



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

"PRODUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN
Y COMERCIALIZACIÓN DEL ACEITE
DE PALMA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
JUANA BEATRIZ CENTENO RAMÍREZ

ASESOR: Q. JOSÉ LUIS AGUILERA FUENTES

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX. 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

262749



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Jaime de Anda Montañez
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Producción, transformación y comercialización del aceite de palma"

que presenta la pasante: Juana Beatriz Centeno Ramírez,
con número de cuenta: 8228284-6 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos.

Considerando que dicho tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 23 de febrero de 199 8

- | | | |
|------------------|--|--|
| PRESIDENTE | <u>I.B.Q. Fernando Beristain</u> | |
| VOCAL | <u>I.B.Q. Rosa M. Arriaga Orihuela</u> | |
| SECRETARIO | <u>Q. José Luis Aguilera Fuentes</u> | |
| RIMER SUPLENTE | <u>I.Q. Oscar Germán Ibarra</u> | |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>I.B.Q. Ma. de la Luz Zambrano</u> | |

Agradecimientos

A mi tita, porque nunca me abandona.

A mi tito, porque es una razón en mi vida.

A mis padres de quienes estoy orgullosa.

Al Sr. Rogelio Crail Estrada por su confianza en mí.

*A mis hermanitos, Silvia, Nidia, Salvador, Sandra, Santa y Rosita
por su incondicional cariño y comprensión.*

*Muy especialmente a mis sobrinos, Boris, Cesar, Moncho, Chavito,
Caro, Angie, Bubo, Sandi, Tatis y Waldi en quienes deposito mi esperanza.*

A Armando por ser como eres.

Agradezco profundamente a los señores Remigio, Ceferino, Emeterio y José Luis Gómez por la oportunidad que me han brindado.

Al Ing. Efraín San Juan por sus muchos y acertados conocimientos.

Al Sr. Luis De la Torre por su amplia visión en los negocios.

A aquella persona que nunca olvidó que Yo existía.

Al Ing. Pacheco por su gran corazón.

Índice

	Pág.
Objetivos	i
Introducción	1
1 Producción, precios y consumos	2
2 Generalidades de la palma (<i>Elaeis guinnesis</i>)	6
2.1 Botánica	6
2.2 Variedades	6
2.3 El fruto	8
2.4 La semilla	9
2.5 Condiciones para un buen crecimiento de la palma	10
3 Características y composición de la palma	11
3.1 Manteca de palma	12
3.2 Aceite de palma	13
3.3 Palmiste (semillas)	16
3.4 Componentes menores del ap	18
4 Procesamiento de la palma	26
4.1 Limpieza	29
4.2 Esterilización	29
4.3 Descobajado	32
4.4 Trituración	33
4.5 Malaxación	34
4.6 Cocción para prensado hidráulico	37
4.7 Extracción	37
4.8 Características del aceite crudo y sus fracciones	46

4.9	Desgomado y clarificación	49
4.10	Acabado del aceite	52
4.11	Centrifugado	53
4.12	Neutralización	54
4.13	Desacidificación por vapor	57
4.14	Decoloración	57
4.15	Características del ap blanqueado y sus fracciones	68
4.16	Deodorización	69
4.17	Características del ap deodorizado y sus fracciones	71
4.18	Desfibración de palmiste	72
4.19	Preparación de palmistes	73
4.20	Descascarillado de las semillas	74
4.21	Separación de los endospermos	75
4.22	Fraccionamiento	76
4.23	Refinación física	80
4.24	Causas de reversión del color del ap	82
5	Usos y aplicaciones del ap	84
5.1	Margarinas	85
5.2	Shortenings	85
5.3	Vanaspati	86
5.4	Mantecas vegetales	86
5.5	Aceites para freír	87
5.6	Usos no comestibles de ap	88
6	Conclusiones	90
7	Bibliografía	93

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1 Producción de aceite de palma en Malasia de 1984 a 1995.	2
Tabla 2 Volúmenes de importación de aceites vegetales y de palma de los principales países consumidores.	3
Tabla 3 Precios de aceites del año de 1984 a 1995 (\$U.S./ton).	4
Tabla 4 Comparación de precios (\$U.S./ton) de aceites en los años de 1993 a 1995.	5
Tabla 5 Porcentaje de aceite de las semillas más comunes.	11
Tabla 6 Especificaciones de manteca de palma para uso en alimentos.	12
Tabla 7 Ácidos grasos del ap.	14
Tabla 8 Ácidos grasos de la oleína.	15
Tabla 9 Ácidos grasos de la estearina.	15
Tabla 10 Especificaciones de la manteca de palmiste.	17
Tabla 11 Ácidos grasos de la manteca de palmiste.	18
Tabla 12 Niveles de colesterol en las mantecas y aceites vegetales	19
Tabla 13 Composición de esteroides en el ap crudo y refinado y en la oleína de palma.	20
Tabla 14 Fosfolípidos del ap.	20
Tabla 15 Alcoholes triterpenos del ap.	21

Tabla 16	Tocoferoles y tocotrienoles en la palma cruda.	23
Tabla 17	Porcentaje de ácidos grasos del ap rojo.	25
Tabla 18	Impurezas en el ap crudo.	46
Tabla 19	Especificaciones del aceite de palma crudo.	47
Tabla 20	Especificaciones de la estearina de palma cruda.	47
Tabla 21	Especificaciones de la oleína de palma cruda.	48
Tabla 22	Especificaciones del ap blanqueado.	70
Tabla 23	Especificaciones de la estearina de palma blanqueada.	70
Tabla 24	Especificaciones de la oleína de palma blanqueada.	71
Tabla 25	Especificaciones del aceite de palma deodorizado.	73
Tabla 26	Especificaciones de estearina de palma deodorizada.	74
Tabla 27	Especificaciones de oleína de palma deodorizada.	74
Tabla 28	Fraccionamiento de ap en una sola etapa.	79
Tabla 29	Relación entre el ap crudo y el índice de blanqueo.	85
Tabla 30	Contenido de sólidos grasos de la industria de las margarinas .	87
Tabla 31	Formulación estándar del vanaspati en los años 1983 y 1993.	88

Índice de figuras

		Pág.
Fig. 1	Comparación de precios en los años de 1993 a 1995.	5
Fig. 2	Esquema de las variedades de fruto y semilla.	7
Fig. 3	Fruto de la palma, corte transversal y longitudinal pasando por el embrión.	8
Fig. 4	Diagrama de obtención de ácidos grasos destilados de palma.	22
Fig. 5	Diagrama de obtención de vitamina E.	22
Fig. 6	Diagrama de bloques del procesamiento clásico de la palma.	28
Fig. 7	Diagrama de flujo de la refinación física del ap.	30
Fig. 8	Esterilizador vertical.	32
Fig. 9	Sección transversal de una trituradora de rodillos.	34
Fig. 10	Corte transversal de un malaxador.	36
Fig. 11	Prensa hidráulica de asiento fijo.	39
Fig. 12	Prensa tipo expeller.	41
Fig. 13	Diagrama de proceso de la extracción por fluido supercrítico.	44
Fig. 14	Clarificador de funcionamiento continuo.	51
Fig. 15	Diagrama del proceso continuo de decoloración a vacío.	64

Fig. 16	Estructura de la tierra blanqueante y adsorción de un grano de tierra blanqueante.	66
Fig. 17	Principio de dos etapas en contracorriente.	67
Fig. 18	Desfibrador por ventilación.	75
Fig. 19	Descascarillador de semillas de palma.	77
Fig. 20	Fraccionamiento de etapa múltiple del ap.	80
Fig. 21	Superoleíñas.	81
Fig. 22	Fraccionamiento de palmiste.	82
Fig. 23	Diagrama de bloques de refinación física.	84
Fig. 24	Diagrama de usos y aplicaciones industriales del ap.	86

Objetivos

- Realizar una investigación bibliográfica y hemerográfica actualizada, que contenga información básica del aceite de palma para:
- Evaluar una alternativa inmediata en aceites para la utilización en la industria alimentaria en México, es decir, el ap.
- Resumir las ventajas del aceite de palma con respecto a los aceites de uso tradicional y comercial en el mundo.
- Comparar los principales países importadores de aceite de palma, el crecimiento y las causas del crecimiento de sus importaciones.
- Analizar los métodos de procesamiento del aceite de palma y las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.
- Estructurar los resultados de la investigación para que sirva como elemento para emitir juicios acerca de la industria de la palma.

Introducción

El consumo y la producción del aceite de palma (ap) ha aumentado considerablemente desde el año de 1984. Estos cambios se deben a que a partir del año de 1980 los países de Asia y África, específicamente Malasia, le han dado mayor auge, por la gran importancia comercial de los diversos usos del ap. Los factores de índole económico y la factibilidad del aceite a fraccionarse en oleína y estearina, hace que se origine un mercado más amplio y con mayores ventajas con respecto al aceite de soya, por tomar un ejemplo. El aceite de palma en Asia y África es uno de los aceites más producidos y más consumidos en estos momentos. Sin embargo, en los países occidentales la penetración del aceite de palma es todavía lenta. Los factores pueden deberse a un sinnúmero de situaciones, por ejemplo la existencia de la Asociación Americana de la Soya, la cual de alguna manera ha intentado proteger el mercado de la soya; es claro, sin embargo, que la tendencia del mercado de la palma en lo que refiere a América Central y Sudamérica es a crecer rápidamente, sobre todo en el sector industrial —el cual proclama un mercado potencial—; cabe mencionar que el mercado de uso doméstico es también importante.^{2,66}

Las ventajas del aceite de palma van desde las fracciones que se obtienen del fruto, el aceite que se obtiene de la semilla, los derivados nutricionales, los subproductos que se obtienen durante el procesamiento, los productos que se obtienen con algún proceso adicional, hasta el precio y producción durante el año. ^{1.12.15.42.68}

1. Producción, precios y consumos

Malasia es el principal productor de palma en el mundo. Aproximadamente una tercera parte de Malasia, alrededor de dos millones de hectáreas, está plantado con palma. Cerca del 45% es propiedad federal, y el 55% son plantaciones privadas. La palma es uno de los principales productos que se cultivan en Malasia; su industria de la palma emplea aproximadamente a 300 000 personas.⁶⁸

En la tabla 1 se puede observar que el incremento ha sido más de un 210% de la producción de palma en Malasia de 1984 a 1995.^{1,15}

Tabla 1. Producción de aceite de palma en Malasia de 1984 a 1995.¹

Año	Producción(ton)
1984	3 714 795
1985	4 134 463
1986	4 542 249
1987	4 319 960
1988	5 027 496
1989	6 056 501
1990	6 094 620
1991	6 141 353
1992	6 373 461
1993	7 403 498
1994	7 220 632
1995	7 813 537

El aceite de palma (ap) se emplea básicamente en los productos domésticos y el porcentaje de participación en el mercado mundial es de 8%. Indonesia, el Sureste de Asia y otros países productores de palma tienen cerca de 1.2 millones de hectáreas de palma y tienen aún más tierra disponible para el cultivo a futuro.⁶⁸

El aceite de palma es uno de los 17 aceites más transformados en el mundo, la producción del aceite de palma se incrementó de 1.742 millones de toneladas en el año de 1970 a 13.67 millones de toneladas en 1993, es decir, es más de un 784%.

En 1970 un total de 67 países importaban aceite de palma. En 1993, lo importaron 194 países.

En la tabla 2 se puede observar que Singapur, China y Pakistán son los principales importadores de ap. ^{7,14,39}

Estados Unidos ha sido el más grande importador de ap en América, pero sus importaciones declinaron de 213 000 toneladas en 1985 a 129 400 toneladas en 1993. Esta disminución se debe a la campaña antipalma iniciada por la Asociación Americana de la Soya. ^{1,66}

Tabla 2. Volúmenes de importación de aceite vegetal y de palma de los principales países consumidores. ¹

	AP	AP	AP	AV	AV	AV
País	1985	1990	1993	1985	1990	1993
China	56.8	113.4	1120	205	2416	1532
Singapur	1109.5	880.5	630.7	1238	1072	844
Pakistán	486.2	682.7	1175	838	1152	1540
Kenya	8205	158.4	130	96	180	154
Egipto	38.7	328.7	462.9	737	819	939
Guatemala	0	15.4	15	48	83	80
México	2.9	87.8	95	272	735	967
Argentina	0	0.02	n.a	2	6	18
Brasil	0	0	35.41	152	105	278
EUA	213	130.4	129.4	1140	1140	1339
Reino Unido	217.9	368.6	430	1225	1225	1223
Escocia	174.1	354	419.6	1424	1424	1568

n.a. no accesible. AP ap, AV aceite vegetal. Los valores se dan en miles de toneladas.

México es el segundo importador en América, después de EUA, sus importaciones se han incrementado de 2 900 toneladas en 1985 a 95 000 toneladas en 1993; es decir, se importó 33 veces más ap. El principal factor del incremento de las importaciones del ap fue el precio competitivo con respecto a los otros aceites y grasas. ^{2,66}

Otro factor fue que se amplió y se sigue ampliando el campo de conocimiento, para la utilización del ap (formulaciones de margari-
nas, mantecas, etcétera).^{12,42}

Como se observa en las tablas 3 y 4 los precios de 1993 a 1994 sufrieron un incremento mucho mayor en comparación con el de 1994 a 1995. En lo que se refiere a los productos de palma, el aceite fue el que tuvo mayor incremento. Sin embargo, los precios siguieron siendo competitivos, comparados con los aceites más deman-
dados.^{2,8,13,11}

Tabla 3. Precios de aceites del año de 1984 a 1995 (\$U.S./ton).²

Año	Oleína de palma RBD (CIF)	Aceite de soya (FOB)	Aceite de c o c o (C I F)	Estearina de palma RBD (CIF)	Aceite de palmiste (CIF)	ap (CIF)
1984	786	724	115	565	1037	729
1985	543	572	590	445	551	501
1986	323	342	297	263	288	257
1987	390	334	442	349	426	343
1988	472	463	565	443	539	437
1989	375	432	517	348	472	350
1990	332	447	336	284	334	290
1991	393	454	433	294	417	339
1992	449	429	578	349	571	394
1993	434	478	450	370	437	378
1994	604	616	608	460	629	528
1995	694	632	665	573	678	636

CIF.=Costo y flete. FOB.=Costo. RBD.=Refinado, blanqueado y deodorizado.

Tabla 4. Comparación de precios (\$U.S./ton) de aceites en los años de 1993 a 1995.⁸

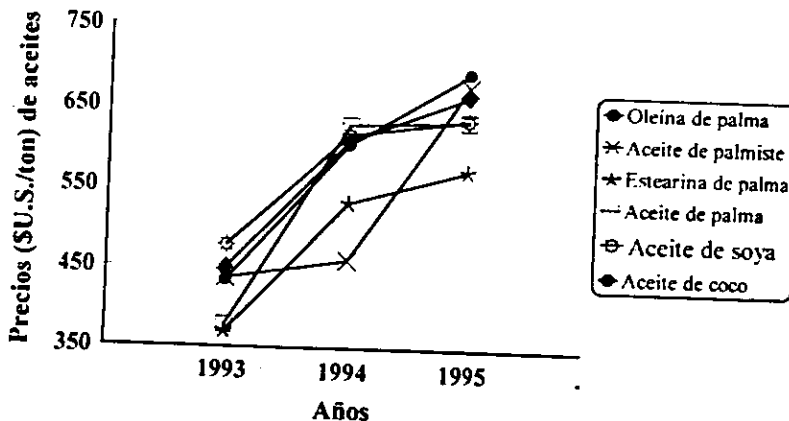
Aceites	1993	1994	1995	a	b
Oleína de palma RBD (CIF)	434	604	694	59.9	14.9
Aceite de palmiste (CIF)	437	460	678	55.1	7.7
Estearina de palma RBD (CIF)	370	531	573	54.9	24.6
ap (CIF)	378	628	634	68.3	20.5
Aceite de soya (FOB)	478	616	636	32.2	2.6
Aceite de coco (CIF)	450	608	665	47.8	9.4

a = % de cambio entre 1993 y 1995. b = % de cambio entre 1994 y 1995

El incremento de precios de los aceites se debe principalmente a dos factores: la oferta y la demanda, y los fenómenos naturales, como las sequías o lluvias excesivas, por ejemplo, en 1995 se obtuvo una gran cosecha de soya en Estados Unidos, por lo que el precio de la soya para este año no tuvo grandes fluctuaciones. Sin embargo, la palma tuvo que ajustarse a los precios del mercado internacional de los aceites debido a una serie de fenómenos naturales acontecidos en Brasil y Filipinas.

El incremento del consumo de los productos de palma debido a su versatilidad en usos y su valor nutricional tiene por efecto una competencia más cerrada en los aceites comerciales.^{2,8}

Fig. 1. Comparación de precios en los años de 1993 a 1995.



2. Generalidades de la palma (*Elaeis guineensis*)

2.1. Botánica

Palmera oleaginosa (*Elaeis guineensis*). Su tallo alcanza una altura de 20 a 25m y está coronado de largas hojas arqueadas.

El botánico Adanson, en el año 1750, fue el primero que hizo la descripción de esta palmera y de los usos que de ella se hacían en la península de Cabo Verde (Senegal). Le dio el nombre de palmiste y la incluyó en el género Cocos.

Es parte de la familia de las palmáceas y pertenece a la tribu de las Coccoideae. 18,77

2.2. Variedades

Hay diferentes clasificaciones pero la más importante para la extracción de aceite es la que corresponde a la del grosor de la cáscara de los frutos y a la pigmentación del fruto. La combinación de los diferentes caracteres produce un gran número de variedades que dependen de las situaciones geográficas donde se siembre.

a) De acuerdo con el grosor de la cáscara el fruto se clasifican en:

- Dura, cuya cáscara pasa generalmente de los 2 mm.
- Ténera con menos de 2 mm de grosor en su corteza y
- Pisífera, que es la variedad que produce frutos que carecen de cáscara.

El grosor de la cáscara para una misma variedad determinada puede variar según sean las condiciones ecológicas y también puede presentar variaciones entre los racimos de un mismo árbol e incluso dentro de un mismo racimo.

La composición de los frutos dependiendo de su cáscara es la siguiente: dura, 45% de pulpa, 40% de cáscara y un 15% de semilla; ténera, 75% de pulpa, 15% de cáscara y un 10% de semilla, y pisífera 92% de pulpa, 0% de cáscara y un 8% semilla (figura 2).

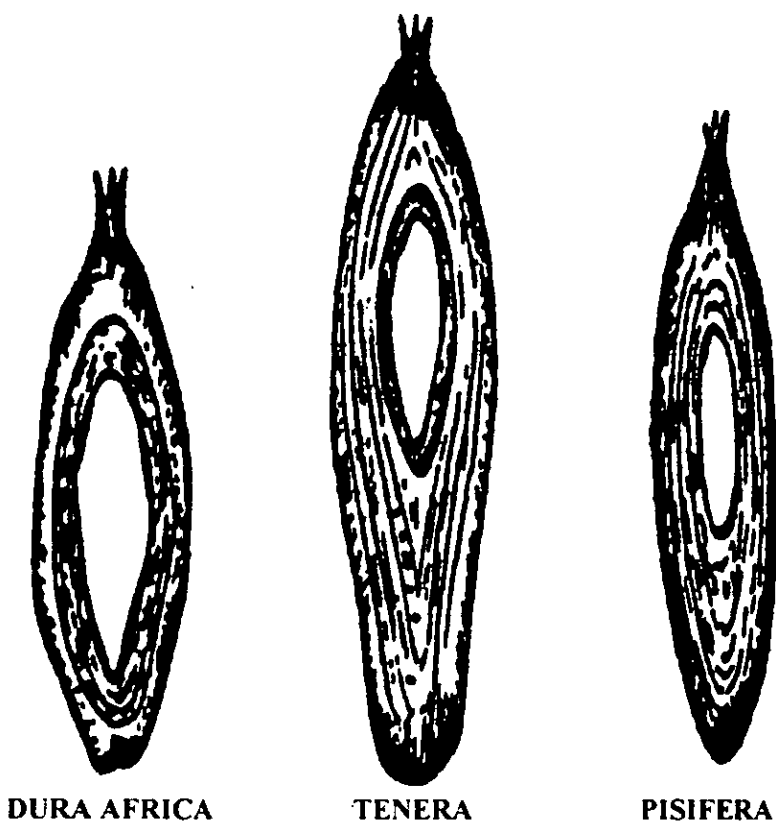


Fig. 2. Esquema de las variedades de fruto y semilla.⁶⁹

b) De acuerdo a la pigmentación del fruto se clasifican en :

Nigrescens, son los frutos negruzcos que antes de la madurez, adquieren color rojo al menos en su parte inferior.

Virescens, son los frutos verdosos antes de la madurez, que luego van tomando un color rojo claro, más o menos intenso.

La variedad *nigrescens* dura es la más abundante de las palmeras silvestres, pero las de mayor plantación corresponden a la variedad *nigrescens* ténera.^{77,36,56}

2.3. El fruto

El fruto del *Elaeis* es una drupa sésil ovoide, de unos 3 a 5 cm de largo, más o menos ventruda, lojada en una cúpula escariosa y desecada (figura 3). Los estigmas persisten en la cima y tienen la forma de tres pequeños apéndices negros arqueados. La epidermis es lisa y brillante. El mesocarpio o pulpa, es amarillo o anaranjado, muy oleoso, atravesado por estrechas fibras cuyos haces se presentan más compactos cuanto más próximos están al centro del fruto. La pulpa, cuyo espesor varía entre 2 y 10 mm, contiene de un 45 a 50% de su peso fresco de ap, un 15 a 20% de fibras celulósicas, y coloides solubilizados en el agua de constitución (albúminas, materias pécticas azúcares y sales liofiladas).

El endocarpio o cáscara esclerificada, en general es muy duro, de color negro, de 0.5 a 4-5 mm de grosor, envuelto por fibras adherentes. En el interior de la cáscara se encuentra el endospermo; el conjunto más la cáscara constituye la semilla o núcleo de la palmera.^{41,56,77}

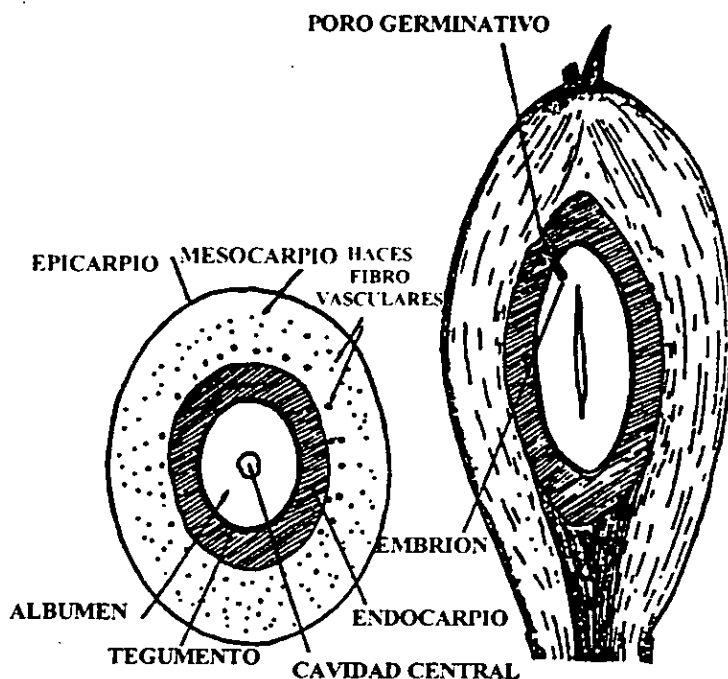


Fig. 3. Fruto de la palma. corte transversal y longitudinal pasando por el embrión.⁵⁶

El fruto normal crece en volumen y peso durante los tres primeros meses de su vida, lapso en que está constituido por tejidos ricos en agua. Una vez que el crecimiento se detiene, la acumulación de sustancias orgánicas comienza y lo hace por la lignificación de la cáscara, que continúa durante dos meses aproximadamente; luego prosigue con la acumulación de materia grasa y de proteínas y glúcidos en el endospermo. La formación de la reserva de materia grasa en la pulpa comienza cuando termina la acumulación de sustancias orgánicas en el endospermo. La formación y acumulación de materia grasa se inicia por la base del fruto y progresa muy rápidamente por zonas concéntricas; no está sujeta a porcentajes claramente definidos y solamente se detiene por la caída del fruto.^{56,77}

2.4. La semilla

Es también llamada palmiste o kernel. Las dimensiones y peso de la semilla varían no sólo según el origen de los árboles, sino también en un mismo racimo.

Una semilla ténera pesa de 1 a 2 g y una semilla dura, de 4 a 6 g. En su extremo superior la semilla presenta tres poros de unos 2 a 3 mm de su diámetro. Como en el ovario hay 3 óvulos, estos poros corresponden a las tres celdillas del ovario y por uno de ellos tendrá lugar la salida de la plántula. El endospermo, más o menos ovoide, ocupa toda la cavidad del endocarpio.

La estructura del endospermo es un tegumento delgadísimo y muy adherente, blanquecino o amarillento, que al secarse se vuelve negruzco; un albumen cartilaginoso, muy oleoso, en cuyo centro se encuentra una larga hendidura.

El embrión es recto, lineal, de 4 a 5 mm incluido en una pequeña cavidad que no tiene comunicación con la hendidura interior del albumen. El endospermo, una vez extraído de la semilla y secado en los molinos aceiteros, se conoce por el nombre estearina de palmiste.

En estudios recientes se ha encontrado que las semillas tienen mayor cantidad de ácidos grasos insaturados más afuera de la semilla, mas dentro de la semilla es menos insaturado teniendo un

alto contenido de ácido láurico. También la variación en el índice de yodo determina que las semillas pequeñas tienden a tener un alto valor en yodo en comparación con las semillas más grandes.^{20,46,76,87}

Las plantas de palma pueden ser reproducidas con las características deseables para un buen rendimiento por medio de la clonación, según estudios que se han realizado desde mediados de 1980.⁶⁸

2.5. Condiciones para un buen crecimiento de la palma

2.5.1. Temperatura. La *Elaeis guineensis* es una planta que necesita una temperatura media mensual entre 25 y 28°C y no debe descender de los 18°C. Las temperaturas bajas retrasan el crecimiento en el vivero y disminuyen también la producción de los palmerales adultos. Las temperaturas bajas asociadas a una larga estación seca y poco soleada, provocan desórdenes fisiológicos que pueden producir podredumbre del corazón.

2.5.2. Agua. Una precipitación de 1.5 mm, bien distribuida a lo largo del año, permite obtener un buen rendimiento, siempre que las demás condiciones climáticas, en particular la humedad relativa, resulten satisfactorias.

2.5.3. Suelos. La ecología favorable para la palmera oleaginosa se caracteriza sobre todo por su aspecto climático, pero el suelo es muy importante. Algunas condiciones del suelo (calidades físicas, profundidad, nivel de la capa freática), pueden compensar las irregularidades de la pluviosidad o atenuar los efectos de una estación seca muy marcada.

Las cualidades físicas del suelo son mucho más importantes que la fertilidad mineral del mismo.

El suelo tiene que ser profundo, pues el sistema radicular de la palmera es muy sensible a la compacidad y la cohesión y sólo se desarrolla satisfactoriamente en un medio esponjado y poroso. La palmera oleaginosa es un gran consumidor de potasio, exige en principio un contenido mínimo de potasio intercambiable, de 0.15 a 0.20 meq.^{20,77}

3. Características y composición de la palma

Los aceites y las grasas comestibles son los productos de origen vegetal o animal cuyos constituyentes principales son glicéridos naturales de los ácidos grasos y como componentes menores otros líquidos.³⁴

En la tabla 5 se observa el porcentaje de aceite que contienen las semillas más comerciales del mundo.

Tabla 5. Porcentaje de aceite de las semillas más comunes.^{34,35,43}

Semilla	% de aceite
Soya	18-23
Canola	40-43
Girasol	25-30
Copra	63-70
Palma	30-70
Palmiste	48-52

La ventaja del ap, en comparación con los aceites más comerciales, es que del ap se obtienen subproductos, además de la utilización del aceite para alimentación humana, la elaboración de mantecas y margarinas. El ap, la oleína, la estearina, los palmistes y los subproductos se utilizan en la fabricación de mantecas, jabones, cosméticos, etcétera.²³ (ver la figura 24, usos del ap).

Los aceites deberán tener un aspecto limpio y transparente a la temperatura de 15 a 20°C, olor y sabor agradable, con los aromas propios y característicos de cada aceite, correspondientes a los frutos y semillas de que procedan.^{79,80}

Las características químicas generales son: humedad y materias volátiles, en estufa a 105°C, no superior al 0.1%. Impurezas insolubles en el éter de petróleo, expresada en ácido oleico, no superior al 0.5%. Acidez libre expresada como ácido oleico y referida a grasa seca, no superior al 3%, y no superior a 0.15 % para aceites y grasas refinados.⁷⁹

Las grasas y aceites refinados no deberán contener trazas del disolvente utilizado en la extracción, y la reacción resultará negativa en el ensayo de jabón.

Las grasas vegetales comestibles son las obtenidas de frutos o semillas, en estado sólido a la temperatura de 20°C, de buen color, limpias, exentas de impurezas y sin actividad con la luz polarizada.⁷⁹

3.1. Manteca de palma. Es la obtenida exclusivamente de la pulpa del fruto de la palma con caracteres semejantes al anterior, pero de mayor firmeza, y un color amarillo rojizo.

Tabla 6. Especificaciones de manteca de palma para uso en alimentos.⁷⁹

Especificación	Valor
Densidad a 40°C	0.897-0.900
Índice de refracción (nD 40°C)	1.454-1.458
Titer °C	38-46
Índice de saponificación (mg de KOH/ g de grasa)	195-206
Índice de Yodo	45-48
Materia Insaponificable	0.5-1.2%
Índice de acidez (mg de KOH/ g de grasa)	>0.3
Índice de peróxido (meq de oxígeno activo/ kg de grasa)	>2
Índice de Reichert-Meissl	1
Índice de Polenske	1
Índice de Kirchner	1
Materia volátil a 105°C (máx) m/m	0.2%
Impurezas (máx) m/m	0.05%
Contenido de jabón (máx)	50 ppm

continuación de la tabla 6

Metales pesados	máx
Hierro	1 ppm
Cobre	0.2 ppm
Plomo	0.1 ppm
Arsénico	0.1 ppm

Esta grasa, para su uso comestible, sin transformación, deberá cumplir las especificaciones que se presentan en la tabla 6.

Caracteres organolépticos. Masa pastosa o sólida a temperatura ambiente, de color amarillo claro rojizo e inestable térmicamente.⁷⁹

Al igual que el aceite y las fracciones a lo largo del proceso de extracción y refinación, la manteca de palma y la manteca de palmiste deberán cumplir ciertas especificaciones. Estas especificaciones son determinantes en el uso industrial; si no se llega a cumplir algún parámetro dentro de estas podrá pensarse en que las condiciones en el proceso de elaboración no estuvieron controladas, o que se tuvo un mal o un largo tiempo de almacenado.

Cabe mencionar que los análisis que se realizan para obtener los valores de las especificaciones están basados en las técnicas del AOCS (American Oils Chemistry Society).^{44,79}

3.2. Aceite de palma

El aceite crudo de palma contiene 90% de triglicéridos, de 2 a 7% de diglicéridos y menos del 1% en componentes menores.²⁶

El porcentaje de ácidos grasos en los aceites en general tiene relevancia debido a que en la mayoría de las especificaciones, una variación grande en los porcentajes puede representar contaminación con algún otro tipo de aceite. El análisis más común que se realiza para determinar este porcentaje es la cromatografía de gases. Como se presenta en las tablas 7, 8 y 9 el porcentaje de ácidos grasos en el ap, la oleína y la estearina, son específicos.

Cabe resaltar que en los tres casos el porcentaje mayor de ácido graso es el oleico y el palmítico en diferente proporción para cada uno de ellos. Es importante mencionar que el porcentaje del ácido linoleico (ácido graso esencial) es relativamente alto en el ap y la oleína.^{34,44}

Tabla 7. Ácidos grasos del ap. ^{44,76}

Ácidos insaturados	%
Oleico 18:1	39 a 52
Linoleico 18:3	9 a 11
Palmitoleico 16:1	0.1 a 0.3
Linolénico 18:2	0 a 0.6
Ácidos saturados	
Palmítico 16:0	41 a 46
Esteárico 18:0	4.2 a 5.1
Mirístico 14:0	0.9 a 1.5
Araquídico 20:0	0.2 a 0.7
Láurico 12:0	0.1 a 0.4
Composición de triglicéridos por número de carbonos	
C46	0.4 a 1.2
C48	4.7 a 10.8
C50	40 a 45.8
C52	38.2 a 43.2
C54	3.4 a 11.4

Tabla 8. Ácidos grasos de la oleína. 44,76

Ácidos insaturados	%
Oleico 18:1	40.7 a 43.9
Linoleico 18:3	10.4 a 13.4
Palmitoleico 16:1	0.1 a 0.4
Linolénico 18:2	0.1 a 0.6
Ácidos saturados	
Palmítico 16:0	37.9 a 41.7
Esteárico 18:0	4 a 4.8
Mirístico 14:0	0.9 a 1.4
Araquídico 20:0	0.2 a 0.5
Láurico 12:0	0.1 a 0.6
Composición de triglicéridos por número de carbonos	
C46	-
C48	1.3 a 4
C50	37.7 a 45.4
C52	43.3 a 51.3
C54	7 a 12.6

Tabla 9. Ácidos grasos de la estearina. 44,76

Ácidos insaturados	%
Oleico 18:1	15.6 a 37
Linoleico 18:3	3.2 a 9.8
Palmitoleico 16:1	0.05 a 0.2
Linolénico 18:2	0.1 a 0.6
Ácidos saturados	
Palmítico 16:0	47.2 a 73.8
Esteárico 18:0	4.4 a 5.6
Mirístico 14:0	1.1 a 1.9
Araquídico 20:0	0.1 a 0.6
Láurico 12:0	0.1 a 0.4

continuación de la tabla 9

Composición de triglicéridos por número de carbonos	
C46	-
C48	0.5 a 3.3
C50	12.2 a 55.8
C52	33.6 a 49.8
C54	5.1 a 37.3

3.3. Palmistes (semillas)

Industrialmente las semillas de la palma se conocen como palmistes o kernel. De las semillas se puede obtener aceite y manteca.

Los endospermos están cubiertos de un tegumento amarillento o marrón que al secarse se vuelve negro. Su albumen es muy duro, blanco nacarado, ligeramente translúcido y durante la producción del ap se vuelve un poco opaco con un ligero reflejo amarillo. Se le reduce la humedad entre un 5 y 7% y tiene un porcentaje de 48 a 52% de aceite.

Una buena calidad en los palmistes consiste en que no deben tener más de 2% en peso de materias extrañas ni más de un 2% en peso de endospermos en mal estado.⁷⁹

3.3.1. Aceite de palmiste. Procedente de la semilla del fruto de la palma (*Elaeis guineensis*), el cual debe estar adecuadamente refinado, y cumplir con las siguientes características: líquido oleoso o masa de consistencia pastosa o fluida, según la temperatura ambiente, de color amarillo claro, olor característico y sabor agradable, suave y aromático.

El aceite de palmiste solidifica a una temperatura de 15°C su punto de fusión es de 23 a 30°C.^{4,18,84}

3.3.2. Manteca de palmiste. Esta grasa, para su uso comestible sin transformar, deberá cumplir las especificaciones siguientes.

Caracteres organolépticos. Líquido oleoso o masa de consistencia entre sólida y líquida, según la temperatura ambiente, de color

amarillo claro, de olor característico y sabor agradable, suave y un tanto aromático.

La tabla 10 acompleta las especificaciones que debe cumplir la manteca de palmiste.

Tabla 10. Especificación de la manteca de palmiste. ⁷⁹

Especificación	Valor
Densidad a 40°C	0.903-0.908
Índice de refracción (nD 40°C)	1.449-1.452
Titer °C	20-29
Índice de saponificación (mg de KOH/ g de grasa)	237-252
Índice de Yodo	11-18
Materia Insaponificable	>0.8%
Índice de acidez (mg de KOH/ g de grasa)	>0.3
Índice de peróxido (meq de oxígeno activo/ kg de grasa)	>1
Índice de Reichert-Meissl	4-7
Índice de Polenske	9-11
Índice de Kirchner	0.5-1
Materia volátil a 105°C (máx) m/m	0.2%
Impurezas (máx) m/m	0.05%
Contenido de jabón (máx)	50 ppm
Metales pesados	máx
Hierro	1ppm
Cobre	0.2 ppm
Plomo	0.1 ppm
Arsénico	0.1 ppm

Usualmente en lo que respecta a las mantecas no se acostumbra castigar el precio cuando no cumplen con las especificaciones requeridas como en el caso de los aceites, simplemente es aceptada o no por control de calidad.

Una cromatografía como en el mismo caso del ap, la oleína y la estearina nos determina el porcentaje de ácidos grasos del aceite de palmiste, de esta manera podemos darnos una idea de la calidad de éste.^{44,79}

El porcentaje de ácidos grasos que debe contener la manteca de palmiste se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Ácidos grasos de la manteca de palmiste.^{44,76}

Ácido	%
Láurico	45 a 52
Mirístico	14 a 18
Palmitico	6 a 9
Oleico	10 a 18.5
Cáprico	3 a 7
Caprónico	3

El aceite de palmiste tiene un índice de saponificación de 237 a 252, y un índice de yodo de 11 a 18. Su mercado principal es la industria de alimentos, particularmente en la chocolatera. La torta que resulta de ellos cuando son procesados se utiliza como alimento para ganado.⁷⁹

3.4. Componentes menores del ap

Algunos de los componentes menores del ap son los carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles, esteroides, fosfátidos y alcoholes alifáticos. El contenido total de los componentes menores es del 1% del peso del ap, sin embargo juegan un papel importante en relación a la estabilidad del aceite.

Las cantidades de colesterol en los aceites es generalmente bajo, pero en el ap el contenido es de los más bajos, como se muestra en la tabla 12.^{23,27,49,58,63}

Desde hace algunos años en casi todos los países del mundo en donde se incrementó la mortandad de gente cuyos niveles de colesterol en la sangre eran altos, se dio importancia real para controlar este factor; en estos tiempos la gente prefiere, hablando específicamente de aceites, aquellos en que los niveles de colesterol son bajos (ver tabla la 12). En América, la entrada del ap al mercado se vio favorecida por su contenido bajo en colesterol.^{42, 49,58}

*Tabla 12. Niveles de colesterol en las mantecas y aceites vegetales.*²³

Tipo	Promedio (ppm)	Intervalo (ppm)
Aceite de coco	14	5 a 24
Manteca de cacao	59	9 a 40
Aceite de palmiste	17	13 a 19
ap	18	8 a 44
Aceite de girasol	17	20 a 35
Aceite de soya	28	28 a 108
Aceite de algodón	49	25 a 80
Aceite de maíz	50	18 a 95

El colesterol es un esteroles, los esteroides en la refinación de palma disminuyen conforme avanza el proceso, esto representa una ventaja más para el ap. La tabla 13 presenta los esteroides que se encuentran en el ap y la oleína de palma.

Tabla 13. Composición de esteroides en el ap crudo y refinado y en la oleína de palma.²³

	Coles- terol	Campe- sterol	Sitosterol	Estigmas- terol	Desco- nocado
ap					
Crudo	7 a 13	90 a 151	218 a 370	44 a 66	2 a 18
Desgomado y Blanqueado	5 a 10	49 a 116	113 a 286	22 a 51	trazas
RBD	1 a 5	15 a 16	45 a 167	8 a 30	trazas
Oleína					
Cruda	6 a 8	57 a 107	149 a 253	30 a 51	24 a 28
Desgomada y Blanqueada	3 a 4	36 a 43	99 a 123	21 a 25	trazas
RBD	2	26 a 30	68 a 114	12 a 23	-

Los fosfolípidos son componentes menores en el aceite de palma; en la industria aceitera los fosfolípidos representan los iniciadores de algunas reacciones de deterioro, y en algunos casos funcionan como antioxidantes naturales. Industrialmente no se realizan análisis para encontrar específicamente algún fosfolípido, únicamente se realizan pruebas de contenido de fósforo al principio y al final de cada etapa si así lo requiere el proceso.^{3,51}

Los fosfátidos y los alcoholes triterpénicos en el ap se muestran en las tablas 14 y 15.

Tabla 14. Fosfolípidos del ap.²³

Fosfolípidos	%
Fosfatidilcolina	36
Fosfatidiletanolamina	24
Fosfatidilinositol	22
Fosfatidglicerol	9
Fosfatidilglicerol	4
Ácido fosfórico	3
Lipofosfatidiletanolamina	2
Fosfatidilserina	trazas
Lisofosfatidilcolina	trazas

Tabla 15. Alcoholes triterpenos del ap.²³

Alcohol	%
Cicloartanol	13.7
α -Aminin	20.1
Cicloartenol	50.1
2,4-Metileno cicloartenol	13.1

Los carotenoides y la vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) son importantes nutricionalmente.^{3,23,46}

La palma cruda contiene entre 500 y 700 ppm de carotenoides, los mayores componentes son α -caroteno y β -caroteno. Estos carotenoides tienen actividad de provitamina A, además de prevenir la oxidación en el aceite crudo.

Desafortunadamente los consumidores prefieren en el aceite el color amarillo oro; los carotenoides son térmicamente degradados y removidos durante la deodorización y el proceso de refinado.^{25,38,53}

El aceite crudo es rico en vitamina E (600-1000 ppm) y por consecuencia en tocotrienoles. Los tocoferoles y los tocotrienoles también funcionan como antioxidantes en el aceite, la tabla 16 muestra el tipo de tocoferoles y tocotrienoles que existen en la palma cruda y sus porcentajes.^{3,23}

La palma cruda contiene en promedio alrededor de 800 ppm de vitamina E y cerca del 70% de los remanentes en el ap RBD.

La concentración de vitamina E por el método de destilación de ácidos grasos de palma (DAGP) es de 5 a 10 veces más que el nivel en el aceite crudo.⁵¹

El método DAGP es el método preferido para la extracción de la vitamina E de la palma.³

La producción de tocoferoles naturales y sintéticos es basta, pero la de tocotrienoles es limitada. La vitamina E del ap es una fuente potencial de tocotrienoles, y contiene más del 60% de éstos.^{3,53}

Las figuras 4 y 5 representan los diagramas de bloques de la extracción de la vitamina E del ap por el método DAGP. Se observa que se parte del aceite crudo, por una parte se obtienen los ácidos grasos destilados y por otra el aceite RBD.³

Fig. 4. Diagrama de obtención de ácidos grasos destilados de palma.³

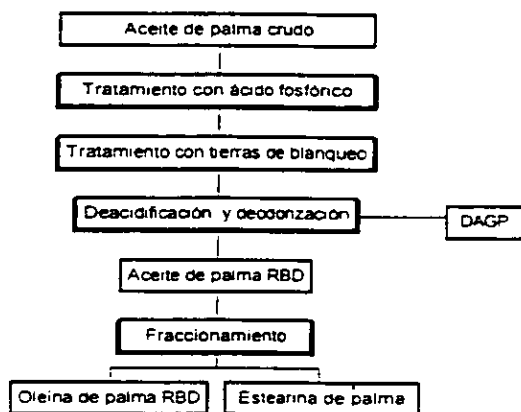
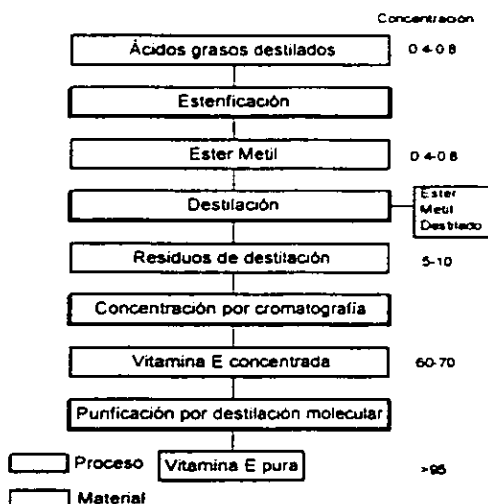


Fig. 5. Diagrama de obtención de vitamina E.³



La importancia de la vitamina E, específicamente la de los tocotrienoles es la propiedad anticáncer que se han estudiado en animales y humanos.^{3,27,28,49,59}

El porcentaje de tocoferoles y tocotrienoles se presenta en la tabla 16.

Tabla 16. Tocoferoles y tocotrienoles en la palma cruda.²³

Tipo	%
α -tocoferol	21.5
α -tocotrienol	23.1
β -tocotrienol	43.7
σ -tocotrienol	11.7

La combinación de los componentes menores, como los carotenoides, tocoferoles y tocotrienoles, contribuyen a dar una alta estabilidad oxidativa al ap en comparación de otros aceites vegetales.^{53,77}

Se ha observado que la vitamina E tiende a quedarse en la fracción de oleína cuando se fracciona el aceite; las concentraciones de vitamina E en la oleína son de 35 a 45%, mientras que en la estearina es de 8 a 12%.³

Los componentes menores del ap son muy importantes en términos de salud.^{47, 51}

3.4.1 Carotenoides del ap

De los aceites vegetales que son ampliamente consumidos el ap es el que contiene el mayor porcentaje de derivados de los carotenoides.

La palma cruda es la planta natural más rica en carotenoides en términos de retinol (provitamina A), el contenido es alrededor de 15 a 300 veces más retinol que en las zanahorias y las hojas verdes de los vegetales.^{58,67}

El total de los carotenoides también pueden ser extraídos de la fibra prensada de palma.

El aceite residual extraído de estas fibras es de alrededor del 5 al 6% y se ha encontrado que contiene de 4 000 a 6 000 ppm de carotenoides.⁶⁷

3.4.2 Métodos de extracción de carotenoides

Varios métodos se han desarrollado para obtener los carotenoides del ap, de las fibras de la palma prensada y del ap esterificado. Estos incluyen adsorción, extracción con diferentes disolventes, tales como el hexano, cloroformo y etanol, extracción superficial de CO₂ y destilación molecular. Para el método de adsorción se han desarrollado dos formas diferentes de obtención de carotenoides. El primer método es una adsorción selectiva de carotenoides de alquil ésteres en una columna abierta. Puede obtenerse una recuperación alta de carotenoides, más del 90%, y la columna puede ser utilizada 50 veces sin disminuir su actividad.^{24,64}

El segundo método incluye una destilación. Se obtiene una concentración de más de 80 000 ppm.⁶⁷

Los carotenoides concentrados pueden presentarse en tres formas: encapsulado, polvo y emulsión.⁴⁵

3.4.3 Deacidificación y deodorización del ap rojo

El ap sin refinar tiene un color entre anaranjado y rojo, la razón es el elevado porcentaje de carotenoides, el cual puede variar dependiendo de la región y el tipo de plantación donde se realizó la cosecha.

Los aceites de palma rojos son aquellos que tienen una alta cantidad de carotenos. Los aceites ricos en caroteno pueden ser sometidos a un tratamiento especial para la producción de dicha provitamina en forma cristalizada o concentrada.

El ap rojo tiene la desventaja de contener cierta cantidad de ácidos grasos libres.²³

El aceite RBD no contiene prácticamente carotenoides ya que son destruidos durante la refinación.

Los procesos de desgomado y blanqueado pueden sustituirse por una refinación convencional seguida por una deacidificación y deodorización usando una destilación molecular. Los resultados a escala piloto demostraron que el aceite rojo puede utilizarse perfectamente para uso doméstico.⁶⁵

El aceite rojo es un producto nuevo y contiene un alto valor de carotenos y vitamina E.^{53,67}

La FAO ha aceptado el caroteno de la palma como un colorante natural para alimentos.^{25,65}

*Tabla 17. Porcentaje de ácidos grasos del ap rojo.*⁸⁸

Ácidos insaturados	%
oleico 18:1	45.1
Ácidos saturados	
Palmitico 16:0	41
Esteárico 18:0	3.2
Mirístico 14:0	0.9
Láurico 12:0	0.2

El porcentaje de los ácidos grasos es similar en el ap y la oleína (ver tabla 17), aunque el aceite rojo no contiene los ácidos grasos como el palmitoleico, linoleico y linolénico, contiene una gran cantidad de carotenos y vitamina E.²⁷

4. Procesamiento de la palma

La obtención del ap se debe realizar lo más cercanamente posible del lugar de la recolección, pues la calidad del aceite depende también de la rapidez con que sea transformado. En un solo día en malas condiciones de almacenamiento se puede desarrollar la acción de las enzimas hidrolizantes y así dar un aceite ácido.

Con un buen proceso de extracción se puede obtener cerca del 90% del aceite de los racimos y el 96% de los palmistes.

Para obtener una buena calidad, en cada proceso del aceite se debe evitar: que los frutos sufran lesiones durante la cosecha y el transporte a la refinería, esterilizar los racimos perfectamente, evitar que los frutos y el aceite permanezcan demasiado tiempo en los equipos; evitar el calentamiento prolongado con el vapor cuando todavía lleva impurezas; mantener los equipos limpios, sobre todo los que tienen contacto directo con el aceite y evitar al máximo el contacto con el aire.

Se consideran cuatro métodos para el procesamiento de acuerdo a los recursos que se tengan.⁷⁷

a) Métodos tradicionales. Utilizan materiales rudimentarios fabricados en el mismo lugar de la cosecha.

b) Método artesanal. Es un tanto mecanizado. Se utilizan operaciones como cocción, extracción y decantación. Las operaciones que se realizan manualmente son el descobajado, el desfibrado y la selección de los palmistes.

c) Métodos semiindustriales. En estos sí se realiza la esterilización y el calentamiento con vapor, aunque los frutos son desgranados a mano.

d) Métodos industriales. Todas las operaciones son mecanizadas.⁷⁷

En la figura 6 se muestra el diagrama de bloques para el procesamiento clásico del ap, y en la figura 7 el diagrama de flujo de la refinación física del ap. En el diagrama de bloques de procesamiento clásico, los frutos primeramente se limpian, y son eliminadas las

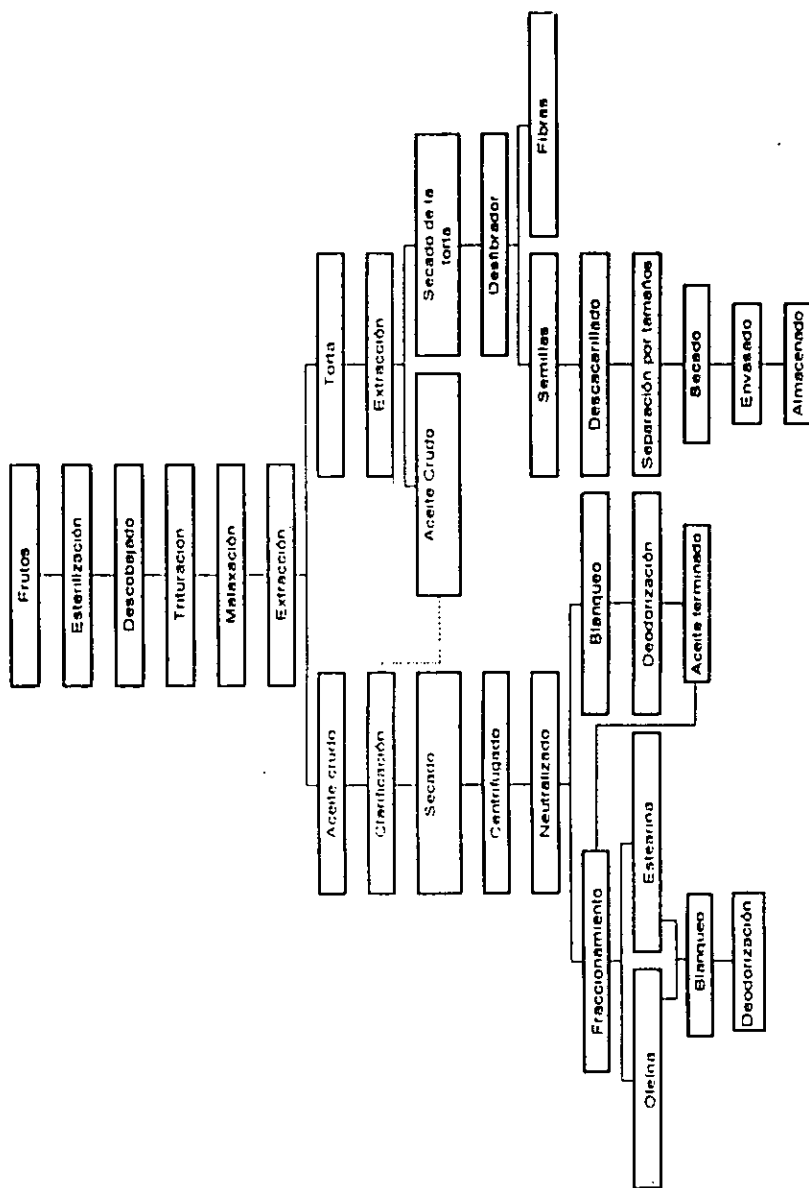
impurezas metálicas. Enseguida se esterilizan los frutos, con el objeto de evitar la acidez; después se descobajan, y se lleva a cabo la trituración, que tiene por objeto la reducción del tamaño para facilitar la extracción, luego se efectúa una malaxación, ésta hace que los frutos sean más permeables al flujo de aceite para la extracción.

La extracción es una de las operaciones más importantes dentro del procesamiento de la palma. En esta etapa se extrae el aceite del fruto y se obtiene el aceite crudo y la llamada torta que contiene los frutos prensados y las semillas. En la línea del aceite crudo se realiza una clarificación o desgomado, la cual tiene por objetivo quitar los mucílagos y las impurezas sólidas, posteriormente se realiza un secado para eliminar el agua que contenga el aceite, también se realiza un centrifugado para eliminar las impurezas sólidas que pudiera tener el aceite. La neutralización elimina sobre todo los ácidos grasos libres y también algunas impurezas benéficas como los tocoferoles. Si se desea fraccionar el aceite entonces pasa a un cristizador y se obtienen las fracciones de oleína y estearina, posteriormente se pasa al blanqueado, que consiste en remover los compuestos que dan color al aceite. El último paso de todo proceso de aceites es el deodorizado, el cual tiene dos funciones, una es eliminar el olor y mal sabor del aceite, y reducir el color a niveles lo más bajo posible.

En la línea de la torta se realiza una extracción a ésta, con el objeto de extraer la mayor cantidad de aceite, enseguida se seca la torta, pasa por un desfibrador, y se obtienen semillas y fibras. Las semillas o palmistes se descascarillan y pasan por un seleccionador de tamaños. Para poder almacenarse necesitan estar completamente secas, para lo cual se realiza un secado.

La refinación física es un proceso totalmente diferente; en el diagrama se parte del aceite crudo, los pasos de limpieza, esterilización, trituración y extracción se realizan al igual que como se explica en el proceso clásico.

Fig. 6. Diagrama de bloques del procesamiento clásico de la palma.
17.44.77



En el diagrama se parte de aceite crudo, se pasa primeramente a un intercambiador de calor el cual cede calor al aceite para acondicionarlo en el mezclador con ácido fosfórico y tierra blanqueante, enseguida pasa a un calentador blanqueador el cual tiene por objeto calentar el aceite y realizar el blanqueo, luego el aceite pasa por una filtración, y posteriormente por otro filtrado de seguridad para remover algunas trazas de tierra que pudieran pasar por el filtro principal. La deaerización se realiza enseguida del filtrado, y tiene por objetivo quitar el exceso de humedad, después pasa a un deodorizador el cual remueve las impurezas de olor, color, sabor y ácidos grasos libres. El último paso es la recolección de los ácidos grasos libres y su destilación. Las condiciones de proceso se ilustran en el diagrama. Los equipos que se utilizan son diseñados especialmente para las características, dimensiones y capacidades de la planta en donde se requiere procesar el aceite.

4.1. Limpieza

La limpieza se efectúa antes de su almacenaje, se realiza por medio de cribas planas y/o tambores rotatorios; se separan las impurezas como tallos, hojas, ramas, tierra, etcétera; las partículas de hierro se eliminan por imanes electromagnéticos.^{17,24}

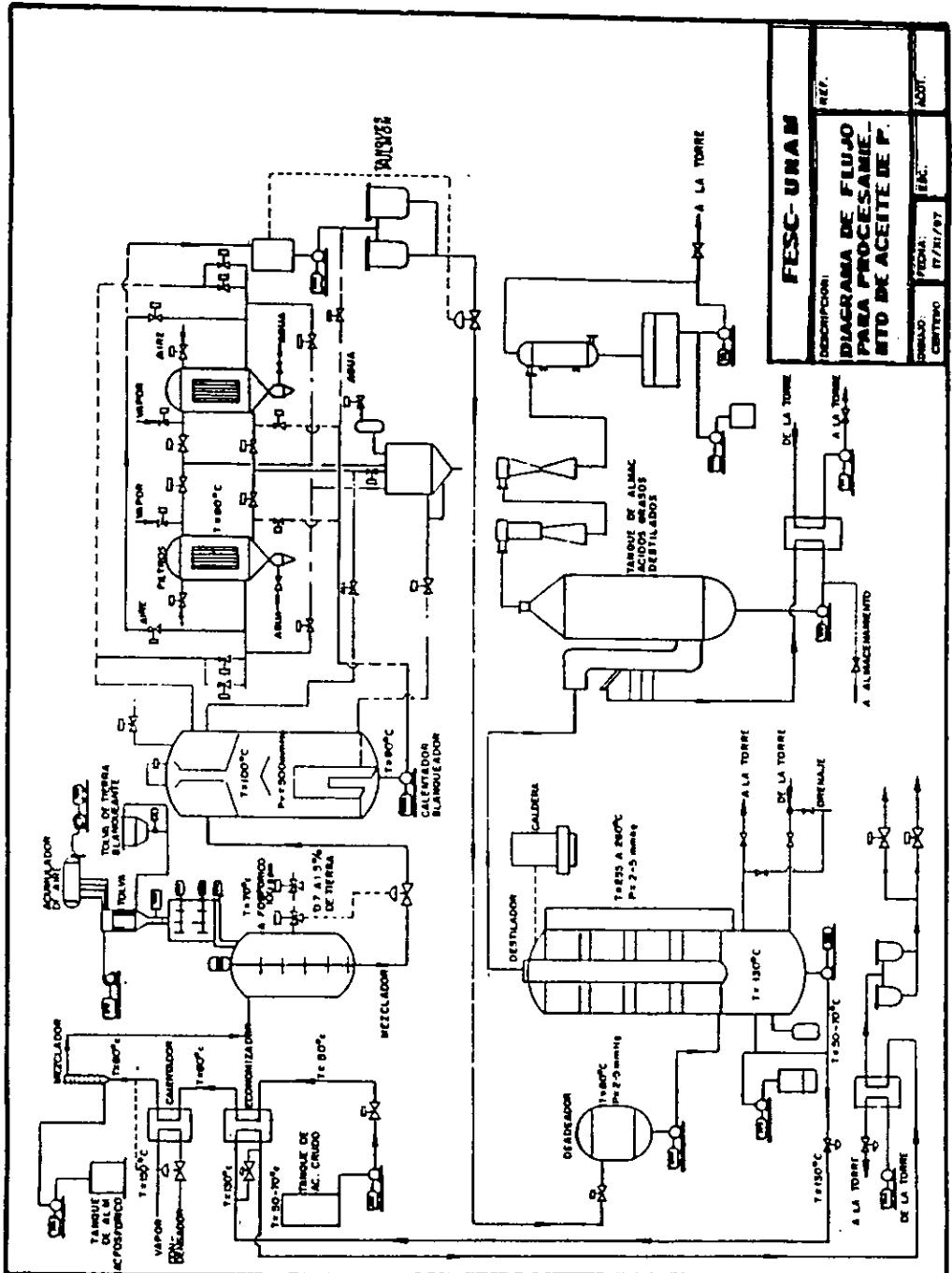
4.2. Esterilización

Tiene como finalidad evitar el desarrollo de la acidez y facilitar el desprendimiento de los frutos del escobajo.

La esterilización de los racimos inhibe las enzimas y los fermentos lipolíticos del pericarpio del fruto; elimina y controla la acidificación del aceite.

La acción directa del vapor, los repetidos calentamientos, la exposición al aire y materias extrañas y la permanencia en superficies metálicas también pueden ocasionar la hidrólisis parcial de los glicéridos, la alteración de los carotenos y la formación de los peróxidos responsables del enranciamiento.⁷⁷

Fig. 7. Diagrama de flujo de la refinación física del ap. 44



La esterilización se lleva al cabo en grandes autoclaves, a una presión de vapor de 2.1 a 3 kg/cm² durante una hora y alcanzan una temperatura superior a los 100°C. Se requiere de 150 a 170 kg de vapor por tonelada de racimos; los racimos ya esterilizados pierden alrededor de un 10% de agua respecto al peso de la fruta. Si se extrae el aceite por centrifugación debe evitarse la pérdida excesiva de agua. Si se realiza por prensado hidráulico es conveniente tener la fruta relativamente seca, por lo cual cuando termina la esterilización se seca al vacío.¹⁷

Los racimos esterilizados se deben hacer pasar por desgranadoras que separan los frutos de los tallos y pedúnculos. Los frutos limpios se cuecen en digestores, según el tratamiento que se vaya a realizar después. Se realiza en calderas abiertas, con agitación y enchaquetadas, lo cual produce una nueva deshidratación.

Existen dos tipos de esterilizadores los horizontales y los verticales.

4.2.1. Los esterilizadores horizontales tienen un cilindro largo por cuyo interior se extienden unos carriles sobre los que se deslizan vagonetas especiales equipadas de volquetes, que pueden contener hasta 2 toneladas de racimos, estas son sometidas a la acción del vapor. Cada operación puede consistir de 3 a 6 volquetes y puede durar de 30 minutos a una hora.

4.2.2. Los esterilizadores verticales pueden tener capacidades de hasta 9 toneladas, se utilizan cilindros fijos con cúpula y fondo esférico como se observa en la figura 8. La carga se efectúa por la portilla superior y la descarga por la puerta lateral inferior, los racimos se encuentran sobre un fondo falso perforado.¹⁷

En los esterilizadores la inyección del vapor se hace por la parte superior.^{18,77}

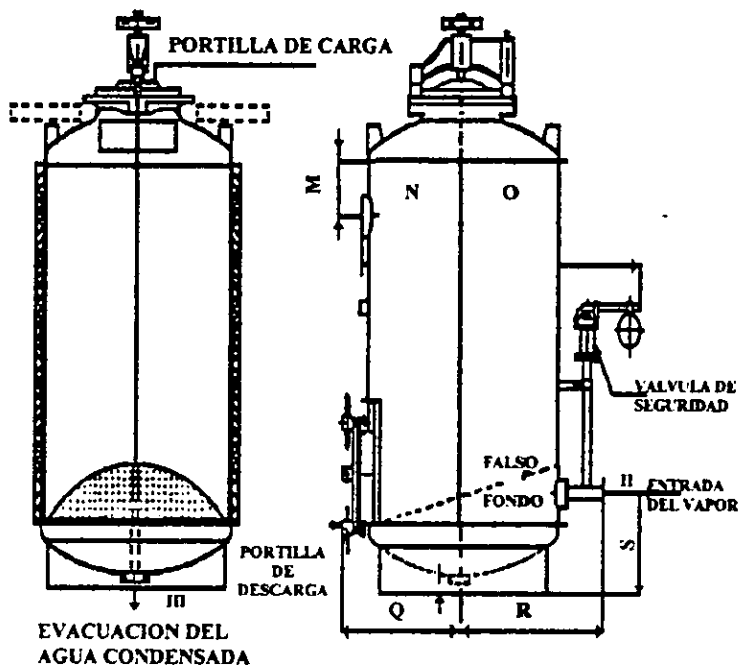


Fig. 8. Esterilizador vertical.⁷⁷

4.3. Descobajado

En esta operación se separan los escobajos de los frutos ya esterilizados y luego pasan a través de barrotos o de cribas que no dejan espacio para que pasen los escobajos. Los equipos utilizados para esta operación son de tipo discontinuo y continuo.

4.3.1. Equipos discontinuos. Trabajan con pequeños lotes sucesivos de frutos, arrancando los escobajos de los interiores del equipo por medio de cilindros provistos de largas varillas de punta afilada.

4.3.2. Equipos continuos. El descobajador de jaula está constituido por una jaula cilíndrica o troncocónica de 2 a 3 m de diámetro de eje horizontal y activada por un movimiento de rotación de 25 a 30 vueltas/min. Los racimos entran por una extremidad, ascienden

por la pared interior de la jaula por frotamiento contra las aletas angulares inclinadas longitudinalmente y caen a la parte inferior en caída libre. El golpe desprende los frutos y pasan a través de los barrotes y son expulsados al exterior por un tornillo de Arquímedes, y los escobajos salen por el otro extremo de la jaula. La eficiencia del aparato está relacionada con las dimensiones de la jaula, la velocidad de rotación, el número de las aletas angulares, su longitud e inclinación y finalmente por la periodicidad de entrada de los racimos.

El descobajado se utiliza en los frutos de buena calidad y maduración, correctamente esterilizados y que estén muy calientes, ya que los verdes o mal esterilizados se descobajan muy difícilmente.⁷⁷

El descobajador de brazos o palas rotatorias es de tipo continuo, en este tipo de aparatos los racimos circulan en una cuba fija con forma de artesa (recipiente cuyos cuatro lados se van estrechando hacia el fondo), las palas giratorias separan los frutos y los empujan hacia un compartimiento inferior. La velocidad de rotación de las palas, la disposición que se les da respecto del eje y ángulos, influyen en la eficacia del tratamiento, pero la velocidad de paso del material tratado es irregular y queda influenciada por el grosor de los frutos. Estos equipos se recomiendan en instalaciones pequeñas y llegan a descobajar de 3 a 4 ton/h.⁷⁷

4.4. Trituración

La reducción del tamaño de partícula facilita el proceso de extracción del aceite. Ya se ha demostrado que los frutos rotos y con un mínimo de aplastamiento rinden más en aceite que los triturados completamente.

En ciertos casos puede darse que las células oleaginosas permanezcan intactas después de la trituración y las paredes de las células sólo se hacen permeables al aceite, por la acción del calor y de la humedad durante la cocción. Cabe señalar que las paredes de las células reaccionan más rápidamente frente a estos elementos si el tamaño de las partículas es más pequeño que el tamaño normal del fruto.

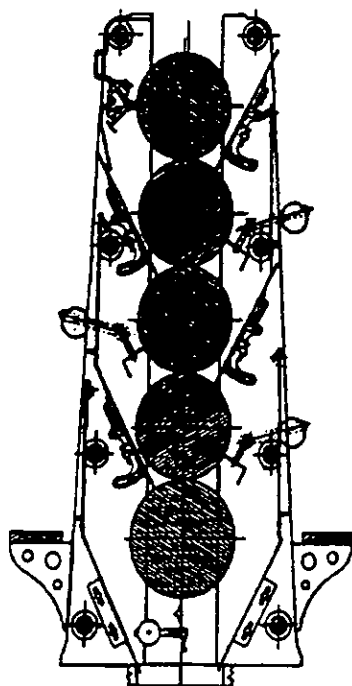


Fig. 9. Sección transversal de una trituradora de rodillos. ¹⁸

Los molinos de martillos, se utilizan para la primera reducción de los frutos mientras que para la desintegración final se utilizan los de rodillos (figura 9). Las escamas que resultan de los rodillos son más adecuadas para el prensado hidráulico.

Los palmistes se exprimen en prensa de tornillo con o sin paso previo por rodillos trituradores. ^{17,18}

4.5. Malaxación

El objetivo principal de la cocción es la coagulación de las proteínas de las células oleaginosas de los frutos agrupando el aceite disperso y haciendo los sólidos de los frutos permeables al flujo del aceite. También disminuye la viscosidad, por lo que es más fácil el paso de éste por la materia sólida dando un máximo rendimiento en el prensado. Uno de los efectos de la cocción es

favorecer la reunión de las gotas pequeñas en gotas más grandes y que puedan fluir más rápidamente en los frutos.

La malaxación prepara los frutos para facilitar la buena separación del aceite, tiene una gran influencia en el rendimiento que se obtiene en la extracción. Durante la malaxación, la pulpa se desprende de las cáscaras y semillas, y las células oleícolas (debido al aplastamiento en la extracción) liberan el aceite que contienen. .

La masa pastosa se humedece a un grado conveniente y se somete al calor, ya que la presencia de agua es necesaria para que pueda realizarse la coagulación de las proteínas. La humedad óptima de los frutos cocidos varía ampliamente según las clases y el método de prensado que se realice posteriormente.^{17,18}

Los malaxadores consisten de cubas cilíndricas verticales de altura superior a su diámetro (ver figura 10), que algunas veces están provistas de un falso fondo perforado que permite pasar al aceite virgen. La cuba se recalienta mediante una doble envoltura por la que circula vapor a una presión de 3 a 4 kg/cm². La agitación se obtiene por palas horizontales que se disponen en pares, de tres a cinco sobre un eje central como se observa en la figura 10. Los frutos son frenados o retenidos por salientes angulares fijados en la parte interior del aparato, o por brazos fijos. Las palas inferiores facilitan de forma especial la salida de la masa por la puerta lateral inferior; esta puerta se mantiene cerrada por un dispositivo de correderas y está provisto de canales para la recuperación del aceite y de una tolva de dosificación.

Algunos de estos equipos tienen un termómetro que controla la temperatura del fruto cuando sale y un dispositivo automático de llenado. Para que la malaxación sea eficaz el aparato debe estar lleno porque la presión que ejerce la columna de carga es lo que permite la acción de la pala, lo que posteriormente permite una buena separación de la pulpa y las semillas al terminar la operación. La eficacia depende del braceado y del modo de extracción ulterior; dependiendo de la condición de las palas el tiempo será de 20 a 40 minutos si la presión es continua; de 45 a 60 minutos si es estática y de 60 a 75 minutos cuando se utilicen centrífugas.

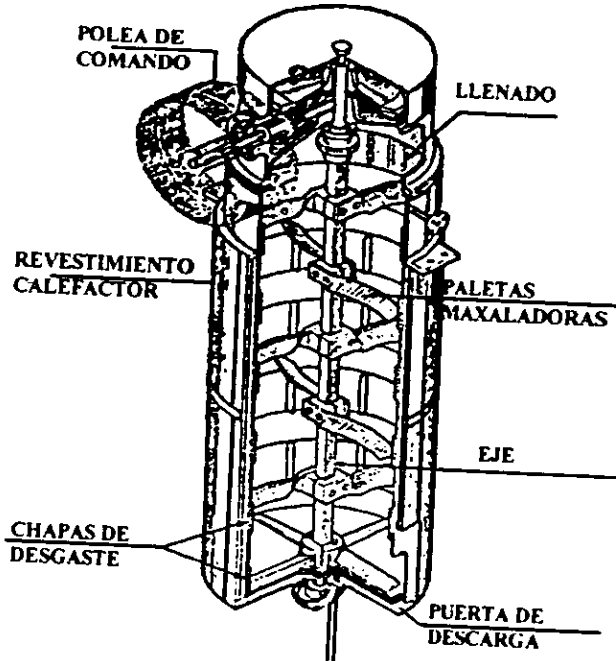


Fig. 10. Corte transversal de un malaxador.⁷⁷

La temperatura debe mantenerse entre 90 y 92°C para las prensas y entre 96 y 98°C en las centrifugas.⁷⁷

Los frutos malaxados forman una masa fibrosa en donde la mayor parte de las células oleíferas resultan rotas. Las semillas quedan dispersas en esta masa cuya temperatura es de unos 100°C.

Un paso secundario en la malaxación es el secado de los frutos. Este da a la masa plasticidad más apropiada para un prensado eficaz, insolubilización de los fosfátidos y otras impurezas indeseables, destrucción de mohos y bacterias, aumento de la fluidez del aceite y eliminación de sustancias tóxicas.

En los frutos existen sustancias de carácter tensoactivo como los fosfátidos y ácidos grasos libres, lo que hace que se retenga fuertemente el aceite sobre todo en los frutos madurados.^{17,18}

4.6. Cocción para prensado hidráulico

La cocción del fruto se hace necesaria para disminuir la presión que se debe aplicar en las prensas, se lleva a cabo en hornos verticales, los cuales contienen una serie de 3 a 6 bandejas cilíndricas, cerradas y superpuestas de 0.60 a 2 m de diámetro y de 45 a 75 cm de alto; cada una está encaquetada con vapor, tanto en las paredes, como en el fondo; los agitadores barrientes montados cerca del fondo y accionados por un árbol común, extendido a través de toda la serie de bandejas. En el fondo de cada bandeja, hay una compuerta de operación automática para descargar el contenido salvo en la última. La última bandeja situada en el fondo del horno descarga la harina directamente del molde de la torta.

Encima de la bandeja superior hay pulverizadores para humectar los frutos con el grado de humedad deseado, y cada una de las bandejas inferiores está provista de un tubo que comunica al exterior, con un ventilador para la descarga del exceso de humedad; de este modo se puede tener más control durante el proceso.

Durante este proceso las partículas de los frutos se introducen en la bandeja superior a velocidad constante, por medio de una cinta de transmisión. Después del período de cocción previsto para cada bandeja, cada carga de frutos cae automáticamente en la bandeja inferior, de modo que existe un paso continuo de frutos que caen al horno. Las compuertas que regulan el flujo descendente se pueden operar con un motor o automáticamente, hasta dejar un nivel de frutos específico en cada bandeja.^{17,18}

Se alcanza el máximo rendimiento en aceite crudo (con alto contenido de fosfátidos) cuando se mantiene la temperatura de 77 a 82°C durante los primeros pasos de la cocción.^{17,18, 44}

4.7. Extracción

Esta operación es de gran importancia durante el proceso, debido a que depende de ésta el rendimiento del aceite que se puede obtener del fruto. Aunque no hay que olvidar que el rendimiento depende además del modo de las condiciones en que se hayan realizado las operaciones anteriores. Las diferencias sustanciales en

cuanto al procesamiento del ap radica en el método de extracción del aceite; estos métodos son por presión, centrifugación, lavado, extracción por disolventes y por fluido supercrítico.

Los sistemas de extracción en los procesos hidráulico y centrífugo, son eficaces para extraer del 85 al 90% del aceite contenido en la pulpa. Resulta imposible extraer todo el aceite de la pulpa a través de una simple presión, pues en la fibra queda de un 6 a un 12% de aceite retenido en relación a la materia seca.

Cabe mencionar que no se realiza la separación de la pulpa y las semillas antes de la extracción del aceite.⁷⁷

El sistema hidráulico exprime aceite un con gran contenido de sólidos por lo que se tienen mayores pérdidas en la purificación subsiguiente. En el prensado hidráulico, antes de purificar el crudo, se debe adicionar 40% de agua. El contenido de agua en el aceite es de 6 a 12 gramos por litro de aceite después de la extracción.^{17,40}

El aceite obtenido de la extracción por prensado contiene hasta el 55% de agua y de impurezas.

Por centrifugación no es necesaria la adición de agua, se utilizan por lo general centrifugas de tipo cesta totalmente cerradas y provistas de una tobera para la inyección del vapor. Por centrifugación se obtiene un residuo que contiene un 8.5% de aceite, el 50% de humedad y el 41.5% de sólidos.

Por medio de un segundo tratamiento por cualquier sistema se extrae el 50% del aceite remanente, pero no es recomendable ni económico.¹⁷

El aceite extraído se purifica por calentamiento en tanques con vapor, después se deja sedimentar o se puede realizar una centrifugación.

4.7.1. Extracción por prensado

4.7.1.1. Prensas revólver. Están provistas de dos jaulas de extracción móviles alrededor de un eje vertical, donde una se carga y la otra está sometida a la presión. Algunas prensas llevan un pistón

auxiliar que permite efectuar una extracción preliminar a baja presión, de esta manera la capacidad de la jaula aumenta.

4.7.1.2. **Prensas fijas.** Son menos complicadas, están provistas de una culata deslizante que se hace correr para las operaciones de llenado de la prensa y de la evacuación del residuo, la operación del prensado se hace en un solo tiempo, aumentando la presión progresivamente durante la extracción del aceite para llegar a un tope que luego se mantiene automáticamente como en las prensas revólver. Figura 11.

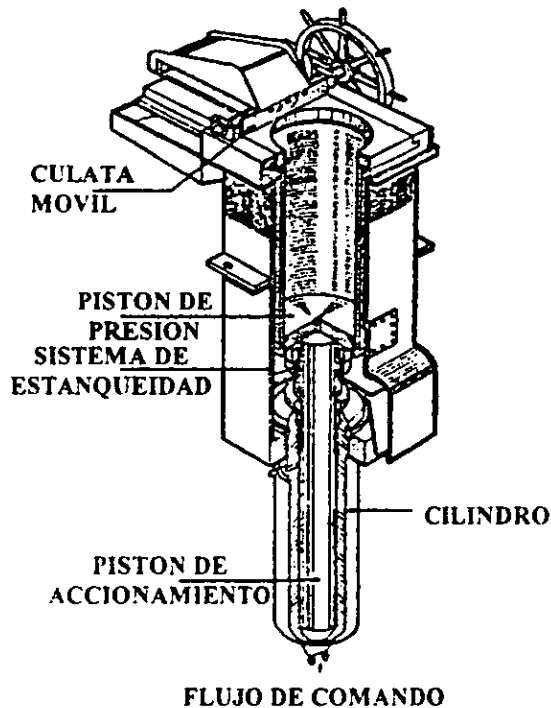


Fig. 11. Prensa hidráulica de asiento fijo.⁷⁷

Las prensas automáticas son tipo fija y su funcionamiento es continuo y totalmente automático. En un prensado bien realizado no debe quedar en la fibra más de un 9 a 11% de aceite. Según el modelo de la prensa y la capacidad de la jaula de extracción se pueden efectuar de 4 a 8 prensadas por hora.^{17,18}

4.7.2 Prensas tipo cerrado

En las prensas de jaula el fruto se encuentra dentro de una caja de acero perforada lo que hace que se evite el empleo de filtros. Las prensas cerradas pueden trabajar a presiones superiores que las de tipo abierto. Se utilizan en general para frutos con alto contenido en aceite por lo que pueden utilizarse en la extracción del ap. Las jaulas pueden ser en forma redonda o cuadrada. Se componen generalmente de una serie de barras de acero muy próximas entre sí o de placas con ranuras soportadas por dentro y soldadas a un bastidor o anillo rígido por medio de gruesas barras de acero. Los canales a través de los cuales fluye el aceite aumentan de anchura de dentro hacia afuera de la jaula; para disminuir cualquier tendencia a la obstrucción con partículas sólidas, las jaulas trabajan verticalmente dentro de un bastidor semejante a la prensa anglo-americana. El fruto se exprime accionando de abajo hacia arriba un pistón muy ajustado, por medio de un vástago que trabaja hidráulicamente. La parte superior de la jaula puede cerrarse sólidamente, en cuyo caso, la presión se aplica sobre un extremo de la carga, o bien la jaula puede estar flotando entre el pistón inferior y el cabezal opuesto, que entra en la jaula desde arriba. En el último caso la presión se aplica en ambos extremos de la carga de los frutos. Las jaulas están diseñadas para soportar presiones del orden de los 420 kg/cm^2 .

Debido a la marcada tendencia que presenta el flujo de aceite de la torta comprimida a ser longitudinal mas que radial, las jaulas no se pueden atestar totalmente de moltura de torta, por estar separadas entre sí por medio de placas de drenaje y telas de filtro. Para llenar las jaulas y descargar la torta gastada es necesario un equipo muy especial, esto hace que el costo sea elevado. En las grandes instalaciones, las jaulas pueden desmontarse fácilmente y separarse de las prensas, disponiéndose de otras auxiliares para que se llene y descargue, además de una serie de ellas para la terminación del proceso. En algunas ocasiones se suele deshacer la torta del primer prensado y someterla a un segundo con o sin intervención de humidificación o tratamiento térmico para la recuperación del aceite residual, esto requiere de triturar dos veces el fruto obteniéndose

en el segundo prensado un aceite de calidad inferior, o bien pueden tratarse con prensas tornillo o expellers.^{17,18,40}

4.7.3. Prensado continuo

Se utilizan los expellers (figura 12) o prensas tornillo de acción continua con la casi exclusión de las prensas hidráulicas. Son máquinas de alta presión, diseñadas para efectuar la obtención del aceite en un sólo paso. Por lo general se practica el prensado en dos o tres repeticiones, incrementando la presión en cada una de ellas para obtener la mayor cantidad de aceite.

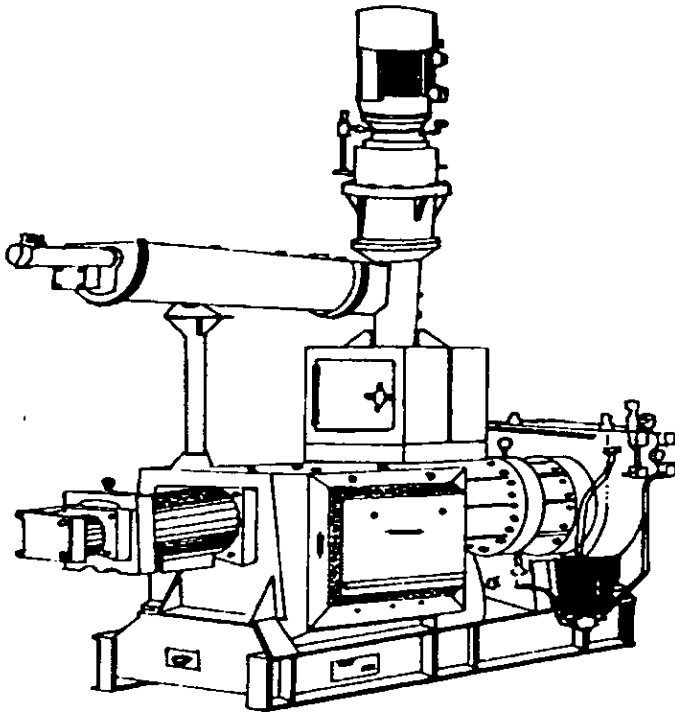


Fig. 12 Prensa tipo expeller.⁵⁴

Estas prensas continuas ahorran mano de obra respecto a las hidráulicas y eliminan por completo el uso de telas filtrantes, se adaptan a muchos frutos y dan un rendimiento mayor.

El inconveniente de éstas estriba en el alto gasto de energía y que no se adaptan bien a procesos intermitentes.

La prensa de tornillo es esencialmente una prensa de jaula, en la que la presión se desarrolla por medio de un eje rotatorio o tornillo sin fin, en vez de un pistón de acción intermitente. En la jaula se llegan a desarrollar presiones extremadamente altas del orden de 1400 a 2800 kg/cm², por medio de la acción del eje contra un orificio o estrangulación regulable, que restringe la descarga de la torta al extremo de la jaula. Las partes inferiores de las jaulas de estas máquinas están construidas de barras de acero planas, colocadas alrededor de la periferia de la jaula y mantenidas en su sitio por una especie de cuna rígida. Las aberturas entre las barras de la jaula, a través de las cuales fluye el aceite, miden de 0.005 a 0.013 cm y se pueden ajustar variando el grosor de los espaciadores entre las barras.

El aceite obtenido con los expellers contiene siempre más cantidad de sólidos que el procedente de prensas hidráulicas. Para filtrar éstos se dispone de rejillas y dispositivos de drenaje, que separan las porciones mayores y las reúnen con la carga de las máquinas. Al final de todas las operaciones se pasa el aceite por un filtro prensa, para eliminar las partículas pequeñas. Es importante la separación de barros, ya que su presencia aumenta las pérdidas por neutralización por encima de lo ordinario.^{17,18}

4.7.3.1. Prensas continuas horizontales

Estas prensas están formadas por un cilindro perforado con eje horizontal, la presión sobre los frutos malaxados se ejerce por la acción de un tornillo sin fin de paso regresivo. La contrapresión se regula por el movimiento de un punzón cónico. Dejan en las fibras de un 8 a 9% de aceite, pero trituran más semillas, y más cuando los frutos tienen poca pulpa.

Requieren de un malaxado menos intenso y su funcionamiento utiliza de menos fuerza motriz.

El aceite que se produce tiene una carga alta de sedimentos, por lo que posteriormente se debe realizar una cuidadosa decantación para evitar pérdidas al purificarlo. ^{18, 40}

4.7.4.Extracción por centrifugación

Se utiliza especialmente para tratar los frutos pobres en pulpa. Las semillas de estos frutos entran en contacto con facilidad debido a la poca pulpa que los rodea, lo que hace que la presión no pueda ejercerse eficazmente porque produciría la rotura de muchas de las semillas.

El equipo está constituido principalmente por un cesto cilíndrico perforado con eje vertical que gira a gran velocidad. Los aparatos de cesto desmontable han cedido su lugar a los equipos en las que la torta se extrae por el fondo del cesto.

Su diseño varía por su capacidad, diámetro del cesto, velocidad máxima de rotación, sistema de embrague y de vaciado, etcétera. ⁷⁷

El aceite que se trata en las centrifugadoras contiene de 25 a 35% de agua y mucílagos.

4.7.5.Extracción por lavado (procedimiento húmedo)

Consiste en la lixiviación de la pulpa por agua muy caliente para arrastrar y separar el aceite.

Esta operación se realiza en el malaxador y requiere una gran cantidad de agua, de 10 a 12 veces el volumen del aceite extraído.

El agua que se utiliza tiene que ser cambiada frecuentemente porque puede llegar a tener una gran cantidad de sales y azúcares de la pulpa en solución.

La extracción por lavado deja la fibra y las semillas perfectamente desgrasadas pero hace más difícil la recuperación del aceite contenido en los lodos o sedimentos, lo que ocasiona una pérdida final superior a la producida por otros métodos de extracción. ^{17, 18, 35}

El extraído por lixiviación lleva aproximadamente seis veces su peso en agua por lo que retiene células oleosas en suspensión, así como las materias coloidales.

4.7.6. Extracción por fluido supercrítico

Otro método de extracción recientemente empleado es la extracción de fluido supercrítico (SFE); ha sido utilizado para la producción de café descafeinado, en la extracción de aceite de oliva y otros aceites. El proceso a grandes rasgos se observa en la figura 13.

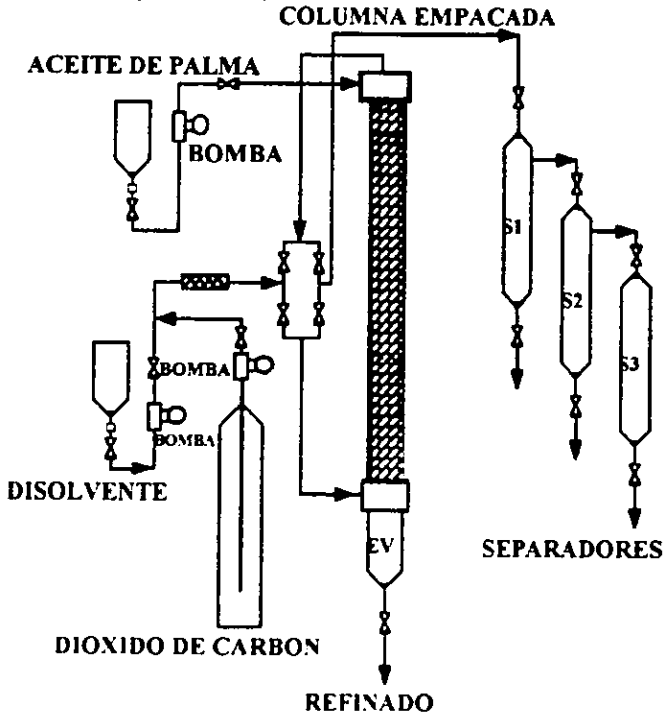


Fig. 13. Diagrama de proceso de la extracción por fluido supercrítico.⁶⁴

Las ventajas sobre la extracción convencional son:

- La baja temperatura de operación.
- La operación está libre de contaminación.
- Los disolventes empleados son inertes (dióxido de carbono, etileno, propano, nitrógeno, óxido de nitrógeno y monoclorofluorometano).
- Se realiza una separación selectiva.
- El producto que se obtiene tiene características nutricionales, pues no destruye totalmente los tocoferoles y los carotenos.

El disolvente que más se emplea es el dióxido de carbono porque no es explosivo, tiene bajo costo, se encuentra disponible en el mercado y no es tóxico.^{21,64}

4.7.7. Extracción con disolventes

Los disolventes comúnmente empleados para esta operación son el hexano y el octano. Se utilizan principalmente en frutos de bajo contenido de aceite. En el caso de la palma se utilizan después de la extracción en prensas hidráulicas o de la extracción en expeller o tornillo. Cuando se ha realizado una primera extracción se hace pasar el disolvente sobre la pasta la cual todavía contiene un porcentaje alto de aceite. La extracción más eficaz se consigue sólo en sistemas continuos en contracorriente, en los que el disolvente y la pasta entran en contacto entre sí por corrientes que se mueven continuamente en direcciones opuestas. Se trabaja satisfactoriamente si las partículas tienden a desintegrarse bajo la influencia del disolvente. Las de tamaño más fino, no sólo son difíciles de separar de las miscelas sino que impiden también la circulación uniforme del disolvente a través de la pasta.

La pasta de frutos extraídos con disolvente tiene preferencia para la fabricación de adhesivos, fibras y plásticos proteínicos, ya que en dicho producto, las proteínas están menos alteradas que en la pasta obtenida por cocción y prensado mecánico.^{17,18}

4.7.8. Medios filtrantes y filtros

La principal función de los medios de filtración es promover la formación de una torta de sólidos y conservarla una vez formada. El medio debe ofrecer la mínima resistencia al flujo para la rápida formación de la torta. El medio debe ser no-tóxico y compatible químicamente con los productos que se filtren.

Los medios pueden ser rígidos o flexibles; los flexibles pueden ser telas de algodón, seda, lana o yute, etcétera.

Todos los medios de filtración antes mencionados pueden obtenerse con tamaño de poro específico para satisfacer las aplicaciones de filtración particulares.

En la extracción y refinación de aceites comestibles se utilizan filtros de presión del tipo cámara y de caja y hoja, tanto para liberar el aceite crudo de fragmentos de semillas, restos de células, etcétera, como para filtrar las tierras de blanqueo después de decolorar el aceite. Otra aplicación es en la extracción del precipitado formado durante el enfriamiento controlado del aceite (winterización).²²

4.8. Características del aceite crudo y sus fracciones. Los crudos contienen de 0.2 a 0.3% o más de ácidos grasos libres, sin que su sabor y olor resulten apreciablemente afectados, a menos que los ácidos grasos sean de bajo o mediano peso molecular (mirístico, láurico y otros de peso molecular todavía inferior). Los ácidos grasos saturados, de elevado peso molecular, difícilmente podrán descubrirse por simple examen organoléptico, aún cuando estén presentes en una proporción del 15%. Por otro lado, los ácidos grasos no saturados perjudican notablemente el sabor. Todos los crudos tienen ácidos grasos libres como consecuencia de las reacciones enzimáticas lipolíticas sobre los glicéridos durante el almacenamiento y tratamientos a que se han sometido las materias primas; no son impurezas propiamente porque proceden de la molécula del glicérido.

La acidez alta debe ser atribuible a la materia prima que ha sido almacenada en malas condiciones o durante demasiado tiempo, o bien a un mal procesamiento.

El aceite crudo es refinado para remover todas las impurezas. La tabla 18 contiene las impurezas que existen en el ap crudo.

*Tabla 18. Impurezas en el ap crudo.*⁵⁵

Impureza	Causas
Hidrolíticas	Humedad, glicéridos parciales, enzimas
Oxidativas	Trazas de metales, productos de oxidación pigmentos y fosfátidos
Catalíticas	Compuestos con contenido de nitrógeno, sulfuros y halogenuros envenenados
Otros	Hidrocarburos, terpenos, azúcares y esteroides

El ap crudo con calidad normal deberá cumplir con las especificaciones de la tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones del aceite de palma crudo.⁴⁴

Especificación	Valor
Humedad	0.2% máx
Impurezas	0.05% máx
AGL	5.0% máx
IY	50-55
VP	10 máx
Fierro	5 ppm máx
Cobre	0.4 ppm min
Carotenos	500 ppm máx
Jabón	0.005 ppm máx
Plomo	0.1 ppm máx
Arsénico	0.1 ppm máx

El ap puede ser fraccionado crudo; y por lo tanto se pueden obtener las fracciones de estearina y oleina en crudo. El proceso de refinación de ambas fracciones prosigue de igual manera que para el ap. Las especificaciones que deben cumplir la estearina y la oleina se muestran en las tablas 20 y 21, repectivamente.

Tabla 20. Especificaciones de la estearina de palma cruda.⁴⁴

Especificación	Valor
AGL	5.0 % máx
Humedad	0.2% máx
Impurezas	0.05 % máx
IY	48 máx
P.F.	44 min

La importancia de las especificaciones del aceite y fracciones crudas estriba en el hecho de que si no son cumplidas éstas, el precio del aceite es castigado, de manera que por cada porcentaje mayor al valor de la acidez de la especificación, se descuenta otro porcentaje al precio.

Tabla 21. Especificaciones de la oleína de palma cruda. ⁴⁴

Especificación	Valor
AGL	5.0 % máx
Humedad	0.2% máx
Impurezas	0.05 % máx
IY	56 máx
P.F.	24 min

La baja calidad del ap crudo y las fracciones está principalmente asociada a un alto valor en los AGL y a un alto contenido de impurezas, especialmente los metales pro-oxidantes y el cobre. En el aceite crudo las impurezas de metales son removidas con una trampa magnética durante la purificación o en el desgomado que es donde se remueven los residuos insolubles.

Es importante que el aceite crudo se almacene en tanques de acero inoxidable o tanques recubiertos de acero inoxidable para evitar la contaminación por fierro y otros metales, ya que actúan como fuertes catalizadores de la oxidación. El fósforo también es un pro-oxidante natural presente en la palma cruda.

Antes de almacenar los crudos deben eliminarse todas las impurezas insolubles en ellos como prevención contra su deterioro. Los fragmentos de semillas oleaginosas y tejidos celulares contienen enzimas hidrolizantes y lipasas, las cuales, en cantidades pequeñas pueden dar lugar a la hidrólisis de los glicéridos, con formación de cantidades cada vez mayores de ácidos grasos libres. Los fragmentos de frutos y semillas y mucílago coagulados, en presencia de la humedad, constituyen un medio de cultivo para el desarrollo de toda clase de microorganismos, muchos de los cuales pueden ocasionar

el desdoblamiento de los glicéridos y ciertos tipos de enranciamientos, putrefacción y desarrollo de sabor y olor desagradables.

En el aceite crudo existen dos tipos de impurezas: las solubles y las insolubles. Las impurezas solubles en las grasas pueden ser proteínas, gomas, resinas, fosfátidos, materias colorantes, hidrocarburos, cetonas, aldehídos, etcétera, todas las cuales son causantes en gran parte del olor y sabor del aceite crudo. Las impurezas insolubles pueden eliminarse por medios mecánicos, tales como sedimentación, filtración o centrifugación. Estos métodos consisten principalmente en eliminar del aceite restos de tejido vegetal, mucílagos, humedad, etcétera.

Entre las sustancias que influyen en la formación de olores y sabores desagradables en el aceite se encuentran los hidrocarburos no saturados y los productos de degradación, tales como las cetonas y los aldehídos. Los compuestos odorantes del aceite son fácilmente arrastables por el vapor de agua. Sin embargo, algunos requieren ser eliminados por medio de adsorbentes.

4.9. Desgomado y clarificación

Después de la extracción, el aceite crudo está constituido por una mezcla parcialmente emulsionada de aceite, agua, azúcares y sales de la pulpa, mucílagos e impurezas sólidas. El porcentaje de éstos depende de la calidad de los racimos tratados y los procedimientos de extracción que se hayan utilizado. La palma contiene gomas y fosfátidos; las gomas son buenos agentes emulsificantes y en el aceite pueden originar serias pérdidas en la etapa de neutralización. Los tratamientos para desgomado pueden realizarse con agua y/o sustancias químicas como son: el ácido cítrico, el ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, etcétera. En algunos casos se puede emplear el ácido cítrico, pero por razones económicas se utiliza el ácido fosfórico. La adición del ácido fosfórico puede ser monitoreada por análisis del contenido antes del desgomado. Las condiciones en que se realiza el desgomado son alrededor del 0.05% de ácido fosfórico grado alimenticio de 85% de concentración y una temperatura de 90° C a 110° C.

El principio del desgomado es que el agua hidrate los fosfátidos y las gomas, para producir floculaciones de más alto peso específico que el del aceite para que puedan precipitar. El ácido fosfórico se adiciona después de que el agua entra en contacto con el aceite, el ácido fosfórico coagula la materia proteínica y precipita los fosfátidos dispersos; esta operación se realiza en un tanque mezclador, éste puede ser también un clarificador; enseguida puede pasar o no, según la eficiencia del clarificador, a la centrifugación.

La separación del aceite se realiza en dos clarificaciones casi siempre; la primera tiene la finalidad de separar la mayor parte del aceite para evitar que se acidifique por la prolongación del contacto con otras impurezas. La segunda trata los sedimentos de la primera para extraer de ellos el resto del aceite que contiene.

Los métodos más comunes para el desgomado son los de decantación y centrifugación.

4.9.1. Decantación estática discontinua. El aceite crudo se deja reposar en tanques por unas 12 horas, los sedimentos son tratados por separado. En general, se pasa por una segunda decantación. La decantación discontinua se utiliza en industrias pequeñas.

4.9.2. Decantación estática continua. El tanque para la decantación es un depósito cilíndrico, de más altura que diámetro, cuya capacidad tiene que ser mayor de diez veces con respecto a la producción por hora de aceite terminado. Su fondo es cónico para facilitar la diaria eliminación de los sedimentos sólidos; tiene un serpentín o una doble pared que permite el calentamiento y conservación de una temperatura óptima entre 85 y 90°C y un dispositivo para la inyección de vapor de agua, con entrada por la parte inferior del aparato.

El decantador o clarificador funciona de la siguiente manera: al ser puesto en servicio el clarificador se llena hasta la mitad con agua a 80°C y los fluidos de extracción van llegando continuamente por un tubo situado un poco por debajo de la mitad de la altura del clarificador, las impurezas sólidas y los lodos descienden más o menos rápidamente hacia el fondo y el aceite sube hacia la superficie

de separación agua-aceite. Después de unas horas de funcionamiento el aceite puro llega al nivel del funcionamiento, hacia la parte alta del aparato y se vierte por un rebosadero. En esta fase, la altura del aceite por encima de la superficie de separación ejerce una presión sobre el agua de decantación y la hace subir por un tubo cuyo vertedero exterior está más bajo que el vertedero del aceite.

Una vez lleno, mitad de agua y mitad de aceite, el decantador funciona de manera automática. A medida que va llegando el zumo de extracción se separa en tres partes: los sedimentos que precipitan, el agua que queda en la parte inferior y el aceite que asciende y se reúne en la parte superior. El agua excedente va saliendo del aparato con la misma cadencia a la que llega la que contiene el aceite a decantar.⁷⁷ Figura 14.

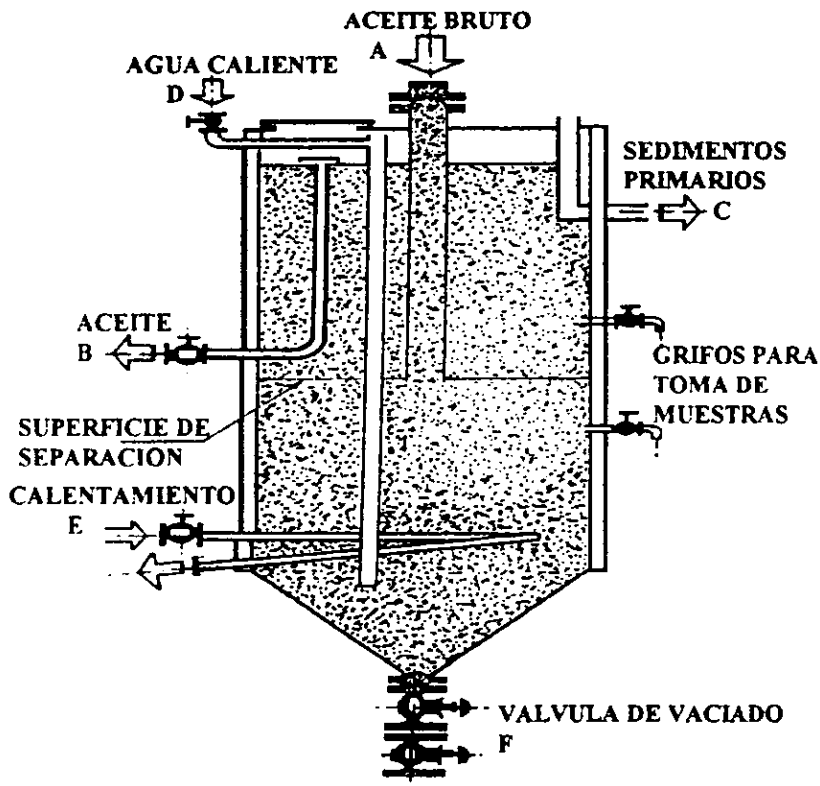


Fig. 14. Clarificador de funcionamiento continuo.⁷⁷

4.9.3. Clarificación por centrifugación. La centrifugación, a diferencia de la decantación, no puede romper las emulsiones estables.

Para que los aparatos empleados den los rendimientos suficientes al separar los porcentajes importantes de agua y de impurezas que se encuentran en el aceite crudo, no se puede forzar mucho el poder de separación, por lo que el aceite que se obtiene apenas alcanza las características de pureza de una buena decantación estática. Sin embargo, este inconveniente tiene poca importancia, pues las condiciones requeridas para la extracción exigen una última depuración del aceite.

Estos equipos ofrecen una ventaja real cuando se utilizan en sistemas continuos. Por esta razón, se construyen aparatos en los que el aceite sale por una tubería, el agua por otra, y los sedimentos son extraídos por un tornillo sin fin o por medio de un sistema de limpieza del cesto.

Las ventajas de este método son:

- El corto tiempo que transcurre entre la extracción y el final de la clarificación primaria.

- La innecesaria elevación y prolongación de la temperatura.

Las desventajas son:

- La necesidad de una bomba de recuperación.

- El equipo y mantenimiento tiene un alto costo.

- Los sedimentos pueden ser difíciles de desgrasar con lo que se hace necesario otro tratamiento por centrifugación, más prolongado, en otro aparato. ^{17,18, 77}

El contenido de fósforo en la palma cruda desgomada no tendría que exceder de 20 ppm. Estudios recientes concluyeron que los niveles del fósforo pueden sobreexcederse de 4 ppm y que los metales y el cobre pueden estar como máximo a 0.15 ppm y 0.06 ppm respectivamente. Se ha mostrado que los aceites con un nivel

de fósforo de menos de 4 ppm son más estables que los aceites con más altos niveles de fósforo durante el embarque.⁵⁵

Científicos estudiaron el efecto del ácido fosfórico en la calidad de la estearina de palma y encontraron que el fósforo afecta a la calidad desde que se obtiene el aceite blanqueado.

Se ha demostrado que la adición del ácido fosfórico da un óptimo nivel de calidad. Más allá de lo necesario reduce la calidad del aceite y reduce el rendimiento del agente blanqueante.^{55,77}

La reducción en el contenido de fósforo también baja los niveles de metales y cobre porque los metales presentan formas de complejos encerrados por proteínas y fosfolípidos. De manera simultánea remueven el complejo de metales obtenidos a través de la precipitación de los fosfolípidos.

En el ap el ácido fosfórico añadido rompe los fosfátidos no hidratados debido a la descomposición de compuestos de magnesio y calcio. Los fosfolípidos coagulados, atacan y secuestran las trazas de metal, (fierro y cobre), y juntos son removidos por adsorción en agente blanqueante. Una alta calidad de ácido fosfórico y carbonato de calcio son recomendables para usarse porque las impurezas pueden introducir trazas de metales en el aceite, obteniéndose un aceite de baja calidad.^{9,29,78}

El exceso de ácido fosfórico reduce el rendimiento del agente blanqueador causando la gelatinización del agente y dificulta la separación del aceite en la filtración. Por esta razón, el carbonato de calcio se usa como un ayudante en la filtración. La adición de carbonato de calcio ayuda a la formación de complejos de metal-fosfolípidos, lo que facilita la remoción de metales. El carbonato ayuda a proteger al agente blanqueador de la reacción con el ácido fosfórico y de este modo retiene su rendimiento.

Los ácidos fuertes también afectan el fierro removido. El ácido es corrosivo y puede causar corrosión en el acero templado o en acero inoxidable y ocasiona el contenido de fierro libre en el aceite. Científicos observaron un incremento en el contenido de fierro en el proceso de desgomado en tanques hechos de acero templado y

acero inoxidable. Sin embargo, el aceite desgomado necesita ser acondicionado con ácido antes del blanqueado para una eficiente remoción del fierro.

Es por lo tanto importante asegurarse que todos los metales en contacto con el aceite deben ser inertes y libres de óxido.^{17,18,55,77}

4.10. Acabado del aceite

Al salir del clarificador el aceite contiene menos del 1% de agua y materias extrañas que perjudican la calidad, este paso se realiza o no según el tipo de instalación, para el proceso de refinación tradicional se recomienda utilizarlo, ya sea por el método de recalentamiento, secado o por centrifugación.

4.10.1. Recalentamiento purificador

La operación se realiza en un depósito que se calienta por medio de un serpentín de vapor. Consiste en mantener el aceite a una temperatura de 105°C hasta que el agua queda totalmente eliminada. Cuando el aceite deja de formar espuma los últimos mucilagos deshidratados sedimentan rápidamente en el fondo del recipiente, de esta manera se obtiene un aceite que contiene del 0.1 al 0.2 % de humedad y muy pocas impurezas sólidas. Si la duración de este calentamiento se prolonga, existe el inconveniente de que sufran alteraciones los constituyentes minerales del aceite y que se produzca un principio de decoloración.^{17,77}

4.10.2. Secado

4.10.2.1. A presión reducida. Consiste en una caldera hermética con doble pared para el recalentado, agitador y aparato de vacío.

4.10.2.2. Por aire caliente. El aceite calentado se esprea y atraviesa una corriente de aire producida por un pequeño ventilador que lo aspira o lo impulsa a través de un radiador. La humedad puede llegar a menos de 0.1%, pero no hay disminución de impurezas sólidas.

4.10.2.3. En lámina fina. Consiste en la circulación rápida del aceite sobre una superficie calentada a 105°C, la humedad puede llegar alrededor del 0.1%, pero tampoco mejora la eliminación de impurezas sólidas.^{17,18,77}

4.10.3. Filtros prensa

Primeramente se calienta el aceite y se pasa por el filtro, el cual retiene la totalidad de las impurezas sólidas. El inconveniente es que no eliminan las últimas trazas de humedad; se recomienda enseguida pasar el aceite por un recalentador o por una supercentrifugación.⁴⁴

4.10.4. Depuración en centrífuga

Son centrífugas de platos, el aceite pierde todas las impurezas sólidas, pero reducen el porcentaje de humedad de 0.25 a 3.0%, no más. Algunas centrífugas con vacío reducen el porcentaje de humedad del 0.15 al 0.20%.⁷⁷

4.11. Centrifugado

Es procedimiento ordinario en el caso de la palma; se utiliza en la extracción, en la clarificación, en la depuración, en el desgomado y en la separación de semillas.^{17, 18,35}

Para el ap es muy común utilizar una centrífuga de discos; para el desgomado el aceite crudo entra por la conducción de la parte superior y a través del tubo central, llega al distribuidor cónico del fondo de la cubeta y pasa a la sección de separación. El aceite purificado fluye hacia el centro por los canales que quedan entre los discos cónicos, hasta llegar a la parte más alta del cuello de la cubeta donde está la cámara colectora, y alcanza la tubería de descarga; mientras que los lodos acuosos de las capas exteriores escapan a través del canal situado entre el cono superior y el cobertor de la cubeta.⁹

4.12. Neutralización

Las grasas, después de la extracción, contienen cantidades variables de impurezas no glicéricas. En el caso de la palma y el palmiste, las impurezas que se encuentran son principalmente ácidos grasos libres.^{17,18}

Los procesos de desgomado y neutralización se realizan de acuerdo al tipo de refinación, ya sea el clásico o la refinación física. Si se realiza una refinación física se lleva a cabo un desgomado, para

refinación clásica se realiza una neutralización. Recientemente el método más usado es la refinación física.⁴⁴

El objetivo de la neutralización es eliminar los ácidos grasos libres y las impurezas perjudiciales del aceite, con la mínima alteración, tanto de los glicéridos, como de los tocoferoles y otras impurezas benéficas, así como con la mínima pérdida de aceite. En el tratamiento de neutralización se eliminan del aceite los fosfátidos, las proteínas o sus productos de degradación, las sustancias gomosas y los mucílagos.

Existen varios métodos de neutralización para el ap, los más usados industrialmente son:

- Neutralización alcalina en continuo.
- Neutralización discontinua por el método seco.
- Neutralización discontinua por el método húmedo.

El método más común de neutralización consiste en el empleo de álcalis para reaccionar con los ácidos libres del aceite.^{17,18,77,79}

4.12.1. Neutralización alcalina en continuo

La neutralización alcalina realiza una completa eliminación de los ácidos grasos libres, los cuales se transforman en jabones insolubles en el aceite. Se debe elegir cuidadosamente el álcali a emplear, su dosis y la técnica de neutralización sin que haya una saponificación excesiva del aceite neutro.

Selección de la lejía. La lejía se determina sobre el contenido en ácidos grasos libres del aceite, el origen del fruto y las condiciones climáticas en las que se desarrolló, deben realizarse pruebas piloto para la selección de las lejías. Se acostumbra medir la concentración de las soluciones de las lejías para neutralizar en términos de su peso específico expresado en grados Baumé. Se recomiendan lejías concentradas para aceites con elevada acidez. Para aceites con baja calidad se utilizan lejías más concentradas.^{17,18}

Para el ap y fracciones se utiliza comúnmente sosa cáustica a 20° Baumé.⁴⁴

El álcali más usado es la sosa cáustica, cuya acción, al tiempo que decolora, tiene la desventaja de saponificar una pequeña parte del aceite neutro, razón por la que se opta por utilizar otros álcalis como carbonato y bicarbonato de sodio.

El método continuo tiene la ventaja, en comparación del discontinuo, de reducir considerablemente el tiempo de contacto entre el aceite y el álcali y efectuar una separación más eficiente del aceite neutro y los barros, por lo cual se reducen al mínimo las pérdidas de aceite neutro, por saponificación u oclusión en el jabón formado, aunque el aceite neutro que se recupera es de baja calidad.^{17,18,77}

La neutralización alcalina de un aceite con sosa cáustica reduce fácilmente el contenido en ácido graso libre, a valores de un 0.01 a 0.03%. Con un álcali más débil, tal como el carbonato sódico, es difícil reducir el contenido por debajo de un 0.10%. La desadificación con vapor utilizando un equipo adecuado, reduce también los ácidos libres de 0.01 a 0.03%. La eliminación con agua de un aceite crudo causa reducción considerable en la acidez valorable, pero no de su contenido real de ácidos grasos libres.

Se garantiza una economía de un 30% en pérdidas por neutralización en el método continuo respecto a las obtenidas por el método discontinuo.^{17,18, 35}

La calidad del aceite neutro que se pierde en la neutralización alcalina depende de la cantidad y clase de impurezas que acompañan al aceite. En el caso de la palma esta pérdida es pequeña porque es pobre en fosfátidos e impurezas similares; sin embargo otros productos gomosos y tensoactivos ayudan a emulsificar la grasa neutra y contribuyen a las pérdidas elevadas.

El proceso de neutralización continua, se ideó para reducir las pérdidas en aceite neutro, tanto por saponificación, como por adsorción o por oclusión en el jabón formado. Las grasas y los aceites neutros son, en realidad, totalmente inactivos frente a la saponificación, aún cuando se empleen lejías concentradas y que esta reacción

se realice cuando se mezcle una pequeña cantidad de sosa cáustica con aceite neutro después de un período prolongado a temperatura elevada.

Puesto que los ácidos grasos libres son mucho más volátiles que los glicéridos es posible eliminarlos por arrastre de vapor, a altas temperaturas y bajo presión reducida. Esta desadifricación llamada al vapor es similar a la desodorización ordinaria con vapor. En algunas grasas es posible combinar los dos procesos en uno.^{17,18,35,77}

La neutralización alcalina elimina casi completamente los fosfátidos del aceite, por lo que se ha establecido que el contenido de fósforo del aceite neutralizado es un buen criterio de la eficiencia de la neutralización.

La neutralización alcalina introduce, por sí misma, impurezas de jabones sódicos en los aceites. La práctica común de eliminación de estos jabones, es la de someter al aceite neutralizado a un lavado con agua, o por tratamiento con adsorbentes decolorantes, secando el aceite durante la operación para reducir la solubilidad.

La mayor parte de la tecnología de la neutralización se refiere a minimizar las pérdidas más que a una buena purificación.^{17, 18,35,77}

4.12.2. Neutralización discontinua por el método seco

Se le denomina seco porque el aceite se trata con lejía relativamente concentrada y los jabones formados y los barros se separan del aceite neutralizado en forma sólida o semisólida. Se distingue del método húmedo en que los jabones son arrastrados al fondo de la caldera por cantidades considerables de agua y se obtienen en solución fluida.

La neutralización seca tiene la ventaja de producir un jabón concentrado y un aceite neutralizado relativamente libre de jabón y de humedad. Las trazas de humedad y jabón deben ser eliminadas antes de almacenar. Como un método de limpieza se emplea la filtración neutralizada a través de tierra decolorante.^{17,18,44}

4.12.3. Neutralización discontinua por el método húmedo

El método implica el calentamiento de la carga de aceite a una temperatura de 65°C, su mezcla con lejía y el arrastre del jabón formado con agua caliente, pulverizada directamente sobre la superficie del aceite, en algunos casos se le añade sal, carbonato sódico u otro electrolito, a fin de ayudar a la rotura de la emulsión del jabón y el aceite y favorecer la granulación y sedimentado del jabón. Se necesitan varios lavados sucesivos con agua para completar la eliminación total del jabón disuelto en el aceite. Después de cada lavado, hay que esperar a que el aceite se sedimente por completo.

El método húmedo es particularmente recomendado en la neutralización de aceites de mucha acidez como el caso de la palma.^{18,44}

4.13. Desacidificación por vapor

La palma tiene compuestos carotenoides que se degradan a temperaturas elevadas, que pueden desacidificarse satisfactoriamente al vapor, si el proceso va seguido del tratamiento de tierras decolorantes o si se destila la mayor parte de los ácidos grasos libres y las últimas porciones se eliminan por neutralización alcalina.

Las pérdidas por desacidificación con vapor son ordinariamente inferiores a las producidas por cualquier otro método.^{17,18,35}

4.14. Decoloración

La decoloración es realizada después del proceso de desgomado. El blanqueado significa remover los compuestos que dan color al aceite. En el caso de la palma, la remoción de los compuestos coloridos no es crítica en este paso porque la máxima remoción se realiza durante la deodorización donde los carotenos son térmicamente descompuestos. Sin embargo, sí se observa una reducción significativa en el ap después del blanqueado.

En el proceso se pierde muy poco producto y se aplica comúnmente en aceites que se han purificado previamente por neutralización.

Existen varios métodos de decoloración, pero casi todos ellos se basan en el principio de adsorción.^{17,18,35,77}

Los métodos más recomendados para el ap son los siguientes:

- Decoloración por adsorción.
- Decoloración continua.
- Decoloración continua a vacío.
- Decoloración en sistemas en contracorriente.

4.14.1. Decoloración por adsorción.

El blanqueado es el paso más importante en la refinación del ap. La calidad y la estabilidad son afectados por la temperatura y la duración del blanqueado, tipo de agente blanqueante, tamaño de partícula, dosis, adición de agua.

Las condiciones óptimas para el blanqueado son realizadas con un 1% de adición de agua antes del blanqueado, una temperatura de 100°C por 30 minutos con vacío; la adición de sílice o carbón activado también incrementa la estabilidad del ap, las partículas finas que resultan en el proceso pueden ser removidas por filtración.^{9,44,55}

Las tierras decolorantes empleadas para las grasas y aceites se han sustituido por las arcillas ácido-activadas. La mayor parte consta de bentonitas o montmorillonitas, cuyo poder decolorante al estado natural es nulo. Sin embargo, si se trata con ácido sulfúrico o clorhídrico, se altera tanto la superficie de las partículas que su poder decolorante excede a las arcillas naturales.

Se ha observado que el agente blanqueador activado con ácido tuvo mejor estabilidad en los AGL y el valor de fósforo, que el aceite refinado con el agente blanqueador no activado con ácido.⁵⁵

El tratamiento ácido aumenta la superficie de la arcilla y también causa cambios importantes en su naturaleza química o fisicoquímica. Las arcillas ácido-activadas retienen más aceite por unidad de peso de arcilla que las tierras naturales, pero al final su empleo conduce generalmente a pérdidas totales inferiores por retención. Las densidades aparentes de la tierra natural, tierra activada y carbón activado son aproximadamente de 0.801, 0.721 y 0.481 respectivamente.

El tamaño de partícula del agente blanqueante afecta fuertemente la calidad y la estabilidad del aceite. Estudios recientes reportaron que las partículas con menos de 5 micrones de diámetro son muy activas como adsorbentes.^{9,17,18}

Las arcillas activadas se venden en clase neutra para la decoloración de aceites comestibles y en clase ligeramente ácida, pero más activa, para aceites comestibles y no comestibles de difícil decoloración; la primera, lo mismo que las tierras neutras, no incrementa materialmente el contenido del aceite en ácidos grasos libres, mientras que la segunda tiende a hidrolizarlo ligeramente, aumentando con ello su contenido en ácidos libres.

La decoloración con tierras o carbón tiene poco efecto sobre la acidez, pero en el caso de las tierras ácido-activadas pueden incrementar la acidez apreciablemente de un 0.05 a 0.10% sobre todo si el aceite es jabonoso o si el tiempo de contacto se prolonga y el aceite no está bien seco.

Aparte de las arcillas decolorantes, el único adsorbente empleado en cierta extensión con los aceites grasos es el carbón activado, pero por su alto costo y su gran poder de retención del aceite no se emplea corrientemente. Se suelen utilizar a razón de 10 a 20 partes en peso de arcilla por una parte de carbón. Se considera que tal mezcla es más efectiva que el empleo de la arcilla decolorante sola.^{9,54,55}

El carbón activado se emplea en el tratamiento de los aceites contaminados con aceite mineral. La presencia de trazas de aceite mineral puede incrementar considerablemente el color rojo aparente de un aceite.³⁵

La combinación de carbón activado con el agente blanqueante puede utilizarse para hacer más efectiva la reducción del color e incrementar la estabilidad. La adición del carbón activado también ayuda a la remoción del fierro.⁷⁰

El carbón activado es un adsorbente de eficacia excelente para las trazas de jabón presentes en los aceites neutralizados. Tiene, por

otra parte, particular efectividad en la eliminación de pigmentos rojos, azules y verdes de los aceites de palma y palmistes.⁵⁴

En la decoloración de la mayor parte de los aceites el costo de los adsorbentes es inferior al del aceite perdido y la retención en el mismo.

El tratamiento con tierra decolorante es completamente efectivo para separar los fosfátidos y los diversos productos mucilaginosos, conocidos como gomas, barros, etcétera. Los catalizadores de níquel son mejores adsorbentes para muchas impurezas que las tierras decolorantes y tienen efectividad frecuentemente para la hidrogenación, después de que han llegado a ser completamente inactivos.^{43,54}

La aplicación de un adsorbente en pequeñas dosis sucesivas produce una mayor decoloración que la misma cantidad de adsorbente empleada una sola vez. Para la decoloración del aceite rojo (ácido oléico comercial) se recomienda una temperatura de 78°C empleando tierra activada. Debido a la inestabilidad del caroteno al calor, la decoloración del ap se lleva al cabo a temperaturas que varían de 85 a 100°C. Para obtener el máximo de eficacia en la decoloración con adsorbentes a base de silicato de magnesio hay que emplear temperaturas mucho más altas (105°C) que con los adsorbentes usuales.^{17,18}

4.14.2. Decoloración continua

Es el método más antiguo de decoloración que se emplea, implica el uso de mezcladoras abiertas cilíndricas, con fondos cónicos, provistos de agitadores mecánicos y serpentines de calefacción por vapor.

Tales mezcladoras suelen tener una capacidad no superior a 25 toneladas, ya que conviene que la separación de la tierra y el aceite se efectúe en un tiempo razonablemente corto después de que se le añade la tierra. El agitador debe construirse de modo que mantenga la tierra en suspensión y proporcione una agitación eficiente y sin chapoteos que aireé la superficie. El calentamiento debe ser lo más

rápido posible y el período total del mismo no debe exceder de una hora.

La mayor parte de los técnicos añaden a la mezcladora la tierra decolorante o la mezcla de tierra y carbón en la cantidad deseada, entre los 75 y 80°C, un poco antes de que alcance la temperatura tope de decoloración (105-110°C).^{17, 52}

4.14.3. Decoloración continua a vacío

La decoloración continua a vacío protege al aceite de los efectos de la oxidación; se realiza mejor la desaireación por pulverización del aceite a vacío, que por agitación en un recipiente de grandes dimensiones; también hace que reduzca el tiempo de contacto entre ellos, lo que hace que disminuya el contenido de jabón del aceite decolorado. Reduce al mínimo la formación de ácidos grasos libres, si se emplean tierras ácidas y, se obtienen aceites de sabor estable. (Fig. 15). Al eliminar la oxidación se consigue economizar tierra y disminuir la retención del aceite, ventajas que se aumentan operando a contracorriente en dos fases, filtrando en la primera la carga de aceite a través de tierra parcialmente gastada.

La carga de aceite procedente del almacenamiento se mezcla continuamente con el adsorbente en proporciones medidas, y la papilla resultante se pulveriza en la parte alta de la torre de blanqueo que está al vacío, para eliminar el aire y la humedad libre. La papilla que sale por la mitad de la torre se calienta a la temperatura de decoloración y se vuelve a pulverizar en la sección inferior de la torre, para eliminar la humedad combinada de la tierra, lo que sólo se consigue después de su calefacción.^{17,18}

Una pequeña cantidad de vapor borbotado en cada sección suministra suficiente agitación y ayuda a la eliminación de la humedad y del aire. La mezcla aceite-arcilla, procedente de esta segunda sección de la torre, se bombea a través de un filtro prensa para separar la arcilla del aceite, que pasando por un refrigerante va a los tanques de almacenamiento.

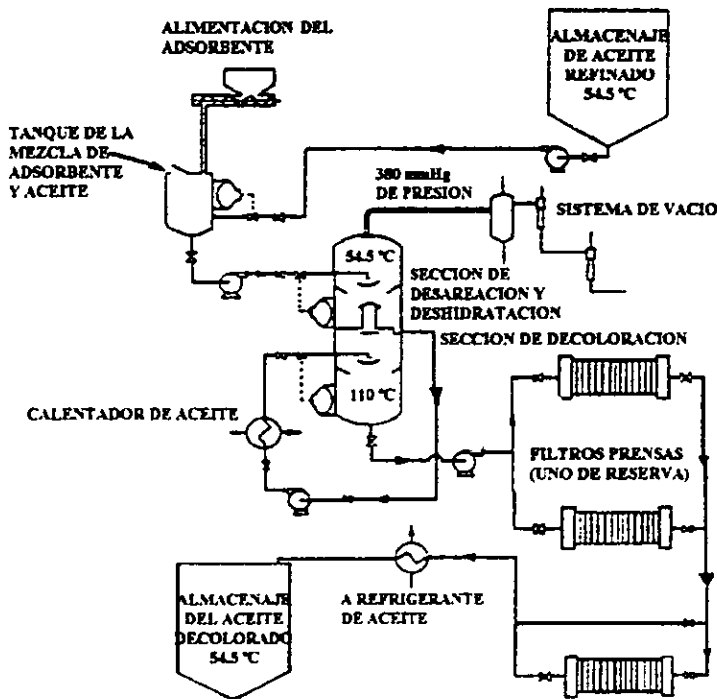


Fig. 15. Diagrama del proceso continuo de decoloración a vacío.¹⁷

Una modificación que aumenta la eficiencia de la operación es casi el mismo diseño, sólo que en la tolva suministradora de la tierra y el tanque de mezcla se mantienen a vacío. La carga de aceite fresco se pulveriza en la torre a través de un cambiador de calor y un calentador. Para conseguir la temperatura de decoloración se pasa a través de un filtro prensa, que contiene arcilla parcialmente gastada, en donde se aclara un poco el color y finalmente la operación en un tanque mezclador al vacío en donde se añade la tierra fresca en cantidad medida. La torta formada por el aceite vuelve a otra sección de la torre al vacío. Para la eliminación de la humedad de esta torre pasa a un filtro prensa cerrado, en donde se separa la tierra y el aceite. El aceite filtrado fluye a través de un intercambiador de calor, cediendo éste el calor al aceite frío procedente de la torre, y posteriormente se almacena.^{52,55}

4.14.4. Sistemas en contracorriente

La eficiencia óptima en la decoloración se obtiene en operaciones a contracorriente, o sea, en un sistema en donde el aceite fresco se trate sólo con adsorbente usado y el adsorbente fresco se reserve para el aceite que se ha decolorado parcialmente.⁷⁸

El aceite normalmente se trata al vacío de 15 a 30 minutos a temperaturas entre 80 y 120°C. La suspensión de tierras blanqueantes puede ser separada después del proceso de blanqueo por filtración.^{17,18,35}

Como se mencionó anteriormente, la decoloración del aceite comienza blanqueando, y consecuentemente se realiza la remoción de las sustancias responsables de la coloración, lo que se ve influenciado por la temperatura, el tiempo de contacto, la cantidad y la actividad de las tierras blanqueantes. Estudios recientes demostraron que el blanqueo por sistemas en contracorriente es más económico cuando se realiza en dos etapas.

Las tierras blanqueantes son hechas de bentonita mineral, el principal constituyente de la bentonita es la montmorillonita. La montmorillonita está compuesta por tres capas minerales constituidas por diferentes uniones de triple capa, ésta es activada como en el tratamiento de la bentonita con ácido. Durante este proceso intercambian iones de valencia de las capas entre los protones del ácido. El resultado es un ácido sólido que tiene propiedades catalíticas.

Los iones metálicos están disueltos en el contorno, estos cambios de la estructura cristalina e incrementos del área superficial hace que su actividad sea mayor comparada con la tierra natural.

Como se observa en la figura 16 las tierras activadas poseen uniones de triples capas en los submicroporos, y en la separación de los granos existen los macroporos.

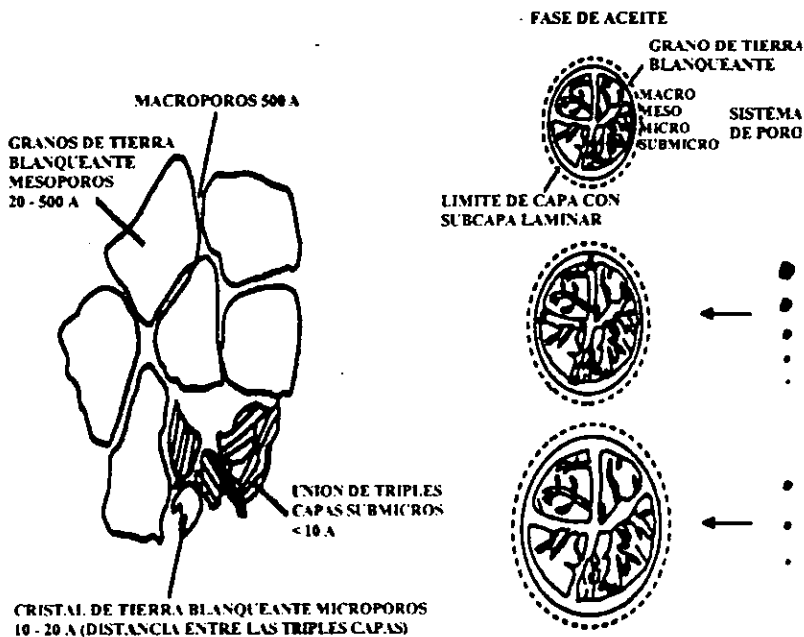


Fig. 16. Estructura de la tierra blanqueante y adsorción de un grano de tierra blanqueante. ⁷⁸

Durante la adsorción, las pequeñas moléculas son las que aparentemente penetran dentro de los poros de los agregados de las estructuras de las tierras blanqueantes.

La capacidad de adsorción de la tierra blanqueante no es totalmente utilizada cuando se realiza el blanqueado en una sola etapa; cuando se utilizan dos etapas en contracorriente, la tierra blanqueante nueva primero entra en contacto con el aceite preblanqueado.

La operación en contracorriente es más factible en la decoloración de aceite en sistema cerrado. ⁷⁸

Las moléculas más pequeñas pueden penetrar más profundo en los poros más internos del agregado de tierra blanqueante. Después la suspensión tierra blanqueante-aceite se separa, en la segunda etapa la tierra blanqueante es usada para preblanquear el aceite neutralizado, como se observa en la figura 17.

Si las moléculas grandes bloquean los macroporos del agregado de la tierra blanqueante durante esta etapa no tendrá un efecto apreciable en el proceso general de blanqueado.

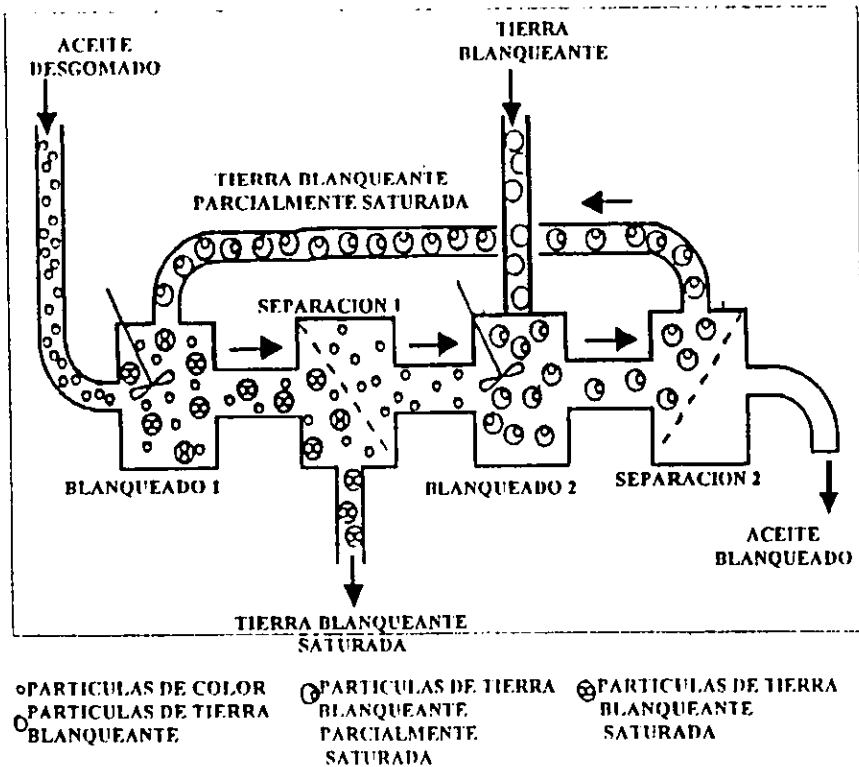


Fig. 17. Principio de dos etapas en contracorriente.⁷⁸

Es importante mencionar que el 60% de las impurezas son removidas en la primera etapa.

La ventaja de este método comparado con los tradicionales es que se utiliza un 40% menos de tierras blanqueantes y se obtiene una calidad igual al blanqueado discontinuo.^{18,54,78}

4.14.3. Otros tipos de decoloración

El aceite se decolora por el simple paso del aire durante varias horas a temperatura moderadamente elevada (de 65 a 90°C). La decoloración por aireación en el ap se logra porque el caroteno se decolora fácilmente por oxidación y el aceite tiene un índice de yodo

lo suficientemente bajo como para permitir la oxidación de pigmentos, sin oxidar el aceite en grado avanzado.

Otro compuesto oxidante es el dicromato sódico, su aplicación se realiza de la siguiente manera: se eliminan los sedimentos de los productos al aceite, el dicromato se calienta en solución, del 1 al 10%, por medio de vapor de agua húmedo y se deja reposar; la decoloración se lleva a cabo en un tanque con recubrimiento interior de plomo provisto de serpentines perforados. Para la inyección tanto del vapor como del aire, se carga una tonelada de aceite, este se calienta a una temperatura de 40°C y se rocía con unos 20 kg de sal seca finamente dividida; entonces, se añaden 20 kg de ácido clorhídrico concentrado comercial y 8 kg de dicromato sódico, disuelto en 22 kg del mismo ácido, esta última solución se añade lentamente durante un tiempo de tres horas. La carga se agita durante la adición de la solución de dicromato y durante una hora después, se detiene la agitación y se deja que la fase acuosa se sedimente en el fondo del tanque, de donde se drena al exterior, se añade entonces agua en cantidad de unos 150 litros, se agita y se calienta la carga con vapor entre 65 y 70°C después de lo cual se termina la operación dejando el contenido del tanque en reposo toda la noche.^{17,18, 52}

Por tratamiento alcalino también se pueden aclarar algunos aceites, pero la capacidad de adsorción del jabón afecta poco el color obscuro de los pigmentos carotenoides del ap. Los pigmentos carotenoides son retenidos por los adsorbentes.

Científicos revelaron que el uso de sílice en combinación con un agente blanqueante puede producir mejor calidad de ap. La adición de 0.06% de sílice en el agente blanqueador disminuirá el color del ap refinado. La sílice también ayuda a la reducción del tiempo de filtración, de esta manera se logra un mayor rendimiento en la refinación.^{55, 83}

El color azul-verde observado en la palma parcialmente blanqueada se forma durante el blanqueado con tierra de blanqueo activada con ácido. Esta coloración se deriva de la protonación de los β y α carotenos seguida de isomerización y oxidación a formas

conjugadas más pequeñas, las cuales se protonan para formar coloraciones azul-verde. Los colores desaparecen después de la deodorización.

Ciertas características del ap se pueden explicar por su contenido elevado de β -caroteno. En una investigación se encontró que los compuestos de los colores amarillentos son hidroxil- α -caroteno-5,8-epóxidos que se encuentran alrededor de 0.4 a 0.7 ppm en el aceite RBD y uno de los otros posibles carotenoides podría ser crisantemanxantina. Se cree que los compuestos anteriores son precursores del β -caroteno. Cuando se calienta el aceite a una temperatura elevada, desaparece el color intenso original y aparecen productos de escisión sólidos. Si el aceite llega a oxidarse, los pigmentos carotenoides del ap recuperan su color original por reducción posterior.^{33,34,55}

El color se reduce cuando se aumenta la temperatura de blanqueado, pero la velocidad de la reversión del color es más rápida para el aceite blanqueado a temperaturas más altas.³⁴

Se sugiere que la óptima temperatura de blanqueado es a 100°C. la adsorción de las impurezas y la remoción del hierro, cobre y fósforo depende de las dosis del agente blanqueador.⁵⁵

El color del aceite se reduce tanto como la dosis del agente blanqueador se incrementa, pero cuando sobrepasa la dosis recomendada no se nota una reducción significativa en el color del aceite RBD. Los valores de fósforo y anisidina se incrementan cuando la dosis del agente blanqueante se incrementa. Las pruebas de valor de fósforo y anisidina son utilizadas como parámetros para evaluar el blanqueado.^{17, 18, 44}

El tiempo de residencia para el blanqueado es también importante; un sobreblanqueado puede causar incremento en AGL y el valor de fósforo. El color se reduce proporcionalmente con el tiempo de residencia, pero no es el propósito del blanqueado del ap.³⁴

4.15. Características del ap blanqueado y sus fracciones. Las especificaciones que deben cumplir el ap, la oleína y la estearina después del blanqueado se muestran en las tablas 22, 23 y 24; como se observa el valor de color no es necesariamente bajo, ya que no es el objetivo principal del blanqueado en el caso de la palma.

Tabla 22. Especificaciones del ap blanqueado. ^{44,55}

Especificación	Valor
AGL	0.15% máx
VP	0
IY	50-55
Punto de fusión	33-39
VA	del crudo
Fierro	0.15 ppm máx
Cobre	0.06 ppm máx
Fósforo	4 ppm máx
Jabón	0
Color*	20 máx

* 5(1/4) Lovibond.

Tabla 23. Especificaciones de la estearina de palma blanqueada. ^{44,55}

Especificación	Valor
AGL	0.25 % máx
Humedad	0.1 máx
Impurezas	0
IY	48 máx
P.F	44 min
Color*	20 rojo máx

Tabla 24. Especificaciones de la oleína de palma blanqueada.^{44, 55}

Especificación	Valor
AGL	0.25 % máx
Humedad	0.1 máx
Impurezas	0
IY	56 máx
P.F	24 min
Color*	20 rojo máx

* 5 (1/4) Lovibond

4.16. Deodorización

El propósito de la deodorización es la reducción de AGL, mono y diglicéridos, productos de oxidación y llegar a niveles de color lo más bajo posibles.^{17,18}

La deodorización se realiza normalmente a vacío (5 mm Hg) y a una temperatura de 270°C con vapor inyectado en el aceite. La cantidad de vapor es cerca del 1% del peso del aceite.^{18,44}

Esencialmente es un proceso de destilación con vapor, en el cual las sustancias odoríferas y de mal sabor se separan del aceite, la operación se lleva al cabo a temperaturas elevadas, y a presión reducida.

Las sustancias responsables del olor y sabor de los aceites en el caso del palmiste se han identificado como cetonas, por ejemplo la metil nonil cetona. Junto con la eliminación del sabor y olor, aparece una disminución en el contenido en ácidos grasos libres.²⁰

Si bien la deodorización destruye los peróxidos y elimina los aldehídos y los productos volátiles que se forman por la oxidación atmosférica, también conlleva a la reducción de los antioxidantes naturales, tocoferoles y tocotrienoles, con lo que la ausencia de éstos puede conducir a la inestabilidad del aceite durante el almacenado por la formación de oligómeros.^{50,55}

Por la inestabilidad que presentan al calor los carotenoides, la deodorización disminuye el color de la mayoría de los aceites vege-

tales, sobre todo si en el blanqueado no se ha disminuido, y si se debe en su mayor parte a pigmentos carotenoides, como es el caso de la palma. La presencia de sustancias de fierro y otros metales durante la deodorización puede llevar a la reversión del color.^{9, 55}

Los esteroides y otros productos insaponificables son en su mayoría menos volátiles que los ácidos grasos libres, pero pueden llegar a constituir una cantidad apreciable del producto graso destilado.^{34,37}

La eficiencia de la operación depende en gran parte de las condiciones con que se maneje, hay intervalos de temperatura desde 205°C hasta 270°C y de 40 minutos hasta 4 horas. Para los aceites que contienen menos del 0.1% de ácidos grasos libres se deodoriza a 5 mm Hg y a 260°C. Las pérdidas de producto en el deodorizador oscilan de un 0.3 a 0.8%.^{20, 44}

La deodorización se puede realizar por dos métodos: el discontinuo que ya no es muy utilizado, y el continuo que puede adaptarse según las necesidades y capacidad de la industria aceitera.^{17,18}

4.16.1. Deodorización discontinua. Su utilización es poco práctica, se lleva a cabo en recipientes de diseño sencillo y totalmente uniforme en temperaturas.^{17,18}

4.16.2. Deodorización continua. El equipo consta de una torre de acero inoxidable, en la que están distribuidos de 3 a 12 platos de poca profundidad provistos de campanas de borbotado, por los cuales el aceite fluye hacia abajo en contracorriente con el vapor de borbotado. La carga de aceite después de su desaireamiento a vacío se calienta, en un intercambiador de calor, con el aceite terminado que sale del deodorizador; el aceite terminado se bombea desde la torre, a través del intercambiador de calor, a los filtros.

Se consigue una mejor deodorización con menor hidrólisis del aceite si se borbotan en capas poco profundas, y la presión hidráulica media del aceite sobre las burbujas de vapor inyectado es relativamente alta. Las cantidades de vapor de borbotado que se sugieren son de 10 kg por cada 100 kg de aceite.^{17, 18}

La eficiencia y la actividad de la deodorización depende ampliamente del diseño de la planta deodorizante.

Como referencia se puede deodorizar el aceite a 240°C por 120 minutos o 270°C por 30 minutos.^{17, 44}

Con la nueva tecnología de deodorizado con columnas de placa fina, se puede lograr un buen color y un bajo valor de AGL en un corto tiempo (30 minutos y una temperatura de 260°C).^{17,30}

El ácido fosfórico puede llevar a la fosforilación de triglicéridos resultando el oscurecimiento de los aceites durante la deodorización.^{34,50}

Se ha reportado que la presencia residual de agente blanqueador (100 ppm) durante el refinamiento con vapor puede causar la reversión del color.⁵⁵

4.17. Características del ap deodorizado y sus fracciones.

Las especificaciones del ap, la oleína y la estearina se muestran en las tablas 25, 26 y 27. Estas especificaciones corresponden a un aceite terminado o refinado, blanqueado y deodorizado (RBD). Una variación en alguno de los parámetros, significaría que las condiciones a lo largo del proceso no fueron controladas correctamente o que se partió de un aceite crudo de baja calidad.

Tabla 25. Especificaciones del aceite de palma deodorizado.^{44,55}

Especificación	Valor
AGL	0.05% máx
VP	-
IY	50-55
P.F	33-39
VA	menor que 8
Fierro	0.12 ppm máx
Cobre	0.05 ppm
Fósforo	4 ppm
Estabilidad A.O.M	50 h min ¹¹
Color*	3 a 6 rojo máx

Tabla 26. Especificaciones de estearina de palma deodorizada. ^{44,55}

Especificación	Valor
AGL	0.1 % máx
Humedad	0.1 % máx
IY	48 máx
P.F	44 min
Color*	3 a 6 rojo máx

Tabla 27. Especificaciones de oleína de palma deodorizada. ^{44,55}

Especificación	Valor
AGL	0.1 % máx
Humedad	0.1 % máx
IY	56 máx
P.F	24 min
Color*	3a 6 rojo máx

4.18. Desfibración del palmiste

La torta que se obtiene de las prensas es una mezcla de semillas y fibras húmedas que contienen alto porcentaje de aceite residual. Antes de pasar al desfibrador se homogeniza la pasta.

Los desfibradores de jaula son de tipo prisma con base hexagonal u octogonal, las caras laterales están formadas por paneles provistos de barrotes o de tela metálica. La mezcla se carga por un extremo, las fibras salen por la trama de la superficie lateral, y las semillas son recogidas en la otra extremidad.

Desfibradores por aireación. Son cilindros de eje horizontal con una corriente de aire caliente como se observa en la figura 18. En su interior llevan unas paletas o cangilones que tienen la función de remover la mezcla de semillas y fibras; éstas son llevadas a la parte inferior del equipo, donde la corriente de aire arrastra las fibras

cuando van cayendo a la vez que las seca; en el extremo del cilindro son eliminadas todas las fibras y en las cribas sólo quedan las semillas, algunas podrían conservar fibras no desprendidas por la malaxación. Algunas variaciones de estos equipos son los tamaños de cribas, y algún equipo extra para la limpieza y pulido de la semilla. Estos equipos necesitan la previa trituración y secado de la torta.⁷⁷

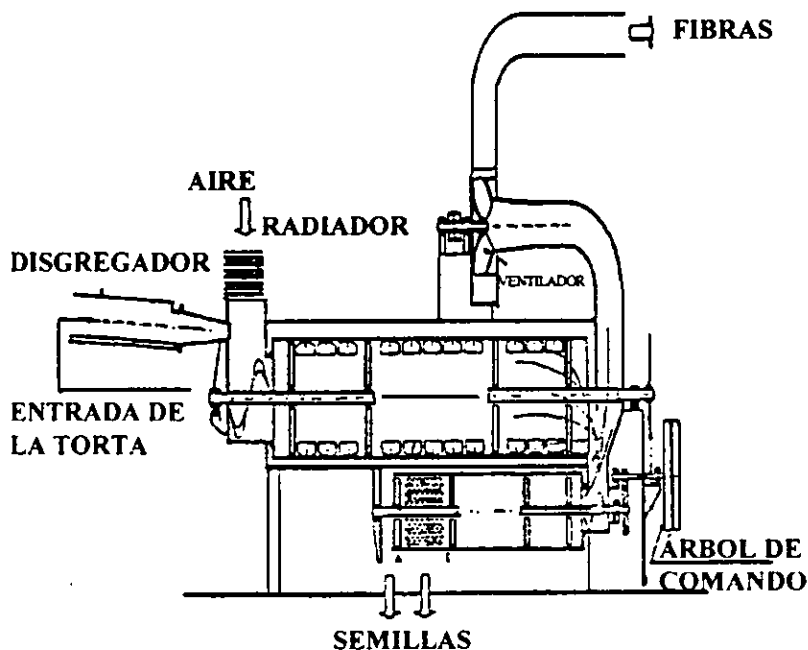


Fig. 18. Desfibrador por ventilación.⁷⁷

4.19. Preparación de los palmistes

Para obtener una buena semilla es indispensable que haya un espacio libre entre el endocarpio y la cáscara. En la semilla viva el endocarpio se adhiere fuertemente a la cáscara, por lo que es imprescindible el secado para que puedan ser separadas.

El secado de la semilla para el descascarillado se realiza al aire, las capas pueden ser de 1 a 1.5 m de espesor. El secado durante un mes en estas condiciones es suficiente para asegurar la separación y una rotura razonablemente buena.

Otro tipo de secado es el que utiliza salas de desecación calentadas con vapor de agua, en las cuales se colocan las semillas en bandejas de tela metálica, secándose en 3 días.^{17,24,70}

El endocarpio fresco contiene normalmente del 20 al 24% de humedad. Para una rotura perfecta debe quedar entre 10 y 12%.

El secado de la semilla se puede realizar al aire libre como sucede con el coco. En las refinerías se utilizan silos calentadores con ventilación forzada; también se utiliza un método de compresión-descompresión que consiste en someter la semilla a presión de vapor de 2 a 3 kg y dejarlas inmediatamente a la presión atmosférica.⁷⁷

4.20. Descascarillado de las semillas

El descascarillado se realiza en descascarilladores centrífugos, la rotura de la cáscara es ocasionada por el choque de las semillas contra una pared metálica, la velocidad del descascarillador se regula de acuerdo con el tamaño de las semillas, las grandes se rompen fácilmente, pero las pequeñas necesitan velocidades más rápidas. Las velocidades excesivas provocan roturas de endospermos, perjudicando el rendimiento.⁷⁷

Los lotes tienen que ser clasificados de acuerdo a su peso y tamaño con cribas donde de acuerdo a esto van a las descascarilladoras que giran a la velocidad necesaria para que se rompa sin que se produzca rotura en los endospermos,⁷⁷ ver la figura 19.

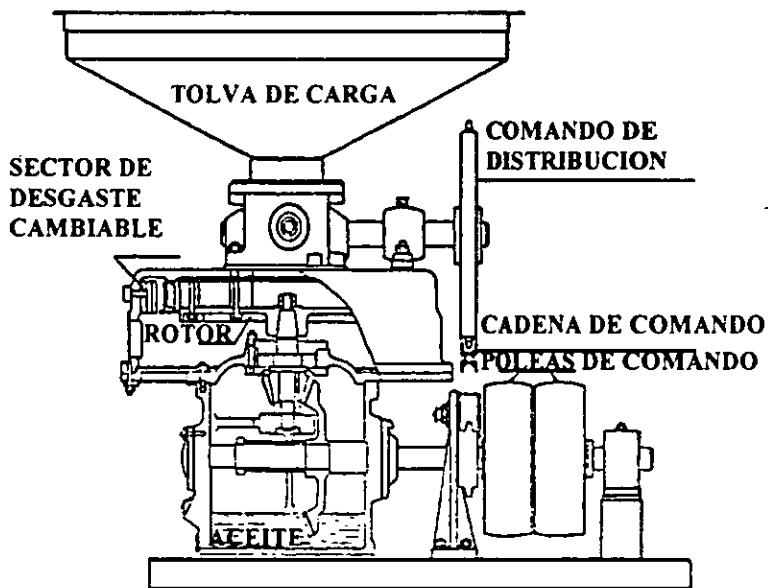


Fig. 19. Descascarilladora de semillas de palma. ⁷⁷

4.21. Separación de los endospermos

Esta operación se puede realizar por cuatro métodos:

- Clasificación en seco.
- Corriente de aire sobre un tamiz vibratorio.
- Separación por densidad.
- Separación por centrifuga.

4.21.1. Clasificación en seco. La mezcla de endospermos y cáscaras se someten a la acción de una corriente ascendente de aire, las cáscaras viajan hasta arriba y caen en un compartimento separado.

4.21.2. Corriente de aire sobre un tamiz vibratorio. La eficiencia no es alta porque en una parte quedan residuos de cáscaras mezclados con los endospermos, por lo que se requiere una selec-

ción a mano y también cierta cantidad de endospermos pasan junto a la cáscara.

La ventaja es que no es necesario humedecerlos, no se utilizan agentes químicos y el material necesario es de bajo costo, en comparación con el método por densidad, cuyo inconveniente es el desgaste notable del equipo y la utilización de sal y arcilla y otros productos que son relativamente caros.

4.21.3. Separación por densidad (vía húmeda). Este método se basa en la diferencia de densidades entre los endospermos (1.07 g/cm^3) y las cáscaras ($1.30\text{-}1.35 \text{ g/cm}^3$). La mezcla se introduce en un baño líquido de densidad intermedia entre 1.15 y 1.20 g/cm^3 en la que los endospermos sobrenadan.

El líquido separador puede ser agua salada o una suspensión de arcilla, o una suspensión de ferrita con una pequeña cantidad de arcilla, para evitar que se produzca una sedimentación rápida.

4.21.4. Separación por centrífuga. Consiste en la separación de las semillas empleando una corriente de agua con movimiento circular en el interior de un recipiente metálico de forma cilíndrica. El agua del cilindro se satura rápidamente de impurezas, por lo que es necesario cambiarla frecuentemente, lo que podría ser una desventaja.^{70, 77}

4.22. Fraccionamiento

El objetivo del fraccionamiento del ap es el de separar la fracción de aceite líquido, comúnmente llamada oleína, de la fracción sólida o estearina. El fraccionamiento se lleva a cabo por enfriamiento del ap a temperaturas a las cuales ciertos triglicéridos cristalizan, y por lo tanto la fracción que todavía es líquida es fácilmente separada de la sólida con una filtración.⁴⁴

El ap es el aceite fraccionado de mayor importancia. Existen en operación instalaciones de fraccionamiento industrial las cuales procesan hasta 2 000 toneladas de ap por día. Se fracciona tanto el ap crudo como el refinado, siendo este último el más frecuente.

4.22.1. Fraccionamiento de ap. El objetivo principal es obtener fracciones de oleína con un punto de enturbamiento (PE) bajo y una buena estabilidad al frío. El fraccionamiento de etapa simple da como resultado fracciones de oleína con un punto de enturbamiento inferior a los 10°C y fracciones de estearina con un punto de fusión de 44-52°C, como se observa en la tabla 28.⁴⁸

Tabla 28. Fraccionamiento de ap en una sola etapa.⁴⁸

ap	Oleína		Estearina		Rendimiento de oleína	Duración del ciclo (*)
	IY	PE	IY	PE		
PF 21°C	59-60	4-5	38-40	50	60-69%	6 h
PF 48 °C	62-63	<3	42-44	46	45-50%	12 h

IY. Índice de yodo. PE. Punto de enturbamiento. (*) Duración en equipo De Smet.

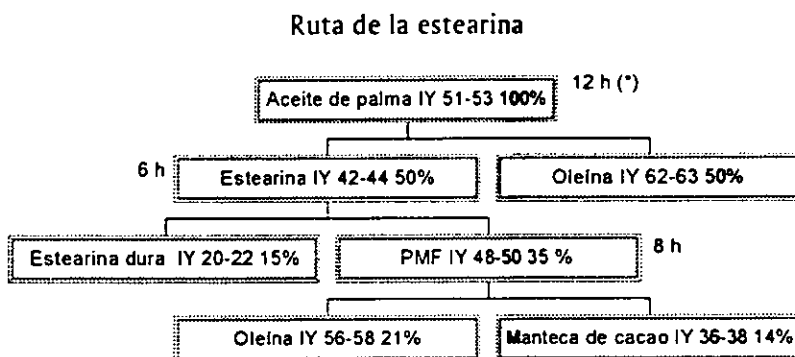
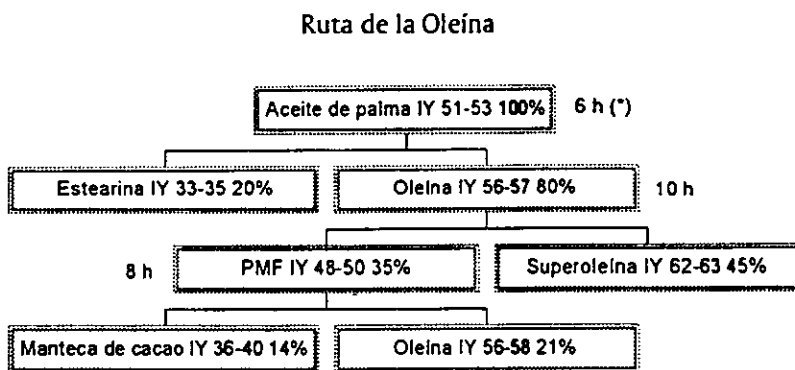
Las oleínas son utilizadas comúnmente como sustitutos de los aceites para ensaladas y cocina, mientras que las estearinas son aplicadas en grasa para frituras, margarinas y shortenings.

Con un mayor desarrollo del proceso de fraccionamiento de etapa simple del ap, existe una tendencia creciente para duplicar y triplicar el ap fraccionado con el objeto de producir fracciones con características específicas: superoleínas con un alto índice de yodo y fracciones de ap intermedias.

El fraccionamiento de las oleínas y estearinas, con un bajo valor de índice de yodo, provenientes de la primera separación, produce una fracción media de palma, o una estearina blanda la cual se puede utilizar como tal en margarinas y shortenings, o puede servir como una materia prima en la producción de grasas sustitutas de la manteca de cacao (grasas CBE).

El modo en el cual se pueden obtener las diferentes fracciones intermedias de ap se observa en la figura 20.^{5,48}

Fig. 20. Fraccionamiento de etapa múltiple del ap.⁴⁸



PMF: Fracción media de palma

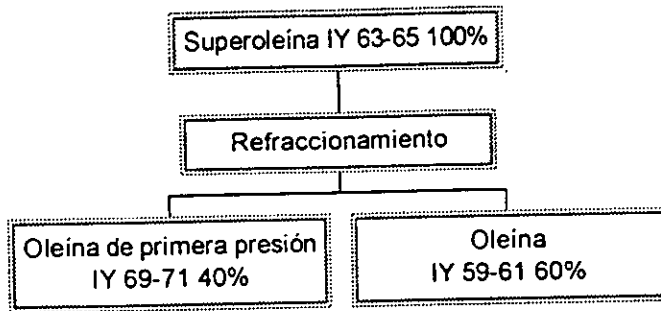
(*): duración del ciclo en una unidad de fraccionamiento De Smet.

La construcción de un camino apropiado para el fraccionamiento no es una tarea fácil, debido a que cada paso de refraccionamiento involucra la producción de dos nuevas fracciones. La optimización es en la mayoría de los casos una cuestión de encontrar el mejor compromiso entre la calidad de los productos medios y finales, por un lado, y la capacidad de utilización y venta de dichos productos, por otro lado.

Los últimos desarrollos en el fraccionamiento del ap han posibilitado la producción de superoleínas con índices de yodo de 70 y aún índices mayores. Estos productos principales de la oleína se obtienen

mediante el refraccionamiento de una superoleína con un IY mayor que 63. En la figura 21 se observa un ejemplo.

Fig. 21. Superoleínas.⁴⁸

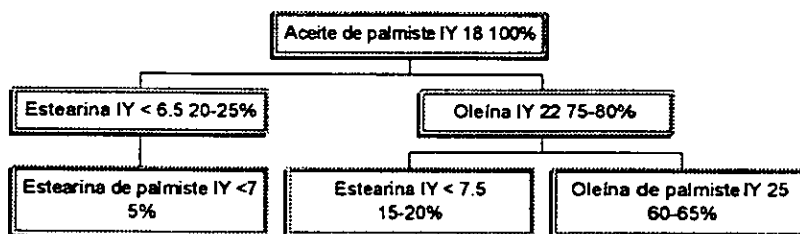


4.22.2. Fraccionamiento de aceite de palmiste

El aceite de palmiste se refracciona para producir estearinas, las cuales con posterioridad a la hidrogenación se utilizan como aceite duro o una grasa para cobertura de alta calidad. La estearina es normalmente producida en un proceso en seco utilizando prensas hidráulicas que operan a alta presión, las cuales son aptas para trabajo intensivo, o en fase miscela utilizando un costoso fraccionamiento con disolvente. El aceite de kernel o palmiste generalmente se fracciona en crudo.

El desarrollo de prensas tipo membrana aptas para operar a alta presión, conjuntamente con un mejor conocimiento del comportamiento específico de la cristalización del aceite de palmiste, han superado ciertas desventajas inherentes a las técnicas mencionadas. En la actualidad es posible fraccionar el aceite de palmiste en forma seca del mismo modo en que se fracciona el ap, en cristalizadores modificados utilizando filtros prensa tipo membrana aptos para operar a 25 bar. ^{17, 18, 44, 48}

Fig. 22. Fraccionamiento de palmistes.⁴⁸



4.23. Refinación física

El procedimiento clásico, también llamado químico, incluye el desgomado, la neutralización, el blanqueado y la deodorización. La refinación física, también conocida como refinación seca o de vapor, se basa en la alta volatilidad de los ácidos grasos libres (AGL), comparada con los triglicéridos. En la refinación física la remoción de los AGL se realiza por una destilación, lo que reemplaza a la deacidificación/deodorización.

El procedimiento es práctico, tiene pocas pérdidas y se obtiene una buena calidad en los productos. Se ha aplicado más en los aceites de alta acidez como la palma que con los aceites de baja acidez y alto contenido de fosfátidos como son los aceites de canola y de soya. No obstante, cada vez se utiliza más y esto se debe a que se han mejorado las técnicas de pre-tratamiento de estos aceites.⁷⁵

La refinación física es un proceso de dos etapas que incluye un pretratamiento seguido por la desacidificación por destilación con arrastre de vapor. Una característica primordial de la refinación física es que la deacidificación y la deodorización son realizadas en un deodorizador especialmente diseñado.^{18,44}

El pretratamiento debe cumplir con las funciones que tendría la refinación alcalina, y por lo cual deben eliminarse: residuos de gomas, trazas metálicas, pigmentos, azúcares, glicolípidos y productos de oxidación. Dentro de los pigmentos que deben eliminarse se encuentran los β -carotenos porque si permanecen en el aceite pueden convertirse, por efecto de la temperatura, en compuestos policíclicos no volátiles que reducen la estabilidad del aceite.⁷⁵

La refinación física utiliza vapor comprimido y vacío, para remover los AGL, las sustancias insaponificables y los compuestos indeseables, lo que en la neutralización química sería el soapstock, por lo que la refinación física tiene la ventaja de la eliminación del jabón, la eliminación de pérdidas de aceite neutro y la disminución de contaminantes en el aceite. Las ventajas son la disminución de pérdidas de aceite, la calidad de los AGL se incrementa y la operación se simplifica.³⁶

Si se parte de un aceite crudo con parámetros altos como la acidez, peróxido, contenido de metales y contenido de carotenoides la refinación cáustica no se recomienda porque no tendría altos rendimientos ni calidad aceptable.^{17,18,75}

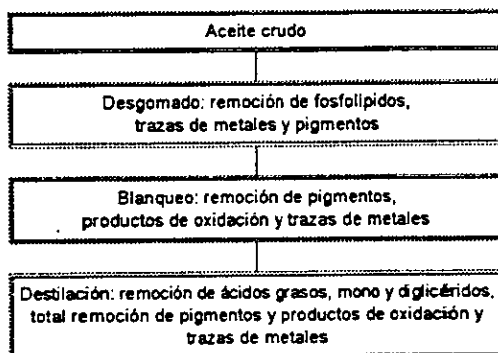
La refinación física se puede dividir en dos pasos:

a) **Pretratamiento.** El aceite se trata con ácido fosfórico, con la finalidad de remover los fosfátidos, residuos metálicos e impurezas, en seguida el aceite se blanquea con tierra activada.

b) **Destilación.** La remoción de los AGL se efectúa por destilación de vapor al vacío con condiciones de 2 a 6 mm Hg y con una temperatura de 240 a 270°C.

Los procesos preliminares, los cuales incluyen desgomado y blanqueado, son relativamente simples, siempre y cuando no contengan altas cantidades de péptidos y fierro.^{30,36,44,75}

Fig. 23. Diagrama de bloque de refinación física.⁴⁴



4.24. Causas de reversión de color del ap

La reversión del color durante el procesamiento se asocia con una pobre calidad del aceite crudo o un inapropiado desgomado y blanqueado o fallas en las condiciones de proceso; o a los pigmentos presentes en el aceite crudo o como un resultado de la oxidación del α -caroteno durante la deodorización. Después de la refinación todas las impurezas indeseables son removidas y se obtiene un amarillo claro. Sin embargo, durante el almacenamiento y antes de llegar a los consumidores, el color puede en algunos casos oscurecerse.

El aceite crudo contiene pigmentos y carotenoides, que pueden deberse principalmente a frutos dañados que contienen pigmentos cafés, estos pigmentos provienen de la descomposición de las proteínas y los carbohidratos y son resistentes al blanqueado por adsorción. En tal caso es difícil conseguir un color estable.

La oxidación no sólo desarrolla nuevos pigmentos sino que también estabiliza los pigmentos después de la remoción por adsorción, en otras palabras, la oxidación conlleva a un pobre blanqueado del ap y una calidad baja del aceite refinado.^{9,44,55.}

El índice de blanqueo es básicamente la proporción entre el contenido de caroteno y la oxidación de productos secundarios.

El valor del índice de blanqueo del ap crudo está relacionado con la dificultad que se presentará en la refinación, como se indica en la tabla 29.^{48,55}

Tabla 29. Relación entre el ap crudo y el índice de blanqueo.⁵⁵

Índice de blanqueo	Se observa
Abajo de 2.0	Dificultad para refinar
De 2.0 a 2.3	Inpredecible
Sobre 2.3	Más fácilmente refinado

La oxidación parcial causa un incremento en color rojo-amarillo debido a la formación de compuestos coloridos tipo quinoides.

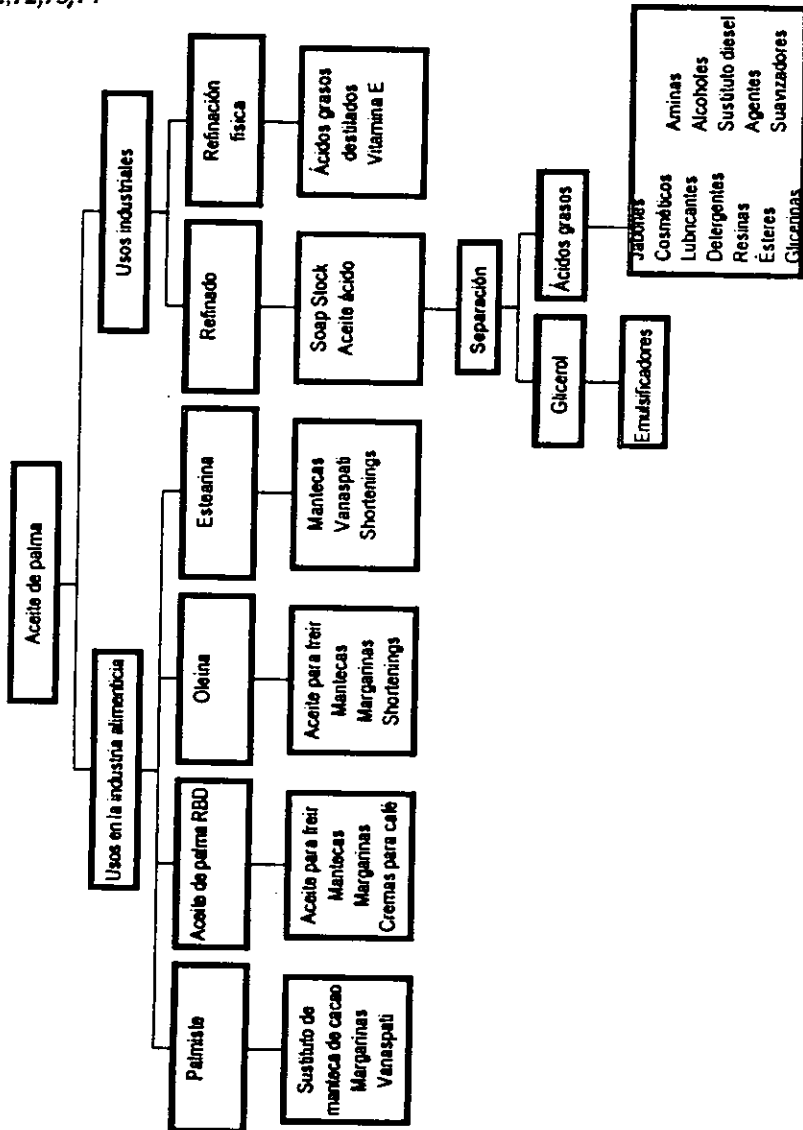
Una dosis baja o una sobre dosis de ácido fosfórico puede conducir a un oscurecimiento durante la deodorización. La dosis baja ocasiona la formación de gomas y fosfolípidos. La descomposición de los fosfolípidos en la deodorización conduce al oscurecimiento, mientras la inmovilidad del ácido fosfórico causa el oscurecimiento del RBD.

La estabilidad del color es también influenciada por las condiciones del desgomado. El desgomado facilita la remoción del fierro, fosfátidos, cobre y parcialmente los productos oxidados. Un desgomado adecuado ayuda al blanqueado, y la deodorización del ap a la estabilidad del color.

5. Usos y aplicaciones del ap

Los usos que se le pueden dar al ap se observan en la figura 24; sus aplicaciones se incrementan cuando se fracciona la palma, la hidrogenación y la interesterificación incrementan aún más sus usos, especialmente en los productos comestibles. ^{32,37,72,73,74}

Fig. 24 Diagrama de usos y aplicaciones industriales del ap. ^{32,72,73,74}



Entre los productos que se obtienen del ap se encuentran los siguientes:

- Margarinas.
- Shortenings.
- Vanaspati.
- Mantecas vegetales.
- Aceite para freír.

5.1. Margarinas

El ap y la estearina de palma pueden ser usados para las margarinas, pero el aceite de kernel o palmiste es especialmente usado para la elaboración de margarina, debido a sus características específicas.^{19,37,61}

El ap y la estearina de palma son buenas bases para el procesamiento de la margarina y los shortenings, por su contenido alto de sólidos que son requeridos para estos productos.

Una especificación típica de la margarina se observa en la tabla 30.

*Tabla 30. Contenido de sólidos grasos de la industria de las margarinas.*¹⁹

T °C	% sólidos
20	40-50
30	20-30
40	<10

Varios productos del ap pueden ser usados en porcentajes de 50 a 100% para las formulaciones industriales de las margarinas y shortenings.^{19,32}

5.2. Shortenings

Los shortenings son usados para impartir más calidad a los productos como galletas, pasteles pastas y pan.

Hay dos tipos de shortenings: los plásticos y los líquidos.

El ap a 20°C tiene de 22 a 25 % de sólidos y es un parámetro importante para la formulación de shortenings. Las galletas contienen alrededor de 30 a 40% de ap.^{19,61, 85}

5.3. Vanaspati

Es una alternativa a la mantequilla de origen animal, es un producto de textura sólida a temperatura ambiente. Originalmente se obtenía con aceites hidrogenados, pero la estearina de palma no requiere hidrogenación por las características similares a la de vanaspati, tales como el punto de fusión, el perfil de sólidos y la consistencia semisólida a la temperatura ambiente.⁵⁷

En la tabla 31 puede observarse cómo la formulación del vanaspati ha cambiado conforme se conocen más las ventajas del ap.^{19, 85}

*Tabla 31. Formulación estándar del vanaspati en los años 1983 y 1993.*¹⁹

Año de 1983		Año de 1993	
ap	25%	ap	80-100%
Estearina de palma	15%	Estearina de palma	0-20%
Aceites hidrogenados	60%	Aceites hidrogenados	0%

5.4. Mantecas vegetales

El punto de fusión del ap permite que pueda ser susceptible de usarse en la elaboración de base para mantecas. En combinación con la estearina puede ser usado para mantecas de buena calidad.

La interesterificación química y enzimática dan una alta calidad a los productos y una variedad más amplia para la industria.³⁴

A través del fraccionamiento del ap y también del kernel de palma se puede obtener una manteca con una consistencia parecida a la manteca de cacao.^{10,19, 85}

5.5. Aceites para freír

Comúnmente para freír se utiliza el ap RBD, la oleína de palma, mezcla de aceites, shortenings y las mantecas.⁵⁷

El ap tiene un olor agradable debido a la ausencia de ácido linolénico, tiene alta resistencia a la oxidación. Debido a la baja poliinsaturación no polimeriza las gomas.

Su mayor aplicación en el occidente es para freír papas y frituras en general, ya que es muy estable por su resistencia a la oxi-polimerización y su característica de ser no espumoso.^{16,74}

El ap tiene una excelente estabilidad oxidativa comparada con otros aceites y grasas, especialmente los aceites líquidos.¹⁹

Los aceites pueden ser mezclados. En específico la oleína puede mezclarse con otros aceites, aumentando la estabilidad que se tiene por separado en el aceite.⁶⁰

El ap se prefiere en la industria de freír porque el costo efectivo es menor, debido a que no produce gomas, y además porque los productos freídos con el aceite pueden ser almacenados hasta por seis meses sin que se arrancien.

Es importante hacer notar que cuando el aceite se ha utilizado en el freído no es necesario cambiarlo por otro lote, puede ser adicionado en el mismo lote sin que pueda haber incremento drástico de peróxidos.

El ap extraído de híbridos de tenera no es funcional para aceite de ensaladas a temperatura ambiente, porque se solidifica. La oleína de palma con un índice de yodo superior a 72 puede soportar temperaturas de -4°C sin que solidifique; las oleínas comunes tienen un IY de más de 53.^{32,68}

5.6. Usos no comestibles del ap

Los aceites y las grasas son generalmente usados en tres sectores del mercado: comestible, oleoquímicos y alimentos animales.

Muchas clases de químicos pueden producirse a partir de los aceites y grasas (oleoquímicos) o de los productos del petróleo (petroquímicos).

En Europa se ha optado por tomar la ruta de los oleoquímicos para sustituir a petroquímicos, mientras en E.U. se siguen prefiriendo las fuentes petroquímicas.³⁷

Dentro de los oleoquímicos se encuentran los ácidos grasos, que entre sus múltiples aplicaciones se utilizan para el procesamiento de detergentes, agentes antiestáticos, lubricantes y repelentes de agua para la industria textil.⁸⁶

Alrededor del 90% de la producción del ap se utiliza para la industria de alimentos; el otro 10% se utiliza en productos oleoquímicos entre los cuales se encuentran los pesticidas.⁷¹

Las grasas y los aceites son epoxidados, reaccionan con alcoholes polihídricos para dar polioles.

La producción de poliuretano involucra una reacción entre un polioliol y un poliisocianato en la presencia de un agente enlazante.

Hay dos tipos de poliuretano: los rígidos y los semirígidos.

La forma rígida es una de las más efectivas para la aislación de materiales y la forma semirígida se utiliza como relleno de empaque.⁶⁷

Las aplicaciones de los lubricantes se dividen en dos: la automotriz y la industrial.

Los aceites vegetales tienen un uso potencial como lubricantes debido a su buena lubricidad y biodegradabilidad, las desventajas son la poca fluidez a bajas temperaturas y la estabilidad oxidativa que soportan.

Las investigaciones sobre las diversas aplicaciones en donde se puede utilizar el ap continúan, aunque igualmente se sigue trabajando sobre los principales productos en donde se utiliza la palma como son: jabones, detergentes, lubricantes, cosméticos, combustibles, farmacéuticos, etcétera.⁶⁸

En el PORIM (Palm oil research institute of Malaysia) en el año de 1995 se trabajó con 20 automóviles a los cuales se les hizo una modificación en el pistón y se utilizó ap crudo como combustible.^{68,73}

Los escobajos, fibras y cáscaras se utilizan. Los escobajos son utilizados como paja, cuando se fermentan constituyen buen abono.

De los escobajos se pueden fabricar papeles, y también materia prima para la fabricación de tableros para carpintería con los cuales se pueden fabricar muebles.^{24,77}

6. Conclusiones

Esta investigación muestra que el ap es motivo de una gran actividad económica que impulsa la búsqueda de nuevos conocimientos en las áreas científica y tecnológica, con resultados sorprendentes.

Existe un gran desarrollo del ap en diversas líneas de la investigación, entre las que destacan: producción de la palma, extracción del aceite, productos derivados e incluso usos industriales no alimentarios. Las conclusiones que aquí se presentan son el resultado de grandes contribuciones para el desarrollo de esta enorme industria, razón por la cual es difícil abreviarlas. Sin embargo, pueden quedar resumidas de la siguiente manera.

- El ap se emplea en los productos domésticos y el porcentaje de participación en el mercado mundial en el año de 1995 fue de 8% con tendencia a crecer aceleradamente.

- El ap es uno de los aceites más transformados en el mundo.

- México es el segundo importador en América de ap (como crudo), después de EUA. Sus importaciones se han incrementado 33 veces más del año de 1985 al año de 1993, por lo que puede ser una propuesta atractiva, para la economía de nuestro país, invertir en la producción, transformación y comercialización del aceite de palma.

- La ventaja de la palma, en comparación con los aceites más comerciales, es que, además de la utilización del aceite como tal, se obtienen dos fracciones, la oleína y la estearina, y en el proceso se pueden obtener subproductos para la industria química y farmacéutica. También se obtienen los palmistes o el kernel que se utilizan en la fabricación de mantecas, y como sustituto de la manteca de cacao.

- El aceite de palma crudo, en comparación con otros aceites, tiene un valor de acidez elevado, por lo que las condiciones de su almacenado deben de cuidarse. Es importante que se almacene en tanques de acero inoxidable o tanques recubiertos de acero

inoxidable para evitar la contaminación por fierro y otros metales, ya que actúan como fuertes catalizadores de la oxidación.

- Durante el procesamiento de la palma hay ciertos puntos críticos los cuales deben considerarse para obtener un aceite con calidad y apegado a especificaciones. Para obtener una buena calidad, se debe evitar que los frutos sufran lesiones durante la cosecha y el transporte a la refinería; esterilizar los racimos perfectamente, evitar que los frutos y el aceite permanezcan demasiado tiempo en los equipos; evitar el calentamiento prolongado con el vapor cuando todavía lleva impurezas; mantener los equipos limpios, sobre todo los que tienen contacto directo con el aceite, y evitar al máximo el contacto con el aire.

- Las diferencias sustanciales en cuanto al procesamiento del ap revisten en la extracción del aceite del fruto.

- De los métodos para el procesamiento de palma, en la actualidad el más utilizado es el de refinación física, porque se obtienen menos pérdidas y un aceite de mayor calidad que el obtenido en el método químico.

- Las condiciones en el procesamiento de la palma varían de acuerdo a la variedad del fruto y la procedencia de éste, por lo que para conocer las condiciones de proceso, en el caso del método químico, se hace necesario trabajar con pruebas piloto para establecer el equipo adecuado con el que se va a procesar la palma. En el caso de la refinación física las condiciones tienen que establecerse con las pruebas piloto y en la práctica, ya que los equipos se diseñan de acuerdo a las capacidades y necesidades de la industria donde se transforma el aceite.

- Esta obra deja abiertas diversas líneas de investigación acerca de la producción, transformación y comercialización del ap.

7. Bibliografía

1. Abdullah, R., "1994 Prices of palm oil", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 41-44.
2. Abdullah, R., "1995/96 Prices of palm oil and other major oils and fats", *Palm oil developments*, 24, 1996, pp. 36-39.
3. Ab Gapor Md Top, "Palm vitamin E: A value added tocotrienol-rich fraction (TRF) from palm oil", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 7-17.
4. Ainie, K., Hamirin, K. y Peang-Kean, L., "Chemical and physical characteristics of soap made from distilled fatty acids of palm oil and kernel oil", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73 :1, 1996, pp. 105-108.
5. Aitzetmueller, K., "HPLC of triglycerides", *Fett-wissenschaft technologie*, 97 (4), 1995, pp. 127-131.
6. Ali, M., Hadi, DA., Islam A., "Pixe analysis of trace elementes in fats and oils", *Bangladesh journal of scientific and industrial research*, 30 (1), 1995, pp. 165-168.
7. Amiruddin, M. N., "Supply and disappearance- A review", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 38-40.
8. Amiruddin, M.N., "Supply and disappearance: A review", *Palm Oil developments*, 24, 1996, pp. 29-35.
9. Andersen, *Refinación de aceites y grasas*. Ed. Claraso Villarroel, Barcelona, 1956.
10. Anon, "Cocoa butter equivalents". *Food marketing and technology*, 8 (6), 1994, pp. 5-6.
11. Anon, "Oilseeds", *World commodity forecasts food, feedstuffs and beverages*. Abril 1994, pp. 16-23.
12. Anon, "Oilseeds", *World commodity forecasts food, feedstuffs and beverages*. Junio 1994, pp. 16-24.
13. Anon, "Oilseeds", *World commodity forecasts food, feedstuffs and beverages*, Aug. 1994, pp. 16-24.

14. Anon, "Oilseeds, World commodity forecasts food, feed-stuffs and beverage". *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, Abril, 1995, pp. 17-24.
15. Anon, "Sabah is the key to growth for malasia", *Oils and fats international*, 11 (5), 1995, pp. 41.
16. Aukrust, TW., "Influence of brine composition on yield and quality of deep-fried fermented carrot chips", *Lebensmittel-Wissenschaft und technologie*, 28 (1), 1995, pp. 100-104.
17. Basiron, Y., *Aceites y grasas industriales*, Ed. Wiley Interscience, 1979. Vol 4, pp. 423-651.
18. Basiron, Y., *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Ed. Wiley Interscience, quinta edición 1996, Vol 2, pp. 271-375.
19. Basiron, Y., Minal Johari., "Global acceptance of malaysian palm oil", *Palm oil technical bulletin*, marzo, 1996, pp. 3-15.
20. Basiron, Y., "Palm oil: old myths, new facts", *Inform*, 5 (9), 1994, pp. 977-980.
21. Birtigh, A., Johannsen M. y Bronner, G., "Supercritical fluid extraction of oil palm components", *Journal of supercritical fluids*, 8 (1), 1995, pp. 46-50.
22. Brennan, J. G., *Las operaciones de ingeniería de los alimentos*, Ed. Acribia, España, 1970.
23. Chawla, P., Maan JM., "Effect of temperature cycling on the crystalline form, size and textural properties of shortenings fats", *Journal of texture studies*, 25 (2), 1994, pp. 151-162.
24. Chong, C. L., Rasid M., Jaais M., "Minor components of palm oil", *Palm oil technical bulletin*, julio 1995, pp. 6-7.
25. Choo, Y. M. y Yap S., "Recovered oil from palm-pressed fiber: A good source of natural carotenoides, vitamin E, and sterols", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73:5, 1996, pp. 599-602.
26. Choo, Y. May, "Carotenoids from palm oil", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 1-5.

27. Choo, Y. M., Ma A. N., "Separation of crude palm oil components by semipreparative supercritical fluid chromatography". *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73:4, 1996, pp. 523-525.
28. Choo, Yuen May, "Palm oil carotenoids", *Food and nutrition bulletin*, 15 (2), 1994, pp. 130-137.
29. Choudhury, N., "Comparison of palmolein and olive oil: effects on plasma lipids and vitamin E in young adults", *American Journal of clinical nutrition* 61 (5), 1995, pp. 1043-1051.
30. Chow, M.C., Ho C. C., "Properties of palm oil in water emulsions: effect of mixed emulsifiers", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73 :1, 1996, pp. 47-53.
31. Cvengros, Ján, "Physical refining of edible oils", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 72:10, 1995, pp. 1193-1196.
32. Demad, L. y Deman, J. M., "Funtionality of palm oil in margarines and shortenings", *Lipid technology*, 6 (1) 1994, pp. 5-10.
33. Desai, B.J. y Dubash, P. J. "Recovery of carotenes from crude oil by adsorption method", *Journal of food science and technology, India*, 31 (1), 1994, pp. 60-61.
34. Dominic, W. S., "Lipids". *Mechanism and theory in food chemistry*, Ed. Van Nostrand Reinhold, New York 1989, cap. 1.
35. De Bussy, L. H., *Materials and technology*, Ed Logman, New York, Vol VIII, 1975, pp. 41-108.
36. Deffense, E., "Usage of steam in physical refining", *Oils and fats international*, 11 (1) 1995, pp. 24, 26-27, 29.
37. Elias, B.A., Pantzaris T.P., "Technical uses of oils and fats", *Palm oil technical bulletin*, julio 1995, pp. 8-9.
38. Francis, FJ., "Carotenoids as colorants", *World of ingredients*, Sep/Oct., 34-35, 1995, pp. 37-38.
39. Fan Wenxum, "Food uses of palm oil in China", *Food and nutrition bulletin*, 15 (2), 1994, pp. 147-148.

40. Fitch, H. B., "Mechanical extraction", *Inform*, 8 (2), 1997, pp. 165-173.
41. George, S. y Arumughan, C. "Lipid profile of developing oil palm fruit", *Journal of food science and technology, India*, 32 (1), 1995, pp. 22-26.
42. Good, CM., "Latin american oil consumption increasing", *Inform*, 5 (10), 1994, pp. 1102-1104, 1106-1116.
43. Halmiton, R. J. y Bhati, A., *Recent advances in chemistry and technology of fats and oils*, Ed. Elsevier Applied Science, New York, 1980.
44. I. A.S.A., *Boletín informativo*, 1996.
45. Ibuki, M., Imamura, Y. y Nishimoto, T., "Process for producing a high carotene content oil", *European patent application*, 1995.
46. Informativo semanal, bolsa de comercio de Rosario. *Producción de semillas oleaginosas a nivel mundial*, 4 (16), 1994, pp. 33-34.
47. Kalyana, S. y Chandrasekharan, N., "Minor Components in edible oils and fats: their nutritional implications", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 22-26.
48. Kellens, I. M., "Desarrollos en la tecnología de fraccionamiento", *Aceites y grasas*, dic., 1995, pp. 406-419.
49. Khosla, P., "Cholesterolaemic effects of the saturated fatty acids of palm oil", *Food and nutrition bulletin*, 15 (2), 1994, pp. 119-125.
50. Kirschenbaver, H.G., *Grasas y aceites. Química y tecnología*, Ed. Reinhold Publishing Corporation. New York, 1960.
51. Kohiyama, M. y Kanematsu, H., "Studies on the behaviour of trace components in oils and fats during processing for edible use", *Journal of the japan oil chemists society*, 43 (3), 1994, pp. 251-254.
52. Krause, T., "Influencing the bleaching process of vegetable oils", *Fett-wissenschaft technologie*, 97 (5), 1995, pp. 171-177.
53. Liew, K. Y., Nordin, M. R. y Goh, L.S., "Reaction of carotenes in palm oil with acid", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 71 (3), 1994, pp. 303-306.

54. Mag. T. K., "Blanqueo: Teoría y práctica", *Aceites y grasas*, 4 (16), 1994, pp. 49-60.

55. Minal, J., "Colour reversion of refined palm oil: cause and remedy", *Palm oil technical bulletin*, Nov. 1996, pp. 2-7.

56. Mohankumar, C., Arumughan, C., Kaleysa, R. R., "Histochemical changes in mesocarp of oil palm (*Elaeis guineensis*) fruit during development"; *Journal of food science and technology, India*, 31 (1), 1994, pp. 19-21.

57. Mohd, S., Noor Lida Habi Mat Dian, "Trans Free Formulation: Ashort Review", *Palm oil developments*, 22, 1995, pp. 33-37.

58. Murakami, C. y Chimi, K., "Effect of processed oils and fats on cholesterol metabolism", *Journal of the japan oil chemists society*, 43 (12), 1994, pp. 1062-1067.

59. Nestel, P., Clifton, P., Noakes, M., "Effects of increasing dietary palmitoleic acid compared with palmitic and oleics acids on plasma lipidis of hypercholesterolemic men", *Journal of lipid research*, 35 (4), 1994, pp. 656-662.

60. Norainil, I., Embongm, MS., "Physical characteristics of shortenings based on modified palm oils, milkfat and low melting milkfat fraction", *Fett-wissenschaft technologie*, 97 (7/8), 1995, pp. 253-260.

61. Norainil, I., "Chemical and physical propieriets of shortenings based on palm oil and milkfat", *Asean food journal*, 9 (4), 1994, pp. 141-146.

62. Ntiamoah, C., Rowland, G. y Taylor DC., "Inheritance of elevated palmitic acid in flax and its relationship to the low linolenic acid", *Crop science*, 35 (1), 1995, pp. 148-152.

63. Ny Kock Wai, "A critical review of the cholesterolaemic effects of palm oil", *Food and nutrition bulletin*, 15 (2), 1994, pp. 112-118.

64. Ooi, C. K. y Bhaskar, A., Yener M. S., Tuan D.Q., "Continuous supercritical carbon dioxide processing of palm oil", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73:2, pp. 1996, 233-237.

65. Ooi, C. K., Choo, Y. M. y Yap, S. C., "Recovery of carotenoids from palm oil", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 71 (4), 1994, pp. 423-426.
66. Othman, JB., Houston, JE., "Noneconomic distottions in international agricultural trade: the case of palm oil in the U.S.", *Journal of international food and agribusiness marketing*, 7(2), 1995, pp. 79-89.
67. Parthiban, S., Salmiah, A. y Ooi T.L., "Development of palm-based polyurethane foams-An overview", *Palm oil developments* 24, 1996, pp. 1-5.
68. PORIM, "Palm oil update", *Inform*, 6:8, 1995, pp. 887-890.
69. Rajanaida, N., "Q' seeds quality oil palm planting material", *Palm oil development*, 20, marzo, 1994, 1-5
70. Ravigadevi, Sambanthamurthi, "Factors affecting lipase activity in *Elaeis guineensis* mesocarp", *Plant physiology and biochemistry*, 33 (3), 1995, pp. 353-359.
71. Rosnanh, I., "Fatty acid derivatives as textile auxiliaries", *Palm oil developments*, 24, 1996, pp. 11-16.
72. Rubaah, M., "Applicaton of vegetable oils and their oleochemicals in pesticide formulations", *Palm Oil developments*, 24, 1996, pp. 17-21.
73. Salmiah, A., Zainab, I., Rubaah, M., "Oleachemical industrial in Malaysia-towards value addition", *Palm oil technical bulletin*, mayo 1996, 2-5.
74. Sebedio, J L. Bonput A., "Lipid compositon of some commercial frozen prefied french fries", *Fett-Wissenschaft technologie*, 96 (6), 1994, pp. 235-239.
75. Segers, J. C., "Pretreatment of edible iols for physical refining", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 60:21, 1983, pp. 214A-216A.
76. Siew, W., . Chong, C., Tan Y. , "Composition of the oil palm kernel from *Elaeis guineensis*", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 72:12, 1995, pp. 1587-1589.

77. Surre, C., Ziller, R., *La palmera de aceite*, Ed. Blume, 1969, pp. 145-200.
78. Transfeld, P., Schnelder, M., "Countercurrent system cuts bleaching costs", *Inform*, 7:7, 1996, pp. 759-767.
79. Varios, Producción, análisis y control de calidad de aceites y grasas comestibles, Ed. AMV., Madrid, 1988, pp. 10-23, 45-70.
80. Valdes, M. Sara E., Obtención de aceite de palma china "yucca filifera", Facultad de Química, UNAM., 1979, pp. 111.
81. Wai-Lin Siew, Wee-Lam, Ng., "Effect of diglycerides on the crystallisation of palm oleins", *J. Sci. Food Agric.*, 71:4, 1996, pp. 496-501.
82. Wai Lin Siew, "Diglyceride content and composition as indicators of palm oil quality", *Journal of the science of food and agriculture*, 69 (1), 1995, pp. 73-79.
83. Wai Lin Siew, "Silica refining of palm oil", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 71 (9), 1994, pp. 1013-1016.
84. Wiberg, E. y Bafor, M., "Medium chain length fatty acids in lipids of developing oil palm kernel endosperm", *Phytochemistry*, 39 (6), 1994, pp. 1325-1327.
85. Yin-Sy., Zong-MH., Liu-Y., "Production of cocoa butter substitute", *Food and fermentation industries*, 2, 1995, pp. 17-21.
86. Yeong, S. K., "Vegetable Oil and its derivatives for lubricants", *Palm oil developments* 24, 1996, pp. 6-10.
87. Yew Ai Tan., Ainie, Kuntom, "Hydrocarbons in crude palm kernel oil", *Journal of the AOAC international*, 77 (1), 1994, pp. 67-73.
88. Zaizi, D., Dzulkefly, S. K. y Anuar, K., "Malaysian red palm oil in a surfactant association structure", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73:1, 1996, pp. 153-155.