrifuga secundaria es analizada para asegurar que el proceso se está realizando de manera correcta (Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros de calidad en planta a la salida de la 2ª Centrifuga

2ª Centrifuga	Valor Máximo
AGL (%)	0.045
Jabón (ppm)	45

Desde este punto, el aceite es transportado hasta el secador, donde una pequeña cantidad de residuos de agua son removidos. El secador es un vaso operado bajo un aspirador para reducir el punto de ebullición del agua, creando un vacío. El aceite caliente (aproximadamente 190 °F) es esparcido dentro del vaso en forma de spray. El agua se evapora a esta temperatura y condiciones de presión.

Del secador se obtiene el aceite llamado refinado primario, debido a que aún se necesitan diversas operaciones para eliminar algunos jabones, fosfatos y ácidos grasos libres y tenerlo apto para consumo humano. Además, se necesitan pasos

adicionales para tratar el color y remover las partículas volátiles que ocasionan cambios en el sabor. Estas impurezas se remueven mediante el blanqueado y desodorización, siempre y cuando se haya hecho un buen trabajo previo.

4.1.2 Blanqueado

El blanqueado es la segunda de las tres etapas principales en el proceso de refinación química.

Con esta etapa se pretende eliminar los ácidos grasos libres, los fosfatos hidratable y los fosfatos no hidratable que hayan quedado de la etapa anterior.

También en esta etapa se inicia con la eliminación de las sustancias (clorofilas) que imparten color indeseable al aceite. Los carotenos (que aportan un color rojizo y amarillo) son removidos en la desodorización. En el blanqueado, también se remueven trazas de metales, tales como hierro, magnesio y calcio.

Además durante el proceso, todo se oxida en diferentes grados. Los productos de la oxidación, medidos como valores de peróxido (VP), también son eliminados durante el blanqueado. Si estos productos de la oxidación no son removidos provocan un sabor desagradable en el aceite terminado.

El proceso de blanqueado cuenta con tres etapas (Figura 24):

- 1) Primera etapa .El aceite es bombeado hasta el tanque donde se encuentran las tierras de blanqueo que se mezclan con el aceite.
- 2) Segunda etapa. La mezcla de aceite y tierra, es bombeada hasta el vaso de aspiración y blanqueado, donde es calentado hasta la temperatura de reacción. La mezcla es agitada en el vaso por un tiempo específico para permitir que la reacción se lleve a cabo.
- 3) Tercera etapa. La mezcla es bombeada hasta el filtro para remover la tierra de blanqueo. El aceite filtrado es el producto final de este proceso, que se le llama aceite refinado y blanqueado o aceite RB.

El ingrediente activo en el proceso son las tierras de blanqueo, también conocida como tierra ácida activada (puede contener ácido sulfúrico o clorhídrico). Principalmente compuesta por un silicato, que se extrae de la tierra como cualquier otro mineral. Una vez fuera de la tierra, este mineral es triturado hasta polvo. Su porosidad se debe tener en cuenta para el proceso de blanqueado.

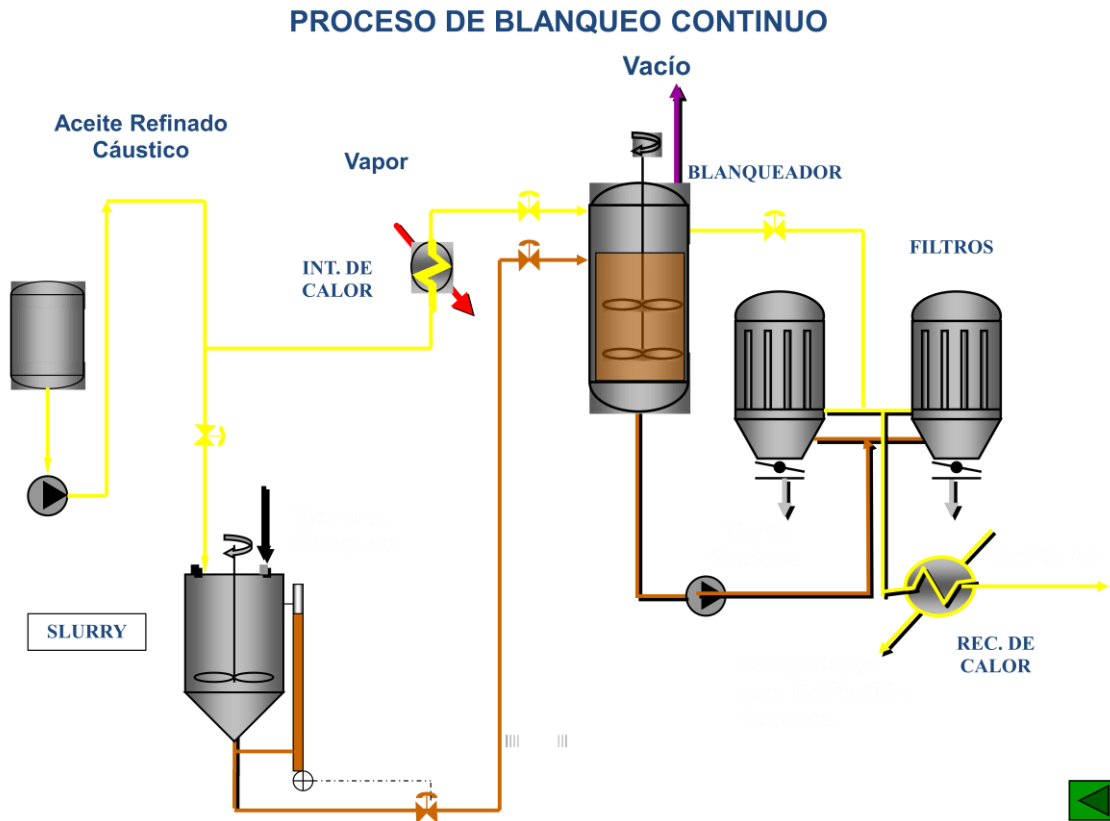


Figura 24. Proceso de refinación y blanqueo del aceite de soya

Los diferentes ácidos y niveles de porosidad producen distintos subproductos en el proceso de blanqueo. Regularmente se usan diferentes tierras dependiendo de la cantidad de impurezas que tenga el aceite a tratar. La elección de la tierra correcta es muy importante.

Las tierras de blanqueo reaccionan con el aceite de dos maneras diferentes:

- 1) La tierra es adsorbente (no absorbente), lo que significa que la reacción de intercambio de iones toma lugar en la superficie. Es como si la tierra fuese un imán que atrae a las impurezas del aceite, cuanto más ácida, más atracción. La tierra de blanqueo no se disuelve en el aceite ni tampoco es absorbida.
- 2) Las tierras también funcionan como un filtro de impurezas, cualquier partícula mayor a la tierra es filtrada.

El efecto de adsorción funciona en los residuos como fosfatos, jabón, productos de la oxidación y en el color. El intercambio de iones provoca que las impurezas se unan a las tierras, por lo cual, cuando estas son filtradas, también lo son las impurezas.

Los filtros que se utilizan filtran partículas mayores a un micrón, como las partículas de la tierra son mayores de un micrón y las impurezas están “atadas” a estas, también son filtradas.

Otro ingrediente activo utilizado en el blanqueado es el carbón activado, que es muy efectivo al remover la clorofila remanente, sin embargo, presenta varias contradicciones.

Se debe tener en cuenta la temperatura y la presión en el vaso de blanqueo. La temperatura óptima para el blanqueo está entre 220 y 250 °F la combinación de alta temperatura y baja presión causa varios efectos, como por ejemplo, el oxígeno que se conserva dentro del aceite es expulsado bajo estas condiciones, por lo que se previene una futura oxidación en esta atmósfera inerte. El agua restante también es expulsada a la presión y temperatura correcta.

Otra variable que también se debe considerar es el tiempo de retención. Es decir, el tiempo que el aceite debe permanecer en el proceso de blanqueo. Cuanto más tiempo, más se blanquea.

Si el análisis del aceite muestra que hay un elevado nivel de residuo de jabón, se debe elevar un poco la temperatura en el vaso de blanqueo. Si la clorofila es el principal problema, se necesita reducir la temperatura y utilizar una tierra muy activa y fina o adicionar carbón activado. Existen múltiples situaciones, porque lo que se debe estudiar muy bien las ventajas y desventajas de cada método.

Ahora volviendo a la elección de las tierras de blanqueo. Como se dijo antes, estas varían notablemente en la porosidad y acidez. Se necesita elegir la adecuada de acuerdo a las características del aceite que a blanquear.

Si no se remueve la clorofila, el producto final será de color verde porque el desodorizador no tiene efecto alguno sobre la clorofila lo que afecta su calidad visual y sus rechazo por parte de los consumidores. Si los niveles de fosfatos o residuo de jabón son elevados, el sabor y estabilidad del aceite se verán afectados.

La oxidación es otro problema grave. La tierra ácida activada que se usa es casi un catalizador para las reacciones de oxidación. Si estas ocurren durante el blanqueo, se degrada la calidad del aceite.

Si los niveles de ácidos grasos libres aumentan debido a la oxidación, tiene que disminuirse en la desodorización, resultando en una pérdida innecesaria de aceite neutro. Si esa oxidación ocurre en el producto terminado, se tendría un aceite rancio.

El aceite blanqueado es analizado para asegurar que se está realizando de manera correcta (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros de calidad en planta a la salida del Blanqueo

1er Centrifuga	Valor Máximo
AGL (%)	0.15
Jabón (ppm)	0
Color Rojo (Lovibond)	13
Clorofila (ppb)	30

4.1.3 Desodorizado

El aceite neutro es el producto final, lo que se obtiene después de todas las etapas incluida la desodorización. Generalmente representa el 97% del crudo cuando sale de la refinería, lo que significa que se pierde un 3% en los procesos de extracción.

La desodorización es el paso final en el proceso de refinación de aceite. Este es el último paso de eliminación, es decir, la última oportunidad de remover trazas de impurezas que le dan al aceite un gusto desagradable y un feo olor. La meta es producir un aceite virtualmente inodoro, incoloro e insípido.

Las impurezas que quedan en el aceite cuando llegan al desodorizador son los ácidos grasos trans o ácidos grasos libres y los productos de la oxidación, principalmente aldehídos y cetonas, mono y diglicéridos y otras impurezas orgánicas. Estas son lo que llaman impurezas volátiles.

Estas impurezas volátiles poseen un punto de ebullición menor al del aceite, entonces este se calienta al punto que las impurezas se desprenden del aceite como vapor bajo una aspiradora que disminuye el punto de ebullición de los volátiles, permitiendo que esto suceda a una temperatura que no daña al aceite.

El primer paso en el proceso de desodorización (Figura 25) es remover el oxígeno que reacciona bajo las condiciones a las que se trabaja y oxida el producto, afectando al sabor y el color, haciendo del aceite algo inestable. Esto se realiza antes de que el aceite sea calentado hasta la temperatura de desodorización.

En esta etapa, el aceite es bombeado a través de unos rociadores que producen un spray que es esparcido por el tanque que está bajo la misma aspiradora. La acción de hacer rocío elimina del aceite el oxígeno que está contenido en el mismo. Entonces, el oxígeno es extraído por la aspiradora y eliminado.

El segundo paso es calentar (480 – 510 °F) el aceite libre de oxígeno. Esta temperatura hace que la eliminación de impurezas volátiles se realice sin sobrecalentar el aceite.

El control apropiado de la temperatura es crítico. Si es demasiado baja, la eliminación de las impurezas volátiles será parcial, en cambio, si la temperatura es demasiado alta, el aceite se dañará, oscureciendo su color y produciendo un sabor amargo.

Los sistemas de calentamiento del aceite varía de acuerdo a cada planta, pero todos involucran dos etapas.

- I. Etapa de recuperación de calor.
- II. Etapa de calentamiento.

En la etapa de recuperación, el aceite frío que ingresa es pre-calentado en un intercambio con el aceite caliente que sale del proceso de la desodorización, que transfiere su energía al de menor temperatura (Figura 25).

También se puede utilizar un fluido intermediario para hacer la transferencia, como puede ser un aceite térmico o agua destilada, es un sistema cerrado. Este fluido es utilizado para absorber el calor del aceite que sale e intercambiarlo con el aceite que entra. Independientemente del sistema que se utilice, este paso es una efectiva manera de ahorrar energía.

En la etapa de calentamiento, la temperatura del aceite se eleva aún más, hasta alcanzar la temperatura de operación. Esto se logra con el intercambio de energía entre el aceite y el vapor o líquido caliente Figura 25 (de mayor temperatura que la del aceite que entra).

Otra acción importante en el proceso de calentamiento es la agitación. El aceite, tanto en el sistema de calentamiento y el sistema de enfriamiento debe ser agitado para promover el intercambio de energía, esto se logra al inyectar vapor. Este vapor sirve solo para agitar a diferencia del vapor que se utiliza en la desodorización que es el encargado de arrastrar las impurezas volátiles.

El tercer paso es el vapor que despoja. Cuando el aceite alcanza la temperatura correcta, fluye desde la parte de calentamiento hasta la parte de eliminación donde el vapor atraviesa el aceite despojándolo de las impurezas volátiles. El mecanismo por el cual el vapor se lleva las impurezas es complicado, pero básicamente el vapor se lleva las partículas que menor punto de ebullición poseen. El vapor se mide con un calorímetro.

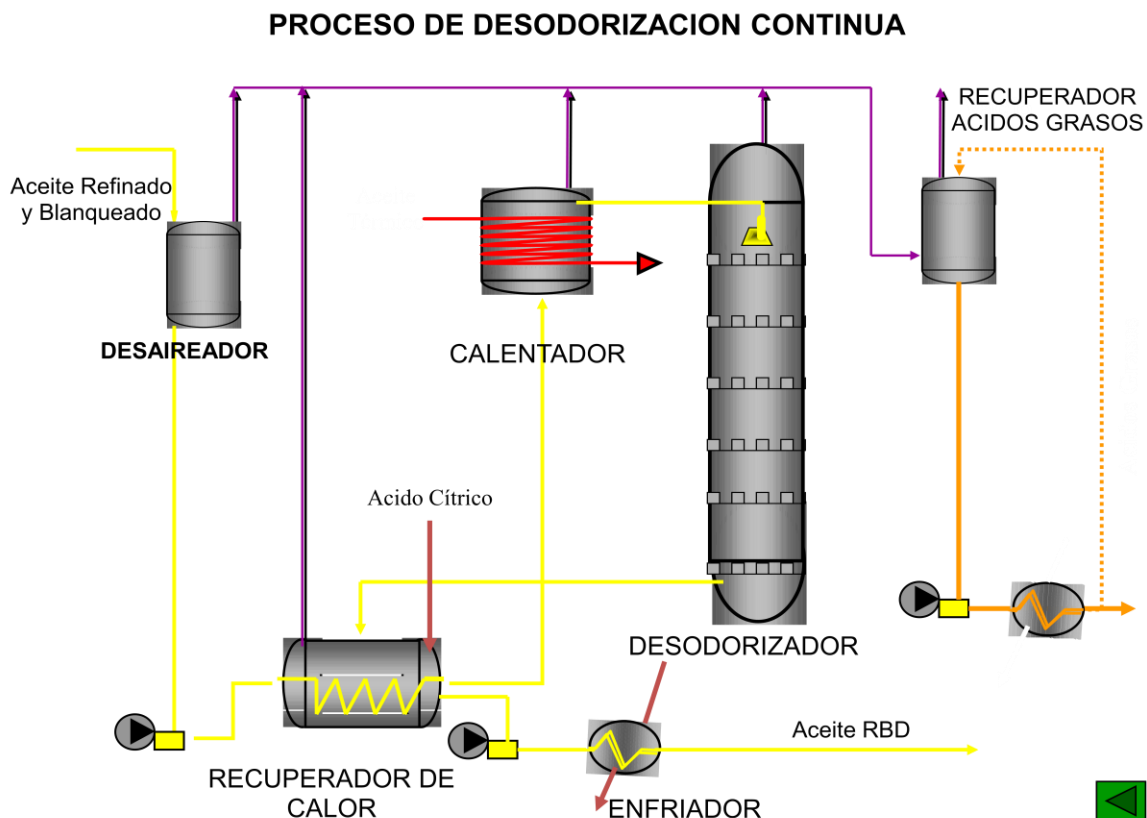


Figura 25 Proceso de desodorización del aceite de soya

Otro factor crítico es la inyección del vapor en el aceite. Se debe hacer de tal manera que entre en contacto con todo el aceite así lograr arrastrar todas las impurezas.

Las impurezas volátiles son extraídas del desodorizador mediante su aspiración, donde son condensadas. Esto se logra con el uso de un spray de enfriamiento. Este destilado se solidifica a aproximadamente 110 °F y si la temperatura sobrepasa los 140 °F, no se condensa.

A medida que las impurezas condensadas se acumulan, son bombeadas hasta un tanque de almacenamiento. La cantidad destilada debe ser controlada sino puede dañar el sistema de aspiración.

Este destilado contiene valiosos sub-productos de la refinación que sirven para producir vitamina E y productos de la industria farmacéutica, como píldoras anticonceptivas.

El cuarto y último paso de la desodorización, es el enfriamiento. Este empieza cuando se intercambia energía con el aceite que ingresa al desodorizador, en este paso la temperatura llega a los 300 °F o menos, así se evita que ocurran reacciones y esto afecte el sabor.

Después del intercambio, el aceite parcialmente enfriado, fluye a la sección de enfriamiento donde intercambia energía con agua, y se enfría aún más (Figura 25). Luego, fluye hasta fuera del desodorizador y a través de un filtro de esmalte. En este punto, se agrega una pequeña cantidad de ácido cítrico en solución al aceite. El ácido actúa como un conservante, inhibiendo la oxidación una vez almacenado el aceite.

El producto terminado se analiza (Tabla 11), y luego es bombeado a los tanques de almacenamiento donde se genera una atmósfera inerte con nitrógeno para prevenir la oxidación.

Si el aceite posee un color oscuro, la temperatura puede aumentarse hasta unos 510 °F para aligerar el color. A mayor temperatura, mayor el poder de blanqueado. Sin embargo, si la temperatura sobre pasa los 520 °F el aceite se quema y obtiene un color oscuro.

Tabla 11. Parámetros de calidad del aceite de soya RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado)

Parámetros	Mínimo	Máximo
AGL %	--	0.05
Humedad y materia volátil %	--	0.05
Prueba fría a 273 °C horas	5.5	--
Estabilidad en horas OSI a 110 °C	6	--
Impurezas insolubles %	--	0.02
Materia insaponificable %	--	1.0
Índice de refracción a 313 K (40 °)	1.466	1.470
Índice de saponificación mg KOH/g	189	195
Jabón ppm	--	0
Índice de peróxido meq/Kg	--	1.5
Fósforo ppm	--	4
Índice de yodo	112	143
Color en escala Lovibond	--	20 Amarillo/2.0 Rojo
Sabor (intensidad)	Suave a frijol	
Olor (Intensidad)	Suave a frijol	
Punto de Humo °C	--	240

También se puede aumentar la cantidad de vapor de arrastre utilizado para compensar el problema del color, siempre y cuando este dentro de los límites permitidos.

5. CONCLUSIONES

El procesado de la soya para la obtención de aceite es la que mayor auge ha tenido en los últimos años.

Obtener un aceite RBD (refinado, blanqueado y desodorizado) de calidad es posible solo si se parte de un aceite crudo de alta calidad y la estabilidad óptima se obtiene por las condiciones bajo las que se realice la etapa de desgomado.

La eliminación de la clorofila es el punto clave para efectuar un buen desodorizado y obtener aceites con buena propiedades organolépticas.

La refinación química genera aceites de mejor calidad que la refinación física al eliminar de manera efectiva las impurezas.

La desodorización es la etapa clave del refinado para remover trazas de impurezas que le dan al aceite un gusto y olor desagradable.

El método utilizado por la empresa CARGILL, S. A. de C. V. es eficiente ya que permite obtener aceite con excelentes propiedades organolépticas, gran estabilidad química y altos rendimientos.

6. RECOMENDACIONES

Se deberán tomar en cuenta todos los factores que varíen la producción, los cuales están estrechamente relacionados, informarse sobre las técnicas modernas de refinación de aceite, así como en los métodos de almacenamiento, para que sirvan de apoyo a los parámetros de producción, incorporar nuevas técnicas de análisis sensorial y prácticas de cata para su discusión, unificar criterios de actuación y solventar posibles problemas encontrados.

Desarrollar métodos que garanticen la reducción del material de desecho y verificar si realmente no puede considerarse como reutilizable o en todo caso reciclable.

Toda industria aceitera debe contar con un equipo de alta precisión para medir la cantidad de fosfátidos, así como de calcio y magnesio tanto en el aceite crudo como en el refinado, ya que ellos son determinantes para el pre-tratamiento a realizar con ácido fosfórico.

Proponer otra alternativa a la refinación del ácido y del álcali, como la refinación de la silicona. La silicona tiene una capacidad más alta de fijar el jabón y los fosfolípidos de absorción que las arcillas tradicionales.

Optimizar la cantidad de ácido fosfórico que se necesita agregar para la realización de la refinación del aceite de soya crudo desgomado.

Se deberán conocer no solo los procesos, sino las características de la materia prima a utilizar, lo cual debe ser parte de un estudio de optimización de procesos de manufactura. Una buena manipulación de la materia prima trae un impacto significativo en los parámetros de costos y producción.

7. GLOSARIO

Aceite: Es un compuesto orgánico producido por las plantas. Es un comestible natural o procesado, normalmente líquido, bajo condiciones climáticas o de almacenaje existentes.

Aceite crudo de soya: Llamado en ocasiones aceite crudo de semilla de soya; aceite no refinado producido por cualquiera de los procedimientos descritos para la extracción del aceite de los frijoles de soya. Se acostumbra filtrar el aceite y/o permitir que se asiente después de haber sido procesado a partir de las semillas.

Aceite crudo desgomado: Producto que resulta del lavado del aceite crudo de soya, con agua y/o vapor u otro agente para desgomar, durante un periodo de tiempo y después de separar la mezcla de aceite y agua, generalmente mediante el centrifugado para remover los fosfatos.

Aceite Neutralizado: Es aquel, que ha sido tratado con solución cáustica generalmente hidróxido de sodio (NaOH) para la neutralización de los ácidos grasos libres.

Aceite refinado de soya comestible: Aceite crudo de soya o desgomado que ha sido sujeto a procesos especiales de refinación para adaptarlo al uso específico de productos alimenticios. Además de ser tratados con álcalis blanqueados e hidrogenados parcialmente, los aceites también pueden ser winterizados. Estos aceites son clasificados también como aceites para ensaladas, cocina o manteca.

Aceite de soya prensado en frío: Aceite de soya producido a partir de semillas de frijol de soya amarillas íntegra, maduras y limpias; mediante un procesamiento mecánico sin la aplicación de calor y que luego son filtradas.

Aceite refinado de soya: Es el aceite comestible producido a partir de un aceite crudo de soya o desgomado, que ha sido tratado con una solución diluida de álcali o por neutralización; un aceite tratado con tierras absorbentes y sujeto a una destilación con vapor, a temperaturas altas al vacío. Dicho aceite también podría ser producido por un proceso de refinación física que consiste en el blanqueado, desgomado y neutralizado mediante el paso final del desodorizado.

Ácidos Grasos Libres (AGL): Los ácidos grasos ligados a los monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos pueden liberarse bajo ciertas condiciones, tales ácidos son denominados ácidos grasos libres. La cantidad de ácidos grasos libres en el

aceite se mide mediante la reacción o filtración de un aceite con un álcali en una solución de alcohol.

Aislado de soya: Proteína que ha sido concentrada en gran medida y removida de su sitio original por medios químicos y mecánicos. Se produce, generalmente, al extraer proteína de las hojuelas o harinas blancas con agua o un álcali ligero. Los aislados tienen un contenido proteínico de por lo menos el 90%.

ACS: Aceite crudo de soya.

AGL: Ácidos Grasos Libres.

ASA: Asociación americana de la soya.

Borra de Neutralización: Producto de reacción entre un álcali cáustico con los ácidos grasos libres de los aceites vegetales.

Colesterol: Es clasificado como un esteroil. El colesterol es un importante compuesto soluble a las grasas, que se halla en las células animales. Pero se encuentra en cantidades pequeñas en las plantas. La presencia de esta sustancia es importante para los procesos fisiológicos.

Desodorización: La desodorización es generalmente el último paso en el procesamiento tradicional de las grasa y aceites. En este proceso se elimina del aceite los rastros de elementos relativamente volátiles, que contribuyen al olor, sabor y color. Éstos son en su mayoría aldehídos, alcoholes y ácidos grasos libres.

Escala de lovibond: Escala de color establecida por estándares británicos y otros estándares internacionales, la cual va desde rojo, amarillo, azul y neutro.

Extracción por lote, carga o discontinua: La extracción de aceites por medio de solventes, que se lleva a cabo en tanques de determinada capacidad donde el proceso no es continuo. Este proceso es peligroso por la carga y descarga de hexano.

Factor: Es todo aquello que introduce variación en la respuesta de las unidades experimentales.

Germinado de soya: Fríjol entero de soya que se ha germinado hasta seis días.

Grado baumé: Sistema para medir y expresar la gravedad específica de los líquidos. Medición hecha con un hidrómetro.

Leche de soya: Líquido lechoso de valor nutritivo semejante a la leche de vaca, rico en proteínas que se obtiene típicamente al remojar y moler los frijoles de soya enteros con agua o al hidratar la harina de soya integral full-fat, cociéndola lechada y filtrando toda la pulpa de soya o fibra de líquido cocido. Los sistemas modernos para la producción de leche pueden variar en técnica.

OSI: Oil Insoluble Impurities, impurezas solubles de aceite.

Prueba en frío: Es una prueba que determina hasta qué grado se han eliminado las porciones de punto de fusión alto, durante el procesamiento para producir aceite para ensalada o winterizado. Durante esta prueba, se mantiene el aceite en baño de agua (32° C) y el tiempo que se requiere para la primera aparición de enturbiamiento se reporta como horas de prueba fría. Una prueba fría dura solo unas horas para que un aceite se separe en porciones líquidas y sólidas, a temperaturas bajas de almacenamiento de soya, tal como es requerido por los estándares comerciales. El aceite crudo de soya es una mezcla de triglicéridos compuesto de ácidos grasos insaturados y ácidos grasos saturados.

Refinación: Proceso diseñado para eliminar, de manera sustancial, los ácidos grasos libres y otras impurezas, como los fosfátidos y las sustancias proteicas ácidas y mucilaginosas. La presencia de esta materia podría interferir con el procesamiento subsiguiente como hidrogenación y desodorización, y podría contribuir a obtener un sabor y una apariencia deseable en el producto terminado.

RBD: Aceite Refinado, Blanqueado y Desodorizado.

Refinación cáustica: Proceso de neutralización llamado también de acidificación o refinación física o por vapor, dependiendo del proceso utilizado. En Estados Unidos, una refinación cáustica significa el tratamiento de un aceite o grasa con una solución de álcali acuoso, e incluye el lavado con agua. Entre los sistemas de refinación cáustica están el long-mix y el short-mix.

Tierras ácidas: Las tierras ácidas son bentonitas que han sido tratadas con ácido clorhídrico o sulfúrico, para mejorar su capacidad; con el fin de absorber el color y otros componentes indeseables en el proceso de blanqueo.

Tierra activada: Tierra para blanqueo que se ha tratado con ácido, para incrementar su capacidad de absorción del pigmento del aceite.

Tierra de blanqueo: Tierras o arcillas especiales que al ser agregados en una proporción de aproximadamente un 1% a un aceite caliente, tiene la capacidad de absorber los pigmentos indeseables.

Torta de soya: Producto de soya que queda después de la extracción, de parte o todo el aceite de los frijoles de soya, mediante presión o disolventes. Vendido de acuerdo por su contenido proteínico y es descrito por su proceso de fabricación.

8. REFERENCIAS

- Acero, G, (2000). Modelo biológico para evaluar la calidad de la tortilla por dos procesos de nixtamalización y la fortificación con vitaminas y pasta de soya. Peru
- Alfa, L. (2005). *Proceso de aceite crudo de soya*. México: alfa laval.
- ArgenBio, (2003). Seguridad alimenticia de la soya genéticamente mejorada, consejo argentino para la información y el desarrollo de la biotecnología.
- Asociación Americana de Soya (ASA), (1995). Que es el aceite de soya, primera reimpresión. Septiembre de 1995 ASA/MEXICO cat No. 60
- Badui, D. S. (2006). *Química de los Alimentos*. 4ª. Edición. México, D. F: Pearson Educación.
- Bockish, M. (1998). *Fats and Oils handbook*. AOCS press.
- Bressani, R.(1981). The role of soybeans in food systems. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58: 392400.
- Erickson, D. R. (1994). *Aspectos críticos en la refinación del aceite de soya*. México: Asociación Americana de la soya.
- FAO, (1985) Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fernández, A., A. (2005). *Las caras del aceite*. Argentina: alimentación-sana .com.
- Fetzer, W. (1998). Planta de preparación de semillas combinadas. *Aceites y Grasas*, 32, 436.
- Gregorini, J. (2003). Comentarios sobre el grano de soya y sus derivados.
- JONNISON, (1985) L.A., Soy Protein: Chemistry, Processing and Food Applications, 70th Annual Meeting of the Am. Assoc. of Cereal Chem.
- Levinson, (1974), Soy protein Products in other Foods *J. Am. Oil Chem Soc.*
- Muñoz, A. (2004). *Procedimiento para el control del proceso de refinación química del aceite crudo de soya*. Guatemala: Olmeca.
- Pedrotti, S. y F. Boling (1999) – Uso de los expanders en la preparación moderna de soya. *Aceites y Grasas* 35, 300.
- Sagpya. (2004). *Refinado de aceites*. Arg: gov.ar/agricu.
- Samperio, J. M. (1996). *Glosario de términos para la industria aceitera*. México: Asociación Americana de la soya.
- Singh, P.P.; D.E. Maier; M.R. Okos; E: Cattanach y K.P. Trumble (1999) – Effects of physical properties and operating parameters an soybean flaking. *JAOCS*, 76, 981.
- TSAI AC, (1983). et al., Effects of soy polysaccharide on gastrointestinal functions, nutrient balance, steroid excretions, glucose tolerance, serum lipids and other parameter in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*

- USDA (2013), Información y Servicios del United States Department of Agriculture
- Vildoza, M. (2006). Perfil nutricional de la soya. Fundación Instituto Linus Pauling
- Villa, S., V. (2005). *Evaluación del blanqueo y desodorización*. México: sud ceime.
- Villa, S. V. (1996). *Blanqueo eficiente del aceite de soya*. México: Asociación Americana de la soya.
- Wagner, J. (2008). La utilización de soya en la alimentación humana.
- Wurster y Sanger. (2003). *Desodorización*. USA: crown.