CAPITULO I

LA SOYA

1.1.- GENERALIDADES

La Soya es una planta de la familia de las leguminosas, pero a diferencias de otras plantas produce mayor cantidad de vainas y por consiguiente su rendimiento es superior. Es originaria de Asia Oriental, crece en un clima tropical y sub-tropical, requiere de humedad abundante durante su ciclo de crecimiento, y de sequedad en su periodo de madurez, especialmente en la época de la cosecha. Es una leguminosa maravillosamente generosa y puede ser aprovechada en una variedad increíble de subproductos: aceite de soya, leche de soya, tofu, miso, salsa de soya, confitería, etc.

Esta planta alcanza a medir desde 0,4 hasta 1,5 metros de altura. La soya es una oleaginosa de alto valor nutritivo con múltiples usos tanto para el consumo humano como animal y tiene una demanda importante en el país, siendo el mayor consumidor el sector de la avicultura debido a que la torta de soya representa alrededor del 15% al 20% de la composición de alimentos balanceados.

1.2.- LA ANATOMÌA DEL GRANO

Los granos de soya están compuestos por un 30% de hidratos de carbono (de los cuales un 15% es fibra), 18% de aceite (85% no saturado), 14% de humedad y 38% de proteína. Es la única legumbre que contiene los nueve aminoácidos esenciales en la proporción correcta para la salud humana. Por lo tanto, la proteína de soya está calificada como una proteína completa y de alta calidad. Uno de sus beneficios nutritivos es que es una buena fuente de fósforo, potasio, vitaminas del Grupo B, zinc, hierro y vitamina E (antioxidante).

1.3.- PROCESAMIENTO DEL GRANO DE SOYA

El siguiente gráfico describe los procesos industriales a los que se somete los granos de soya.

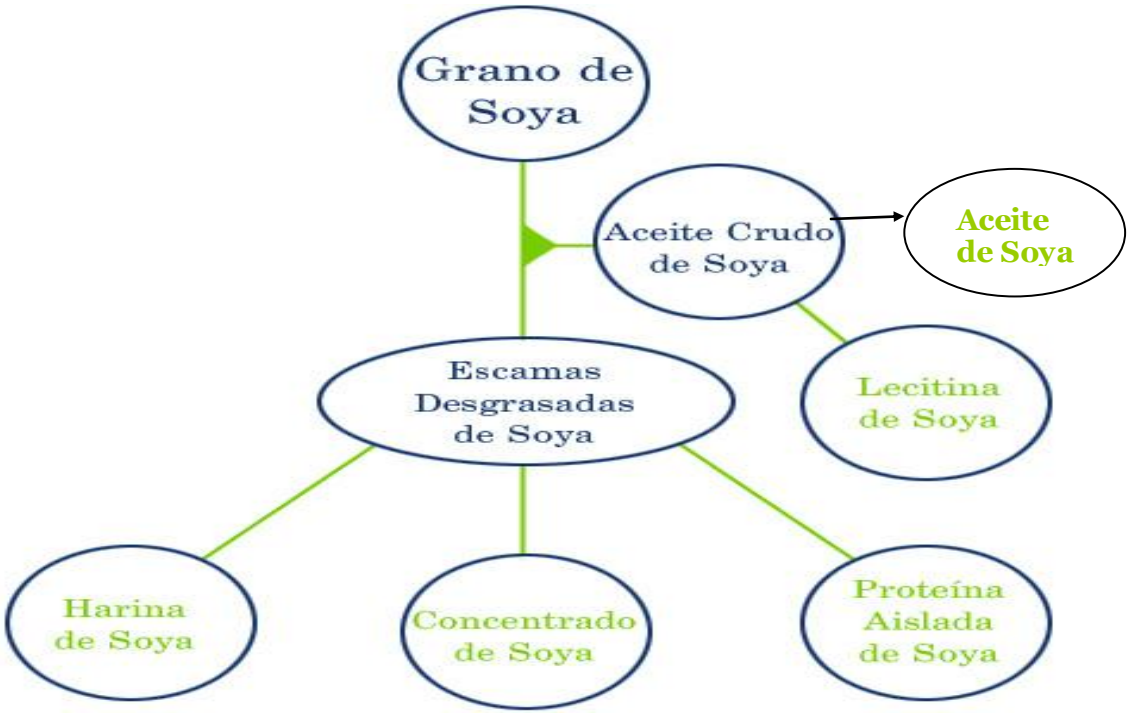


Ilustración 1. Diagrama del procesamiento del grano de Soya

Previo al proceso de extracción de aceite, los granos de soya son limpiados y acondicionados: Los granos son abiertos, descascarados y laminados en hojuelas. El paso siguiente consiste en extraer el aceite de soya de las hojuelas mediante el uso de un solvente (hexano). Luego de retirar la grasa, estas son secadas, con lo que se consigue recuperar el solvente, obteniéndose "hojuelas de soya desgrasadas". Este material desgrasado constituye la base para sub productos de soya: harinas, concentrados y aislados.

1.4.- USOS DEL ACEITE DE SOYA

1.4.1.- Aceite de Soya Sin Refinar

El aceite de soya sin refinar es un aceite ligero, amarillento, perfumado, que debe emplearse en frió (sin freír), por su abundancia en ácidos grasos insaturados.

1.4.2.- Aceite de Soya Refinado

El aceite de soya (a veces denominado también aceite de soja), es abundante en ácidos grasos poli-insaturados. Los tres mayores productores de aceite de soya, por orden de producción son: EEUU, Brasil y Argentina. El aceite de soya es el de mayor producción mundial para el consumo humano, superando a los aceites de colza, palma y girasol. La industria química también aprovecha su grado de instauración, y por su efecto secante se utiliza para la elaboración de resinas alquídicas (materia prima para fabricación de pinturas).

El aceite de soya se emplea mayoritariamente en la gastronomía y se puede encontrar en salsas para ensaladas, aceites para freír alimentos, etc. Al tener en su composición ácidos grasos poli-insaturados, es muy aconsejable guardarlo en la nevera y consumirlo cuanto antes. No se aconseja probarlo si tiene olor a rancio.

1.5.- PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL ACEITE DE SOYA

El aceite de soya crudo resulta frecuentemente más balanceado que el de oliva, ya que posee las ácidos grasos esenciales Omega 3 y Omega 6, por lo que es un buen complemento para dietas en donde abundan carnes rojas y carbohidratos. Contiene más proteína que la carne de res, el pescado y tres veces más que el huevo. Sus semillas tienen alto contenido en fibra, no contiene colesterol y prácticamente tampoco grasas saturadas. La escasa grasa presente es rica en lecitinas y Fosfolípidos, vitales para las membranas celulares, el cerebro y el sistema nervioso. Aporta

cantidades equilibradas de los ácidos grasos esenciales omega 3 y 6, beneficiosos para el corazón y el sistema nervioso. Puede ayudar por ello a controlar el colesterol malo y la arterioesclerosis. La mejor cualidad del aceite de soya es que combina la vitamina A y vitamina E. Es de una alta asimilación y digestibilidad (ideal para aquellas personas que no toleran el aceite de oliva). El aceite de soya desodorizado contiene tocoferoles en promedio aproximado de 100mg/100gr, que le confieren estabilidad al aceite o los alimentos en que se utilice.

Tabla 1. Contenido de Ácidos Grasos en el Aceite de soya

ÁCIDOS GRASOS EN EL ACEITE DE SOYA	
Ácidos grasos saturados:	Acido láurico (trazas)
	Acido mirístico (trazas)
	Acido palmítico (11.0%)
	Acido esteárico (4.1%)
	Acido araquidónico (trazas)
Ácidos grasos insaturados:	Acido palmitioléico (trazas)
	Acido oléico (22.0%)
	Acido linoléico (54.0%)
	Acido linolénico (7.5%)

1.6.- IMPORTANCIA DE CONSUMIR ACEITE

La ingestión moderada de aceites es fuente de ácidos grasos esenciales para el organismo. Dichos ácidos participan en reacciones bioquímicas a nivel celular y en otros mecanismos tales como la formación de tejido conjuntivo, producción hormonal, promoción de vitaminas, la gestación y la mantención lipídica de las células.

Algunas reacciones bioquímicas conducen a la desdoblación y transformación de la energía química de los aceites en energía calórica elevada y al revés, en la formación

del panículo graso de la piel y al almacenamiento corporal como reserva de energía. La carencia de estos aceites esenciales conduce a malformaciones y puede atrofiar el sistema nervioso y endocrino; y producir desequilibrios a nivel celular. La incapacidad del organismo humano para realizar síntesis a partir de los ácidos grasos esenciales conduce al raquitismo y a la muerte. Además existen aceites naturales que son considerados dañinos, como es el caso del Aceite de colza o raps o canola producido del Brassica napus que contiene el dañino ácido C 22:1 Erúcico, causante de malformaciones infantiles y atrofia del crecimiento.

Tabla 2. Propiedades nutricionales de los Aceites y Grasas

PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LOS ACEITES Y GRASAS
Nutriente esencial
9 Kilocalorías / gramo
Transporta vitaminas (A, D, E y K) y otros elementos óleo solubles.
Da sabor a los alimentos
Contribuye a la sensación de saciedad.
Deben de contribuir a la ingesta de 30% de calorías
Colesterol los aceites vegetales no los contienen
Los ácidos grasos saturados 12-16 átomos de carbono lo incrementan.
Los ácidos grasos mono-insaturados y poli-insaturados reducen el colesterol total.
Además una dieta balanceada debe de incluir: 10% máximo de ácidos grasos saturados, 10-15% de ácidos grasos mono-insaturados, 10% máximo de ácidos grasos poli-insaturados.

CAPITULO II

ACEITES VEGETALES

2.1.- FUENTES DE ACEITES.

Las más comunes son las de Girasol, Soya, Maíz, Algodón, lino (Industrialmente para pinturas porque es secante), Oliva, Maní, Uva, Coco, Colza tubérculo semejante a la papa que se usa en España.

2.2.- MORFOLOGÍA DE UNA SEMILLA OLEAGINOSA

- **Cáscara:** (Fibra alta concentración de lípido)
- **Pepita:** Alta concentración de lípido
- **Pared celular:** (Hemicelulosa y proteínas)
- **Germen:** Dentro de la célula, el aceite esta en las vacuolas (pepita) y generalmente emulsionada con agua debido a que en el interior de la vacuola, la membrana esta constituido fundamentalmente por Fosfolípidos y proteínas que le otorgan ciertas propiedades funcionales.

2.3.- TIPOS DE ACEITES Y GRASAS

2.3.1.- Aceite Vegetal Comestible: Aceite de Oliva procedente únicamente de los frutos de oliva *(Olea Europa L.)* y excluye aceites obtenidos por disolventes, procedimientos de re esterificación y toda mezcla con otros aceites y en ningún caso se aplicará al aceite de orujo de aceituna refinado**.**

Oliva Virgen obtenido únicamente por procedimientos mecánicos u otros medios físicos sin temperatura elevada: lavado, decantación, centrifugación y filtrado.

Oliva Refinado obtenido del aceite virgen mediante técnicas de refinado que no modifiquen la estructura inicial.

Oliva mezcla de aceite de oliva refinado (hasta el año 1987 puro).
Aceite de orujo de Oliva refinado por tratamiento de los orujos de aceituna con disolventes autorizados se obtiene el aceite crudo, con posterior refinado.

2.3.2.- Aceites de semillas oleaginosas: Obtenidos previa refinación completa de las semillas expresamente autorizadas, siempre con la denominación "aceite refinado" de las plantas:

- ✓ **Soja,** *Glyceline soja, SEZ,Soja Hispida, Dolichos Soja L.*
- ✓ **Cacahuate,** *Helianthus annuus L.*
- ✓ **Girasol,** *gènero Gossypium.*
- ✓ **Germen de maìz,** *Zea mays.*
- ✓ **Colza o nabina,** *Brassica napus B. campestres,* cuyo contenido en acido eùrico sea <5%
- ✓ **Càrtamo,** Carthamus tinctorius L.
- ✓ **Pepita de Uva,** *Vitis Europea L.*
- ✓ **Semillas,** procedente de la mezcla de dos o más aceites de semillas oleaginosas autorizadas.

2.4.- GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES.

El término grasa se define como nombre genérico de substancias orgánicas, muy abundantes en los tejidos de animales y plantas, formados por la combinación de ácidos grasos y glicerina.

2.4.1.- Ácidos Grasos: Se define como las substancias ternarias de carácter ácido, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de oxigeno y doble numero de átomos de hidrogeno respecto al número de átomos de carbono.

2.4.2.- Constitución de las grasas: Las grasas junto a los glicéridos contienen pequeñas cantidades de vitaminas, fosfátidos (lecitina), esteroles (colesterol o fitosterol), colorantes (carotenos, clorofilas, xantofilas), hidrocarburos y agua.

2.4.2.1.- Fosfolípidos: también llamados glicerofosfáticos pertenecen a los lípidos complejos, consisten estructuralmente en una molécula de glicerol que tiene 2 grupos oxidrilos eterificados con ácido grasos y el restante con el ácido fosfórico que a su vez puede esterificar uno de sus grupos oxidrilos con un compuesto nitrogenado originando la familia de las lecitinas.

Los Fosfolípidos se usan como agentes emulsionantes por sus propiedades hidrofílicas (soluble en agua - polar) y lipofílicas (solubles en grasas).

2.4.2.2.- Vitaminas Liposolubles: A, D, E y K.

a) Vitamina A: (carotenoides) A los carotenoides se los llama provitaminas y tienen un color característico. Tienen un orbital des localizado, que es el que da el color. Es una inestabilidad electrónica, ya que el electrón esta en un nivel superior de energía. Esta propiedad nos está indicando que el compuesto es mucho más reactivo químicamente.

b) Vitamina D: Interesa porque es nutricional (anti raquitismo) y está relacionada con los colesteroles. Los aceites vegetales no tienen colesterol, tienen esteroles.

c) Vitamina E: Estos compuestos son la base para la generación de hormonas en nuestro organismo, son muy necesarios.

d) Vitamina K: (Antihemorrágica) está en bajas concentraciones, por lo tanto no afecta en el proceso de extracción. **Vitamina K1:** filoquinona.

2.4.2.3.- Pigmentos liposolubles: (Colorantes) en algunos casos tenemos la clorofila y en otros casos está enmascarada por los carotenos, por ejemplo la clorofila es el colorante que predomina en el aceite de oliva. La clorofila tiene grupos pirroles: Carotenoides responsables del color amarillo y anaranjado de los alimentos.

2.4.2.4.- Sustancias in-saponificables: Son hidrocarburos del orden de 30-38 átomos de C más algunos terpenos que son un grupo de hidrocarburos presentes en las esencias vegetales, estos pueden generar olores. Limoneno olor a limón, mentol olor a menta, geraniol olor a rosa. Aparte de las diferencias en estos componentes menores, la diversidad principal entre grasas distintas está determinada por la naturaleza de los ácidos grasos unidos a la glicerina y por la proporción en que se encuentren. La diferencia entre los ácidos grasos se presenta en la siguiente tabla #3.

Tabla 3. Ácidos grasos más importantes

Número de C	*Nombre del ácido*		
	Saturado	*Insaturado*	*Fórmula del ácido insaturado*
4	Butírico	-	
6	Caprónico	-	
8	Caprílico	-	
10	Caprínico	Caproleico	$CH_2=CH-(CH_2)_7-COOH$
12	Láurico	Laurénico	$CH_3-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$
14	Mirístico	Miristoleico	$CH_3-(CH_2)_3-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$
16	Palmítico	Palmitoleico	$CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$
18	Esteárico	Oleico	$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$
18	-	Linoleico	$CH_3-(CH_2)_4-(CH=CH-CH_2)_2(CH_2)_6-COOH$
18	-	Linolénico	$CH_3-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$
18	-	Elaoesteárico	$CH_3-(CH_2)_3-(CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$
20	Aráquico	Araquidónico	$CH_3-(CH_2)_4-(CH=CH-CH_2)_4-(CH_2)_2COOH$
22	Behénico	Erúcico	$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_{11}-COOH$
22	Clupanodónico		$CH_3-(CH_2-CH=CH-CH_2)_5-CH=CH-CH_2-(CH_2-CH=CH-CH_2)_2-CH_2-COOH$
24	Lignocérico	-	
26	Cerótico	-	

- El numero de átomos de carbono: los típicos van desde el C_{12} (laùrico) al C_{18} (esteárico). Es de recordar que por su origen biológico, los ácidos grasos naturales son siempre de número de átomos de carbono par.

- La presencia de uno o mas dobles enlaces en la molécula da lugar a la división de ácidos saturados "cebos" ("cebos" o "mantecas" a temperatura ordinaria, como son el sebo de buey ó la manteca de cacao) y no saturados (grasas líquidas a la temperatura ordinaria como es el caso de los "aceites").

- La existencia o no de conjugación de los dobles enlaces, cuando hay más de uno, lo que influye decisivamente sobre la "secatividad" del aceite en cuestión.

- La presencia de algún grupo polar en la cadena grasa, cual el OH en el ácido ricino oleico, principal componente del aceite de ricino y del de pepita de uva, isomerías de situación del doble enlace y las de tipo cis o trans como la que se da en el ácido oleico.

- La glicerina puede estar mono, bi o tri-esterificada por los ácidos grasos, aunque lo más frecuente es la tri-esterificación, que es el grado máximo de esterificación. Por su parte, los di y triglicéridos pueden ser homo o heteroglicéridos, según sean iguales ó distintos, respectivamente, los radicales ácidos unidos a una misma molécula de glicerina. Las grasas naturales están constituidas principalmente por heteroglicéridos.

- Los ácidos grasos más frecuentes son el palmítico, esteárico, oleico y linoleico. En los aceites de peces abundan los muy insaturados (cuplanodónicos). Los cebos animales son ricos en palmítico y esteárico. En la tabla # 4 se muestran las composiciones en ácidos grasos de algunas grasas.

Tabla 4. Composición de ácidos grasos en algunas grasas

Ácido	Vegetales			Animales
	Aceite de oliva (no secante)	Aceite de soja (semisecante)	Aceite de linaza (secante)	Grasa de cerdo
Mirístico	<1,2	<0,3	-	<1
Palmítico	7-15	2-11	4-7	26-32
Esteárico	1-3,5	2-6	2-8	12-16
Aráquico	<0,3	<1	<1	-
Lignocérico	-	-	<0,5	-
Miristoleico	-	<0,1	-	<0,3
Palmitoleico	-	<0,4	-	2-5
Oleico	70-86	17-57	12-38	41-51
Linoleico	4-15	28-57	4-27	3-14
Linolénico	-	2-10	25-65	<0,1
Araquidónico	-	-	-	0,5-3

2.5.- PROPIEDADES QUIMICAS

Entre sus características químicas se dicen que son lípidos simples formados por esteres de ácidos grasos con glicerol, a diferencia de los compuestos (Fosfolípidos, Glicolípidos o Cerebrosidos, Esfingolípidos y Sulfolípidos) con otras funciones químicas, y de las ceras, terpenos, esteroides, que contienen alcoholes distintos del glicerol. Hay otros derivados de lípidos sencillos o compuestos que mantienen las propiedades del grupo: ácidos grasos, alcoholes de cadena larga y esteroles, y los hidrocarburos.

En general el término **grasa** incluye a todos los triglicéridos y se relaciona con los productos lipídicos de origen animal y otros minoritarios de origen vegetal, mientras que **aceite** se refiere a los lípidos de origen vegetal, independientemente del estado líquido o sólido que adquieran según la temperatura ambiental o su punto de fusión.

Un aceite está compuesto por triglicéridos (TG), cada uno es una molécula de glicerol esterificada con tres ácidos grasos (AG). Se conocen más de 40 ácidos grasos con formula general CH3 (CH3)n COOH donde *n* varía en función del ácido grasos y determina la longitud de la cadena de átomos de carbono. Los lípidos de los alimentos, salvo muy raras excepciones, contienen ácidos grasos de cadena lineal y de numero par de carbono, saturados o insaturados, estos últimos con dobles enlaces entre carbono la mayoría en posición *CIS* en carbono 9.

Determinados ácidos grasos están presentes en todas las grasas y aceites y otros lípidos, son tres de C18: Oleico (C18:19c), Linoleico (C18:2 9c 12c) y esteárico (C18) y dos de C16: palmítico (C16) y palmitoleico (C16:1 9c). Especial importancia han adquirido el linoleico (Ω6) y el linoleico (Ω3) por su relación con efectos beneficiosos para la salud.

En función de los ácidos grasos se podrían establecerse en 5 subgrupos:

1. Aceites procedentes de semilla: Algodón, Sésamo, Girasol, Maíz, Cacahuate y Cártamo o de tegumento o pulpa de frutos: Oliva y Palma, ricos en ácidos oleico y linoleico y contenido en ácidos grasos saturados no superior al 20% la cantidad de ácidos grasos saturados es despreciable.
2. Aceites de Coco, Palma y Coquilla con una proporción de 40-50% de ácido laùrico C12, con bajo grado de instauración y ácidos grasos de cadena corta, por lo que funden a temperaturas poco altas y son relativamente estables.
3. Aceite de Soja, Germen de Trigo, Cáñamo y Perilla, ricos en ácido linoleico.
4. Grasas Lácteas, únicas que contienen ácido butírico C4.
5. Tejidos adiposos animales, con un elevado grado de saturación de los ácidos grasos.

2.6.- PROPIEDADES FISICAS

Algunas de las más relevantes son:

2.6.1.- Punto de Fusión: Esta determinación tiene interés en las grasas animales y transformadas, pero no tanto en los aceites vegetales, la mayoría de los cuales son líquidos a temperatura ambiente. El punto de fusión de la grasa o aceite es menor cuando hay mas ácidos grasos de cadena corta y a medida que aumente el grado de instauración, además los hidrógenos (H) cercanos a los dobles enlaces tienen más tendencia a reaccionar químicamente que los H de enlaces saturados, por lo tanto los insaturados se alteran más fácilmente.

2.6.2.- Calor Especifico: Puede aumentar en función de la instauración de los ácidos grasos, los valores son el doble en la liquidas que en las sólidas.

2.6.3.- Viscosidad: Está en función de las dimensiones de la molécula y su orientación. Crece con el incremento de la longitud de la cadena de los ácidos grasos y disminuye al aumentar la instauración.

2.6.4.- Densidad: (en densidad relativa) de 0.914 a 0.919 para los aceites de Oliva y Orujo. Para el resto no está especificada en la normativa.

2.6.5.- Titulo: Es la dureza de la grasas, inferior a 40: es la temperatura al cual hay una cristalización después de saponificar y enfriar lentamente, si es mayor, se considera sebo.

2.6.6.- Índice de refracción: Aumenta con la longitud de la cadena y con la instauración. Se correlaciona con el índice de yodo, que permite conocer el grado de instauración de las moléculas, muy útil en el control de procesos de hidrogenación.

2.6.7.- Prueba del Frió: Negativa en los aceites sometidos a tratamientos de winterización.

2.6.8.- Polimorfismo.- Fenómeno asociado a la cristalización de algunos triglicéridos en sistemas distintos, útil en la elaboración de shortenings, margarinas y grasas para repostería.

2.7.- EXTRACCIÒN DEL ACEITE

Mediante la extracción del aceite de la semilla oleaginosa se obtiene el aceite crudo, para su posterior refinación, además se obtiene pasta o harina que se utiliza como alimentos para animales.

2.7.1.- Tipos de Extracción

a) Prensado completo: Para dejar un contenido residual de aceite en la torta del 7 al 8%. (Esta es realmente la solución por la que optan las empresas pequeñas, digamos unas 150 toneladas de materia prima)

b) Prensado mecánico: a baja presión, seguido por extracción por solvente para dejar un contenido residual de aceite alrededor de 1% de aceite en la torta (harina) esta la utilizan las grandes empresas.

c) Extracción directa: por solvente sin ningún prensado también para dejar alrededor de 1% de aceite en la torta (harina). Esta es la mejor opción para plantas que procesan soya.

2.8.- REFINACIÒN DE ACEITES

La refinación implica la remoción de impurezas indeseables que afectan el sabor, olor, apariencia y durabilidad del aceite crudo, es decir producir la eliminación de componentes menores que puedan tener un efecto adverso sobre la producción de un aceite completamente refinado, de buena calidad y estabilidad.

Estas sustancias extrañas aparecen por factores como el estado de conservación de la materia prima, muy propicia a la fermentación y consiguiente alteración de sus constituyentes, también por el sistema de extracción utilizado y el grado de agotamiento alcanzado en el mismo. A continuación se presentan cuales son esas sustancias extrañas y el modo de eliminarlas:

2.8.1.- Materias Sólidas libres: pequeñas partículas de semillas, si es el caso harinas muy finas, insolubles. Se separan del aceite *"desfangando"* antes del almacenamiento mediante una centrífuga con descarga intermitente de las impurezas.

2.8.2.- Sustancias Sólidas en Estado Coloidal: mucílagos, fosfátidos, pectinas, proteínas, resina, etc. Son responsables de la turbiedad del aceite. Su eliminación *"desgomado"* se lleva a cabo por métodos químicos tradicionales, el desgomado se realiza en continuo en un rango de temperatura de 50-75 ºC., con agua o disoluciones diluidas de ácidos (FOSFORICOS, OXÀLICO, CÌTRICO, ETC) como agentes floculantes. El proceso se completa con la decantación o centrifugación de las gomas removidas. El aceite se lava con agua hasta neutralizar. Cuando la separación ácidos libres es de tipo químico, la neutralización del aceite resultante del desgomado se efectúa por saponificación con hidróxido de sodio. Es importante el intervalo de temperatura citado para esta operación, ya que por debajo de 50 ºC., la viscosidad del aceite es demasiado elevada, mientras que por encima de 75ºC., se favorece la solubilidad de las gomas que se pretenden separar.

2.8.3.- Sustancias colorantes: (Clorofilas y otros pigmentos). **L**a decoloración de las sustancias requiere una deshidratación previa del aceite. Para ello se trata ya sea en continuo o en cargas, en un rango de temperatura de 60-80 ºC., y a una presión de 50-70 mm de Hg, para luego proceder a su decoloración a 100-110 ºC., por absorción sobre tierras de blanqueo ó carbón activado, durante un tiempo aproximado de 30 minutos.

2.8.4.- Sustancias odorantes: aldehídos, cetonas, óxidos y ácidos de bajo peso molecular, procedentes todas ellas de la oxidación de las cadenas de ácidos grasos. También contribuyen al olor la presencia de hidratos de carbono insaturados. Para separar el olor del sabor se aprovecha la gran diferencia de volatilidad entre los glicéridos y sus productos de degradación, precisamente los responsables de las propiedades citadas. La separación "deodorizaciòn" en este caso se realiza por arrastre con vapor de agua. La temperatura no debe ser elevada, de hecho se opera al vació para evitar la destilación de triglicéridos, fenómenos de polimerización o hidrólisis de parte de la grasa. La baja presión también esta justificada por otras razones: de lo contrario se aumentarían los riesgos de oxidación atmosférica del aceite caliente y de hidrólisis por efecto del vapor. Un tiempo de deodorizaciòn superior a tres horas da lugar, por su parte a la aparición de fenómenos de polimerización, asociado a su vez al deterioro del color del aceite refinado.

2.8.5.- Ácidos grasos libres: provenientes de la hidrólisis y del desdoblamiento enzimático, a cargo de las lipasas de las grasas. Se basan en tres propiedades diferenciales del acido libre respecto a los glicéridos.

2.8.6.- Diferente reactividad de los ácidos grasos y los esteres: esta actividad se manifiesta por ejemplo ante las disoluciones de soda liquida, que pueden neutralizar el acido libre. La adición de soda forma Jabón (sal sódica) con el acido libre, el jabón formado, insoluble, absorbe colorantes y odorantes lo que contribuye al refino. Pero

hay un inconveniente, si la acidez inicial es elevada, la formación de mucho jabón favorece a la aparición de emulsiones y al arrastre de grasa neutra. Esto último impone una extracción posterior del aceite presente en el jabón por medio de disolvente. Otra manera de aprovechar la diferente actividad reactiva de los ácidos libres consiste en esterificarlos con glicerina con lo que el acido se lo recupera en la forma más noble posible.

2.9.- PROCESO DE REFINACIÒN DE ACEITES

La refinación consiste en los siguientes pasos:

2.9.1.- Desgomado. El objetivo es eliminar los fosfátidos y Glicolípidos, que se extraen de las semillas disueltas con el aceite. Es importante el proceso debido a que sin este refinamiento, los triglicéridos se alteran con mayor facilidad y adquieren sabores y olores desagradables (Otros problemas indeseables son: decantación en los tanques de almacenamiento, mayor susceptibilidad a la oxidación, formación de espumas durante el calentamiento).

El proceso consiste en tratar el aceite con agua o vapor, para que los fosfátidos se hidraten y precipiten, al hacerse insolubles en la fase grasa. Se realiza en tanques dotados de un agitador, para incorporar el agua (2% v/v) a una temperatura de 70ºC.
El aceite pasa a una centrifuga de gran velocidad, en la que se separan los fosfátidos, junto con el agua en exceso, del aceite desgomado.

Los fosfátidos son deshidratados, y éste contiene otros lípidos e impurezas, y es de donde se obtienen las lecitinas. Puede ser tratado con peróxidos para obtener productos más claros. (Las lecitinas obtenidas tienen un valor comercial y se aplican, por su carácter emulgente, en diversas industrias de alimentación.)

Ilustración 2. Esquema de equipo de desgomado y neutralización.

2.9.2.- Neutralización. Es el proceso por el cual se eliminan ácidos grasos libres de los aceites, pero también reduce los monoacilglicéridos y fosfátidos que pudieron haber quedado después del desgomado. La neutralización puede hacerse en caldera por cargas o en proceso continuo. Cuando es por cargas, se hace añadiendo al aceite una solución de sosa al 12-15%, en la proporción estequiométrica deducida de una valoración previa. Esta operación se lleva a cabo en una caldera provista de un agitador y calefacción con vapor. La lejía se añade lentamente y se forma una emulsión en el aceite que luego se rompe. La emulsión, conforme aumenta la temperatura, se une en forma de pasta. La mezcla pasa a los decantadores donde se separa el jabón y el aceite. En la operación se producen perdidas por saponificación. El aceite decantado retiene residuos de jabón que debe someterse a un lavado, cuidando que no se forme emulsiones.

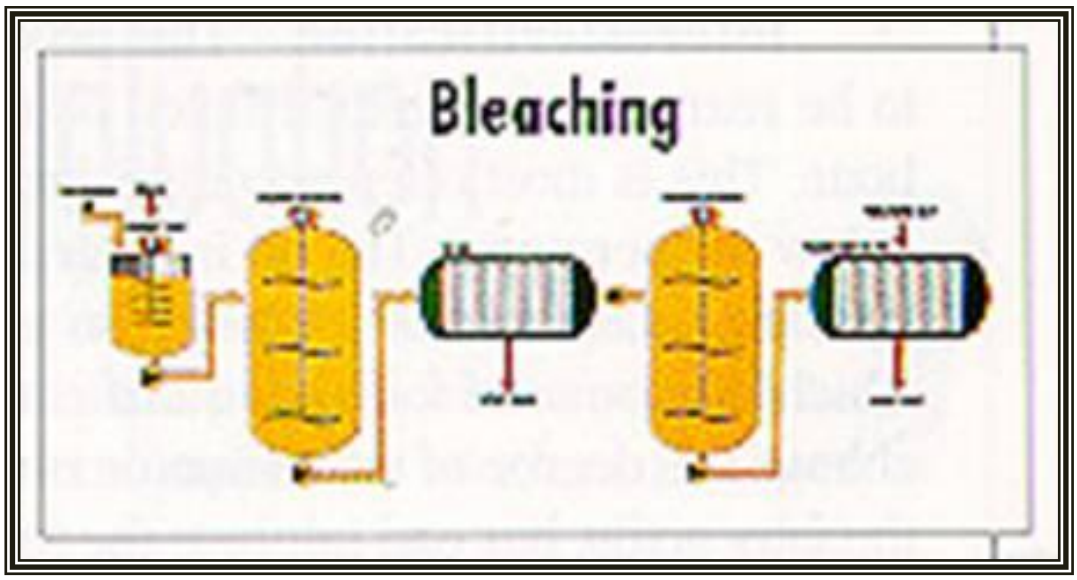
En las instalaciones continuas, el aceite disuelto en hexano, entra en un reactor de neutralización con agitación, junto con NaOH acuoso y alcohol. De allí pasa a un decantador donde se separan las fases y se recupera el aceite.

La neutralización de aceites con más de 12% de ácidos grasos libres es complicada, por que la abundante pasta formada es difícil de separar y las pérdidas son grandes. El proceso para la neutralización es entonces una destilación a vacío elevado.

El procedimiento se basa en que los ácidos grasos libres pueden destilarse a un vacío elevado. Para eliminar la totalidad de los ácidos grasos, sin deteriorar el aceite, se utiliza un vacío de hasta 5 mm de Hg., y una temperatura de 180 a 240 ºC. 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.

2.9.3.- Decoloración (Blanqueo).

Ilustración 3. Dibujo de instalación de un sistema de decoloración.



El aceite neutro y lavado se decolora añadiendo tierras adsorbentes (arcillosa o silícea). Las arcillas son tratadas con ácido clorhídrico o sulfúrico diluido. El aceite y la tierra se agitan, a temperaturas máximas de 90 ºC. La cantidad de tierra necesaria depende de la cantidad de color del aceite y del grado de decoloración que se quiera obtener. A veces se utilizan mezclas de tierras y carbón activado (5-10%) para obtener mejores resultados. El aceite decolorado se filtra mediante filtro prensa y la tierra usada se desecha.

(La clorofila se fija bien a las arcillas y los carotenoides son absorbidos por las tierras neutras y básicas, mientras que los betacarotenoides no lo hacen así.)

En las instalaciones modernas la decoloración se hace en proceso continuo y al final se utilizan dos filtros prensa, uno en uso y otro en limpieza alternativamente.

El color de los aceites disminuye considerablemente durante la hidrogenación, debido a la desaparición de grupos cromóforos, debido a la reducción de enlaces π.

2.9.4.- Desodorización.

El aceite decolorado se desodoriza a vacío, en un recipiente a temperatura entre 150 y 160 ºC., mientras se pasa una corriente de vapor directo las sustancias volátiles son arrastradas, dejando el aceite libre de olores y con sabor agradable.

En los deodorizadores continuos el aceite cae en láminas delgadas dentro de una torre de calefacción, a presión de vacío y a vapor de agua en contracorriente. Hay que evitar todo contacto con el oxigeno, pues produce oxidaciones indeseables; el vapor que se utiliza debe estar desairado, no debe de haber entradas de aire y el vacío debe ser muy elevado. A veces se añaden secuestradores (esteres de ácido cítrico) para impedir la acción catalítica de los iones metálico. En la operación se destruyen también los peróxidos.

Ilustración 4. Esquema del equipo de Desodorización

2.9.5.- Tipos de Refinación Existentes

a) Refinación física: es el nombre dado al procesamiento de grasas y aceites, donde se remueven los ácidos grasos libres mediante barridos con vapor durante la deodorizaciòn.

b) La refinación cáustica (alcalina) elimina los ácidos grasos libres mediante jabones que se producen luego del proceso de neutralización con un álcali (soda cáustica).

c) Refinación alcalina con OHK (Potasa Cáustica): la refinación de aceites mediante la utilización de potasa cáustica (OHK), tiene algunas particularidades entre las que se mencionan que se produce una reducción de costos en la refinación y se consigue un afluente amigable para el medio.

d) Refinación alcalina con silicato sódico: este proceso ayuda a eliminar las mermas en la neutralización al ocluir menos aceite neutro en las borras.

2.9.6.- Tipos de Desgomado en la Refinación de Aceites.

a) Desgomado con agua (eliminación de fosfátidos): este tipo de proceso se lo realiza mediante contacto del aceite crudo con agua primero y luego con un ácido (generalmente acido fosforito), ocasionalmente cítrico. De este tipo de desgomado se obtienen las lecitinas que se destinan a múltiples usos, alimenticios e industriales.

b) Desgomado ácido: de este tipo de proceso no se puede recuperar nada y el material obtenido es un desecho que se convierte en un problema para los refinadores, integrando las borras de neutralización. Las borras pueden tratarse y recuperar los aceites ácidos para usos no alimenticios o bien venderse como tales. Esta operación es siempre problemática ya que el material se degrada rápidamente y no es posible almacenarlo por largo tiempo.

c) Desgomado enzimático: este tipo de desgomado actúa sobre los Fosfolípidos, lo desdoblas en sus componentes y no genera efluentes o sub-productos conflictivos. Tiene como ventaja la no utilización de ácidos, con la menor corrosión que ello conlleva en los equipos y la generación de efluentes amigables. La desventaja mayor es el gran volumen que se necesita para la reacción enzimática, tanque en serie, para que la misma se desarrolle adecuadamente.

d) Desgomado por membrana: en este tipo de procesos no se utiliza reactivos, es un proceso físico que permite la recuperación de lecitinas. El mayor desafió es lograr un material para las membranas que sea resistente a los solventes durante un tiempo tal que permita trabajar con costos razonables.

CAPITULO III

ENZIMAS

3.1.- PRINCIPIOS BASICOS DE LAS REACCIONES ENZIMATICAS

Las enzimas son proteínas altamente especializadas que tienen como función la catálisis o regulación de la velocidad de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los sistemas biológicos.

Casi todas las reacciones químicas de las células son catalizadas por enzimas, con la particularidad de que cada enzima solo cataliza una reacción, por lo que existirán tantas enzimas como reacciones.

En una reacción catalizada por la **enzima (E)**, los reactivos se denominan **sustratos (S),** es decir la sustancia sobre la que actúa la enzima. La enzima (E), se combina con el substrato (S) formando el complejo de transición, enzima-substrato (E-S), mediante una reacción reversible, cuya energía de activación es menor que la de la reacción no catalizada. El sustrato es modificado químicamente por acción de la enzima, para convertirse en uno o más **productos (P).** Como estas reacciones son reversibles se expresan de la siguiente manera:

$$E + S \rightleftharpoons [ES] \rightleftharpoons E + P$$

Cuando se forma el producto de la reacción (P), se libera de nuevo la enzima (E), la que puede combinarse de nuevo con otra molécula de substrato (S). La enzima libre se encuentra en la misma forma química al comienzo y al final de la reacción.

3.2.- NOMENCLATURA DE LAS ENZIMAS

Antiguamente las enzimas fueron nombradas atendiendo el substrato sobre el que actuaban, añadiéndole el sufijo **–asa** o haciendo referencia a la reacción catalizada. Así tenemos que la ureasa cataliza la hidrólisis de la urea, la amilasa cataliza la hidrólisis del almidón, la lipasa cataliza la hidrólisis de lípidos, la ADNasa, la hidrólisis del ADN, la ATPasa la hidrólisis del ATP; etc.

3.3.- CATALISIS MOLECULAR POR ACCION ENZIMATICA

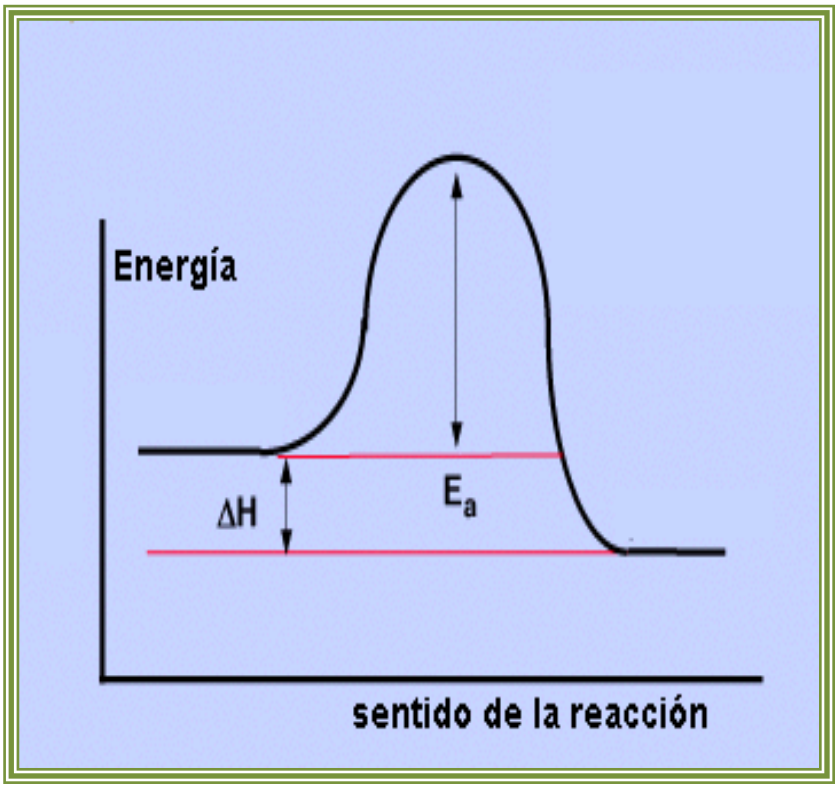
Una reacción química en la que un substrato (S), se transforma espontáneamente en un producto (P): S $\longrightarrow$ P, ocurre por que cierta fracción de moléculas de S, posee mucho más energía que el resto de ellas, lo que es suficiente para que dichas moléculas alcancen un estado activado, en el que pueda formarse o romperse un enlace químico y se forme el producto (P). Sin embargo la presencia de un catalizador acelera la velocidad de la reacción química, utilizando la misma cantidad de energía presente en el sistema pero reduciendo significativamente la energía de activación sin que se consuma el catalizador o aparezca como uno de los productos de la reacción.

La energía de activación, es la cantidad de energía necesaria para que todas las moléculas de un mol, a una temperatura dada alcancen el estado reactivo. Mientras que, el estado de transición es el estado de las moléculas que interaccionan en la cima de la barrera de activación.

La velocidad de una reacción química es proporcional a la concentración del complejo en el estado de transición, mientras la cantidad de moléculas en el estado de transición depende de la cantidad de energía del sistema y de la energía de activación requerida por las moléculas para alcanzar dicho estado. Una reacción química se puede acelerar de la siguiente forma:

1) Aumentando la energía del sistema, con lo que se incrementa la energía cinética de las moléculas, por lo que es mayor el número de moléculas que acumulan la energía requerida para alcanzan el estado de transición.

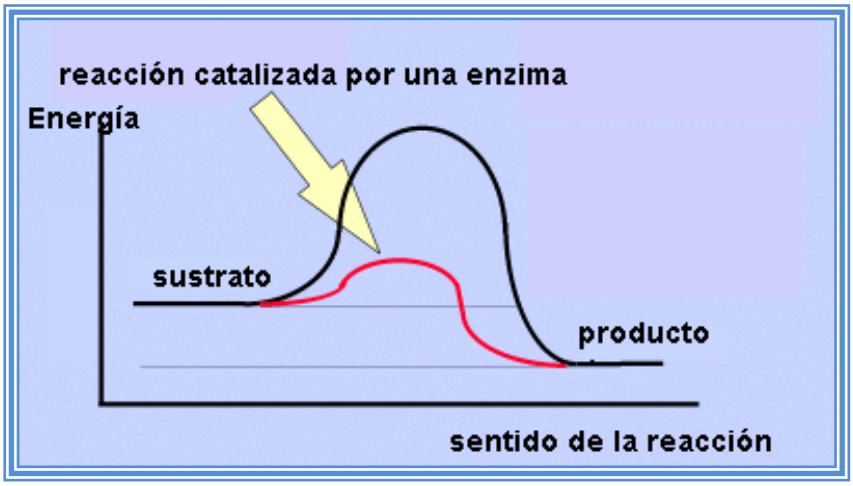
Ilustración 5. Energía de Activación de una Reacción



2) Añadiendo un catalizador al sistema, con lo que se disminuye la cantidad de energía de activación requerida por las moléculas para alcanzar el estado de transición, aumentando la velocidad de reacción y aprovechando el nivel energético del sistema.

Una enzima reduce eficientemente la energía de activación (Ea) de una reacción, lo que permite que una reacción se realice a menor temperatura, con un menor nivel energético del sistema.

Ilustración 6. Reducción de la energía de activación por acción enzimática



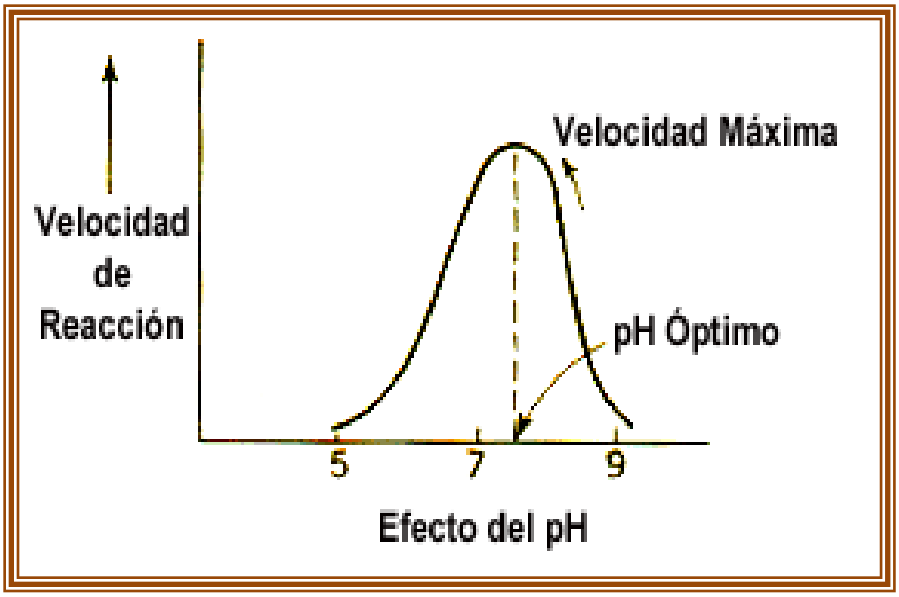
3.4.- PROPIEDADES DE LAS ENZIMAS

Las propiedades de las enzimas derivan del hecho de ser proteínas y de actuar como catalizadores. Como proteínas, poseen una estructura natural más estable que las demás conformaciones posibles. Así, cambios en la conformación suelen ir asociados en cambios en la actividad catalítica. Los factores que influyen de manera directa sobre la actividad de un enzima son aquellos que tienen relación con el punto iso eléctrico de degradación de la proteína que conforma dicha enzima.

3.5.- EFECTOS DEL pH SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

La mayoría de las enzimas son muy sensibles a los cambios de pH. Desviaciones de pocas décimas por encima o por debajo del pH óptimo pueden afectar drásticamente su actividad. Así la pepsina gástrica tiene un pH óptimo de 2, la ureasa lo tiene a pH 7 y la arginasa lo tienen a pH 10. Como ligeros cambios del pH del sistema pueden provocar la desnaturalización de la proteína, los seres vivos han desarrollado sistemas más o menos complejos para mantener estable el pH intracelular, sin embargo en el campo industrial hay que poner especial cuidado en el pH del medio en que se pretende hacer trabajar una enzima.

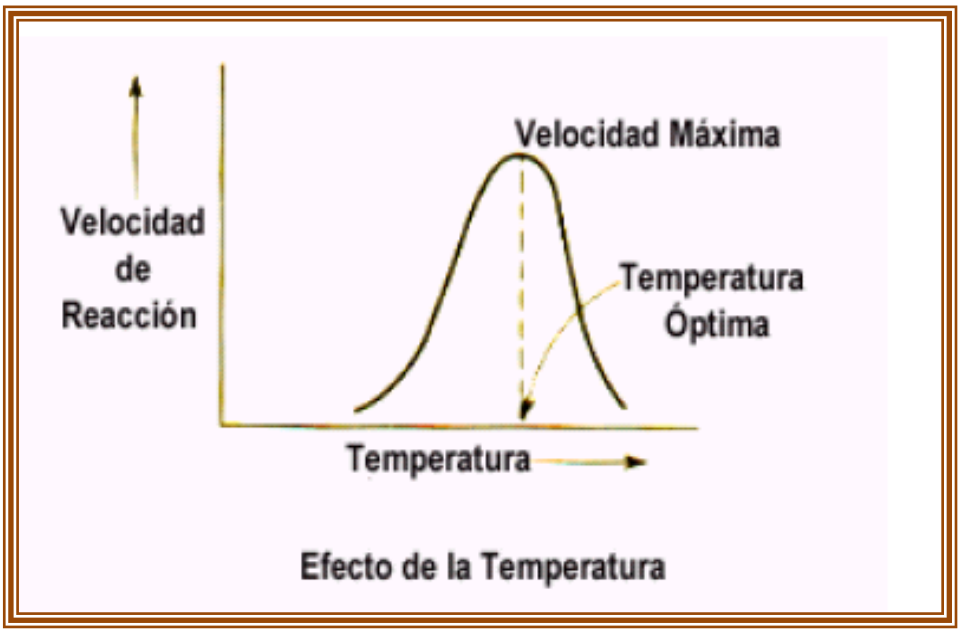
Ilustración 7. Efecto del pH sobre la velocidad de la reacción



3.6.- EFECTOS DE LA TEMPERATURA SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA

En general los aumentos de temperatura aceleran las reacciones químicas, por cada incremento de temperatura la velocidad de reacción también se incrementa. Las reacciones catalizadas por enzimas siguen esta ley general, sin embargo, al ser proteínas, a partir de cierta temperatura se empiezan a desnaturalizar por el calor. La temperatura a la cual la actividad catalítica es máxima se llama temperatura óptima. Por encima de esta temperatura optima, el aumento de la velocidad de reacción por aumento de la temperatura del sistema es contrarrestado por la pérdida de la actividad catalítica de la enzima debido a la desnaturalización térmica de su proteína estructural y la actividad enzimática decrece rápidamente hasta anularse.

Ilustración 8. Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática



Las enzimas de muchos mamíferos tienen una temperatura óptima de 37 ºC., por encima de esa temperatura comienzan a inactivarse y se destruyen. Sin embargo existen especies de bacterias y algas que habitan en fuentes de aguas termales con temperaturas óptimas de 50 °C., y en el otro extremo, ciertas bacterias árticas tienen temperaturas óptimas cercanas a 0 ºC.

3.7.- CLASIFICACION DE LAS ENZIMAS

Se clasifica a las enzimas en seis grupos principales:

- Oxido-reductasas
- Transferasas
- Hidrolasas
- Isomerasas
- Liasas
- Ligasas

3.7.1.- Oxido-Reductasas: Son las enzimas relacionadas con las oxidaciones y las reducciones biológicas que intervienen de modo fundamental en los procesos de respiración y fermentación. En esta clase se encuentran las siguientes subclases principales: **Deshidrogenasas** y **oxidasas**. Son más de un centenar de enzimas en cuyos sistemas actúan como donadores, alcoholes, oxácidos aldehídos, cetonas, aminoácidos, $DPNH_2$, $TPNH_2$, y muchos otros compuestos y, como receptores, las propias coenzimas DPN y TPN, citocromos, O_2, etc.

3.7.2.- Transferasas: Estas enzimas catalizan la transferencia de una parte de la molécula (dador) a otra (aceptor). Su clasificación se basa en la naturaleza química del sustrato atacado y en la del aceptor. También este grupo de enzimas actúan sobre los sustratos más diversos, transfiriendo grupos metilo, aldehído, amina, sulfató, sulfúrico, etc.

3.7.3.- Hidrolasas: Esta clase de enzimas actúan normalmente sobre las grandes moléculas del protoplasma, como son la de glicógeno, las grasas y las proteínas. La acción catalítica se expresa en la escisión de los enlaces entre átomos de carbono y nitrógeno (C-Ni) o carbono-oxigeno (C-O); Simultáneamente se obtiene la hidrólisis (reacción de ruptura de un compuesto en presencia de agua). El hidrógeno y el oxidrilo resultantes de la hidrólisis se unen respectivamente a las dos moléculas obtenidas por la ruptura de los mencionados enlaces. La clasificación de estas enzimas se realiza en función del tipo de enlace químico sobre el que actúan.
A este grupo pertenecen proteínas muy conocidas: la **pepsina**, presente en el jugo gástrico. La **tripsina** y la **quimio-tripsina**, segregadas por el páncreas, desempeñan un papel esencial en los procesos digestivos, puesto que hidrolizan enlaces **pépticos, estéricos** y **glucosídicos**.

3.7.4.- Isomerasas: Transforman ciertas sustancias en otras isómeras, es decir, de idéntica fórmula empírica pero con distinta fórmula desarrollada. Son las enzimas que catalizan diversos tipos de isomerización: óptica, geométrica, funcional, de posición, etc.

3.7.5.- Liasas: Estas enzimas construyen enlaces entre átomos de carbono, o bien entre carbono - oxigeno, carbono - nitrógeno y carbono - azufre. Los grupos separados de las moléculas de sustrato son el agua, el anhídrido carbónico, y el amoniaco. Algunas Liasas actúan sobre compuestos orgánicos fosforados muy tóxicos.

3.7.6.- Ligasas: Es un grupo de enzimas que permite la unión de dos moléculas, lo cual sucede simultáneamente a la degradación del ATP, que en rigor, libera la energía necesaria para llevar a cabo la unión de las primeras. Se trata de un grupo de enzimas muy importantes y recién conocidas, pues antes se pensaba que este efecto se llevaba a cabo por la acción conjunta de dos enzimas, una ***fosfocinasa***, para fosforilar a una sustancia (A) y una ***transferasa*** que uniría esa sustancia (A) con otra (B).

A este grupo pertenecen enzimas de gran relevancia reciente, como las aminoácido –ARNt Ligasas, conocidas con el nombre de sintetasas de aminoácidos –ARNt, que representan el primer paso en el proceso biosintético de las proteínas y que forman uniones C-O; como las ácido-tiol Ligasas.

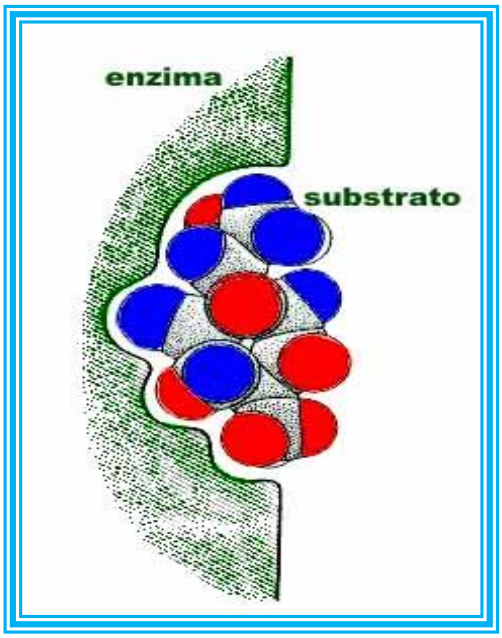
La acción de estas enzimas se manifiesta con la formación de enlaces entre átomos de carbono-oxigeno de diversas moléculas, o bien entre carbono-azufre, carbono-nitrógeno y carbono-carbono. Las Ligasas utilizan siempre para el proceso de reacción la energía proporcionada por el ATP o compuestos homólogos que son degradados. Por consiguiente las enzimas de esta clase son las únicas que intervienen en una reacción no espontánea desde un punto de vista termodinámico. Actúan sobre los sustratos más diversos y revisten particular importancia en el metabolismo de los ácidos nucleicos.

3.8.- ESPECIFICIDAD ENZIMÁTICA

Las moléculas del sustrato se unen a un sitio particular en la superficie de la enzima, denominada **sitio activo**, donde tiene lugar la catálisis. La estructura tridimensional de este sitio activo, donde solo puede entrar un determinado sustrato (ni siquiera sus isómeros) es lo que determina la especificidad de las enzimas. El acoplamiento es tal que E. Fisher (1894) enuncio: ***"el sustrato se adapta al centro activo o catalítico de una enzima como una llave a una cerradura".***

El sustrato se enlaza a la enzima (ocurren alteraciones químicas que incluyen rompimiento y formación de enlaces). Luego, la enzima libera el producto de la reacción y queda libre para reaccionar nuevamente.

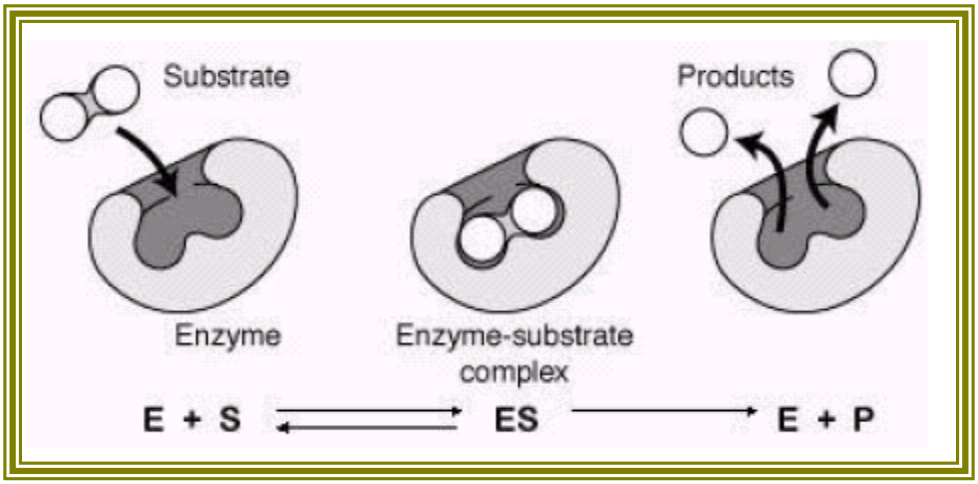
Ilustración 9. Enzima con especificidad relativa



3.9.- CINÉTICA ENZIMÁTICA

La cinética enzimática **estudia la velocidad de las reacciones catalizadas por enzimas.** Estos estudios proporcionan información directa acerca del mecanismo de la reacción catalítica y de la especificidad de la enzima. La velocidad de una reacción catalizada por un enzima puede medirse con relativa, facilidad ya que en muchos casos **no es necesario purificar o aislar la enzima.** La medida se realiza siempre en las **condiciones óptimas (**pH, temperatura, presencia de cofactores, etc.), y se utilizan concentraciones saturadas de sustratos. En estas condiciones, la velocidad de reacción observada es la velocidad máxima (V_{max}). La velocidad puede determinarse bien midiendo la aparición de los productos o la desaparición de los reactivos.

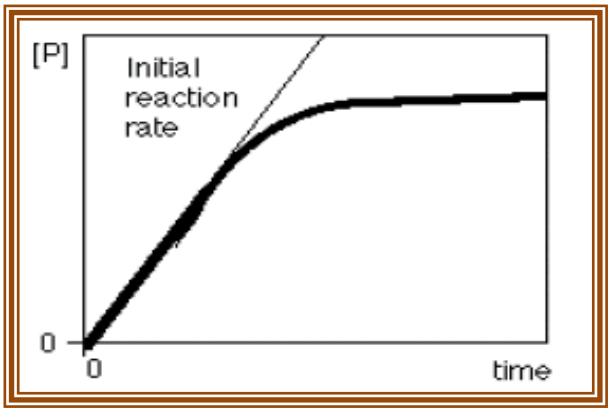
Ilustración 10. Cinética enzimática



Al seguir la velocidad de aparición de producto (o de desaparición del sustrato) en función del tiempo se obtiene la llamada **curva de avance de la reacción,** o simplemente, la cinética de la reacción. A medida que la reacción transcurre, la velocidad de acumulación del producto va disminuyendo porque se va consumiendo el sustrato de la reacción. Para evitar esta complicación se procede a **medir la velocidad inicial de la reacción** (V_o) mediante la pendiente de la curva de avance a tiempo cero. De esta forma, la medida de V_o se realiza antes de que se consuma el

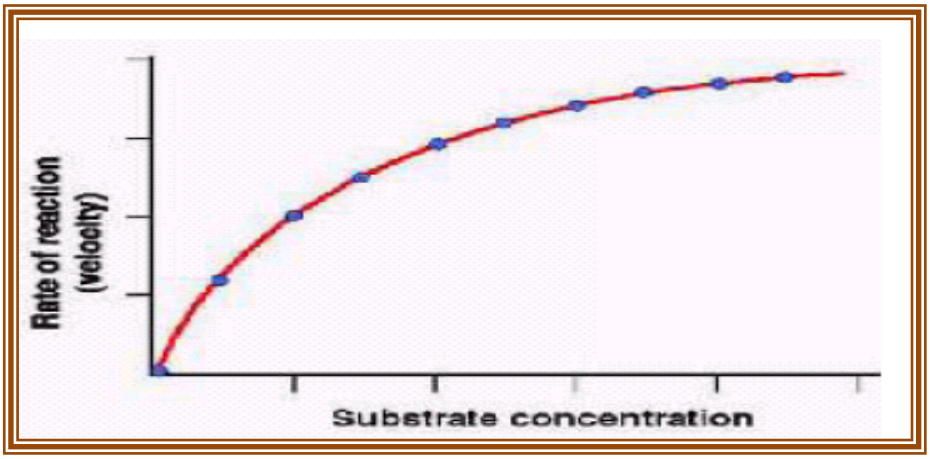
10% del total del sustrato, de forma que pueda **considerarse la (S) como esencialmente constante** a lo largo del experimento. De esta forma se simplifican enormemente las ecuaciones de velocidad.

Ilustración 91. Curva de avance de una reacción



Para estudiar la cinética enzimática se mide el **efecto de la concentración inicial de sustrato sobre la velocidad inicial de la reacción**, manteniendo la cantidad de enzima constante. Si representamos V_o frente a $(S)_o$ obtenemos una grafica como la siguiente:

Ilustración 102. Curva de Actividad enzimática



Cuando $(S)_o$ es pequeñas, la velocidad inicial es directamente proporcional a la concentración de sustrato, y por tanto, la **reacción es de primer orden.**

3.10.- ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Se define la unidad enzimática (U) como la cantidad de enzima que cataliza la conversión de 1 µmol de sustrato en un minuto. La actividad especifica es el numero de unidades de enzima por miligramo de proteína (U/mg proteína) o por mililitro de disolución (U/ml). Recientemente el sistema internacional de unidades (Si) ha definido la unidad enzimática como la cantidad de enzima que transforma 1 mol de sustrato por segundo. Esta unidad se llama **katal (kat).** Como 1 mol es 10^6 µmol y 1 minuto son 60 seg., resulta que 1 katal equivale a 60 x 10^6 U. Esta unidad es muy grande, de forma que se utilizan frecuentemente los submúltiplos como el microkatal (µkat, 10^{-6} kat). Cuando se conoce el peso molecular de la enzima puro y el número de centros activos por molécula de enzima, las medidas de actividad enzimática permiten calcular **el número de recambio** de la enzima, o sea, el número de reacciones elementales que realiza el enzima por cada centro activo, por unidad de tiempo.

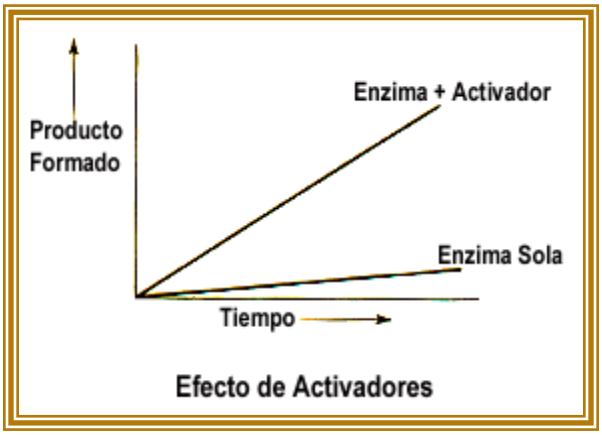
3.11.- ESTRUCTURAS DE LAS ENZIMAS

Las enzimas son grandes proteínas que aceleran las reacciones químicas. En su estructura globular, se entrelazan y se pliegan una o más cadenas polipeptídicas, que aportan un pequeño grupo de aminoácidos para formar el sitio activo, o lugar donde se adhiere el sustrato, y donde se realiza la reacción. La enzima misma no se ve afectada por la reacción. Cuando los productos se liberan, la enzima vuelve a unirse con un nuevo sustrato.

Por su estructura y composición química puede afirmarse que el origen de las enzimas esta vinculando al origen de las sustancias proteicas. Al hablar del origen de la vida se ha citado el éxito de los experimentos realizados en el laboratorio para la producción de aminoácidos; estos aminoácidos son los que precisamente constituyen la base del edifico proteico.

3.12.- EFECTO DE LOS ACTIVADORES

Ilustración 113. Efecto de los Activadores en el Tiempo



Ciertas enzimas se encuentran como apoenzimas o zimogenos que son inactivos.

El tripsinógeno es convertido en tripsina por la misma acción de la tripsina, que remueve un hexapéptido.

$$\text{Tripsinógeno} \xrightarrow{\textbf{Tripsina}} \text{Tripsina} + \text{Val (Asp)}_4 \text{ lisina}$$

Otra forma de activación consiste en mantener los grupos SH reducidos. Estos grupos pueden formar parte de centros activos de ciertas enzimas. Si se oxidan estos grupos a -S-S- la enzima se inactiva. Así tenemos que la enzima papaína, se inactiva después de exponerla al oxígeno; pero cuando se le añade un reductor apropiado la enzima se reactiva. Los grupos -S-S- se convierten en -SH, activándose la enzima.

Otra forma de activación requiere la presencia de otra sustancia que se enlaza al sitio alostérico, el compuesto que se enlaza se denomina un efector alostérico. El centro alostérico es bien específico para el efector o modulador alostérico.

CAPITULO IV

COMPARACION DE METODOS DE DESGOMADO PARA EL REFINAMIENTO DE ACEITE DE SOYA

4.1 METODOLOGÍA ACTUAL.

4.1.1.- Refinación de aceite de soya por el método caustico con desgomado ácido (Refinado químico).

La primera etapa del proceso de refinación es el desgomado, que consiste en separar las gomas del aceite (fosfátidos), mediante el uso de ácido fosfórico H_3PO_4 al 85% y agua a una temperatura de 60°C., este proceso dura de 5 a 6 horas en un tanque de retención. La siguiente etapa es la neutralización con NaOH. Aquí se neutraliza el exceso de acido y también se saponifican los ácidos grasos libres, lo que origina la formación de "borras" o jabones. Luego, para la separación de borras se emplea un sistema de tres etapas con 3 centrifugas: intercambiador - mezclador - centrífuga. Posteriormente el aceite refinado y húmedo pasa a un "spray dryer" que opera con un vacio entre 80 y 100 mm de Hg,, respecto a la presión atmosférica, con lo que se elimina la humedad.

Luego el aceite desgomado pasa a la etapa de blanqueo mediante absorción sobre arcillas activadas, que consigue la eliminación de impurezas, colorantes, metales pesados, peróxidos, etc. Luego del blanqueo el aceite se filtra para eliminar cualquier partícula presente. Aquí el aceite todavía tiene algo de olor y sabor desagradable, por la presencia de sustancias volátiles. Luego del filtrado, el aceite pasa al desodorizado. En este paso se elimina los compuestos volátiles, mediante una combinación de alta temperatura y presión de vacío. Finalmente el aceite refinado, blanqueado y

desodorizado es almacenado para luego pasar a los procesos de empaque como producto terminado.

Ilustración 14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO ACTUAL DE REFINADO DE ACEITE DE SOYA.

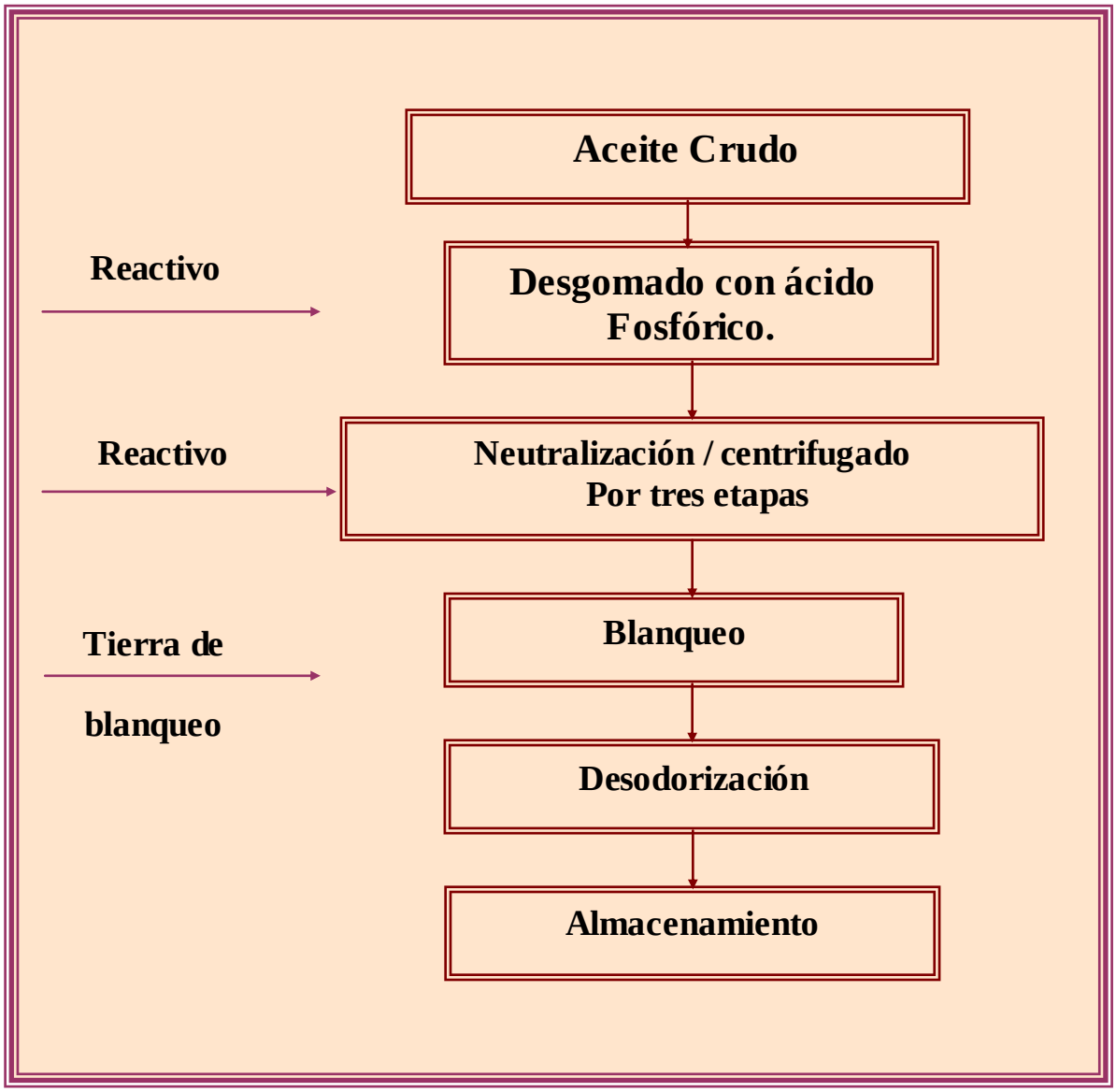
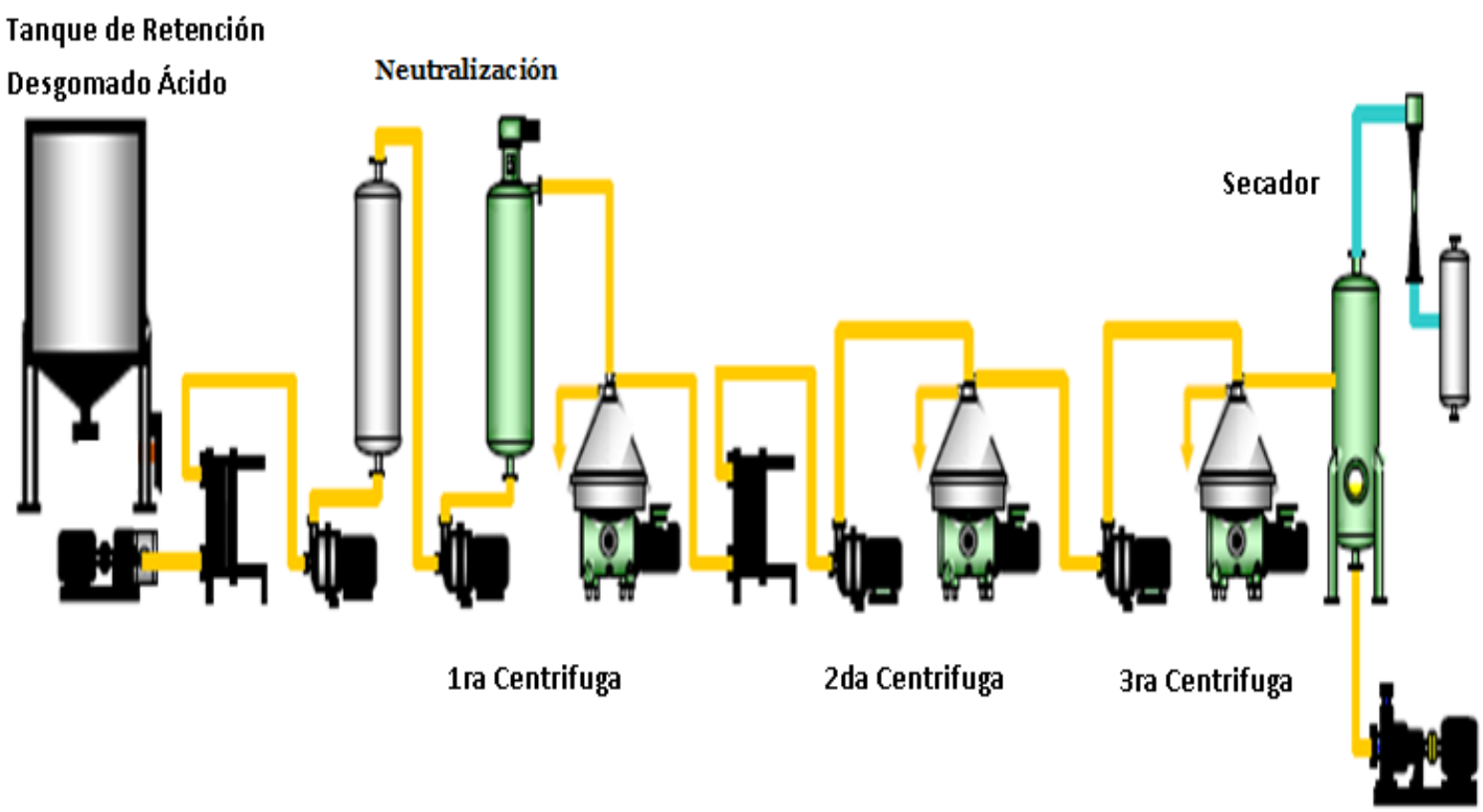


Ilustración 15. DIAGRAMA DEL PROCESO ACTUAL DE DESGOMADO DE ACEITE DE SOYA



4.2.- METODOLOGIA PROPUESTA.

4.2.1.- Refinación de aceite de soya por el método caustico con desgomado enzimático.

En este método, al igual que el método anterior (Refinación química), en la refinación de aceites vegetales es necesario remover las impurezas que afectan el sabor, olor, apariencia y estabilidad del producto (gomas, iones metálicos, colorantes, ácidos grasos libres, sólidos suspendidos, ceras etc.). Una importante clase de componente indeseable son los fosfátidos, derivados desde las semillas y presentes como gomas hidratables y no hidratables.

El refinado químico de aceites vegetales es el más común de todos los métodos de refinación de aceites, sin embargo el refinado físico ha aumentado debido a los costos y beneficios ambientales, pero todavía tiene sus desventajas al momento de ser aplicado en procesos industriales de gran envergadura.

El desgomado enzimático es otro método de refinado, dentro del cual la enzima Fosfolipasa es utilizada para convertir los fosfátidos no-hidratables a una forma hidratable, permitiendo removerlas con una sola centrifuga.

Un importante requisito para un refinado exitoso sean enzimáticos ó no enzimáticos, es que el primer paso de desgomado tiene que ser extremadamente eficiente y bajar el contenido de Fosfolípidos hasta un nivel de 10 ppm. Convirtiendo los Fosfolípidos no hidratables a una forma hidratable, estos pueden ser removidos por el proceso físico (centrifuga).

Para realizar el desgomado enzimático propuesto, utilizamos una enzima Fosfolipasa de la familia de las Hidrolasas (Lecitase Ultra).

4.2.2.- ENZIMA FOSFOLIPASA-HDROLASA

4.2.2.1.- Descripción: Lecitase Ultra es un concentrado de enzimas fosfolipasa - hidrolasa, en presentación liquida, de color marrón pálido. El color puede variar y la intensidad del color no es una indicación de la actividad del producto. La densidad de Lecitase Ultra es aproximadamente 1.2g/cm^3. Es una enzima fosfolipasa de clasificación Hidrolasa modificada por ingeniería proteica de Thermomyces lanuginosus / fusarium oxysporum producida por fermentación sumergida de un microorganismo Aspergillus oryzae genéticamente modificado.

Lecitase Ultra tiene una actividad inherente tanto hacia las estructuras de fosfolípidos como de triglicéridos. La actividad hacia el triglicérido se controla con la temperatura de proceso a la cual va a trabajar la enzima. Esta enzima actúa sobre los fosfolípidos (fosfátidos, lecitinas), como una fosfolipasa tipo A1, para dar el correspondiente liso-1-fosfòlipido más ácido graso libre (AGL).

4.2.2.2.- Actividad de la Enzima Fosfatasa Hidrolasa y sus aplicaciones: La enzima a utilizar es un líquido estandarizado en Lipasa Units por gramo (LU/g). La actividad es de 10KLU/g. Una unidad es equivalente a la cantidad de enzima que produce 1 mol de ácido butírico titulable por minuto bajo condiciones estándar. 1KLU = 1000LU.

Las principales aplicaciones industriales para las enzimas Fosfolipasa-Hidrolasa son:

- Modificaciones de la yema de huevo.
- Hidrólisis de lecitina.
- Desgomado de aceite vegetal de soya.

4.2.2.3.- Parámetros de acción

Las condiciones de trabajo para la aplicación de la enzima en un proceso de desgomado enzimático son:

1.- Adición correcta del acido cítrico e hidróxido de sodio

2.- Correcta dosificación de enzima y tiempo de reacción.

3.- Suficiente mezclado y posición de la lecitina en la interface de la emulsión.

4.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ENZIMATICO

El proceso de desgomado de aceite de soya por medio de enzimas, consiste en tres pasos.

1.- Llevar la lecitina a una interface agua/aceite para permitir que reaccione la enzima:

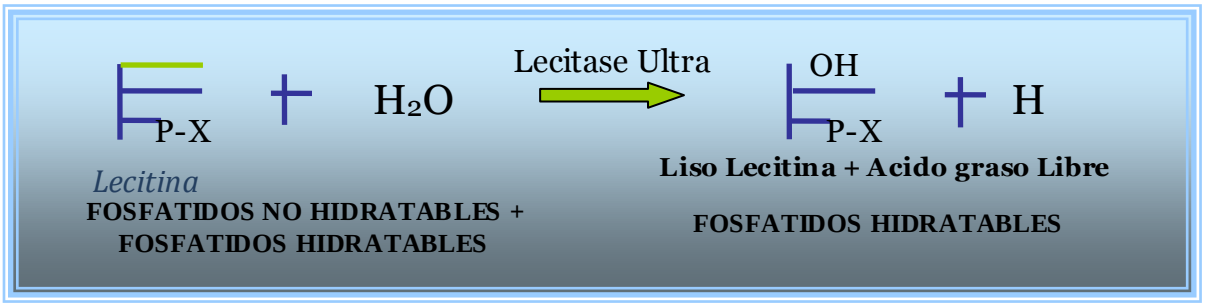
a.- Mezclamos acido cítrico con el aceite crudo a tratar.

b.- Aplicamos un mezclado con agua a altas revoluciones y promovemos una amplia superficie de contacto entre la enzima y la lecitina a través de la emulsión.

2.- Reacción de la Lecitina con la enzima:

a.- La enzima fosfolipasa convierte por hidrolisis la lecitina no hidratable en liso – lecitina hidratable.

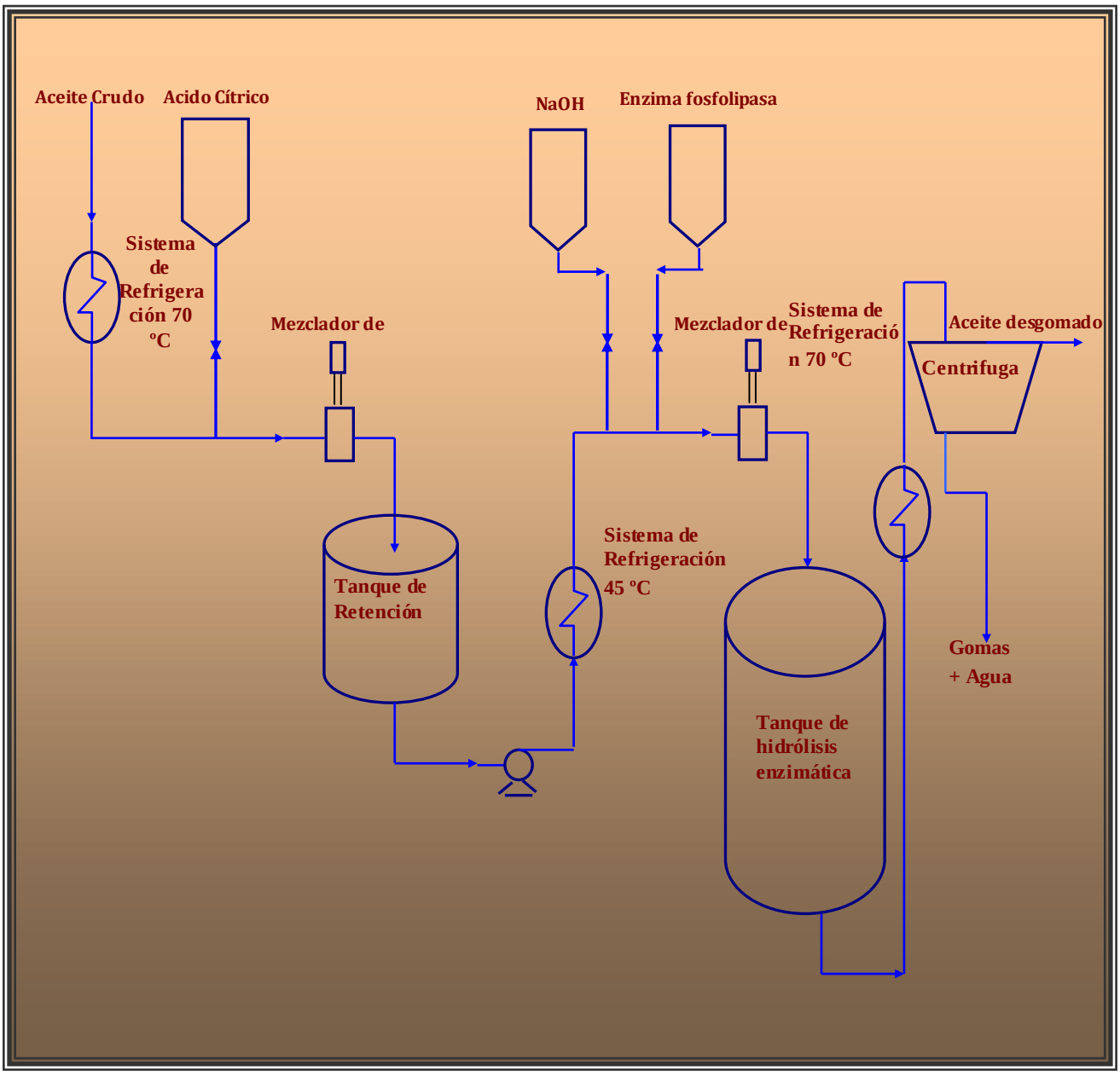
3.- Separación de las gomas por centrifugación.



4.3.1.- Condiciones estándar: La adición de enzima va acorde al tipo de aceite y condiciones de proceso, por ejemplo, para un mezclado pobre se deberá de aumentar la dosis de enzima requerida. Las condiciones estándar a seguir para aceite de soya:

- Aceite crudo
- Agua 0.3 – 1.5% w/w
- Acido cítrico 0.04% w/w
- NaOH 0.02%
- Enzima 30 ppm (30 gr / Ton de aceite)
- Temperatura de operación 55 ºC.
- Tiempo de tratamiento: 2 – 3 horas de hidrólisis.

Ilustración 16.PROCESO DE DESGOMADO ENZIMATICO PROPUESTO



4.3.2.- Comparación del desgomado enzimático vs desgomado ácido.

Tabla 5. Comparación del uso de equipos y tiempos en proceso de refinación química Vs el proceso de refinado enzimático

PROCESOS	TANQUES RETENIDOS	MEZCLADORES	CENTRIFUGAS	CAMBIO DE CALOR	TIEMPO DE PROCESO
Refinado Químico	**2**	**3(4)**	**3**	**2**	**5-6 Hrs.**
Refinado Enzimático	**2**	**2**	**1**	**2**	**3-4 Hrs.**

Tal como se aprecia en el grafico para un mismo volumen de aceite crudo de soya a tratar, se utilizan mucho menos equipos y tiempo durante el proceso de refinación enzimática. Adicionalmente el proceso enzimático utiliza el 60% menos de agua.

Aunque el proceso tradicional Físico y Químico puede alcanzar bajos niveles de Fósforo, el desgomado enzimático también los alcanza y es económico, y posee alternativas ambientales muy importantes por la reducción de volúmenes de agua residual del proceso, ya que una de las ventajas de este método es que se eliminan dos centrifugas de las tres que tiene el proceso actual, lo cual genera grandes ahorros de agua y de vapor. Se beneficiaria la empresa disminuyendo sus costos de procesamiento de esta agua.

Otros insumos que se ahorrarían serian la tierra de blanqueo, debido a que la enzima ayudara a bajar concentraciones altas de Fósforo que por lo general es la función de la tierra.

Los beneficios se resumen a continuación:

Altos rendimientos

- Se duplica la capacidad de la planta con las mismas instalaciones.

- Las gomas obtenidas contienen 25% menos de aceite residual.
- No hay pérdida de aceites en los jabones ya que no se forman jabones.

Ahorros significativos

- Bajo consumo de agua (ahorro 150 litros/tonelada de aceite refinado)
- Poca generación de aguas residuales o desperdicio de agua.
- Ninguna generación de borra (jabón).
- Bajo costo de tratamiento de efluentes.
- Incremento efectivo de la tierra de blanqueo
- Facilidad en el tratamiento de desechos, proceso amigable al ambiente.
- Apropiado para diferentes calidades de aceite (desde aceite desgomado con agua hasta aceite crudo).
- No genera riesgos para la salud. Las enzimas son biodegradables y no queda residuos de la enzima en el aceite, ya que se inactivan durante el tratamiento térmico de la desodorización.

En el proceso tradicional se tiene una pérdida de impurezas (fosfátidos, ácidos grasos, borras), del 4%, de los cuales el 2% es recuperable como ácidos grasos para los procesos de elaboración de Jabón.

En el proceso propuesto de Refinado Enzimático se tiene una perdida por impurezas del 2.5% de las cuales el 0.8% es recuperable como los ácidos grasos para los procesos de elaboración de jabón.

Considerando que al momento la empresa de refinación de aceite, posea toda la infraestructura e instalaciones para el proceso de refinación físico químico, para el desarrollo de este nuevo proceso no se requiere de inversión de maquinaria alguna, se utilizara la misma maquinaria del proceso actual.

CAPITULO V

GENERALIDADES DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES EN EL SECTOR ACEITERO

5.1.- ASPECTOS AMBIENTALES

Los aspectos ambientales asociados al sector aceitero están relacionados con residuos sólidos, líquidos, olores y gases de combustión.

Los residuos sólidos reciclables son dirigidos hacia otros sectores industriales (plásticos, papel, etc.).

En el proceso se generan otros residuos sólidos:

- Catalizador de níquel (Se exporta).
- Tierras de blanqueo (Se recupera la grasa).

5.1.1.- CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

La contaminación del aire en industria aceitera se produce por:

- Emisiones de gases de combustión de las calderas.
- Generación de olores en el proceso de refinación, los cuales son un problema restringido a ciertas plantas y no generalizado del sector aceitero. Normalmente está asociado al uso de aceites de pescado y no al de aceites vegetales.
- Los otros aspectos ambientales asociados a esta industria tienen que ver con la contaminación acústica del proceso productivo.

5.1.1.1.- Métodos de Control de Emisiones a la Atmósfera.

Los métodos de control de emisiones a la atmósfera son básicamente filtros de manga que permitan controlar las emisiones de material particulado generado

por calderas, así como utilización de combustibles limpios y la implementación de monitoreo continuo de los gases de combustión.

- Las molestias generadas por olores normalmente son provocadas por mal manejo de los residuos sólidos generados tanto en el proceso como en la planta de tratamiento, razón por la cual no tiene sentido práctico invertir en tratamiento de olores, sino que el enfoque está orientado a la prevención en el proceso productivo y al buen manejo de los residuos.

5.1.2.- EFLUENTES LÍQUIDOS.

El efluente líquido de la industria aceitera presenta como principales contaminantes grasas y sólidos suspendidos. La DBO_5 está normalmente ligada a la presencia de grasas, jabones, gomas y sólidos en suspensión.

Los valores medios de DBO_5 previo al tratamiento en la industria aceitera fluctúan entre 2,000 y 30,000 mg/l. La DBO_5 de los efluentes tratados se mantiene en el rango de 300 mg/l, con máximos del orden de 500-600 mg/l.

5.1.2.1- Tratamiento para Efluentes Líquidos.

Una planta de tratamiento para efluentes aceiteros requiere ser diseñada para eliminar los niveles contaminantes de DBO_5, DQO, Aceites y Grasas, Sólidos Suspendidos, y para corregir el pH del efluente en cuestión. Debido que en la mayoría de los casos se trata de descargas a redes de alcantarillado público se debe cumplir con la normativa ambiental vigente. Normalmente no se requiere un proceso biológico para dar solución al parámetro DBO_5.

El pre tratamiento consiste en equipos separadores de sólidos para remoción de sólidos gruesos del efluente a tratar, así como la instalación de trampas de grasa. En

algunos casos, se hace necesaria la incorporación de un desarenado, en particular cuando se observa ataque ácido a los pavimentos de la planta.

A continuación se describe algunos de estos tratamientos.

a) Tratamientos físicos.

Los procesos físicos involucran operaciones gravitacionales, manuales o mecánicas que permiten remover básicamente sólidos de distinta granulometría y densidad del efluente.

- Separación de Sólidos Gruesos
- Separación de Sólidos No Putrescibles
- Trampa de grasa
- Estanque de Ecualización

b) Tratamiento Fisicoquímico.

Los procesos fisicoquímicos involucran operaciones para desestabilizar sólidos suspendidos y remover grasas:

- Ajuste de pH
- Coagulación
- Floculación
- Flotación

5.1.3.- RESIDUOS SÓLIDOS.

Los lodos obtenidos en el tratamiento de aguas residuales, con un alto nivel de grasas, son sometidos a un proceso de desdoblamiento que consiste en agregar vapor para elevar la temperatura. En esas condiciones, se generan tres fases: aceite, agua y residuo sólido. El aceite es reciclado al proceso productivo, el agua es retornada a la planta de tratamiento y el residuo sólido se evacua al vertedero.

El catalizador de Níquel, utilizado en la hidrogenación de las grasas, es un polvo negro que queda retenido en los filtros prensa. Este se exporta a Estados Unidos para su recuperación electrolítica.

Las tierras de blanqueo representan un importante residuo sólido. Se estima su uso entre 1% a 1,5% del total del volumen de aceite procesado. Las tierras de blanqueo son utilizadas por todas las industrias aceiteras que efectúan el proceso de refinación. Estas quedan embebidas en aceite, aproximadamente del 30-50% del peso de las tierras evacuadas. A las tierras de blanqueo se les extrae el aceite por medio de un proceso de extracción por solvente. Cuando se separa el aceite de la tierra de blanqueo, el residuo resultante se utiliza como relleno sanitario.

5.1.3.1.- Lodos del Tratamiento de los Efluentes

Los lodos obtenidos del tratamiento físico-químicos de los efluentes, sale con una humedad aprox. del 93%, luego son deshidratados con filtros prensa de placas. La fase sólida (borras) es dispuesta en vertederos. La digestión de los lodos, ya sea por medios aerobios o anaerobios, se justifica en función de los costos.

CONCLUSIONES

1. El nuevo proceso representa una alternativa de bajo costo para el desgomado de aceite de soya.
2. Reduce los costos de mano de obra y de insumos.
3. El desgomado enzimático actúa sobre los Fosfolípidos, los desdobla en sus componentes y no genera efluentes o sub-productos conflictivos.
4. Tiene como ventaja la no utilización de ácido fosfórico, con la menor corrosión que ello conlleva en los equipos y la generación de efluentes amigables.
5. Tiene menos desperdicio de aceite.
6. No presenta generación de borras de jabón.
7. Se elimina dos procesos de centrifugado ahorrando el consumo de agua, vapor y energía eléctrica. Por ello optimiza tiempo y costos de proceso tanto en uso de equipos como en mantenimientos.
8. Se incrementa la efectividad en el proceso de blanqueo.
9. La enzima es biodegradable y pierde su funcionalidad a temperaturas superiores a 55 °C., lo cual no genera problemas de contaminación.
10. La desventaja es la sensibilidad a las variaciones de pH y temperatura a las cuales trabaja la enzima, lo que incrementan el riesgo de desnaturalización de la misma.

RECOMENDACIONES

- Se debe de trabajar a temperatura óptima de 55°C al momento de la reacción de la enzima.
- Se debe tener una emulsión consistente y uniforme para garantizar el efecto de la enzima.
- Implementar un programa de prevención de la contaminación que permita controlar y minimizar la contaminación en la fuente.
- Optimiza el costo de procesamiento al reducir en un 2% las perdidas por impurezas
- Reduce el tratamiento químico con el método del desgomado enzimático favoreciendo a minimizar el impacto ambiental.

BIBLIOGRÀFIA

- ✓ Grasas, aceites y jabones - Monografias_com.htm
- ✓ Obtención de aceite comestible - Monografias_com.htm
- ✓ **Madrid Vicente.** Producción, análisis y control de calidad de aceites y grasas. Ed. A. Madrid Vicente Ediciones. Madrid, 1988.

- ✓ **Madrid, I. Cenzano y J.M. Vicente.** Manual de grasas y aceites comestibles. Ed. A. Madrid Vicente Ediciones y Mundi-Prensa Libros, S.A. Madrid, 1997.

- ✓ http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm Elaboración y refinado de aceites comestibles

- ✓ http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/procesos-alternos-refinacion-quimica-t2669/800-p0.htm, Procesos Alternos para la Refinación Química de Aceites Vegetales, autor Eng. Enrique O. Díaz. Sales/Service Process Engineer

- ✓ http://www.cepal.org/argentina/noticias/paginas/7/12267/Informe337B9.pdf, estudio 1.eg.33.7, estudios sobre el sector agroalimentario* componente b: redes agroalimentarias. Tramas b-9 tendencias de las nuevas tecnologías. Industria oleaginosa con enfoque específico en girasol y soja. Autor: Martha Melgarejo, marzo 2003

- ✓ http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/VisitasPlantasExtraccionAceiteSoja.asp, visita a plantas de extracción de aceite de soja, autores Ing. Agr. Lisandro Errasquin, Ing. Agr. Juan

Trossero, Ing. Agr. Nicolás Sosa, Ing. Agr. Alejandro Saavedra, Ing. Agr. José Méndez. Unidad Ejecutora Proyecto PRECOP II - EEA INTA Manfredi

- ✓ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/perez_h_p/capitulo_4.html#, **Estudio de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de aderezo tipo italiano elaborado con aceite de soya. Universidad de las Américas Puebla**. Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Tesis presentada por **Patricia Pérez.** Cholula, Puebla, México a 16 de mayo de 2003.

ANEXO

PARTE EXPERIMENTAL A NIVEL PILOTO.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DESGOMADO:

Las muestras de aceite deben ser desgomadas en el laboratorio para determinar la óptima dosificación de Lecitase Ultra para grandes escalas operacionales.

Caracterización de resultados método actual vs. Propuesto

Tabla. Resultados de Análisis de proceso Actual

ANALISIS	1	2	3	4	5	6	7
Humedad %	0.61	0.57	0.48	0.58	0.16	0.08	0.0086
Det. Fósforo (ppm)	154.55	63.61	76.05	32.87	26.62	22.3	7.27
Det. Jabón (ppm)	0	223.82	60.72	38.05	30.44	0	0

- **Muestra # 1:** Después del desgomado con ácido
- **Muestra # 2:** Después de la primera centrífuga
- **Muestra # 3:** Después de la segunda centrífuga
- **Muestra # 4:** Después de la tercera centrífuga
- **Muestra # 5:** Después de secado antes del desgomado
- **Muestra # 6:** Después de proceso de blanqueo
- **Muestra # 7:** Después de proceso de desodorizado.

Descripción de la operación de refinación método propuesto

- Temperatura adición del ácido cítrico 70 ºC.
- Luego de adición del ácido agitación por treinta minutos a 350 rpm.
- Enfriar la mezcla aceite crudo – acido cítrico de 70 a 50 ºC., y adicionar el NaOH para ajuste de pH, el agua para promover la emulsión y la enzima.

- Agitación constante por 3 horas a 50ºC (la temperatura no deberá de ser superior a 50°C ya que se inactivara la enzima)
- Pasar por la centrifuga a 3000rpm por 3 minutos.
- Adicionar la tierra de blanqueo. Blanquear con vació mas agitación (agitar 200 rpm a 80 ºC.).

EJECUCION DE ENSAYOS

A) Ejecución de Primer ensayo

Materia prima	Peso gr	Porcentaje %
Soya cruda	1000	96,55%
Acido citrico sol 50%	2	0,20%
Hidroxido de Sodio al 20%	1,5	0,150%
Agua	25	2,500%
Enzima	0,05	0,005%
Silica select 350	1	0,100%
Tierra de blanqueo Tonsil EPP 1050	5	0,500%

Resultados de análisis de primer ensayo

Análisis	Antes del blanqueado	Soya blanqueada
Det. Fósforo ppm	50.63	35.43
Det. Jabón ppm	995.95	199.19

B) Ejecución de segundo ensayo

Se aumenta la dosis de ácido cítrico, NaOH, Enzima, Silica y de la Tierra de Blanqueo.

Materia prima	Peso gr	Porcentaje %
Soya cruda	1000	100%
Acido citrico sol 50%	5	0,5%
Hidroxido de Sodio al 20%	3	0,300%
Agua	25	2,500%
Enzima Lecitase Ultra	0,15	0,015%
Silica select 350	1,5	0,150%
Tierra de blanqueo Tonsil EPP 1050	8	0,800%

Resultados de ensayo

Análisis	Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3
Det., Fósforo (ppm)	54.42	48.88	23.18
Acidez %	0.82	0.93	0.62
Det. Jabón (ppm)	596.08	79.08	0

- **Muestra # 1:** Después de la adición de ácido cítrico.
- **Muestra # 2:** Después de la centrífuga adicionando NaOH y Enzima.
- **Muestra # 3:** Después del proceso de blanqueado con adición de Tierra de blanqueo y de Silica.

C) Ejecución tercer Ensayo

Se realiza un nuevo ensayo disminuyendo la Silica y aumentando la dosis de Tierra de blanqueo.

Materia prima	Peso gr	Porcentaje %
Soya cruda	1000	100%
Acido citrico sol 50%	5	0.5%
Hidroxido de Sodio al 20%	3	0.300%
Agua	25	2.500%
Enzima Lecitase Ultra	0.15	0.015%
Tierra de blanqueo Tonsil EPP 1050	8	1.000%

Resultados.

Análisis	Muestra
Det., Fósforo (ppm)	15.20
Acidez %	0.64
Det. Jabón (ppm)	0

- Este ensayo se lo realizo sin la Silica y se aumento la dosis de tierra de blanqueo.

Comparación de resultados

Se ejecutaron varios ensayos para determinar cuáles son los que menos contenido de fósforo presentan luego del tratamiento:

- Actual: Proceso actual de la refinería cáustica
- Primer ensayo con adición de ácido cítrico, NaOH, agua, enzima.
- Segundo ensayo se aumenta la dosis de cada uno de los insumos.
- Tercer ensayo disminuye la Silica y se aumenta la tierra blanqueo.

RESULTADOS COMPARATIVOS

Parámetros	**Actual**	**1er Ensayo**	**2do Ensayo**	**3er Ensayo**
Fósforo ppm	22.3	35.43	23.18	15.2
Jabón ppm	0	199.19	0	0
Acidez %	0.08	-	0.62	0.64

Como conclusión se observa que al adicionar más tierra de blanqueo y eliminar la Silica el contenido de fósforo disminuye después del proceso de blanqueo.

Fuente de error

Un error en los ensayos de desgomado pueden resultar por medio de los diferentes factores:

1. Calculo incorrecto de la cantidad de enzima, acido cítrico y NaOH
2. Insuficiente homogenización a través del uso del mezclador de laboratorio.
3. Incorrecto control de temperatura.
4. Insuficiente tiempo de reacción
5. Inadecuado aceite, no todos los aceites son apropiados para el desgomado enzimático.