

2 Ej. No. 2



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

"DESARROLLO DE UN PROCESO ENZIMATICO PARA LA
OBTENCION DE ACEITE DE COCO"

T E S I S

Que para obtener el Título de

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P r e s e n t a

OCTAVIO CINTRA Mc. GLONE

1984



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.

I N D I C E

	Página
Capítulo I	
Introducción	1
Objetivo	5
Capítulo II	
La industria del coco	9
Capítulo III	
Biomoléculas	35
Capítulo IV	
Materiales y Métodos	63
Capítulo V	
Resultados	68
Capítulo VI	
Resumen, conclusiones y recomendaciones	93
Bibliografía	98

CAPITULO I

INTRODUCCION

Parece ser que los primeros intentos para procesar - las semillas oleaginosas ocurrieron antes del amanecer de la historia. Las antiguas escrituras de la India hablan- de la molienda y subsecuente hervido de la semilla de al- godón para la recuperación de aceite. Dicen que los anti- guos chinos obtenían aceite triturando las semillas olea- ginosas por medio de una piedra filosa, calentaban la masa obtenida en un recipiente abierto y presionaban ésta masa con una gran piedra.

Más adelante varios tipos de prensa y prensas de tor- nillo manual fueron inventadas por griegos y romanos. No se sabe cual de los dos aceites, si el de oliva ó el de - coco, ha sido el que se ha usado por más tiempo, pero no- hay duda de que la extracción del aceite es una de las -- más antiguas industrias en el mundo.

El desarrollo de la prensa hidráulica fue el gran a- delante en el procesamiento de las semillas oleaginosas, - tal prensa fue patentada en Inglaterra en 1795 por Joseph Bramah. La primera fábrica para la extracción de aceite- de coco fue construida en Inglaterra por W. Tindall en - 1842 y aproximadamente en el mismo año, la industria fue- introducida a Francia. El procesamiento hidráulico se -- volvió el método predominante en la industria de las semi- llas oleaginosas y continuó así hasta el siglo XX. Sus - altos requerimientos de operación y su recuperación no -- tan eficiente han causado que pierda prestigio en los pro- cesos continuos.

Los métodos continuos de procesamiento que incluyen prensas de tornillo y extracción por solventes fueron de- sarrollados en el siglo XX, sin embargo, pocos sistemas - continuaron en operación antes de la primera guerra mun- dial. La prensa de tornillo se usó ampliamente en los -- Estados Unidos antes de la segunda guerra mundial y la ex- tracción por solventes le siguió, pudiendo afirmarse que los dos procesos se desarrollaron juntos.

La mayoría de las plantas modernas para procesar el coco emplean cualquiera de éstos dos métodos ó una combinación de los dos; cualquiera que se use depende de las condiciones locales y del capital disponible. En general una planta de extracción por solventes requiere de un capital más elevado.

En el presente, el total de la producción mundial de aceites y grasas es de más de 61 millones de toneladas (Mt.) anuales y puede ser dividida en tres grandes categorías:

- 1.- Productos de consumo: Mantequilla, lardo, aceite de oliva, etc.
- 2.- Aceites comestibles: Soya, palma, coco, etc.
- 3.- Aceites industriales: Linaza, castor, etc.

Del total de la producción, alrededor de 40 Mt. son consumidas dentro de los países productores, dejando alrededor de un tercio (21 Mt.), para satisfacer las necesidades de los países importadores.

El uso predominante de aceites y grasas es para propósitos comestibles. Entre los aceites comestibles (41 Mt.), la principal materia prima es la soya (14 Mt.), junto con el aceite de girasol y el de palma contribuyendo cada uno con más de 5 Mt. En una menor escala se encuentran los aceites de coco, nabo y algodón, contribuyendo cada uno con alrededor de 3 Mt. a nivel mundial (Tabla 1).

Sin embargo, en el balance de producción contra consumo, existe un marcado contraste entre los países desarrollados por un lado y los países en vías de desarrollo por el otro. La relación de consumo en los países en vías de desarrollo se ha incrementado en un 7.5% comparado con un 3% de los países desarrollados. En los países desarrollados y con gran capital, el consumo interno de aceites y grasas es ampliamente satisfecho, encontrándose de alrededor de 18.4 Kg. per cápita anual. Por otro lado, el consumo no muestra un incremento con el ingreso per cápita -

(Tabla 2).

En los países en vías de desarrollo, con niveles de consumo per cápita de no mayores de 7.5 Kgs. al año, los altos consumos en grasas son generados por un ingreso creciente. La relación de incremento en producción de aceites en los países en vías de desarrollo es significativamente más baja que la de los países desarrollados.

Ante ésta situación, mientras que los países desarrollados incrementan su producción en más del 6% anual, la mayoría de los países en vías de desarrollo solo lo hacen con una tasa del 2% anual. Las excepciones son Malasia, Brasil y Argentina que están en éste respecto adelante de los otros países en vías de desarrollo. (Tabla 3).

Durante la pasada década, mientras que los países en vías de desarrollo incrementaban su consumo en 8 Mt., la mayoría de éstos países incrementaban su producción solo en 2 Mt. Por otro lado, los países desarrollados incrementaban su consumo solo en 3.7 Mt. mientras que incrementaban su producción en 7.8 Mt.

Este creciente desajuste es uno de los tantos ejemplos que muestran la problemática de los países en vías de desarrollo, ya que la importación de aceites y grasas se hace necesaria debiendo en vez de esto, de importar tecnología y materia prima de los países desarrollados.

Siendo México un país en vías de desarrollo necesita, por lo expuesto anteriormente, de importar aceites y grasas, más sin embargo, México ocupa el 6° lugar a nivel mundial en producción de cocos. Filipinas, Indonesia, Sri Lanka, Malasia y México producen 27 billones de cocos por año, por lo cual, tiene un vasto recurso de donde obtener aceite para sus propias necesidades.

Aunque la industria de la copra es relativamente eficiente en general para el objetivo por el cual fué desarrollada (extracción de aceite), las pérdidas del aceite desde el árbol hasta el producto terminado son considerables.

Los métodos modernos para secar el coco y los usados para procesarlo permiten obtener un aceite de alto grado y con pocas pérdidas. Las pérdidas pueden llegar hasta el 30% del aceite:

- 1.- Hasta el 10% del aceite contenido en el coco se puede llegar a perder debido a la contaminación microbiana que sufre durante el proceso de secado al sol.
- 2.- Otro 10% se puede llegar a perder debido a los ataques de insectos y roedores durante el secado, almacenamiento y transporte.
- 3.- Aproximadamente el 5% del aceite permanece en la cõpra después de la extracción. (Algunos países emplean técnicas de recuperación por solventes).
- 4.- Generalmente el aceite obtenido tiene que ser refinado, ya que se producen ácidos grasos libres durante el secado al sol. Dependiendo del contenido de ácidos grasos libres, al menos, alrededor del 5% del aceite se puede perder durante el proceso de refinación.

Por tanto, en las últimas dos décadas se ha puesto gran interés en la creación de procesos húmedos de tal forma que eliminen los pasos de secado y obtención del aceite por prensado. Desafortunadamente éstos métodos alternativos no han probado ser económicamente viables, una razón importante parece ser el que no haya una efectiva transferencia de los datos obtenidos en el laboratorio vía planta piloto a una producción a nivel industrial.

OBJETIVO

El objetivo de éste trabajo es desarrollar un nuevo método en húmedo tendiente a minimizar las pérdidas producidas por el antiguo proceso de la copra, éste desarrollo implica encontrar cuales enzimas pueden liberar la grasa presente en el coco, y una vez encontradas, lograr la optimización de éste nuevo proceso para poderlo aplicar a nivel industrial y de éste modo obtener mayores beneficios tanto en la recuperación como en la calidad del aceite.

La hipótesis de éste trabajo es la siguiente: Se supone que la grasa se encuentra dentro de las células vegetales de la carnaza de coco por lo que para separar ésta grasa, es necesario romper las células. A mayor porcentaje de células rotas habrá mayor recuperación de aceite. Esta grasa se encuentra estabilizada por macromoléculas vegetales como son: Proteínas, carbohidratos, lípidos, celulosa, hemicelulosa y almidón. En su mayoría éstas macromoléculas pueden ser hidrolizadas por enzimas específicas.

TABLA 1. EL MERCADO MUNDIAL DE ACEITE Y GRASAS 1979-80
Mt. (SEMILLAS Y ACEITE EN TERMINOS DE ACEITE).

	Producción Mundial	Exportación Mundial
Productos de consumo:		
Mantequilla, lardo, etc.	11.9	1.5
Aceites comestibles:		
Soya	14.1	6.9
Palma	5.0	3.2
Girasol	5.7	1.6
Coco	2.9	1.3
Nabo	3.3	1.1
Aceites marinos	1.2	0.8
Cacahuete	3.0	0.7
Algodón	3.1	0.4
Otros	2.6	0.5
Total	40.9	16.5
Aceites y grasas industriales:		
Linaza, castor, sebo, etc.	7.6	2.8

Fuente: Chemistry and Biology - an Interface in oils.
 Thomas Thomas.
 Revista: Chemistry and Industry, 17 July 1982.
 Pág. 485.

**TABLA 2. CONSUMO Y PRODUCCION MUNDIAL DE ACEITES
COMESTIBLES.**

<u>Consumo</u>	Relación anual de crecimiento	1979/80	1969/70
	%	Mt.	Mt.
Países desarrollados	3.0	14.4	10.7
Países en desarrollo	7.5	16.7	8.6
Países centrales	4.5	7.9	5.1
Mundo	4.75	30.0 ⁺	24.4

Producción

Países desarrollados	6.5	16.4	8.6
Malasia	18.0	2.9	0.6
Brasil	14.5	2.6	0.7
Argentina	12.25	1.3	0.4
Otros países en desarrollo	2.25	10.8	8.6
Países centrales	2.25	6.9	5.5
Mundo	5.25	40.9 ⁺	24.4

+ Diferencia que refleja el residuo estadístico y/o lo que se encuentra acumulado en almacén.

Fuente: Chemistry and Biology - an interface in oils.
Thomas Thomas.

Revista: Chemistry and Industry p. 485.

**TABLA 3. COMERCIO MUNDIAL DEL TOTAL DE ACEITES
COMESTIBLES.**

	Exportaciones		Importaciones	
	1979/80	1969/70	1979/80	1969/70
	Mt.		Mt.	
Países				
desarro-	8.977	4.038	8.349	6.095
llados				
Malasia	2.624	0.454	0.081	0.026
Brasil	0.906	0.128	0.202	0.010
Argentina	1.054	0.128	0.004	0.003
Total	13.6	4.7	8.6	6.1
Otros				
Países en				
desarrollo	2.6	2.9	6.8	1.9

Fuente:

Chemistry and Biology - an interface in oils.

Thomas Thomas.

Revista: Chemistry and Industry, 17 July 1982.

Pág. 485.

CAPITULO II

LA INDUSTRIA DEL COCO

I. Introducción.- El cocotero (*Cocos nucifera* L.) - es la más importante de las palmas, cultivado desde hace siglos, el cocotero viene siendo uno de los principales - cultivos del mundo. Su fruto, el coco, es la nuez más - importante del mundo. (Popenoe 1962). El cocotero es cul- tivado en diversas regiones, con diferentes propósitos: - En las Filipinas se cultiva como el mayor componente de - su agricultura e industria, la cual, es la que representa los mayores ingresos para este país.

En la India y Sri Lanka éste cultivo es importante - ya que proporciona comida y refugio para millones de nati- vos, es además materia prima para muchas pequeñas indus- trias dedicadas a la manufactura de productos a partir de cáscaras, conchas, carna, hojas, tallo y troncos de coco.

En el comercio internacional circula una gran varie- dad de productos derivados del mismo, la copra, es decir, la semilla seca, es una importante fuente de aceite vege- tal. Al molerla y prensarla, libera aceite de coco, que se emplea mucho como aceite comestible e industrial y la torta de copra, valioso pienso especialmente útil para - la alimentación del ganado lechero. La semilla de coco, - picada y molida en condiciones higiénicas, origina coco - desecado muy utilizado en la industria panadera y confite- ra. El casco duro se consume principalmente como combus- tible "in situ", pero una parte se transforma en carbón - vegetal parte del cual se exporta a países desarrollados para su conversión en carbón activado. Se utilizan peque- ñas cantidades para fabricar envases, ornamentos, cucha- ras y botones.

El casco finamente molido se usa en pequeña propor- ción como carga en termoplásticos. La cáscara fibrosa da una fibra importante que se conoce con el nombre de bono- te ó coir. Partiendo de los cocos inmaduros se produce - una fibra fina que es adecuada para su transformación en fibra de bonote, mientras que los cocos maduros dan las --

fibras más toscas para colchones y fibras para cerdas.

Es así como el fruto, hojas y madera del cocotero, - proporciona a muchos millares de propietarios alimentos, - bebidas, combustible y alojamiento, confirmando así lo -- que dice una vieja leyenda:

El coco es un regalo de Dios al hombre flojo, ya que éste, duerme bajo la sombra de su árbol, se despierta -- cuando la nuez le cae encima, bebe su agua y come un poco de su carne. dejando el resto de la carne para alimentar a sus gallinas y ganado, que producen huevos, leche y carne. Las hojas le dan material para construir su cabaña y también sirven para confeccionar sombreros, canastas y ta petes". (Long 1962).

II. Producción mundial y nacional y usos de los productos y subproductos.- Seis países, principalmente de áreas tropicales: Filipinas, Indonesia, India, Sri Lanka, Malasia y México, producen aproximadamente 27 billones de nueces por año, partiendo de 0.7 a 1.0 billón de cocoteros, los cuales están cultivados en 16 millones de acres. Las Filipinas aportan el 37.25% de la producción mundial de coco, el 52.74% de la producción mundial de copra y al rededor del 64% del total mundial de exportaciones en lo que respecta a copra y aceite de coco en forma conjunta. (Tabla 2.1).

En lo que respecta a la producción nacional ver las tablas 2.2 y 2.3.

II.1. Utilización de las cáscaras de coco.- La cáscara de coco es el mesocarpio fibroso localizado entre el exocarpio duro, ó cubierta exterior, y el endocarpio, ó envolturadura que encierra a la semilla e incluye el exocarpio mismo. Constituye aproximadamente el 35% del peso total del fruto maduro. Es subproducto de la elaboración de copra y coco desecado, encontrándose frecuentemente en los-

campos cocoteros grandes montones de cáscaras, que proporcionan grandes focos de cría de roedores y plagas de insectos. El valor principal de la cáscara de coco estriba en su contenido de fibra, aunque su valor como fuente de potasa y para cobertura del suelo no debe pasarse por alto. También proporciona combustible para los secadores indirectos de copra, pero, no es recomendable su empleo en hornos de encedido directo, ya que daría lugar a un producto ahumado.

Frecuentemente, las cáscaras se queman para producir cenizas, que son empleadas como fertilizantes para los árboles. Sin embargo, éste método no se considera tan beneficioso como enterrar las cáscaras en el suelo. La ceniza preparada en condiciones adecuadas suele tener entre 25y 35% de potasa. La cáscara de coco puede usarse para conservar la humedad del suelo. Se coloca una capa de cáscaras dispuestas en anillo, con el lado convexo hacia arriba, desde unos 0.3m desde la base de la palma, hasta una distancia de 1.8 a 2.1m. Este método ayuda a conservar la humedad durante los períodos de sequía.

Además, cuando se aplica fertilizante, una cubierta de cáscaras ayuda a reducir el fuerte crecimiento de malas hierbas alrededor de la base de la planta.

Fibra de bonote.- La fibra de bonote se obtiene a partir de la cáscara de coco. Hay tres tipos principales de fibra: La más fina se conoce con el nombre de fibra de esteras ó hilo y es adecuada para hilar dando hilo de bonote para hacer esteras y cuerdas. Una fibra más tosca, -- que se conoce con el nombre de fibra de cerda, se emplea para hacer cepillos. Finalmente una fibra más fina y corta, conocida con el nombre de fibra para colchones, que se emplea para colchonería, tapicería, etc. Estos pueden considerarse verdaderos subproductos de otras formas de elaborar el coco. En los países en desarrollo, que absorben las dos terceras partes de la producción mundial de -

fibra de bonote, se usa hilo principalmente en esteras y esterillas, incluida la tela y otros revestimientos para techos falsos y para aislamientos acústicos, alfombras -- con pelo de bonote y felpudos para las puertas de apartamentos. También encuentra aplicación para atar las uvas y el lúpulo, en ciertos tipos de cordelería marina, en nasas para langostas y como filtros de aceite, defensas de barcos y cables de telégrafo en mares profundos.

La fibra de cerdas se viene usando tradicionalmente en cepillos y escobas, pero recientemente ha aumentado su empleo en la preparación de rellenos de bonote cauchutado para tapicería. La fibra de colchones se usa principalmente como relleno de colchones de muelle interno, pero entre las nuevas aplicaciones figura su uso en las instalaciones de acondicionamiento de aire y aislamiento acústico. La fibra de colchones y la cuerda rizada, rociada -- con latex, se usa en forma de bonote cauchado para amortiguadores en automóviles y material rodante ferroviario, en envolturas protectoras para embalar mercancías frágiles, ó para ser lanzadas en paracaídas, ó guarnecer filtros de aire. En el lejano Oriente ó a lo largo del Golfo Pérsico, La fibra de bonote se emplea en cuerdas y bramantes, cordelería naval, las cuerdas para la industria de la madera y bramantes para horticultura.

En la mayoría de éstas aplicaciones el bonote no compete directamente con ninguna otra fibra dura. En bramantes para atar el lúpulo, en nasas para langostas y en sacos para la colecta de algas marinas, su absorción de humedad, la resistencia al agua de mar y a la manipulación -- fuerte a la competencia de fibras sintéticas y otras, pero se registran incursiones de éstas. La producción de fibra de bonote origina grandes cantidades de polvo de bonote y otro material de desperdicio, cuya eliminación constituye un problema considerable a gran escala. Los desperdicios de bonote no arden facilmente y si se dejan en montones -

alrededor de las palmas de extracción de fibra, proporcionan un ambiente ideal para la proliferación de roedores e insectos.

Se han probado que los residuos de bonote tienen un valor agrícola limitado. Constituyen una valiosa cobertura para el suelo, particularmente en el cultivo de cítricos. Absorben una cantidad ocho veces mayor que su peso de agua, de la que se desprende con bastante lentitud. Se ha comprobado que el 2% mezclado con suelo arenoso aumenta la capacidad de retención de agua de éste último en 40%. Sin embargo, toda la potasa que pudo haber en el residuo se eliminó en el proceso de fabricación de la fibra por lo que éstos desperdicios no tendrían utilidad como abono. Se ha sugerido que el polvo de bonote podría usarse como carga activa en las industrias de los termoplásticos, como absorbentes para la fabricación de explosivos de nitroglicerina y como fuente de furfural.

II.2. Utilización de los cascos de coco.- Es imposible calcular con exactitud el porcentaje de cascos de coco disponibles que se utilizan para los distintos fines - en todo el mundo, pero teóricamente se puede calcular que se dispone de más de 4 millones de toneladas de cascos. En todos los países productores, los cascos de coco son usados como combustible, principalmente para la producción de copra, pero también se destinan para fines domésticos; sin embargo gran parte de éstos se pierde. Los cascos de coco no gozan de gran aceptación como combustible para calderas, debido al efecto corrosivo de los gases de combustión agravado por las altas temperaturas que se alcanzan.

El producto más importante derivado del casco de coco es el carbón vegetal, el cual es muy usado en los países de origen como combustible (poder calorífico = 7500-7600 cal / g en base seca) en ocasiones para encender hornos de copra, pero con mayor frecuencia por orfebreros,

-ros, lavanderías, fábricas de pan, etc. También se exportan cantidades importantes a países industrializados para la fabricación de carbón activado.

Un segundo producto derivado del casco de coco es la harina de cascos de coco, empleada como carga activa en la industria de los termoplásticos y como abrasivo para la limpieza de maquinaria. Frecuentemente los cascos que sobran de las plantaciones de cocoteros se emplean para la construcción de carreteras. Se han utilizado también para forrar los pozos de petróleo durante la perforación. Se han hecho intentos para preparar ladrillos y paneles de construcción a partir de cascos de coco. El casco de coco tiene la proporción relativamente elevada de pentosanos, que por hidrólisis, dan pentosas que pueden deshidratarse para formar furfural. Se asegura que el contenido de cenizas del casco de coco es un sucedáneo útil del fertilizante potásico, sin embargo, se necesitan enormes cantidades de cascos para producir cantidades apreciables de ceniza.

Gran parte de los cascos de coco disponibles están repartidos, en pequeñas cantidades, en las distintas fincas por toda la zona de cultivo de coco. Esto hace poco factible el crear una industria basada en los cascos.

II.3. Utilización de la madera del cocotero.- En Samoa Occidental, donde a principios de 1975 comenzó la elaboración de postes para cerca en gran escala, se decidió utilizar los troncos de los cocoteros aserrados, partidos en cuatro, eliminando el segmento tierno más blando. Se ha comprobado que la conservación en soluciones salinas da buen resultado en postes secados al aire libre durante varios meses, apilados.

El uso tradicional de madera procedente de troncos de cocotero en forma de soportes y vigas de está perfeccionando por medio de tratamiento de impregnación con agentes

de preservación, que permite emplear postes en contacto con el suelo. A base de una investigación de las propiedades resistentes de la madera aserrada de cocotero en Nueva Zelanda, se ha llegado a la conclusión de que pueden obtenerse buenos elementos estructurales de hasta 10 x 5 cms a partir de la zona exterior dura del tronco. La parte blanda del tronco, (parte interna), estructuralmente más débil, no debe rechazarse para la construcción de casas, puesto que ésta madera, ajustandose a las normas aplicables a casas baratas en regiones tropicales, puede usarse para elementos que no tienen que soportar cargas.

En Filipinas se han construido recientemente casas dotadas experimentalmente de tablas solapadas verticales de madera blanda de cocotero. La solapadura de tablas, -- conservadas en soluciones salinas, se moldea en forma de losas saledizas. Como el cocotero rara vez se ramifica, la madera tiene la ventaja de que crece sin nudos. Esto permitiría emplear secciones mucho menores que con madera corriente. La madera de cocotero dura, requiere taladrar se primero antes del clavado.

Se ha sugerido que la creciente demanda de pasta y papel, cubierta por los bosques tradicionales, podría justificar la investigación de la viabilidad de fabricar pasta y papel a partir de madera de cocotero en zonas en que se estan derribando grandes cantidades de palmeras viejas.

En Tanga, un estudio de los procedimientos para convertir madera de cocotero en carbón vegetal ha demostrado que el procedimiento puede realizarse eficazmente en un horno móvil y barriles de 200 litros provistos de conductos de aereación. Este carbón vegetal, aunque es ligero, podría mezclarse con el carbón de casco de coco, más denso, para el mercado de carbón para barbacoas. El elevado contenido de humedad de la madera del cocotero y la dificultad de rajarla han hecho que sea menos apreciada en comparación con otros combustibles de madera. Sin embargo, como

la madera de cocotero tiene un poder calorífico parecido al de la madera blanda y algo mayor que el de la madera dura, puede considerarse una fuente potencial de combustible para usos domésticos e industriales.

Setas comestibles.- La especie comestible " Auricularia polytricha ", crece bien sobre troncos de cocotero y se vende fácilmente en China y otros lugares. Tonga exporta anualmente 30 toneladas de Auricularia, recogida en medio silvestre. En Nueva Zelanda, se ha propuesto un estudio sobre el modo de cultivar éstas setas para conseguir el máximo rendimiento y calidad. En Filipinas está en marcha el cultivo en pequeña escala, de las especies Auricularia y Pleorotus en el laboratorio de micrología del -- Instituto Nacional de ciencia y Tecnología.

El cultivo de setas comestibles aumentaría los beneficios de la madera de coco.

II.4. Utilización del agua de coco.- Mientras que el agua de coco tierno es una bebida importante en las zonas de producción de coco, y se consume diariamente grandes cantidades, el agua de coco maduro, subproducto de la copia y del coco desecado, suele ocasionar considerables -- problemas en cuanto a su eliminación. En gran escala, -- por ejemplo en una fábrica de coco desecado, por término medio 1000 cocos contendrán 140 litros de agua de coco, -- por lo que, en una fábrica que trate 800 000 cocos diarios producirá 112 000 litros de agua en el mismo tiempo. Aun cuando se han hecho intentos para utilizar el agua de coco recogida en grandes volúmenes, ninguno hasta la fecha parece haber resultado económicamente viable.

El agua de coco maduro no es una fuente importante de carbohidratos, ya que la concentración de éstos es pequeña y además contiene considerables cantidades de otras materias orgánicas e inorgánicas. La producción industrial

del alcohol por fermentación no presenta interés, aunque una fermentación adicional dará una solución diluida (al rededor del 0.5%) de ácido acético. En las Filipinas se ha sugerido la posibilidad de emplear la bacteria "Acetobacter rances" para obtener vinagre a partir de agua de coco enriquecida con sacarosa.

En ocasiones, el agua de coco se recoge en fincas -- que fabrican copra y se emplea como alimento para ganado vacuno, pero es importante evitar la fermentación. Se afirma que cuando se proporciona por primera vez actúa como purgante, debido posiblemente a las sales potásicas, -- aunque existe a la larga acostumbramiento. Se dice que agregando cal apagada ó fosfato cálcico al agua puede formar una papilla que puede utilizarse como fertilizante.

II.5. Utilización de la savia del cocotero.-- Se ha comprobado que en estado fresco, la savia del cocotero -- contiene entre el 12 y el 18% de carbohidratos, siendo la sacarosa el principal constituyente, con pequeñas cantidades de glucosa. También contiene alrededor de 25% de materia no fermentable, de la cual un 0.5% son cenizas, y un 2% de sólidos orgánicos, entre los que hay proteínas, grasas y constituyentes de menor importancia. La savia contiene -- pequeñas cantidades de sales minerales y vitaminas. A -- continuación se describen algunos productos derivados de la savia del cocotero:

Toddy ó tuba.-- Se prepara por la fermentación natural de la savia del cocotero. Se prepara en grandes cantidades -- las zonas de producción de cocos, particularmente en India meridional y Sri Lanka. La composición del toddy depende del estado exacto de fermentación del jugo, pero se han encontrado valores de concentración de alcohol cuya -- medida es 5.4%.

Arrack.-- Por destilación, El toddy dá una bebida alcohólica denominada arrack, que se produce en escala comercial

en Filipinas y Sri Lanka.

Melaza de coco.-Concentrado de la savia del cocotero, se obtiene melaza de coco ó azúcar, denominada jaggery ó gur. Cuando la savia del cocotero se emplea para éste fin se recoge solamente en la mañana. Se usan vasijas limpias y se añade un inhibidor de la fermentación, generalmente cal. Después de la recolección, la savia se concentra por ebullición en pailas abiertas, aumentando gradualmente el calor. Frecuentemente la melaza de cocotero obtenida tiene un color obscuro debido a la caramelización del azúcar -- por el calentamiento. Se prepara azúcar de jaggery por evaporación hasta el punto de cristalización; dejando enfriar, se solidifica el azúcar.

Vinagre.- La savia recogida se dejó fermentar, almacenada en tinajas, se cubren con tablas de madera, después de 10-14 semanas el vinagre se aclara y madura en toneles cerrados hasta 6 meses. El producto suele contener entre el 4 y 5% de ácido acético, y se colorea con caramelo antes de embotellarlo.

II.6. Coco desecado.- El coco desecado es la semilla blanca, desintegrada, sacada del coco, elaborada en condiciones higiénicas para consumo humano. Retiene en su mayor parte el aceite y las proteínas originales de la nuez fresca. Se produce en 4 clases normales: Extrafino, fino, medio y grueso, pero también en muchos cortes especiales como: hilo, tiras, fragmentos, rodajas y picado. Practicamente la totalidad de las 130 000 toneladas que aproximadamente se producen cada año va a parar al mercado internacional, consumiéndose sólo cantidades insignificantes en los países de origen. Se usan principalmente en la industria de la confitería y panadería, aunque pequeñas cantidades, se reenvasan y se venden para uso doméstico, tanto en estado original como en forma de dulces. Filipinas y Sri Lanka producen la mayor parte del coco desecado que entra en los mercados mundiales. Tradicionalmente, la --

producción de Sri Lanka se exporta a Europa, mientras que la de Filipinas se exporta a los Estados Unidos.

También se obtienen pequeñas cantidades de coco desecado para exportación en Brasil, Honduras, México, Tonga y Papua.

II.7. Extracción de aceite y proteína de los cocos.-

En la mayoría de los países tropicales, los cocos son -- transformados en una variedad de productos de mayor valor económico y cuyo uso es alimenticio e industrial. Localmente, su potencial como un suplemento alimenticio altamente proteico está siendo explorado, como consecuencia -- de un programa de nutrición extenso. En Filipinas es considerado como una de las fuentes de proteínas vegetal más extensamente desarrollada en el país y por tanto es considerada como un instrumento potencial del programa nutricional y en la resolución del problema de desnutrición en cuanto a proteínas y calorías. Los productos del coco -- que en la actualidad están en una investigación amplia -- son: la harina de coco aislada y la leche de coco descremada.

Harina de coco.- Hay tres tipos de harina de coco : harina blanca, harina café claro y harina café de cáscara, la primera se obtiene por medio del desgrasado de la carne blanca triturada. La segunda se prepara por el desgrasado de la carne triturada, carne constituida por el endospermo con todo y testa y la última se elabora a partir de la testa de coco. Para poder obtener una harina con proteína de alta calidad a partir de carne de coco desecada, la presión y la temperatura en el proceso de extracción -- del aceite deben ser reguladas para no dañar las proteínas. Por otra parte, la extracción debe ser eficiente -- puesto que la economía del proceso se amortigua de acuerdo a la cantidad de aceite obtenido. Los procesos de extracción pueden ser clasificados en seco y húmedo.

Procesos en seco.

Los pasos principales en el procesamiento de coco se co son:

- a) Trituración de la carne fresca de coco.
- b) Desecación rápida ó secado de las partículas.
- c) Extracción del aceite.

Desde el punto de vista de la manufactura de la harina, es desventajoso el uso de extractores porque generan calor, lo cual destruye el valor nutritivo y afecta su apariencia en cuanto al color. Se desnaturaliza y con ello se vuelve insoluble y adquiere un tinte moreno (Mattil 1970).

En el trabajo del doctor Tinsler (1969), se establece que la harina no altera su contenido de proteína estando desnaturalizada ó no. Sin embargo, por causa de su insolubilidad, la harina desnaturalizada no puede ser combinada con facilidad con otros ingredientes alimenticios para producir alimentos aceptables y productos líquidos.

Principales procedimientos en seco.

El procedimiento Yenko.— Las operaciones comprendidas -- son: hendidido de las nueces, remoción de la cáscara, triturado de la carne, calentamiento de la carne en una cámara a una temperatura entre 80 y 100°C. Como resultado del prensado se obtiene una corriente de aceite que es filtrada y la torta obtenida que contiene de 1 a 8% de humedad es pulverizada para convertirse en harina.

El procedimiento Hiller modificado.— En éste proceso, el grupo de ingeniería Rogers ha experimentado un método más sofisticado para secar la carne de coco triturada, usando un secador intermitente al vacío con el objeto de someter la carne a un tratamiento menos severo de calentamiento. Este método, al igual que el Hiller original, se ha realizado solamente sobre bases experimentales y no se ha probado a nivel planta piloto ni a escala comercial.

El procesamiento Carver- Greenfield.— Lo esencial de este

proceso es la evaporación a bajas temperaturas del agua de la carne picada en la presencia de un exceso de aceite. Posteriormente se efectúa un prensado de la suspensión para separar el aceite de los componentes no grasos.

Una modificación de los procesos en seco involucra - un paso adicional, que es la extracción por disolventes - para remover la grasa (10-15%), que aún permanece después del prensado. Las ventajas de éste procedimiento consisten en mantener temperaturas de calentamiento bajas en el proceso de prensado, así como, proporcionar un menor deterioro de los constituyentes del aceite y la proteína. Los análisis hechos por el FNRC (Food and Nutritional Research Center) muestran las siguientes características para una harina de coco preparada por prensado hidráulico, además de un tratamiento por solventes:

Razón de eficiencia proteica (PER).	2.42
Valor biológico (VB).	74.00
Coefficiente de digestibilidad (CD).	75.00
Utilización neta de proteína (UNP).	68.00

El patrón de aminoácidos de la harina de coco muestra que la proteína de coco es generalmente satisfactoria con excepción del triptofano, cuyo contenido es bajo.

Procesos en húmedo.

Tradicionalmente, el coco se seca para obtener copra y el aceite se obtiene posteriormente a partir de la copra por prensado y/o extracción por solventes. Sin embargo, frecuentemente predominan condiciones poco higiénicas durante la preparación y almacenamiento de la copra, y el aceite es de una calidad mediocre y necesita siempre una refinación antes de emplearlo para fines comestibles. El producto residual después de extraer el aceite (torta de coco), contiene cantidades modestas de proteína (18-25% - en materia seca), pero es demasiado fibrosa para emplearla

en altas concentraciones en dietas monogástricas. Por consiguiente, su aplicación principal es para la alimentación de ruminantes. Además, la calidad de la proteína de coco está muy aminorada por las condiciones en que se elabora la copra.

Debido a la creciente preocupación por el abastecimiento mundial de alimentos, el interés internacional se ha dirigido en medida considerable hacia la posible utilización de proteína de coco como alimento para humanos. Se han hecho numerosos intentos de desarrollar un procedimiento para extraer proteína, así como aceite. Todos éstos procedimientos se han diseñado para producir proteínas como subproducto de la extracción del aceite; hasta ahora, ninguno ha demostrado ser económicamente viable.

Desafortunadamente en México como en algunos otros países del tercer mundo, hay considerables pérdidas de aceite intrínsecas a la industria, éstas pérdidas llegan a ser de hasta 30% por los motivos expuestos anteriormente.

Para evitar éstas considerables pérdidas, se ha reconocido en los últimos años, de una manera general, la necesidad de tratar el coco fresco (en vez de copra) para obtener tanto el aceite como la proteína. Los principios básicos utilizados en la mayoría de los procesos en húmedo modernos son: obtener una emulsión (ó leche) a partir de carnes de coco frescas y descomponerlas, generalmente por calentamiento, para obtener aceite. Uno de los principales problemas técnicos en la elaboración en húmedo de los cocos frescos es la separación de la emulsión. Esta no puede hacerse simplemente por ebullición, como en los métodos primitivos, a causa de un proceso de ebullición prolongado dañaría seriamente la calidad de la proteína y posiblemente coloraría el aceite.

Así pues, una característica común de los diversos procedimientos modernos es el uso de centrifugas para separar el aceite y las proteínas.

Principales procedimientos en húmedo.

Procedimiento Chayen ó de fusión por impulsos.— Desarrollado originalmente por la British Glues and Chemicals -- Company Ltd. para la fabricación de gelatinas a partir de huesos. Este proceso ha sido descrito como una ruptura mecánica de las membranas de las células que contienen -- grasa, por una serie de impulsos de alta velocidad, transmitidos a través de un líquido, que libera la grasa de las células y las separa del líquido en movimiento que es violento. Es un molino de martillos en un medio líquido, se ha comprobado con las semillas oleaginosas, que en el curso de éste tratamiento, las proteínas solubles se asocian con parte del lípido y la centrifugación subsiguiente dá lugar a tres fracciones: aceite libre, una harina que contenía materia fibrosa y un complejo lipido-proteico. Con el coco los trozos de semilla ó pulpa fresca se cargan en un molino de martillos con 10 veces su peso de hidróxido de sodio al 0.15%. Posteriormente se retira la fracción sobre un tamiz vibratorio y la emulsión que atraviesa el tamiz se centrifuga para separar el aceite libre del complejo lipido-proteico. Este proceso permite recuperaciones de 80% de aceite y 70% de proteína.

El procedimiento Robledano-Luxuriage.— Este procedimiento fue ideado en las Filipinas, donde en los últimos 40 años se han hecho esfuerzos para mejorar la calidad del aceite de coco y la harina tratando cocos frescos. La semilla ó pulpa de coco fresca rallada en un desmenuzador es luego prensada, dando proporciones aproximadamente iguales de emulsión y residuo que se emplea como pienso. La emulsión es posteriormente transportada a través de un separador trifásico, obteniéndose las siguientes fracciones: una fase rica en aceite (crema), una fase acuosa (leche desnatada) y una pequeña cantidad de sólidos (proteína). La crema se somete a acción enzimática bajo condiciones rigurosamente controladas de temperaturas y pH. En seguida se-

sujeta a una operación de congelación-descongelación y el aceite se recupera por medio de una segunda centrifugación. La proteína contenida dentro de la fase de la leche desnatada se coagula aplicando calor, se filtra y luego se seca, dando un concentrado proteico. No se dispone de datos sobre rendimientos globales de aceite y proteína, pero se afirma que el coagulado proteico contiene alrededor de 60% de proteína.

El procedimiento Krauss-Maffei/CFTRI.— Inventado por Krauss-Maffei y perfeccionado por el Center Food Technological Research Institute de Mysore, India. En este procedimiento los cocos se tratan en autoclave, se corta el casco y la carne se despieza y se pasa por un molino de rodillos, y después a una prensa hidráulica. La emulsión obtenida se centrifuga, dando una crema y una leche desnatada. Una posterior separación de la crema de aceite y un lodo acuoso que se recircula. La leche desnatada puede separarse aún en una fase acuosa y una fase proteica que, después de secada, resulta una harina de elevada proporción de proteína. La fase acuosa se evapora y produce una miel de coco.

El proceso modificado es mucho más complicado, logran obtenerse: aceite, harina, suero, concentrado proteico y miel. La diferencia esencial entre los dos procedimientos reside en el hecho de que los investigadores de Mysore han hallado que, al pasar por el autoclave, se coagulan las proteínas, haciéndose más difícil su ulterior extracción.

El procedimiento Roxas.— En este procedimiento se contempla la pasteurización de la carne de coco picada antes de pasar a la prensa. Según la patente, el objetivo de calentar la carne picada es de doble interés: destruir las bacterias y coagular las proteínas (este método de coagulación de las proteínas disminuiría a sus propiedades emulsionantes y facilitaría su separación de la emulsión).

La emulsión experimenta luego una fase de congelación-descongelación antes de pasar a una centrifuga. Entonces se recupera el aceite y la proteína de manera análoga a como sucede en el procedimiento Robledano-Luzuriaga. No hay datos disponibles sobre la composición del producto ó el rendimiento.

El procedimiento Sugarman.- Perfeccionado por el Georgia Technological Research Institute, Atlanta, E.U.A., primero se reduce el tamaño de los trozos de coco fresco en un molino triturador ó de copos. En ésta fase (trituración continua) el material se reduce a la consistencia de mantequilla de maní. Luego se transporta el coco molido a un molino de guijarros, donde se mezcla con álcali diluido del doble de su peso. La papilla se muele durante 3 Hrs. se traslada a un tanque de almacenamiento y calentamiento en donde se añade más agua y se agita durante 1 Hr. La papilla se separa de tal modo que se obtiene crema, leche descremada y una torta.

La emulsión de aceite concentrada (crema) se rompe ajustando el pH, seguido de una molienda coloidal y finalmente se extrae el aceite por centrifugación. Se asegura que el alto esfuerzo cortante, generado por el molino coloidal, rompe los glóbulos oleaginosos, haciendo más sencilla la centrifugación subsiguiente, que a diferencia de la centrifugación directa es más sencilla, después de la fase de ajuste de pH. La fase de leche desnatada se trata con ácido para precipitar las proteínas que luego se filtran, se lavan y se secan. No se dispone de datos sobre rendimientos ni composición.

Procedimientos en húmedo de menor importancia.

Merecen citarse otros procedimientos de extracción en húmedo de proteínas y aceite a partir de cocos frescos y son los siguientes:

El procedimiento Gonzaga.- En éste proceso la carne de coco es rallada y prensada y el líquido obtenido es coloca-

-do en un tanque de sedimentación. La crema es clentada a 100°C resultando aceite y sólidos coagulados. Este método fue patentado en 1948.

El procedimiento Lava.- Es un proceso que se desarrolló en los Estados Unidos en 1937 y fue patentado en el mismo año, en Francia en 1938 y en Inglaterra en 1939. El aceite se extrae de la carne fresca rallada por medio de una extracción acuosa y una posterior separación de dicho aceite que se encuentra combinado con la proteína. Los subproductos son una pasta prensada con 8% de proteína, después por medio de secado se concentra la proteína hasta un 75% obteniéndose un producto de pureza adecuada. La solución restante estando constituida por una mezcla de azúcares y minerales.

El procedimiento Dikno.- Este proceso fue patentado en 1960 y consiste en separar por medio de centrifugación el aceite y los sólidos. Los sólidos son secados y triturados siendo el producto final un residuo de alto contenido proteico. Posteriormente el aceite obtenido es refinado.

El procedimiento de extracción azeotrópica.- El coco molido se extrae azeotrópicamente con una mezcla de disolvente-agua. El azeótropo debe hervir por debajo de los 120°C. Son adecuados los hidrocarburos hexano y benceno y los disolventes clorados, por ejemplo, tricloroetileno. Después de la extracción, se envía el producto a través de un microatomizador para obtener una harina de coco. Se afirma que el rendimiento en aceite es comparable al del proceso de extracción con disolvente clásico, mientras que la composición de la harina sería análoga a la producida por el procedimiento Hiller.

El procedimiento integrado de coco.- Se aplica el término integrado porque trata el coco entero, es decir, la cáscara, el casco y la carne, realizándose el proceso entero en un solo lugar. El producto intermedio se presenta en forma de gránulos y se afirma que la producción de éstos gránulos supone una economía de tiempo y dinero, si

se compara con la producción de copra. No se dispone de datos sobre rendimiento de aceite, pero se suponen que -- son análogos a los del procedimiento de triturado de co-- pra. La harina de coco tiene una concentración mínima de proteínas del 20% y un contenido máximo de fibra cruda del 8%.

El procedimiento del "Tropical Products Institute".- Utilizando un molino de placa-troquel-cuña es posible romper -- las carnes de coco hasta llegar a dimensiones subcelula-- res quedando abierta una elevada proporción de células. -- Para que un molino de éste tipo funcione eficientemente, es necesario hacer una papilla de carne fresca granulada a través de un molino.

Después de la molienda, se separa el material celulósico por tamizado continuo, y la emulsión se acidifica -- con ácido acético hasta pH 3.8. Se produce una formación rápida de crema y después de un período de reposo, la capa acuosa se elimina y la crema se separa en una centrifuga de tres fases, dando un aceite de alta calidad y una -- papilla que contiene una elevada proporción de proteína.

Esta última se lava con un disolvente adecuado (por ejemplo isopropanol), dando un polvo color canela que -- contiene un 80% de proteína. Se ha señalado un rendimiento de aceite de 80-85% con un contenido de ácidos grasos libres de 0.1% a 0.2% expresado en ácido láurico. La emulsión obtenida puede emplearse para preparar leches y cremas y está en marcha un proyecto modificado para preparar éstos productos. El aislado de proteínas de coco se ha -- empleado con éxito para reforzar panes de harina de trigo compuestos.

Hasta la fecha, ninguno de los procedimientos antes mencionados ha resultado viable en escala comercial. La razón principal parece ser que el rendimiento de aceite -- por los procedimientos en húmedo es un 10-15% menor que -- el rendimiento de aceite por el tratamiento clásico de la copra. Desgraciadamente, hay pocos datos publicados so--

-bre los costos de instalación y de explotación de los - procedimientos en húmedo. Aunque caben pocas dudas en cun to a las posibilidades técnicas de los procedimientos en húmedo antes descritos, todos se han realizado en escala relativamente pequeña, y por tanto, es probable que se ha- yan empleado costos de instalación muy elevados para ma- quinaria y hayan necesitado un consumo grande de enegía.

Proteína de coco aislada.- La proteína de coco aislada - es el término usualmente empleado para designar una pro- teína químicamente aislada, libre de carbohidratos no di- geribles odoríficos y sustancias amargas que están normal mente presentes en la materia original. La proteína de - coco aislada tiene un sabor dulce, es de color claro, y - se le ha encontrado aplicación en la preparación de una - amplia variedad de productos, comparados a los que tiene la harina refinada mecánicamente, obtenida a partir de la misma materia prima. Payumo preparó este tipo de protef- na por medio de coagulación caliente (Payumo et al 1971). Los análisis revelan que este producto contiene un 82% de proteína cruda. Los datos que a continuación se dan, son el resultado de los ensayos biológicos que se han efectua do con la proteína aislada por coagulación en caliente.

PER	2.05
CD	94
VB	71
UNP	66

Leche de coco descremada.- La leche de coco descremada es un líquido obtenido a partir de cocos frescos por medio - de una extracción acuosa, seguida por una separación cen- trífuga del aceite. Es considerada como un alimento ade- cuado para los programas de alimentación infantil por su alto contenido de proteínas. Recientemente, un proceso a sido desarrollado en la Texas Agricultural and Mechanical

University, con el fin de producir económicamente aceite, leche descremada de coco concentrada o secada por aspersión proteínas insolubles y residuos, a partir de cocos frescos por un procedimiento en húmedo. Los valores nutricionales de la leche de coco descremada comparados con proteína de la carne de coco es como sigue (Hagenmaier et al 1975):

	PER
Carne de coco	2.11
Leche de coco descremada y concentrada	1.98
Leche de coco descremada	1.67

Al examinar los valores nutricionales de los productos de coco antes mencionados (harina de coco, Proteína de coco aislada y leche de coco descremada) así como su composición y propiedades funcionales revelan un mayor avance en la solución del problema referente a la deficiencia nutricional proteica. Trabajos de investigación se realizan en la actualidad para encontrar procesos factibles económicamente y nutricionalmente.

III.- Composición, propiedades y usos del aceite de coco.

La pulpa fresca del coco contiene de 35 a 50% de grasa, la cual extraída es un sólido blanco a temperatura ambiente. Cuando la pulpa es secada, el porcentaje de grasa aumenta hasta un 63-65%. La grasa de coco se vuelve un líquido prácticamente claro a temperaturas mayores de 24°C y es conocido en el comercio como aceite de coco. El aceite no refinado removido de la pulpa por prensado, tiene un olor desagradable debido a la presencia de ácidos grasos volátiles. La composición aproximada de ácidos grasos en el aceite de coco es la siguiente:

Acido graso

%

Caprótico	0	-	0.8
Caprílico	7.8	-	9.5
Cáprico	4.5	-	9.7
Láurico	44.1	-	51.3
Mirístico	13.1	-	18.5
Palmítico	7.5	-	10.5
Estearico	1.0	-	3.2
Oléico	5.0	-	8.2
Linoléico	1.0	-	2.6

Debido a su alto grado de saturación y su gran estabilidad es uno de los aceites naturales más deseables para la elaboración de diversos productos. Además de los ácidos grasos enunciados, el aceite de coco contiene los siguientes glicéridos:

Miristodilaurina	15%
Lauromiristopalmitina	13%
Caprolauromiristina	10%
Caprodilaurina	10%

Además de los glicéridos y algunos ácidos grasos libres, el aceite de coco tiene 0.2 a 0.6% de materia no saponificable, mucílagos, esteroides, tocoferoles, lipocromos hidrocarburos y trazas de otros componentes a los que se debe el color y olor característico de un aceite.

Usos, - Los usos a que se destina el aceite de coco pueden dividirse en 2 categorías principales: para la alimentación o como materia prima para la industria. Aunque en general, la utilización del aceite de coco como materia prima para la industria va en aumento, hay grandes diferencias entre los Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón y los países europeos en cuanto a las cantidades relativas del producto que se destina a fines alimenticios e industriales respectivamente. En los cuatro primeros países --

-ses, el aprovechamiento del aceite para fines alimenticios el aprovechamiento del aceite para fines alimenticios solo representa alrededor del 20 y 30% de todos sus usos, - mientras que en Europa ocurre lo contrario; alrededor del 75% del aprovechamiento total se relaciona con la alimentación.

Debido al hecho de que el aceite de coco es una grasa sólida en los países de clima templado, mientras que es aceite líquido en los países cálidos de origen, hay algunas diferencias en las modalidades de aprovechamiento - por los hábitos alimenticios de los diversos países. Por lo que se respecta a usos industriales, es evidente que esas diferencias desempeñan un papel mayor en los países industrializados, a excepción quizá del jabón ordinario.

En México, el uso del aceite de coco está dividido - al igual, en esas dos áreas, alimenticio e industrial. Estas varían año con año dependiendo del clima, demanda y - precio. Los principales usos del aceite de coco en alimentos son:

- Freido intenso de rosquillas, donas, papas y nueces.
- Ingrediente para confeccionar galletas y productos de - panadería.
- Materia prima para la elaboración de margarinas, mante- cados y grasas para repostería en pastelería.
- Materia prima para la fabricación de caramelos y choco- lates.
- Utilización a nivel casero en las zonas tropicales.

Los principales usos a nivel industrial son:

- Material crudo para la manufactura de jabones con rápi- da producción de espuma.
- Productos secos de aceite.
- Acidos grasos.
- Hule sintético.
- Aceite para frenos hidráulicos en aeroplanos.
- Materia prima en productos de resina sintéticas.

- Insecticidas y germicidas.
- Productos de tocador: cremas, ungüentos, chapúes, etc.
- Productos farmacéuticos.
- Detergentes sintéticos.

TABLA 2.1. PRODUCCION DE COCO.

PAIS	COCO (%)	COPRA (%)
Filipinas	37.25	52.74
Indonesia	19.75	16.53
India	13.88	7.20
Sri Lanka	5.01	4.05
Malasia	3.03	3.36
México	3.02	2.83

Fuente:

Tesis: Actualización de la información del coco
y sus derivados.

Mendoza Labra Manuel

U.N.A.M. Fác. Química México 1979.

Págs: 12, 13.

TABLA 2.2. PRODUCCION MUNDIAL Y NACIONAL DE COCO.

Expresada en miles de toneladas métricas (Mt.)

AÑO	Producción mundial	Producción nacional
1967	25 616	1 236
1970	26 275	992
1973	27 122	1 021
1976	32 895	960
1979	aun desconocida	980 ⁺

TABLA. 2.3. PRODUCCION MUNDIAL Y NACIONAL DE COPRA.

Expresada en miles de toneladas métricas (Mt.)

AÑO	Producción mundial	Producción nacional
1967	3 356	170
1970	3 567	173
1973	3 742	144
1976	4 929	135
1979	aun desconocida	139 ⁺

Fuente: Tesis: Actualización de la información del coco y sus derivados.

Mendoza Labra Manuel

U.N.A.M. Pac. Química México 1979. p. 13.

+ Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Dirección General de Economía Agrícola. SARH México, 1979.

CAPITULO III

BIOMOLECULAS

III.1. Introducción.- Es sabido que todos los seres vivos están constituidos por materia orgánica e inorgánica, que la mayoría de ésta materia inorgánica se encuentra en forma de iones y que la materia orgánica se encuentra en su mayor parte formando macromoléculas de pesos moleculares elevados. Estas macromoléculas debido a la importancia que tienen en los organismos vivos se les conoce como biomoléculas y son vitales para el desarrollo de cualquier ser vivo.

En éste capítulo se hablarán forma específica de las biomoléculas de los vegetales, de como estan costituidas, en que lugares de la célula vegetal se encuentran y cual es su función.

III.2. Carbohidratos.- En los vegetales encontramos una gran variedad de carbohidratos que va desde los monosacáridos ó también conocidos como azúcares sencillos, hasta los polisacáridos, que contienen múltiples unidades de monosacáridos enlazadas entre sí por uniones químicas bien definidas. Todos los carbohidratos de los vegetales se sintetizan por el proceso de la fotosíntesis y son los principales componentes químicos almacenadores de energía radiante del sol.

En la fotosíntesis, el bióxido de carbono reacciona con el agua para formar glucosa con el consecuente desprendimiento de oxígeno:



Esta reacción a simple vista, parece ser muy sencilla pero en la realidad resulta ser todo lo contrario, es una reacción bioquímica de alta complejidad, debido al aporte energético requerido así como la forma en que éste es proporcionado.

Los monosacáridos más comunmente encontrados en los vegetales son: glucosa y fructuosa principalmente y dentro de los frutos cítricos encontramos en mucho menor propor-

-ción un azúcar-ácido muy importante que es el ácido ascórbico ó vitamina C, su importancia radica en el aspecto nutricional humano. Dentro de los oligosacáridos encontramos en los vegetales están: sacarosa y maltosa principalmente.

La mayor parte de los glúcocidos encontrados en la naturaleza se presentan como polisacáridos de elevado peso molecular. Mediante hidrólisis completa con ácido ó con enzimas específicas, Estos polisacáridos producen monosacáridos y/o derivados sencillos de monosacáridos. La D-glucosa es la unidad monosacárida predominante en los polisacáridos, pero son también frecuentes los polisacáridos de la D-manosa, D-fructuosa, D y L galactosa, D-xilosa y la D-arabinosa.

III.2.1. Polisacáridos.- Existen dos grupos principales de polisacáridos que tienen una diferente función biológica: los polisacáridos que sirven de reserva energética como el almidón, y los polisacáridos que constituyen el tejido estructural tales como: celulosa, pectina, ácido muráico, agar, galactanos, hemicelulosa, etc.

III.2.1.a. Almidón.- El almidón se encuentra en dos formas la alfa-amilosa y la amilopectina. La amilosa está constituida por largas cadenas no ramificadas en las que todas las unidades de glucosa se hallan unidas mediante enlaces $\alpha(1-4)$. Las cadenas son polidispersas y varían en peso molecular desde unos millares hasta 500 000, la amilosa no es soluble en agua pero forma micelas hidratadas que dan un color azul con el iodo. En tales micelas, la cadena polisacárida está retorcida constituyendo un arrollamiento helicoidal.

La amilopectina está muy ramificada, la longitud media de las ramificaciones es de 24 a 30 residuos de glucosa, según las especies. Los enlaces glucofídicos del esqueleto son $\alpha(1-4)$, pero los puntos de ramificación son -

son enlaces $\alpha(1-6)$. La amilopectina produce disoluciones coloidales ó micelares que dan una coloración violacea con el iodo. Su peso molecular puede ser hasta 100 000 000.

El almidón sirve como reserva energética en las plantas y normalmente se almacena en forma de partículas muy pequeñas conocidas como gránulos. Dado que los gránulos de almidón ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de glucosa en forma muy accesible, sin romper el balance de agua de sus tejidos.

El tamaño y la forma de los gránulos son muy característicos de cada especie botánica, por lo que se han desarrollado diferentes métodos de microscópio para identificar el origen de los distintos almidones.

III.2.1.b. Celulosa.- Las células vegetales son capaces de soportar las grandes diferencias de presión osmótica entre los compartimientos fluidos extra e intracelulares, por lo que necesitan paredes celulares rígidas que impidan su hinchamiento. En las plantas grandes y en los árboles las paredes celulares no solamente deben aportar fuerza física ó rigidez a los tejidos de los tallos, de las hojas y de las raíces, sino que además deben ser capaces de soportar grandes pesos.

El polisacárido estructural y constituyente de la pared celular más abundante en el mundo de las plantas es la celulosa, un polímero lineal de la D-glucosa. Si la celulosa es metilada exhaustivamente, y posteriormente hidrolizada, produce exclusivamente 2,3,6-tri-O-metilglucosa, lo que demuestra no solo que sus enlaces glucosídicos son todos $\beta(1-4)$, sino también que no existen puntos de ramificación. La única diferencia química entre el almidón y la celulosa es que el almidón posee enlaces $\alpha(1-4)$ y la celulosa $\beta(1-4)$.

Se ha calculado que el peso molecular mínimo en la ce-

-lulosa de diversas procedencias varía de 50 000 a 2 500 000 que es el equivalente de 300 a 15 000 residuos de glucosa. El análisis por difracción de rayos X indica que las moléculas de celulosa están organizadas en haces de cadenas paralelas que forman fibrillas. Aunque la celulosa posee afinidad por el agua, es completamente insoluble en ella.

En las paredes celulares de las plantas, las fibrillas de celulosa, muy densamente empaquetadas y dispuestas en haces paralelos rodean a la célula, frecuentemente formando capas cruzadas, estas fibrillas se hallan aglutinadas por una matriz de otros polímeros como hemicelulosa y pectina. Las paredes celulares de las plantas superiores pueden compararse a estructuras de hormigón armado en las que las fibrillas de la celulosa corresponden a las varillas de acero, y el material matricial al hormigón. Estas paredes son capaces de soportar enormes pesos y tensiones físicas. Por su parte, la madera contiene otra sustancia polímera, la lignina, que constituye casi el 25% de su peso seco. La lignina es un polímero de alcoholes aromáticos.

III.2.1.c.- Hemicelulosa.- Se conoce con éste nombre a un grupo muy vasto de polisacáridos que se localizan en las plantas, son insolubles en agua pero solubles en álcalis y se encuentran asociados a las pectinas, a la celulosa y a otros polímeros. Su estructura química está compuesta por pentosas, como la D-xilopiranosas, formando grandes cadenas a través de enlaces $\beta(1-4)$, aunque ocasionalmente se encuentran moléculas de L-arabinofuranosas unidas al polímero a través de los carbonos 2 ó 3 de la D-xilopiranosas.

Otros carbohidratos asociados a éste grupo de polímeros son los mananos, los glucomanos, los galactanos, los arabinogalactanos, los arabanodilanos, el ácido urónico y las sustancias pécticas.

III.2.1.d.- Pectinas.- El término sustancias pécticas se

usa generalmente para referirse a un grupo de polisacáridos vegetales en los que el ácido D-galacturónica es el principal componente. La estructura básica de ésta familia de compuestos está formada por moléculas de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, en donde algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con grupos metilos ó en forma de sal. Dentro de éste grupo de carbohidratos se pueden distinguir varias clases: los ácidos pectínicos son los polisacáridos que tienen esterificado parte del ácido D-galacturónico como ester metílico, mientras que aquellos que no están esterificados se les conoce como ácidos pécticos.

Las pectinas, por definición, son los ácidos pectínicos con diferente grado de esterificación; son solubles en agua y tienen capacidad de formar geles en presencia de ácidos, sales y azúcares. Las sustancias pécticas se encuentran fundamentalmente asociadas con la hemicelulosa en las paredes celulares de las plantas terrestres, y son más abundantes en tejidos suaves, como la cáscara de los frutos cítricos, en manzanas, peras y otras. Dentro de la propia cáscara de la fruta existe una distribución de las pectinas, ya que las que tienen un mayor grado de esterificación se encuentran en la parte más interna, mientras que las de menor grado se localizan en la periferia.

La característica más importante de las pectinas es su contenido de grupos carboxilo que le imparten propiedades muy diferentes a la de otros carbohidratos que no tienen grupos ionizables. Los carboxilos de las pectinas pueden estar en forma no ionizada, COOH a pH menores de 3, en forma ionizada COO^- a pH mayores de 3, ó bien metiladas, COOCH_3 . En cada caso, presentan diferentes capacidades de interaccionar con los otros constituyentes de los alimentos, siendo los carboxilos ionizados, los que le imparten mayor reactividad al polímero. Muchas de las propiedades de éstos carbohidratos están determinadas precisamente por la -

relación de concentración entre los carboxilos libres y los carboxilos metilados.

III.2.1.e. Fructosanos.- Son polímeros lineales de moléculas de D-fructosa unidos a través de enlaces glucosídicos (2-1) que se encuentran en las raíces, tubérculos y hojas de algunas plantas como el maguey. Estos polisacáridos son también conocidos como levanos ó inulina. Normalmente las cadenas de ésterbohidrato son lineales, aunque se han encontrado polímeros ramificados.

III.3. Proteínas.- Por definición, las proteínas son polímeros de los aminoácidos con un alto peso molecular que varía entre 1×10^4 a 1×10^6 daltones, cuando se solubilizan son de dimensiones coloidales, tienen propiedades anfotéricas y su hidrólisis completa produce una mezcla de aminoácidos.

Debido a que están constituidas por aminoácidos, las proteínas también desarrollan una carga neta que depende de la influencia de los diferentes grupos R ionizables y del pH al que se encuentren; pueden tener carga positiva ó negativa, ó bien no tener carga cuando se llega al punto isoeléctrico. Por ejemplo, las proteínas con un alto contenido de ácido glutámico y/o aspártico tienen su punto isoeléctrico en un intervalo de pH ácido, mientras que las contienen altas concentraciones de lisina y arginina, lo tienen en un intervalo alcalino. Hay que indicar, que la forma y la intensidad de ionización de los grupos ionizables de las proteínas desempeñan un papel muy importante en su estabilidad, al igual que en sus características y propiedades funcionales.

III.3.1. Aminoácidos.- Estos compuestos son los monómeros y principales constituyentes de las proteínas por lo que su distribución y concentración determinan fundamen--

-talmente las propiedades de cada proteína. La gran mayoría de los aminoácidos son ácidos α -amino carboxílico con carácter anfotérico debido a la presencia de los grupos amino y carboxilo. Son α -aminoácidos ya que los grupos amino y carboxilo se localizan en el carbono α de la molécula. Por otro lado la prolina y la hidroxiprolina están considerados como α -aminoácidos, en donde, el nitrógeno del grupo amino interacciona formando un anillo heterocíclico de 5 miembros.

A excepción de la glicina, que tiene un átomo de hidrógeno como radical R, los demás aminoácidos tienen un carbono asimétrico y por lo tanto, presentan dos formas: D y L.

La mayoría de las proteínas están formadas solamente por 20 ó 21 aminoácidos, pese a que en la naturaleza se encuentran varios aminoácidos más, de hecho, el número de posibles polímeros es muy grande ya que si una proteína contiene 100 aminoácidos alcanza hasta 20^{100} posibles secuencias de aminoácidos y por lo tanto de formación de proteínas. Pero generalmente no hay tantas combinaciones sino que cada proteína tiene una secuencia de aminoácidos muy establecida y bien definida.

La reactividad química de los aminoácidos depende de la naturaleza de su radical. Así, los aminoácidos derivados de los hidrocarburos alifáticos son prácticamente inertes, mientras que la cisteína con su grupo sulfhidrilo es altamente reactiva pudiendo intervenir en una gran variedad de reacciones. De igual forma, los grupos amino de la asparagina, la glutamina y la lisina son también muy reactivos ya que interaccionan fácilmente con azúcares reductores.

Los aminoácidos presentan varias características que se deben fundamentalmente a su naturaleza anfotérica ácido-base. También se ha comprobado a través de análisis y observaciones que poseen una estructura iónica, te--

-niendo además constantes dieléctricas elevadas al igual - que grandes momentos dipolares, que son básicamente el reflejo de la presencia de cargas negativas y positivas dentro de la misma molécula.

Debido a sus grupos ionizables amino y carboxilo, los aminoácidos tienen la capacidad de desarrollar una carga positiva y una negativa de acuerdo con el pH al que se encuentran. Su carácter anfotérico les confiere la capacidad de recibir y donar electrones, situación que dá lugar a la existencia de un estado químico conocido como punto isoeléctrico ó de doble ión, en el cual, el aminoácido tiene el mismo número de cargas negativas y positivas, por lo que su carga neta es de 0. Los aminoácidos pueden tener 3 estados de carga eléctrica, que dependen del pH: a valores menores de su punto isoeléctrico se encuentran en su forma protonada ó catiónica, en el pH correspondiente al punto isoeléctrico su carga neta es 0 y por encima del punto isoeléctrico adquieren una carga negativa en forma aniónica.

Al igual que con otras moléculas cargadas, los aminoácidos se pueden valorar ó titular al variar el valor de pH.

III.3.2. Enlace peptídico.- Los péptidos y las proteínas son el producto de la unión heterogénea de aminoácidos a través de enlaces peptídicos que se forman por una condensación entre el carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro con la consecuente eliminación de agua.

La unión de dos aminoácidos por medio de un enlace peptídico, genera una molécula llamada dipéptido, mientras que tres aminoácidos unidos forman un tripéptido y así sucesivamente, la condensación de un número mayor de aminoácidos a través de enlaces peptídicos produce los polipéptidos, de tal forma que cuando alcanzan pesos moleculares de más de 10 000 daltones se les denomina proteínas. Los péptidos y las proteínas tienen un grupo amino y uno carboxi-

-lo terminal correspondientes a dos aminoácidos que se localizan en los extremos de la cadena.

Originalmente, las proteínas se clasificaron como globulares y fibrosas, de acuerdo con su estructura física tridimensional. Las primeras tienen una forma casi esférica, mientras que las segundas son cadenas largas lineales y más rígidas. Posteriormente se descubrió que las proteínas globulares presentaban diferentes estados de ordenación estructural dentro de su propia molécula, lo cual repercutió en la definición de lo que actualmente se conoce como las cuatro estructuras de las proteínas.

Las propiedades y características de las proteínas, ya sean animales, vegetales, inmunológicas, enzimáticas, etc., dependen fundamentalmente de la configuración en que se encuentren, para que una proteína tenga una determinada actividad biológica es necesario que adquiera una conformación específica y única; la destrucción de dicha conformación de la proteína trae consigo la pérdida de su actividad.

III.3.3. Estructura Primaria.- Esta estructura está determinada por la forma secuencial y ordenada en que se encuentran distribuidos los aminoácidos a lo largo de la cadena de proteína y es una propiedad altamente reproducible controlada genéticamente y única para cada fracción proteica.

Muchas de las propiedades y características de las proteínas dependen de la secuencia y el tipo de aminoácido que contengan, como es el hecho de que la presencia de una gran cantidad de aminoácidos hidrófobos haga a las proteínas poco solubles en agua, mientras que los hidrófilos las solubilizan rápidamente. Debido a la influencia de los diferentes grupos R, la estructura primaria determina gran medida el tipo y la intensidad de las estructuras secundaria y terciaria de las proteínas. La serina, la -

treonina, la lisina, la isoleucina, los ácidos glutámico y aspártico, la hidroxiprolina son antagonistas de la formación de la hélice alfa de la mayoría de las proteínas.

Por otra parte, los aminoácidos serina, treonina, asparagina y glutamina tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno intermoleculares entre cadenas adyacentes de proteína ayudando a establecer estructuras cuaternarias.

III.3.4. Estructura Secundaria.- La estructura secundaria se refiere a la ordenación regular y periódica en el espacio de las cadenas polipeptídicas a lo largo de una dirección, lo que es más evidente en las proteínas fibrosas en donde los polímeros poseen una conformación extendida ó enrollada longitudinalmente. Existen 3 tipos principales de estructuras secundarias de las proteínas: la hélice alfa, la conformación beta y la hélice de colágena, pero todas están estabilizadas por diferentes fuerzas, -- siendo las más importantes las electrostáticas, los puentes de hidrógeno y las interacciones dipolo-dipolo.

La mayoría de las proteínas tiende a formar hélices alfa en las que una vuelta completa de la hélice contiene aproximadamente 3.6 aminoácidos, quedando orientados sus radicales R en forma perpendicular hacia el exterior del eje central. Las hélices alfa presentan la menor energía libre y por lo tanto es la forma más estable de estructura secundaria de una proteína; se pueden formar con los L ó D isómeros y su enrollamiento helicoidal puede ser hacia la derecha ó hacia la izquierda, sin embargo, todas las proteínas que se conocen en la naturaleza se forman con L aminoácidos y son *extro* hélices. En la hélice alfa, los carbonilos e iminos de los enlaces peptídicos tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno intramoleculares. Estas uniones ocurren cada 3.6 aminoácidos y se efectúan entre el átomo de hidrógeno (N-H) del enlace peptídico y el oxígeno carbonílico (C=O) del tercer aminoácido -

que le sucede. Los puentes de hidrógeno son paralelos al eje de la hélice y debido al alto número que contiene cada proteína, contribuyen de manera importante a la formación de la estructura secundaria, a pesar de que su energía en forma individual sea muy baja.

La hélice alfa es muy favorecida y estabilizada por los siguientes aminoácidos: alanina, leucina, fenilalanina, tirosina, triptofano, cisteína, metionina, histidina, asparagina, glutamina y valina. La prolina y la hidroxiprolina tienen la propiedad de romper las hélices alfa ya que su estructura química ejerce impedimentos y no les permite integrarse en ellas.

El segundo tipo de estructura secundaria es la conformación beta y se presenta en la familia de las proteínas llamadas queratinas, el tercer tipo de estructura secundaria se presenta en las hélices de la colágena, que es una proteína fibrosa y muy rígida, que se encuentra en abundancia en los tejidos conectivos de los vertebrados superiores.

Cuando no existen puentes de hidrógeno ó ninguna otra unión que restrinja la libre rotación de la cadena, la proteína puede adquirir muchas conformaciones que solamente están controladas por factores como la temperatura, el pH, la presencia de sales, los sólidos totales y la naturaleza del disolvente en que se encuentre. A ésta conformación se le designa "al azar" y normalmente se alcanza cuando hay un proceso de desnaturalización del polipéptido.

III.3.5. Estructura terciaria.- Esta estructura se refiere al modo en que la cadena polipeptídica se curva o se pliega, para formar una estructura estrechamente plegada y compacta, característica de las proteínas globulares. A diferencia de las proteínas fibrosas que presentan estructuras lineales sencillas, las globulares tienen sus cadenas plegadas en forma compacta con estructuras tridimen--

-sionales altamente organizadas. En este caso las principales fuerzas que contribuyen a la estabilidad de la estructura son los enlaces disulfuro (S-S), los hidrófobos, los hidrófilos y los puentes iónicos. Los grupos R de los diferentes aminoácidos desempeñan un papel muy importante ya que el grado de estructura terciaria que la proteína adquiere dependerá de su naturaleza, de su tamaño y de los efectos estéricos que ejerzan.

Cuando las proteínas se disuelven en agua tienden a adquirir una estructura con una energía libre mínima para poder tener una mayor estabilidad, lo que hace que los aminoácidos no polares se orienten hacia el centro ó el interior de la proteína, mientras que los polares lo hagan hacia el exterior en contacto con el agua; esto hace que se desarrollen microambientes hidrófobos ó hidrófilos, en los cuales se encuentran y se desarrollan muchas de las actividades biológicas de las proteínas.

III.3.6. Estructura cuaternaria.- Esta estructura se refiere a la asociación de dos ó más cadenas de proteínas a través de uniones covalentes y no necesariamente existen en todos los polipéptidos. Gracias a ésta estructura, aparece la forma física en que se disponen en el espacio las cadenas individuales polipeptídicas de una proteína que está compuesta por más de una cadena. La mayor parte de las proteínas con pesos moleculares elevados, ya sean fibrosas ó globulares, contienen dos ó más fracciones de polipéptidos.

Las proteínas son las moléculas orgánicas más abundantes en las células, constituyendo el 50% ó más de su peso seco. Se encuentran en todas las partes de la célula, ya que son fundamentales en todos los aspectos de la estructura y función celulares. Existen muchas clases de proteínas diferentes, cada una de ellas especializada en una función biológica diferente.

III.4. Lípidos.- Los lípidos son biomoléculas orgánicas solubles en disolventes no polares tales como : bence no, cloroformo, eter, etc. Existen diferentes familias - ó calses de lípidos, pero las propiedades distintivas de cada uno de ellos derivan de la naturaleza hidrocarbonada de la porción principal de su estructura. Los lípidos de desempeñan diversas funciones biológicas importantes actuando como componentes estructurales de las membranas, como formas de transporte y almacenamiento de combustible calórico, como componentes de la superficie celular relacionados con el reconocimiento de las células.

Dentro de los lípidos también se disuelven algunas - vitaminas (A,D,E,K.). Los lípidos también se encuentran unidos con glúcidos ó con proteínas constituyendo gluco- lípidos y lipoproteínas respectivamente.

III.4.1. Clasificación.- Generalmente se ha clasificado a los lípidos, de manera más satisfactoria, en base a las estructuras de sus esqueletos. Los lípidos complejos, que se caracterizan por contener ácidos grasos como componentes, comprenden a los acilglicéridos, los fofoglicéridos, los esfingolípidos y las ceras; también se les conoce con el nombre de lípidos saponificables ya que producen jabones por hidrólisis alcalina. El otro grupo está constituido por los lípidos sencillos que no contienen ácidos grasos y no son saponificables.

III.4.2. Ácidos grasos.- Los ácidos grasos se encuentran en cantidades muy grandes como componentes fundamentales de los lípidos saponificables, pero en estado libre aparecen solamente en trazas. Todos ellos poseen una cadena - hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal, la cadena hidrocarbonada puede ser saturada, como ácido palmítico, ó puede tener uno ó más dobles enlaces siendo así,

insaturados; existen unos cuantos ácidos grasos con enlaces triples. Los ácidos grasos difieren entre sí por la longitud de su cadena y también por el número y la posición de sus dobles enlaces.

Pueden hacerse algunas generalizaciones sobre los diferentes ácidos grasos presentes en las plantas superiores y en los animales. Los más abundantes poseen un número par de átomos de carbono, con cadenas longitudinales comprendidas entre los 14 y los 22 átomos de carbono.

Entre los ácidos grasos saturados los más corrientes son el ácido palmítico (C_{16}) y el ácido esteárico (C_{18}) y entre los ácidos grasos insaturados el ácido oléico (C_{18}). Los ácidos grasos insaturados predominan sobre los saturados y en los animales que viven a bajas temperaturas; poseen puntos de fusión más bajos que los ácidos grasos saturados de una misma longitud de la cadena.

Los dobles enlaces de casi todas las clases de ácidos grasos insaturados que se encuentran en la naturaleza aparecen con la configuración geométrica cis y hay muy pocos que poseen la configuración geométrica trans.

Los ácidos grasos que se precisan en la dieta de los mamíferos se llaman ácidos grasos esenciales, el más abundante en los mamíferos es el ácido linoléico que integra del 10 al 20% de los ácidos grasos totales de sus triglicéridos y fosfoglicéridos. Los ácidos linoléico y linolénico no pueden ser sintetizados por los mamíferos sino que tienen que obtenerlo de fuentes vegetales, donde son muy abundantes.

III.4.3. Triacilglicéridos.- Los ésteres de los ácidos grasos y del alcohol glicerina se llaman acilglicéridos, cuando los tres grupos hidroxilo de la glicerina se hallan esterificados con ácidos grasos, la estructura se llama triacilglicérido. Los triacilglicéridos constituyen la familia más abundante de lípidos y los principales

componentes de los lípidos de depósito ó de reserva de las células. Los triacilglicéridos que son sólidos a temperatura ambiente se les conoce generalmente con el nombre de grasas y los que son líquidos con el nombre de aceites.

Hay muchos tipos diferentes de triacilglicéridos, según su identidad y la posición de los ácidos grasos componentes que esterifican a la glicerina. Los que contienen a una sola clase de ácido-graso en las tres posiciones se llaman triacilglicéridos simples y reciben el nombre según el ácido graso que contienen; si contienen 2 ó más ácidos grasos diferentes reciben el nombre de triacilglicéridos mixtos.

La mayor parte de las grasas naturales son mezclas - muy complejas de triacilglicéridos simples y mixtos. Su punto de fusión viene determinado por los ácidos grasos - componentes. Este punto de fusión aumenta, en general, - con el número y la longitud de los ácidos grasos componen - tes, por ejemplo: la triestearina y la tripalmitina son - sólidos y la trilinoleína y la trioleína son líquidos. fo dos los triacilglicéridos son relativamente insolubles en agua y no tienden, por sí mismos, a formar micelas muy -- dispersas.

III.4.4. Membranas.- Constituyen una característica - llamativa de la membrana celular y en algunas células eu - carióticas los diferentes sistemas de membranas pueden - llegar a constituir el 80% de la masa celular seca total. Por tal motivo son consideradas dentro de este capítulo, ya que están constituidas por biomoléculas. Las membranas sirven no solamente de barrera para la separación de los compartimientos acuosos, con composiciones de soluto dife - rentes, sino también como base estructural a la que se ha - llan firmemente unidas algunas enzimas y sistemas de trans - porte; las membranas son muy delgadas y flexibles.

La mayoría de las membranas contienen alrededor de un

40% de lípidos y 60% de proteínas, pero hay variaciones - considerables. Los lípidos de las membranas son en gran parte polares, predominando los fosfoglicéridos y en cantidades menores se encuentran los esfingolípidos. En realidad casi todos los lípidos polares de las células se encuentran en las membranas.

Cada tipo de membrana contiene varias clases de proteína o de polipéptidos, las proteínas de las membranas - pueden clasificarse en dos categorías extrínsecas o periféricas, que se hallan debilmente unidas y las proteínas intrínsecas o integrales que constituyen el 70% o más de la proteína total de la membrana, están muy fuertemente unidas a la porción lipídica y solo pueden separarse mediante un tratamiento drástico.

Se han propuesto muchas hipótesis acerca de las membranas celulares, pero el modelo actual más satisfactorio de la estructura de membrana es el de mosaico fluido postulado por S.J. Singer y G.L. Nicolson en 1972. Este modelo afirma que los fosfolípidos de la membrana se hallan ordenados en bicapas formando una matriz, o ánima fluida de cristales líquidos. En esta bicapa, las moléculas lipídicas individuales pueden moverse lateralmente dotando a la bicapa de fluidez, flexibilidad y además de una resistencia eléctrica característicamente elevada y de relativa impermeabilidad respecto a las moléculas muy polares. El modelo del mosaico fluido postula que las proteínas de la membrana son globulares, para interpretar su elevado contenido de hélice alfa.

Algunas de las proteínas se hallan parcialmente empujadas o incluidas en la membrana y penetran a la fase lipídica desde cada lado, mientras que otras se hallan totalmente sepultadas por ellas.

De ésta manera las diversas proteínas de membrana -- formarían una estructura del tipo mosaico en la, por lo demás, fluida bicapa fosfolipídica. El mosaico no es fijo o estático ya que las proteínas son libres para difun-

-dirse lateralmente en dos dimensiones. Se cree que la viscosidad relativa de la bicapa lipídica es de 100 a 1000 veces superior a la del agua.

III.5. Enzimas.- Las enzimas son proteínas especializadas en la catálisis de las reacciones biológicas, debido a su extraordinaria especificidad se encuentran dentro de las más notables biomoléculas, siendo su poder catalítico mucho mayor que el de los catalizadores fabricados por el hombre.

El nombre "enzima", que deriva del griego y que literalmente significa "en la célula", no se empleó hasta -- 1877 pero mucho antes ya se sospechaba que ciertos catalizadores biológicos intervenían en las fermentaciones del azúcar para formar alcohol.

Después de ciertas investigaciones Pasteur llegó a la conclusión de que la fermentación se producía solamente por organismos vivos, pero su conclusión fue rechazada en 1897 cuando Edward Büchner reportó los resultados de su experimento: células frescas de levadura fueron molidas con arena en un mortero, la pasta resultante fue filtrada a través de un filtro que retenía todos los microorganismos; el filtrado libre de toda célula viva, seguía convirtiendo el azúcar a alcohol y CO_2 , si el filtrado era calentado hasta ebullición, su capacidad para fermentar era abolida.

Esto explicaba la dificultad de Pasteur en poder diferenciar entre la actividad de los microorganismos sensibles al calor y los agentes o sustancias sensibles al calor que se encontraban en los extractos libres de células de Büchner.

En 1876 Willy Kühne definió las enzimas como "fermentos no organizados o no formados cuya acción puede llevarse a cabo en ausencia de organismos y fuera de los organismos". Hasta muchos años después se aisló por primera

vez una enzima en forma cristalina, ésto lo consiguió J.B. Summer en 1926 con la ureasa aislada de extractos de alubia. En la actualidad se han identificado cerca de 2000 enzimas diferentes.

III.5.1. Cofactores.- La actividad de algunas enzimas depende solamente de su estructura como proteína, mientras que otras, necesitan además uno o más componentes no protéicos llamados cofactores; el cofactor puede ser un ión metálico, o bien una molécula orgánica llamada coenzima; algunas enzimas necesitan ambos.

III.5.2. Influencia del pH.- La mayoría de las enzimas tienen un pH característico en el cual su actividad es máxima, por encima o por debajo de éste su actividad disminuye. La mayoría de las curvas de actividad en función del pH de muchas enzimas son acompañadas pero existen variaciones considerables. La relación entre pH y la actividad de cualquier enzima depende del comportamiento ácido-base de la enzima y las posibles interacciones iónicas con el sustrato.

III.5.3 Influencia de la temperatura.- De igual forma - que ocurre con casi todas las reacciones químicas, la velocidad de las reacciones enzimáticas se vé incrementada con la temperatura, dentro del intervalo en el que la enzima permanece estable y totalmente activa. La velocidad de muchas reacciones enzimáticas se duplica aproximadamente por cada 10°C de aumento a la temperatura ($Q_{10}=2.0$).

III.5.4. Desnaturalización.- Las enzimas son lábiles - al calor como toda proteína, y la desnaturalización por calor dá por resultado una pérdida gradual de sus propiedades catalíticas. Hay que recordar que la desnaturalización consiste en desplegamiento de la estructura caracte-

-rística de la cadena polipeptídica de las moléculas de las proteínas, la denaturalización es la pérdida de las estructuras 4^{aria}, 3^{aria} y 2^{aria} de una proteína, la estructura 1^{aria} no se pierde ya que los enlaces químicos covalentes del esqueleto peptídico de las proteínas no se rompe durante éste tratamiento.

La energía de activación para el proceso de inactivación por calor es alta (40 000 a 100 000 cal/mol).

Se han observado muchos casos en que una molécula de proteína desplegada recupera su forma en un tubo de ensaye, este proceso se conoce como renaturalización, si es una enzima, ésta puede recuperar su actividad catalítica; si embargo, la renaturalización no desarrolla ninguna actividad biológica que no se hallase presente en la proteína original.

III.5.5. Unidades de actividad enzimática.- La unidad de actividad enzimática empleada más corrientemente se define como la cantidad de enzima que origina la transformación de 1 micromol de sustrato por minuto. La actividad específica es el número de unidades de enzima por miligramo de proteína y constituye una medida de pureza de la enzima. La actividad molecular o molar, que antiguamente se llamaba número de recambio, es el número de moléculas de sustrato transformadas por minuto por una sola molécula de enzima.

La comisión de Enzimas ha recomendado una nueva unidad internacional para la actividad enzimática: el Katal (Kat) que se define como la cantidad de actividad enzimática que transforma 1 mol/seg de sustrato. Esta nueva unidad se halla en correlación con las dimensiones de las constantes de velocidad en la cinética química, las cuales se basan en el segundo, en lugar del minuto.

Para los efectos de éste trabajo a continuación se muestra la composición proximal de la carnaza de coco, así como un esquema de la disposición de los diversos elementos que integran al coco como fruto.

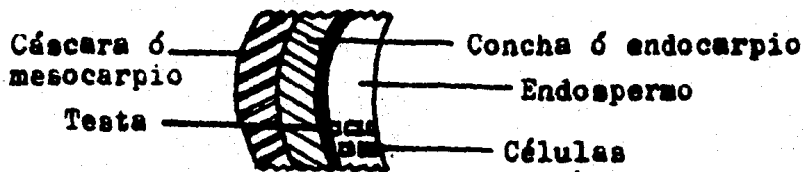
Composición del coco

	% peso
Cáscara	23.5 - 32.8
Carnaza	48.2 - 62
Agua	8.2- 25.1

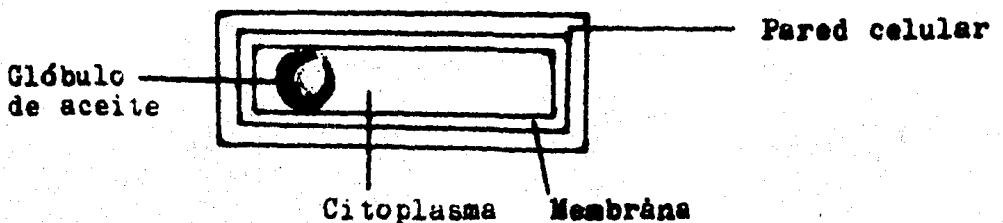
Composición de la carnaza de cocos maduros

	% peso
Aceite (base húmeda)	35 - 40
Proteína	4 - 5
Humedad	40 - 50
Carbohidratos	5 - 10
Fibra cruda	2 - 4
Cenizas	1 - 1.5

Corte seccional a través del coco



Corte seccional a través de una célula del endospermo



Por lo tanto, en base a estos datos, suponemos que - las enzimas que pueden actuar sobre la carnaza de coco y causar la liberación del aceite son las siguientes:

- a) Amilasas
- b) Celulasas
- c) Proteasas
- d) lipasas

Hablaremos brevemente de éstas a continuación.

III.5.6. Amilasas.- Las enzimas responsables de la hidrólisis del almidón se denominan amilasas y se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, actúan sobre - almidón, glucogeno y derivados polisacáridos hidrolizando los enlaces α -1,4 glucosídicos. Las amilasas pueden dividirse en 3 grupos: las amilasas, que rompen los enlaces en el interior del sustrato (endoamilasas); las β -amilasas que hidrolizan las unidades formando maltosa, desde el -- extremo no reductor del sustrato, (exoamilasas); y las α -glucoamilasas que separan unidades de glucosa desde el ex tremo no reductor del sustrato.

III.5.6.a. Amilasa.- α -amilasa (α -1,4-glucan-glucano hidrolasa, E.C. 3.2.1.1.) se encuentra comunmente en plantas tejidos de mamíferos y microorganismos. La enzima actúa en los componentes del almidón en una manera esencialmente al azar (endo), produciendo azúcares reductores. El modo de acción, propiedades y productos de reacción, difieren un poco dependiendo de la fuente de obtención de la enzima.

Se han obtenido α -amilasas altamente purificadas de diversas fuentes, Schinner y Ball (1949) cristalizaron - α -amilasa de cebada malteada, Fischer y Stein (1954) de *Aspergillus oryzae* y en 1961 de saliva humana, pancreas - porcino y *Bacillus subtilis*.

La acción de α -amilasas en la fracción amilosa del -

almidón se lleva a cabo en dos pasos. Inicialmente se lleva a cabo una degradación rápida y completa de amilosa -- formando maltosa y maltotriosa . Algo típico de éste rompimiento es la rápida pérdida de viscosidad y de coloración con iodo. El 2º paso (Walker y Whelam 1960) es más lento que el primero, involucra una hidrólisis lenta de los oligosacáridos, con la formación de glucosa y maltosa como productos finales; éste segundo paso no es al azar -- como el primero.

La α -amilólisis de la amilopectina origina glucosa, -- maltosa y una serie de dextrinas limitantes, oligosacáridos de 4 o más residuos glucosídicos, todos éstos contienen enlaces α -1,6-glucosídicos. Una hidrólisis adicional de los productos resultantes del 1º paso de la enzimólisis procede lentamente, efectuando un rompimiento de ciertos enlaces en los puntos de ramificación de la molécula, mediante otra enzima.

Se ha determinado que el peso molecular de la α -amilasa es de 50 000, cada molécula contiene un átomo de Ca^{2+} (Fischer y Stein 1960). El calcio se encuentra unido a la molécula enzimática muy debilmente y puede ser removido a un pH bajo usando agentes quelantes; si se remueve completamente, la enzima se vuelve esencialmente inactiva y pierde estabilidad a la desnaturalización por calor, ácido o urea. El calcio no participa directamente en la formación del complejo enzima-sustrato, pero mantiene a la enzima en la configuración óptima para su máxima estabilidad y actividad (Whitaker 1972). En la práctica, siempre hay suficiente calcio para que la enzima sea completamente activa; de hecho, es suficiente con que existan trazas de calcio.

Las amilasas tienen típicas curvas acompañadas cuando se grafica actividad contra pH. La máxima actividad de las amilasas se encuentra dentro de la región ácida desde pH 4.5 hasta pH 7.0, pero las formas de éstas curvas y su localización del punto óptimo difiere, dependiendo de la

fuelle de obtención de la enzima ejemplo: *Bacillus subtilis* (5.0 - 7.0) y *Bacillus stearothermophilus* 3.0.

Con respecto a la temperatura, generalmente la actividad de las α -amilasas se incrementa paulatinamente hasta llegar a un máximo de 40°C, sin embargo, algunas α -amilasas bacterianas muestran su temperatura óptima a 70°C.

La actividad de las α -amilasas se determinan usualmente midiendo la degradación del sustrato (almidón soluble) usando una concentración que es lo suficientemente alta para saturar a la enzima, de tal forma que la cinética sea de orden cero con respecto al sustrato. La desaparición del sustrato se estima midiendo la reducción de la coloración del iodo o por medición de la pérdida de viscosidad del sustrato. En muchos casos la actividad se expresa en unidades arbitrarias, también es preferible expresar la actividad en términos del número de enlaces rotos por la acción de las enzimas.

III.5.6.b. β -Amilasas.- (α -1,4,-glucan maltohidrolasa E.C. 3.2.1.2.). Este tipo de enzimas también llamadas amilasas sacarogénicas está presente en muchas superiores, no se encuentran en mamíferos y su existencia en microorganismos es dudosa.

La β -amilasa hidroliza los enlaces α -1,4-glucosídicos en el almidón y glucógeno con inversión de la configuración del C₁ de la glucosa de α a β . Este cambio configuracional es la razón por la cual la enzima es denominada β , esto no significa que la enzima reconozca los enlaces β -glucosídicos es más, β -amilasa no es capaz de romper los enlaces α -1,6-glucosídicos en la amilopectina y es incapaz de evadirlos, por lo tanto, la degradación de la amilopectina por ésta enzima es incompleta produciendo generalmente 50-60% de maltosa. La porción remante es llamada dextrina limitante.

El producto de la acción de ésta enzima es maltosa -

cuando actúa en moléculas de cadena lineal con un número par de residuos glucosídicos; cuando actúa en una cadena que contiene un número impar se encuentran ciertas cantidades de maltotriosa y glucosa como productos finales, la hidrólisis de maltotriosa produce glucosa y maltosa pero se lleva a cabo mucho más lentamente que la β -amilosis inicial y requiere de la presencia de altas concentraciones de la enzima, la acción de la β -amilosa en moléculas ramificadas es incompleta ya que no ataca los enlaces -1,6-glucosídicos.

La velocidad de acción indicada por el número de recambio de la enzima es uno de los más altos; a 30°C y pH 4.8 una molécula de enzima hidroliza 252 000 enlaces por minuto. Los intervalos de pH más activos están entre 5 y 6 y son completamente estables entre pH 4 - 9 a 20°C por lo menos 24 Hrs. Las características de estabilidad al calor dependen de la fuente de obtención. Si se calienta una mezcla de α -y β amilasa a 70°C en presencia de iones calcio se inactiva la β -amilasa.

Los grupos sulfhidrilo son esenciales para la actividad de la β -amilasa, no requiere cofactores orgánicos ni inorgánicos, la enzima se inactiva con p-cloromercurobenzoato y con N-etilmaleimida así como por oxidación esta inactivación puede ser prevenida por la adición de seralbúmina y glutatión reducido. En general parece ser que las β -amilasas tienen pesos moleculares más altos que las α -amilasas.

III.5.6.c. Glucoamilasa.- (α -1,4-Glucan glucohidrolasa E.C. 3.2.1.3.) La glucoamilasa es una exoenzima que remueve unidades de glucosa consecutivamente desde el extremo no reductor del almidón, también es conocida como amiloglucosidasa o glucamilasa, el producto final de la reacción es glucosa, lo que la diferencia de la α y β amilasas; proviene de algunas especies de hongos del grupo

de *Aspergillus* y *Rhizopus*. La enzima muestra baja especificidad ya que tiene habilidad para hidrolizar enlaces α -1,3; α -1,6 y α -1,4; además, la acción de la enzima no se detiene en los enlaces α -1,6 glucosídicos pero la degradación no es completa ya que parece ser que se bloquea el sustrato, no ha sido definido todavía este fenómeno, - sin embargo, en presencia de α -amilasa la degradación es completa. Esta enzima presenta una actividad en un intervalo de pH entre 4 y 5 y exhibe un intervalo de temperatura óptimo entre 50 y 60°C por tiempos mayores a 24 Hrs.

III.5.7. Celulasas.- Celulasas es el nombre trivial para las enzimas que tienen el nombre sistemático β -1,4-glucan 4 glucanohidrolasa E.C. 3.2.1.4. pueden ser divididas en tres grupos: a) Cl un factor cuya acción no ha sido aclarada, se requiere para la hidrólisis de celulosa - altamente cristalina. b) Glucanasa, que son de 2 tipos: - las exo- α -1,4-glucanasas y las endo- β -1,4-glucanasas. - c) las β -glucosidasas que muestran la más alta afinidad hacia sustratos de pesos moleculares bajos.

El pH óptimo de las celulasas está generalmente entre 4.5 y 6.5, las preparaciones comerciales de *Aspergillus niger* o *Trichoderma viride* muestran actividades óptimas entre pH 4.5 y 5.5. Las celulasas muestran una sorprendente estabilidad al calentamiento, la celulasa de *Myrothecium verrucaria* en ausencia de sustrato tiene 20% de su actividad original después de calentarla 10 mins. a 100°C. Las exoenzimas pierden su actividad completamente cuando se hierven por 2 min., mientras que las endoenzimas pierden solamente 25-37% de su actividad en carboximetilcelulosa. Se han reportado temperaturas óptimas de 55 y 60°C.

Son fuertemente inhibidas por glucanolactonas pero el efecto inhibitorio de metales pesados tales como cobre o sales de mercurio puede ser reversible con cisteína. Teji

-dos de plantas contienen inhibidores naturales que las protegen de los ataques de los microorganismos.

III.5.8. Proteasas.- La más antigua clasificación de las proteasas están basadas en el origen de las enzimas: papaína, ficina y bromelina de plantas; tripsina de páncreas; pepsina y renina del estómago. Los nombres de estas enzimas terminan en "ina", lo cual refleja el método antiguo para clasificarlas. Una clasificación posterior y que todavía es de uso general hoy en día, está basada en el esquema sugerido por Bergman y Fruton (1941) y Bergmann (1942). Dividen a las proteasas en exopeptidasas y endopeptidasas. El prefijo exo, se refiere a enzimas que hidrolizan los aminoácidos terminales desde un extremo -- terminal o inicial de la cadena; las endopeptidasas son proteasas que actúan sobre los enlaces peptídicos en el interior de la cadena peptídica.

Otra forma de clasificar a las proteasas se basan en la naturaleza química de su sitio activo. Hartley (1960) propuso la clasificación de las proteasas en 4 grupos basados en este concepto:

El 1^{er} grupo contiene las serino-proteasas, que tienen un residuo serilo específico en sus sitios activos. - Estas enzimas son todas endopeptidasas. Tripsina, quimotripsina, elastasa y subtilisina se encuentran en este grupo.

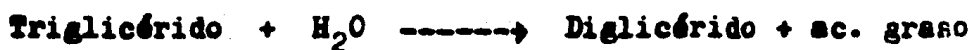
El 2^o grupo contiene a las enzimas con sulfhidrilo, cuya actividad depende de la presencia de 1 o más grupos sulfhidrilo en el sitio activo. Agentes oxidantes, agentes alquilantes e iones de metales pesados inhiben tales enzimas ya que se enlazan con el grupo tiol. Las proteasas de plantas y algunas proteasas microbianas pertenecen a este grupo.

En el 3^{er} grupo se encuentran las metaloenzimas, cuya actividad depende de la presencia de un ión metálico

el cual se encuentra en relación estequiométrica con la molécula de la proteína. Tales metales pueden ser magnesio, zinc, cobalto, hierro, mercurio, cadmio, cobre o níquel. Estas enzimas son fuertemente inhibidas por cianuros y otros metales contaminantes. La carboxipeptidasa A, algunas aminopeptidasas y algunas proteasas bacterianas se encuentran en éste grupo.

En el 4º grupo se encuentran las proteínas ácidas, - estas enzimas poseen 2 grupos carboxilos en el sitio activo y son inhibidas por bromuro de p-bromofenacilo o reactivos diazo. Pepsina renina y muchas proteasas de hongos activas a pH ácido (2-4) pertenecen a éste grupo.

III.5.9 Lipasas.- De acuerdo con la nomenclatura de la Unión Internacional de Bioquímicos las lipasas catalizan la siguiente reacción hidrolítica:



Sin embargo, las lipasas pueden catalizar la reacción hasta la formación del monoglicérido o inclusive, hasta formar glicerol.

Debido a que el objetivo de éste trabajo es obtener un aceite de coco de alta calidad, el empleo de una enzima de ésta clase dañaría el aceite por lo que no será empleada experimentalmente ni ahondaremos más bibliográficamente.

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

IV.1. Origen de la materia prima.- Los cocos se adquirieron en la central de abastos de la Ciudad de México, -- procedentes del estado de Guerrero de la variedad alta Jamaica Tall. Los cocos se adquirieron por lotes conforme a la demanda de los experimentos, cada lote está formado por una docena. Especial atención fue puesta a que todos los lotes tuvieran el mismo grado de madurez, además de que -- siempre se compraron con el mismo productor y proveedor.

IV.2. Origen de las enzimas.- Las enzimas utilizadas -- fueron adquiridas en el comercio y provenían de: CIBA-GEIGY; Ergazyme 100 (poligalacturonasa); Complementos Alimenticios S.A. Tenasa (α- amilasa); ENMEX, proteasa microbiana y SIGMA S.A. lipasa y celulasa.

IV.3. Análisis.

IV.3.a. Determinación porcentual de las fracciones del coco.- Una vez recibida la materia prima, se procedió a -- realizarse un análisis cuantitativo. Se extraía el agua, se separaba la cáscara ó concha de la carnaza y cada una de éstas fracciones se pesaban por separado en una balanza -- granataria y se reportaba el resultado en % en peso.

IV.3.b. Análisis proximal.- Una vez obtenida la carnaza, se realizó un análisis proximal a una muestra homogénea. - Para tal efecto, se cortaba la carnaza en trozos pequeños y posteriormente se molía en un Moulinex. Los análisis realizados fueron: Grasa cruda (método de Soxhlet), proteína cruda (método de Kjeldahl), fibra cruda, humedad, cenizas y carbohidratos; todos éstos análisis fueron realizados -- siguiendo las técnicas del A.O.A.C. 13^a Ed.

IV.4. Métodos de preparación de la emulsión.- Una vez -- molida en el moulinex, se pesaba cierta cantidad de carna-

-za y a ésta se le agregaba una determinada cantidad de agua. Inicialmente se hicieron experimentos para determinar la dilución más adecuada y una vez encontrada se trabajó con ésta durante todo el experimento. El coco se molía junto con el agua en una licuadora casera por espacio de un minuto aproximadamente. Esta emulsión se vertía en matraces Erlen Meyer de 250 mls.

IV.5. Determinación de la estabilidad de la emulsión.- Para saber si la emulsión era estable ó inestable, se siguió un método recomendado por el Dr. Jaime Vernon Carter (comunicación personal), el cual consiste en medir el tamaño de partícula de cada gota de aceite presente en una alícuota (una gota) de la reacción cada cierto tiempo, ésta medición se hacía en un microscopio óptico que tenía integrado un ocular micrométrico. Posteriormente, se calculaba el diámetro medio (D_m) definido por la siguiente ecuación:

$$D_m = \frac{n_1 D_1^3 + n_2 D_2^3 + n_3 D_3^3 + \dots + n_i D_i^3}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i}$$

en donde $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ son los números de partículas ó gotas de aceite con diámetros $D_1, D_2, D_3, \dots, D_i$ respectivamente. Para poder evaluar la estabilidad también es necesario calcular el número de partículas por unidad de volumen (N) para cada diámetro usando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\phi \times 10^{12}}{\pi \times D_m^3}$$

donde ϕ es la fracción de volumen de la fase dispersa y está definida como:

$$\phi = \frac{\text{Concentración en volumen de la fase dispersa}}{\text{Conc. vol. fase dispersa} + \text{Conc. vol. fase continua}}$$

Teniendo éstos datos, se construye una gráfica de log

N vs. tiempo (al que se tomaron las alícuotas) y se obtiene, en principio, una línea recta en donde la pendiente es la tasa de coalescencia. La estabilidad de la emulsión es inversamente proporcional a la tasa de coalescencia. La emulsión es estable si la tasa de coalescencia cae dentro del intervalo de 10^{-7} a 10^{-12} , pero es inestable si resulta entre 10^{-3} y 10^{-1} .

IV.6. Concentración de las enzimas.- En base a los resultados tanto de los análisis proximales como de la estabilidad de la emulsión y considerando la velocidad con la tasa de coalescencia se modifica, se pudo calcular cual era la concentración de enzima adecuada para poder liberar el aceite.

IV. 7. Medición de productos de reacción.- Se determinaron azúcares reductores y proteínas como aminoácidos, los azúcares reductores se determinaron por el método de DNS (Sumner et al. 1935) y las proteínas por el método de Lowry (Lowry et al. 1951).

IV.8. Temperatura de tratamiento.- Se realizaron experimentos para saber cuales eran tanto la temperatura como el tiempo óptimo de tratamiento enzimático, se realizaron a 20, 30 y 40°C.

IV.9. Tiempo y velocidad de centrifugación.- Una vez realizado el tratamiento enzimático los matraces se retiraban del incubador con agitación y se colocaban en un baño de agua hirviendo durante 10 minutos con el objeto de inactivar las enzimas, terminando éste tiempo la emulsión era centrifugada. Para determinar tiempo y velocidad de centrifugación se realizaron varias corridas midiendo rendimiento en cada una de ellas,

IV.10. Evaluación del rendimiento del aceite obtenido.

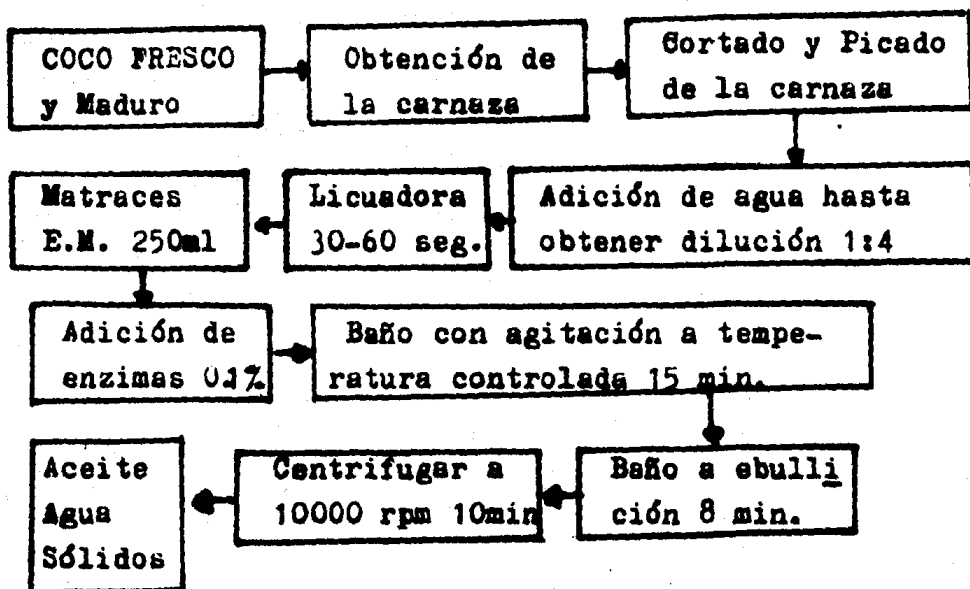
El aceite se obtuvo a nivel laboratorio por lo cual, las cantidades obtenidas fueron muy pequeñas y el rendimiento se evaluó en el mismo tubo de centrifuga. Se medía la altura que tenía la fase oleosa y se calculaba el valor obtenido. Posteriormente éste rendimiento se corroboró a nivel planta piloto.

IV.11. Análisis realizados al aceite de coco.- Los análisis realizados al aceite de coco obtenido a nivel planta piloto fueron los especificados por la norma oficial mexicana para aceite de coco comestible y se realizaron mediante los métodos estipulados en dicha norma (Métodos A.O.A.C.).

CAPITULO V

RESULTADOS

Diagrama de bloques del proceso a nivel laboratorio:



V.1. Determinación porcentual de las fracciones del coco.
 Se pesaron las fracciones de 10 cocos: agua, carnaza y concha y se obtuvo la media y la desviación estandar de éstos pesos. Como se puede observar en la tabla 1, no se encontro gran variación entre los pesos de cada fracción de los diversos cocos, con lo que se comprueba que los lotes fueron seleccionados homogéneamente.

TABLA 1. % DE LAS FRACCIONES DEL COCO.

Fracción del coco	% en peso	Dev. Estd.
Agua	9.58	4.28
Cáscara	37.36	4.85
Carnaza	53.42	4.58

V.2. Análisis proximal.- Los resultados del análisis proximal efectuado a 4 muestras diferentes de carnaza y -

por duplicado se reportan en la tabla 2, éstos resultados nos indican que los cocos seleccionados se encontraban con un grado de madurez muy similar, además de que los valores encontrados caen dentro de los intervalos reportados en la literatura. Este análisis es de gran utilidad para calcular posteriormente el rendimiento de la extracción en base a la cantidad de grasa presente en la carnaza.

TABLA 2. ANALISIS PROXIMAL.

Análisis	BASE HUMEDA		BASE SECA	
	%	Desv. Estd.	%	Desv. Estd.
Humedad	48.1237	1.95		
Grasa	27.6204	0.36	50.5031	3.98
Proteína	3.7963	0.15	7.1417	0.54
Cenizas	0.9127	0.03	1.7805	0.13
Fibra cruda	16.9020	0.65	32.3836	2.82
Carbohidratos	4.8597	3.93	6.6631	7.06

V.3. Diluciones.- Debido al contenido de humedad presente en la carnaza de coco no está del todo libre y tomando en cuenta que las enzimas, como la mayoría de las biológicas, requieren de agua para desarrollar una conformación estable con propiedades biológicamente activas, es necesario adicionar agua a la carnaza para formar una emulsión y poder llevar a cabo la reacción enzimática, debemos determinar cual es la dilución más adecuada ya que de lo contrario se obtendría un medio de reacción muy pastoso ó muy líquido. Para tal efecto, se hicieron experimentos con diversas diluciones. El óptimo puede observarse en la gráfica y la tabla 3 en donde se compara el nivel de dilución efectuado con el rendimiento obtenido en una primera extracción enzimática.

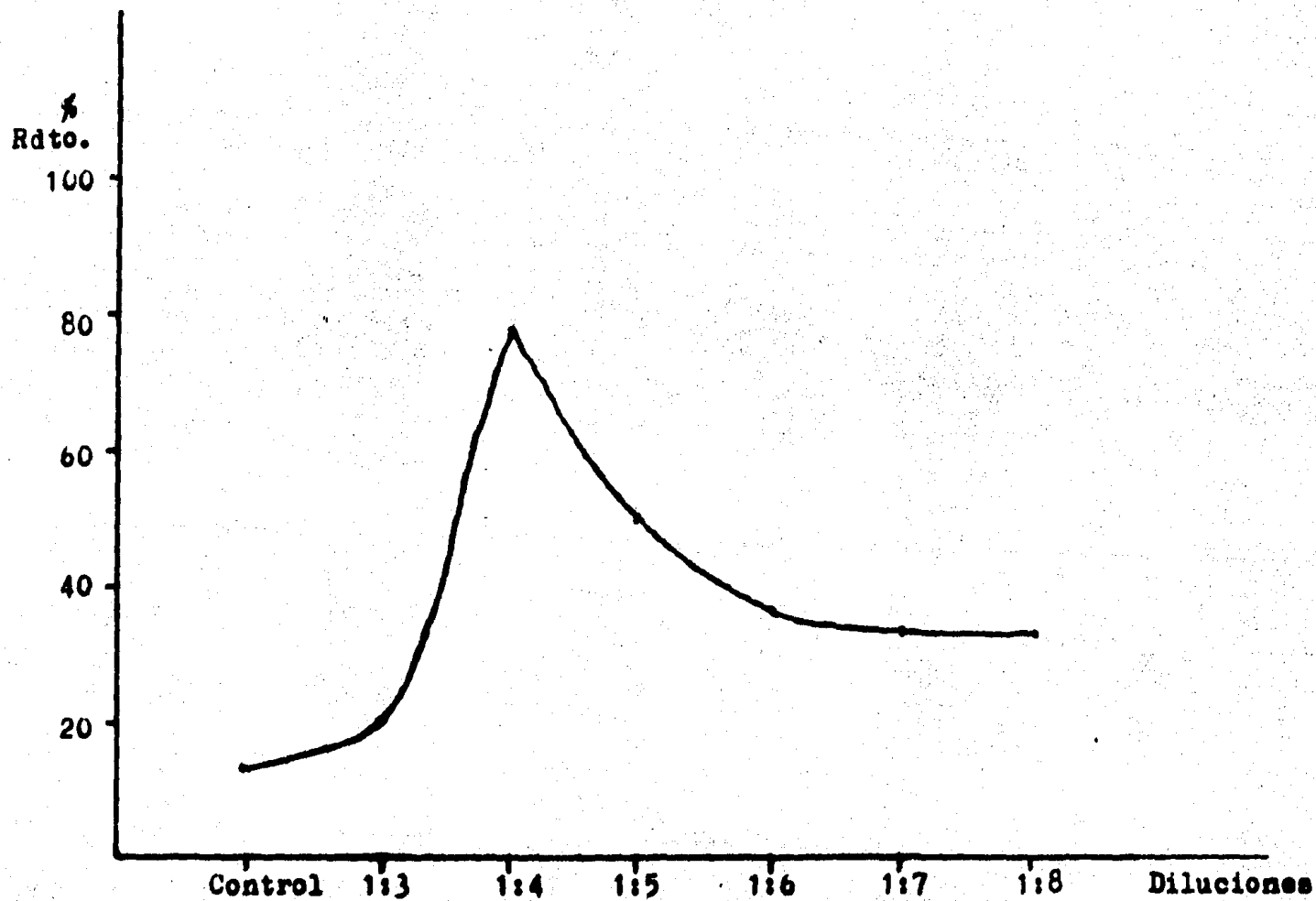
Aunque posteriormente ésta extracción es optimizada, inicialmente se utilizó una mezcla de todas las enzimas --

disponibles, descartando desde éste punto el uso de lipasas ya que se encontró que afectaría la calidad del aceite. Las enzimas disponibles fueron: poligalacturonasa, α -amilasa, proteasa microbiana y celulasa.

TABLA 3. DILUCIONES.

Dilución:	Control	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8
% rendimiento:	13.06	19.63	77.72	49.06	36.3	33.25	32.71

V.4. Estabilidad de la emulsión.- Se midió el tamaño de partícula de una alícuota de cada una de los cuatro matraces de reacción, consistentes en: un control, 3%, 5%, y 8% de concentración de enzimas (p/v). Mediante la aplicación del método descrito en el capítulo de materiales y métodos se evaluó la estabilidad de la emulsión, efectuando la medición para la óptima dilución encontrada (1:4). Los resultados se muestran en la tabla 4 y la gráfica 2. Observando los resultados, puede concluirse que la emulsión es muy inestable, siendo la estabilidad independiente de la concentración de enzimas ya que se observa una muy pequeña -- disminución de las tasas de coalescencia desde la emulsión sin enzimas hasta el matraz que contenía 8% de enzima.



GRAFICA 1. Diluciones de la emulsión

TABLA 4. ESTABILIDAD DE LA EMULSION.*

4a. Matraz control

t (mins)	D _m (micras)	N (micras ⁻¹)	Log N	tasa de coalescencia
0	8.912	1348962900	9.13	3.883 x 10 ⁻²
30	23.442	74131024	7.87	
60	53.291	6309573.4	6.80	
90	63.094	3801894	6.58	6.6 x 10 ⁻³
120	72.442	2511886.4	6.40	
150	84.461	1584893.2	6.20	
180	98.474	1000000	6.00	

4b. Matras conteniendo 3% de enzimas.*

t (mins)	D _m (micras)	N (micras ⁻¹)	Log N	Tasa de coalescencia
0	9.12	1258925400	9.10	4.133 x 10 ⁻²
30	24.736	63095734	7.80	
60	61.119	4168693.8	6.62	
90	72.44	2511886.4	6.40	6.8 x 10 ⁻³
120	84.461	1584893.2	6.20	
150	98.47	1000000	6.00	
180	114.813	630957.34	5.8	

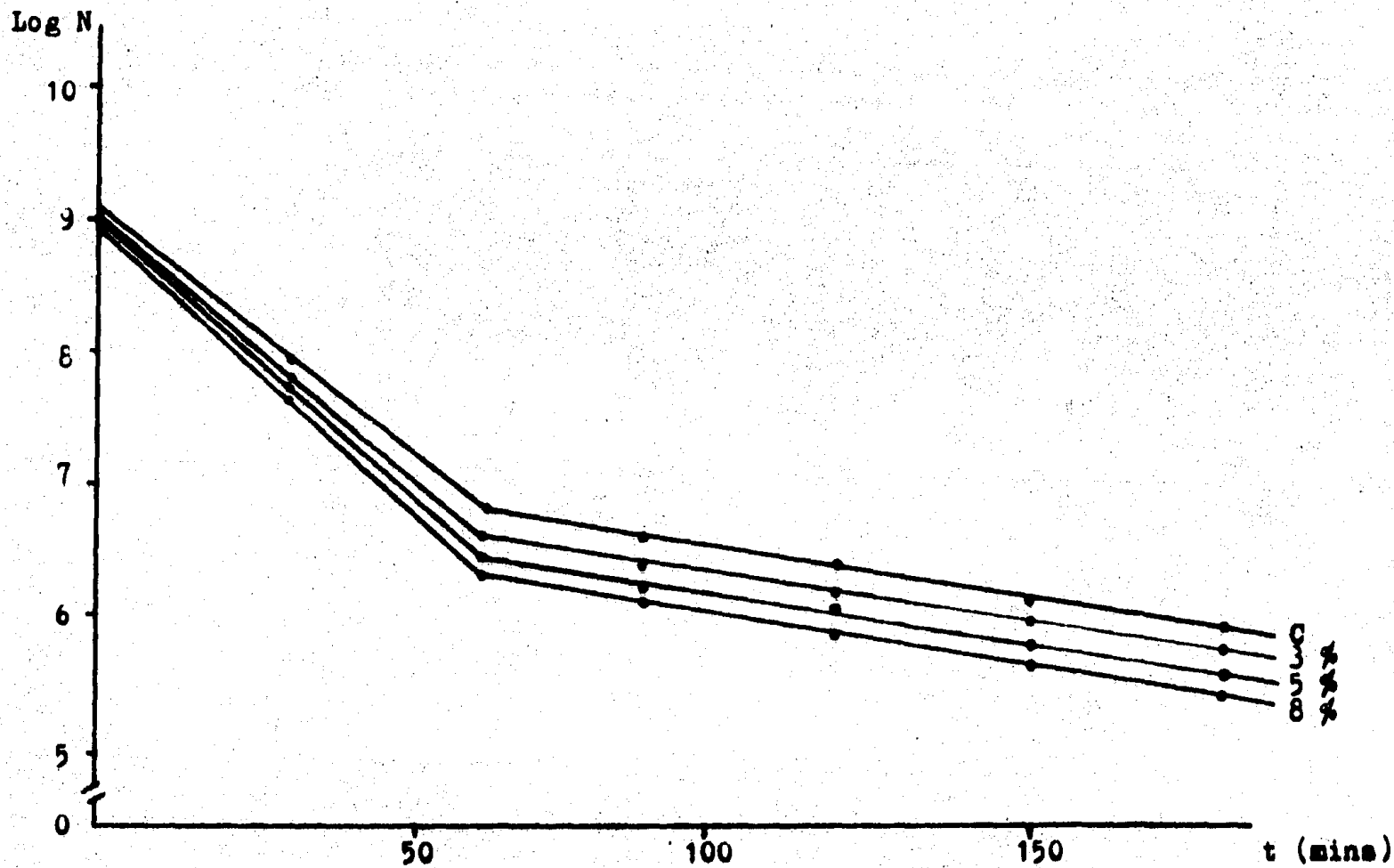
4c. Matraz conteniendo 5% de enzimas.†

t (mins)	D _n (micras)	N (micras ⁻¹)	Log N	Tasa de coalescencia
0	9.847	1000000000	9.0	4.233 x 10 ⁻²
30	26.915	48977882	7.69	
60	69.182	2884031.5	6.46	
90	81.281	1778279.4	6.25	
120	89.810	1318256.7	6.12	7.166 x 10 ⁻³
150	113.064	660693.45	5.82	
180	158.5	239883.29	5.6	

4d. Matraz conteniendo 8% de enzimas.†

t (mins)	D _n (micras)	N (micras ⁻¹)	Log N	tasa de coalescencia
0	10.39	851138040	8.93	4.35 x 10 ⁻²
30	28.84	39810717	7.6	
60	77.029	2089296.1	6.32	
90	89.810	1318256.7	6.12	
120	103.910	851138.04	5.93	7.33 x 10 ⁻³
150	129.815	436515.83	5.64	
180	149.047	288403.15	5.46	

† Las enzimas utilizadas consistieron en una mezcla de coagulasa, α-amilasa, proteasa microbiana y poligalacturonasa.



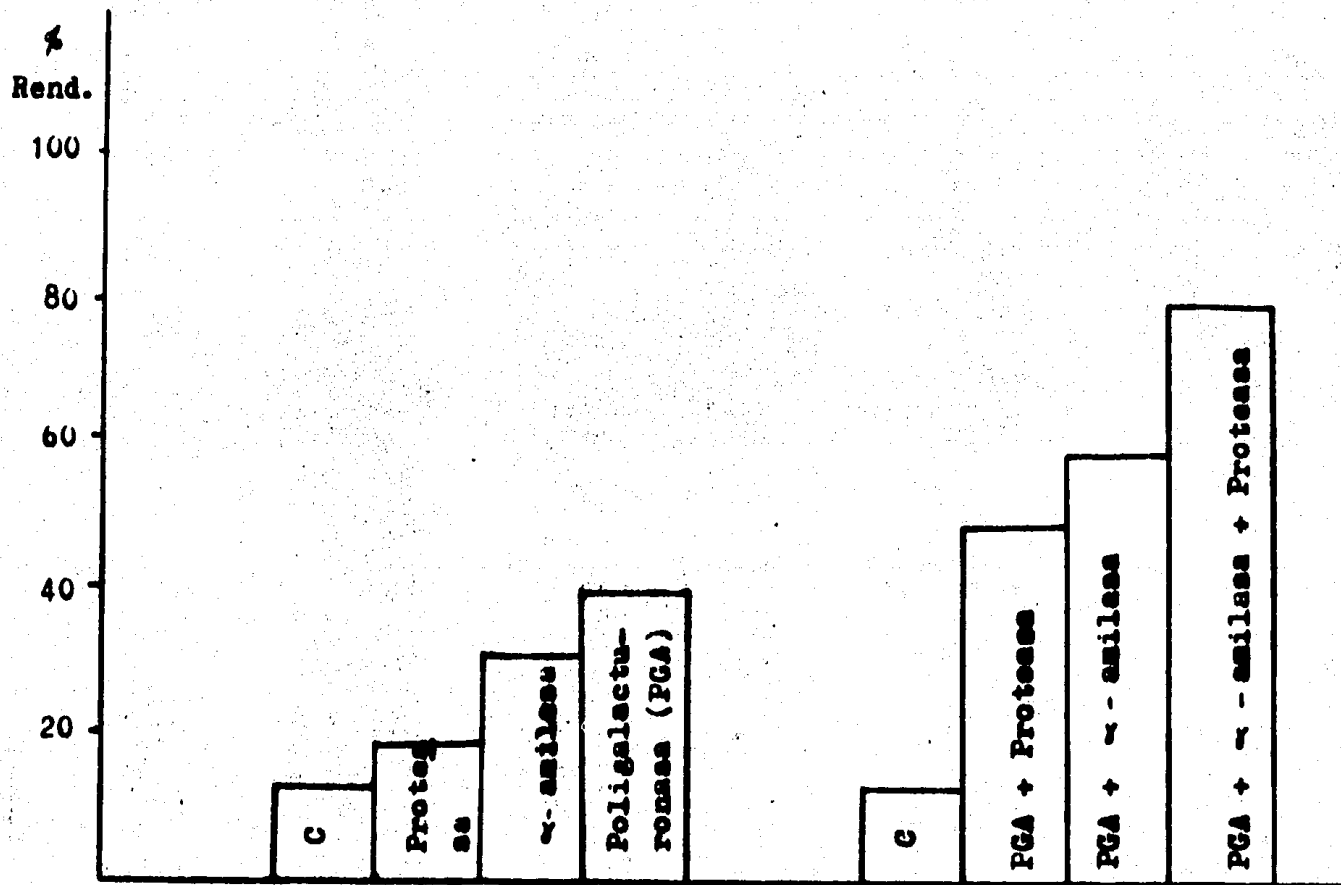
GRAFICA 2. Estabilidad de la emulsión.

V.5. Selección de las enzimas.- Las enzimas se seleccionaron en base al rendimiento de extracción de aceite obtenido. Inicialmente se midió el rendimiento a cada enzima por separado y posteriormente se hicieron combinaciones de éstas buscando un posible efecto sinérgico en la desestabilización de la emulsión. A partir de éstos experimentos, se eliminó a la celulasa ya que se observó un bajo efecto en la liberación del aceite, por otro lado, observando los resultados que se muestran en la gráfica 3 y la tabla 5, la poligalacturonasa muestra un alto rendimiento por sí sola. En base a esto se utilizó a ésta enzima como parámetro de comparación con la α -amilasa y la proteasa microbiana, obteniéndose el más alto rendimiento al combinar -- las tres enzimas.

TABLA 5. SELECCION DE LAS ENZIMAS.

Enzimas	% rendimiento
Control sin enzimas	13
Proteasa microbiana	19
α -amilasa	31.2
Poligalacturonasa (PGA)	40.1
PGA + proteasa	49.08
PGA + α -amilasa	58.90
PGA + α -amilasa + proteasa	80.0

V.6. Concentración de enzimas.- En base a los resultados obtenidos de la estabilidad de la emulsión y de selección de enzimas, se buscó una concentración de enzimas tal que conservara un alto rendimiento en la obtención del aceite, desde el punto de vista de eficiencia del proceso, y que fuera la mínima necesaria para la extracción, tomando en cuenta el aspecto económico del proceso, ya que a nivel industrial este punto representaría un gasto considerable. - Esta concentración fue del 0.1% de cada enzima en p/v como



GRAFICA. 3. Selección de las enzimas.

se observa en la tabla 6.

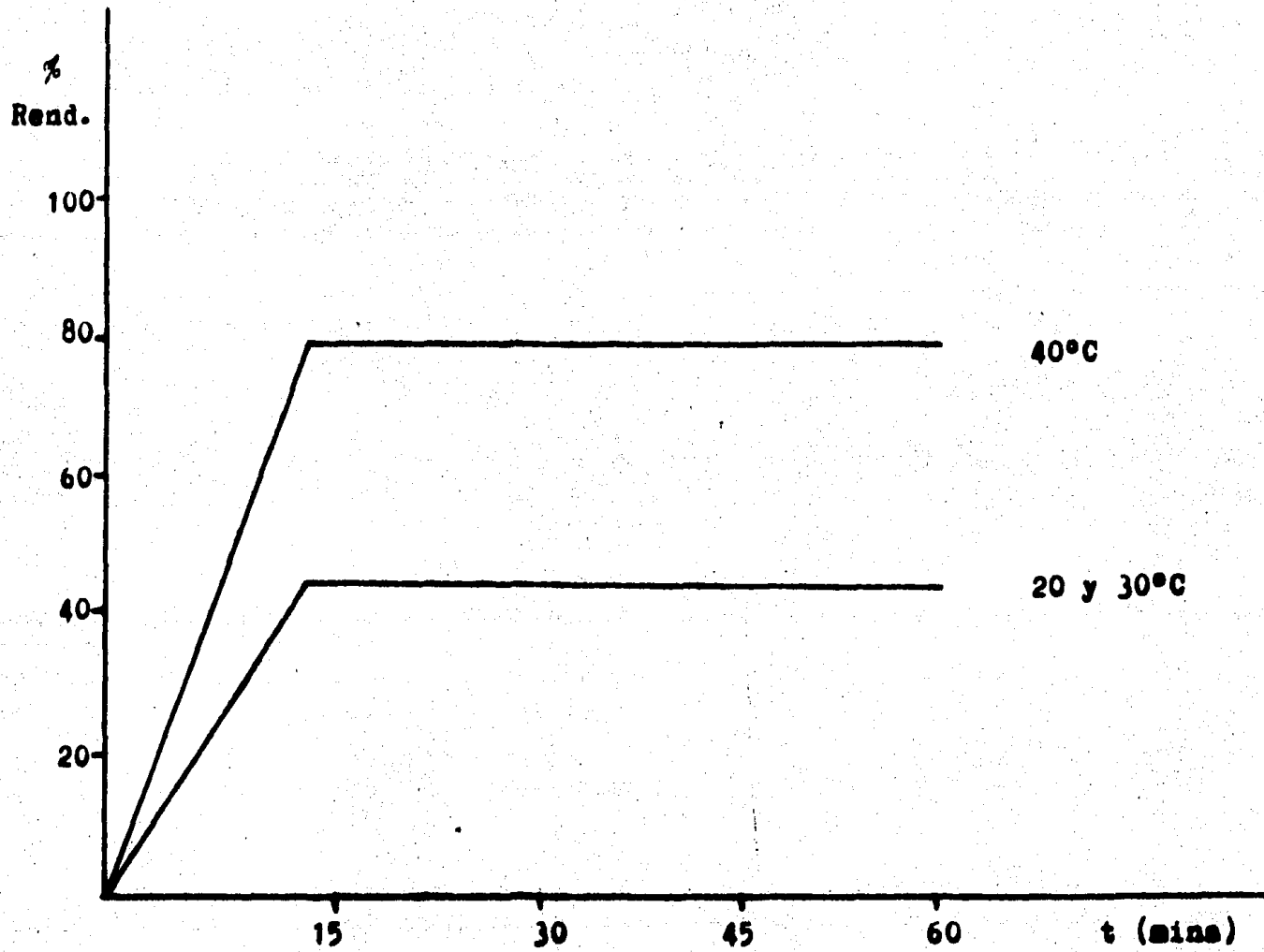
TABLA 6. CONCENTRACION Y MEZCLA DE ENZIMAS.

Experimento	PGA %	amilasa%	Proteasa%	Rendimiento%
1	1	0.5	0.5	80
2	1	0.25	0.25	80
3	1	0.1	0.1	80
4	1	0.05	0.05	80
5	0.5	0.5	0.5	80
6	0.5	0.25	0.25	80
7	0.5	0.1	0.1	80
8	0.5	0.05	0.05	80
9	0.1	0.1	0.1	80
10	0.1	0.05	0.05	65.45
11	0.1	0.025	0.025	57.25
12	0.1	0.01	0.01	49.08

V.7. Tiempo de reacción.- Una vez seleccionadas las enzimas y optimizada la concentración de cada una, se procedió a caracterizar las modificaciones en el sustrato debidas a la acción de las enzimas agregadas en función del tiempo y a tres diferentes temperaturas: 20, 30 y 40°C. De la gráfica 4 se concluye que a un tiempo de reacción de 15 minutos, para las tres temperaturas, se produce la liberación del aceite, sin embargo el rendimiento más alto correspondió a la temperatura de 40°C.

Dado que el primer punto de medición correspondió a los 15 minutos, y a éste tiempo la liberación del aceite ya había tenido lugar, fue necesario reducir el intervalo de tiempo para el muestreo.

V.8. Medición de los productos de reacción.- Como productos de reacción se midieron azúcares reductores y aminoácidos liberados a 20, 30 y 40°C durante un intervalo de 15



GRAFICA 4. Tiempo de reacción.

minutos. Mediante la observación de los resultados reportados en la gráfica 5 y tabla 7 se concluye que la máxima liberación de los productos se logra a los 10 minutos de reacción y dado que la extracción del aceite está directamente relacionada a la liberación de esos productos, la máxima extracción de aceite se logra a ese tiempo y a 40°C con un rendimiento de extracción del 80%.

TABLA 7. MEDICION DE LOS PRODUCTOS DE REACCION.

7a. Evolución de la reacción a 20°C

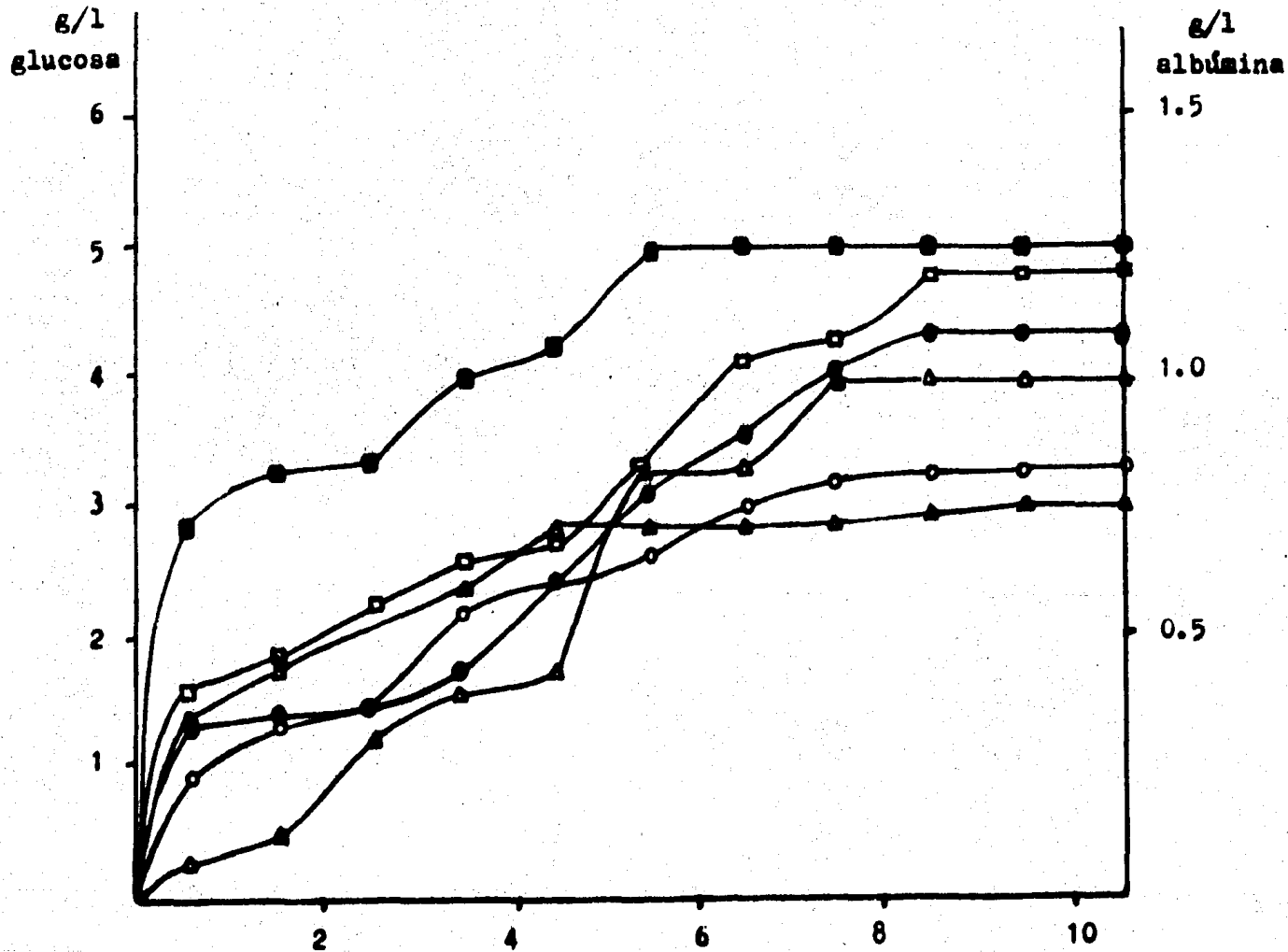
tiempo (minutos)	reductores como g/l glucosa	aminoácidos li- berados. g/l albúmina
0	0	0
0.5	1.37	0.056
1.5	1.67	0.100
2.5	2.12	0.304
3.5	2.34	0.384
4.5	2.87	0.404
5.5	2.87	0.816
6.5	2.87	0.820
7.5	2.87	0.988
8.5	3.0	0.988
9.5	3.0	1.000
10.5	3.0	1.000

7b. Evolución de la reacción a 30°C

Tiempo (minutos)	reductores como g/l glucosa	aminoácidos libe rados. g/l albúmina.
0	0	0
0.5	0.84	0.32
1.5	1.29	0.348
2.5	1.43	0.356
3.5	2.17	0.444
4.5	2.40	0.604
5.5	2.61	0.780
6.5	3.01	0.880
7.5	3.21	1.040
8.5	3.23	1.080
9.5	3.30	1.080
10.5	3.30	1.080

7c. Evolución de la reacción a 40°C.

Tiempo (minutos)	reductores como g/l glucosa	aminoácidos libe rados. g/l albúmina.
0	0	0
0.5	2.77	0.388
1.5	3.24	0.464
2.5	3.33	0.544
3.5	4.00	0.640
4.5	4.20	0.672
5.5.	5.00	0.840
6.5	5.00	1.040
7.5	5.00	1.072
8.5	5.00	1.200
9.5	5.00	1.200
10.5	5.00	1.200



GRAFICA 5. Medición de productos de reacción.

□	= 20°C	□	= 20°C
○	= 30°C	○	= 30°C
△	= 40°C	△	= 40°C
	DNS		Lowry

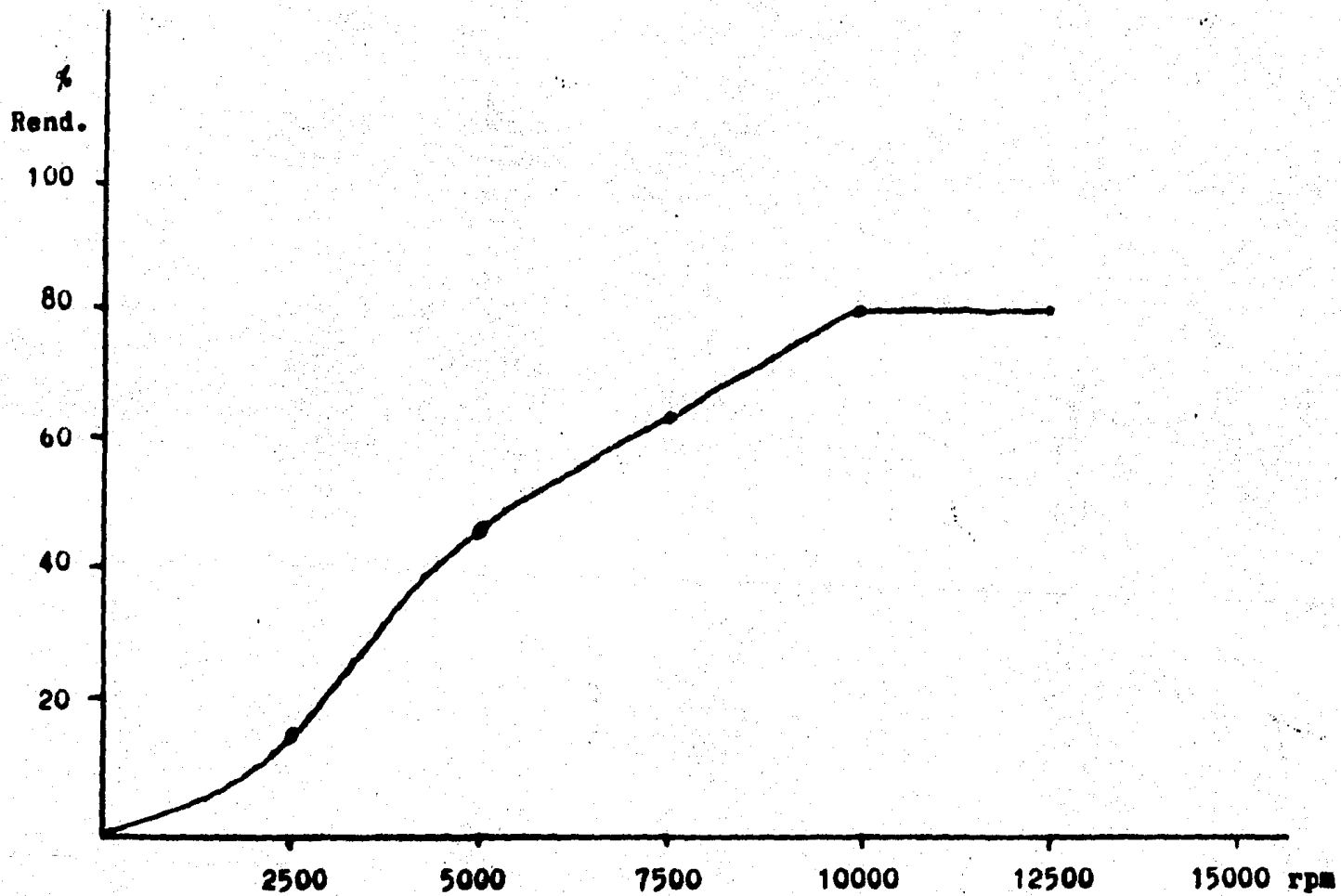
V.9. Velocidad de centrifugación.- Una vez optimizadas las condiciones de tiempo y temperatura de reacción para la máxima extracción, se procedió a optimizar la velocidad de centrifugación de la emulsión obtenida del tratamiento enzimático. Para el efecto, se realizaron centrifugaciones con la misma cantidad de emulsión a 2500, 5000, 7500, 10000, 12500 rpm durante 10 minutos para observar las condiciones mínimas de centrifugación para lograr la separación del aceite. Los resultados se reportan en la tabla 8 y gráfica 6, en ésta puede observarse que a medida que aumenta el número de rpm se obtiene un mayor rendimiento, al cansándose el óptimo a las 10000 rpm y manteniéndose a una mayor velocidad se obtiene el mismo rendimiento.

TABLA 8. VELOCIDAD DE CENTRIFUGACION.

rpm:	2500	5000	7500	10000	12500
% rendimiento:	15	57.12	62.83	80.0	80.0

V. 10. Planta piloto.- Se realizó un experimento a nivel planta piloto en el que se utilizaron 2 kgs. de carnaza de coco maduro y fresco, se procedió de la siguiente manera: Una vez obtenida la carnaza se cortó y se picó en una Moulinex, posteriormente se formó la emulsión en una licuadora casera con su correspondiente cantidad de agua (dilución 1:4) necesitando para esto utilizar varias veces la licuadora, al final de ésta operación se obtuvieron aproximadamente 10 lts. de la emulsión de coco, los cuales -- fueron vertidos a un tanque de reacción de 14 lts.; como tanque de reacción se utilizó un fermentador pues contaba con aspas de agitación permanente con control de velocidad y control de temperatura.

Habiendo colocado el tanque de reacción y con los controles preparados, se agregaron las enzimas en una concentración del 0.1% (p/v). Las condiciones de operación fueron las siguientes: Temperatura 40°C, Velocidad de agita--



GRAPICA 6. Velocidad de centrifugación.

-ción 200 rpm, tiempo de reacción 20 minutos. Terminando el tiempo se suspendió el experimento y la emulsión ya tratada se decantó para eliminarle los sólidos y se colocó en 2 matraces bola de 5 litros que se dejaron un día en refrigeración y esto con el objeto de que la grasa se fuera separando y se formara una capa en la parte superior de los matraces, siendo más accesible de manejar y teniendo así, menor volumen que centrifugar.

Se obtuvo la capa superior de los matraces eliminando el agua inferior por medio de un sistema de sifón, esta capa de grasa se recuperó en vasos de precipitados y se colocó en la estufa a 50°C para fundirla y poderla centrifugar; hay que hacer notar que esta "grasa" una vez fundida, todavía presentaba un contenido de agua considerable.

Se procedió a centrifugar todo el volumen de los vasos de precipitados a 10000 rpm durante 10 minutos en una centrífuga con capacidad para 8 tubos de 50 mls. cada uno, al final se recolectaron 420 mls. de aceite el cual se guardó en refrigeración para posteriormente realizarle los análisis respectivos.

Para que el rendimiento en el experimento a nivel planta piloto fuera estrictamente del 80% se hubiera tenido que obtener 450 mls. de aceite, los 30 mls. faltantes son considerados como pérdidas durante la manipulación sufrida por el aceite desde el tanque de reacción hasta los tubos de centrífuga, dado que hubo remanentes en el tanque de reacción, matraces bola, vasos de precipitados, tubos de centrífuga y en la pipeta; se debe mencionar en este punto que la recuperación del aceite a partir de los tubos de centrífuga no fue fácil, ya que se tuvo que hacer uso de una pipeta volumétrica para extraer el aceite.

De haber vertido el aceite inclinando el tubo de centrífuga hacia el vaso en donde se recogía el aceite, las fases se hubieran mezclado contaminando el aceite con agua y sólidos. Por otro lado, no se pipeteó todo el aceite de

los tubos de centrífuga pues se presentaba el mismo problema.

Las figuras presentadas a continuación muestran la evolución del experimento a nivel planta piloto. En base a los resultados obtenidos de éste experimento se obtuvo una conclusión importante.

V.11. Análisis realizados al aceite obtenido.- Los análisis realizados al aceite obtenido se presentan en forma de tabla comparativa junto con los intervalos específicos por la norma oficial mexicana para aceite comestible de coco y se muestran en la tabla 9. Se puede observar que el resultado de acidez del aceite obtenido es un poco elevado con respecto al máximo permitido por la norma oficial, esto se debe a que éste análisis se tardó algunos días en realizarse después de que se obtuvo el aceite y éste no contenía antioxidantes.

Los resultados de peso específico e índice de refracción ambos determinados a 25°C, se encuentran en los límites máximos permitidos por la norma, el resultado de impurezas insolubles encontrado es de 0%.

El resultado de la prueba fría se reporta en la norma como sólido a temperatura ambiente, no estipulando que se entienda por temperatura ambiente, sin embargo, el aceite obtenido se presentó a la temperatura ambiente de la Ciudad de México (20-22°C) como un sólido blanco.

En la prueba caliente sin olores desagradables el aceite se mantuvo hasta 180°C sin presentar ningún olor de agradable, a ésta temperatura, el aceite solo presentaba un clásico olor a grasa ó aceite calentado.

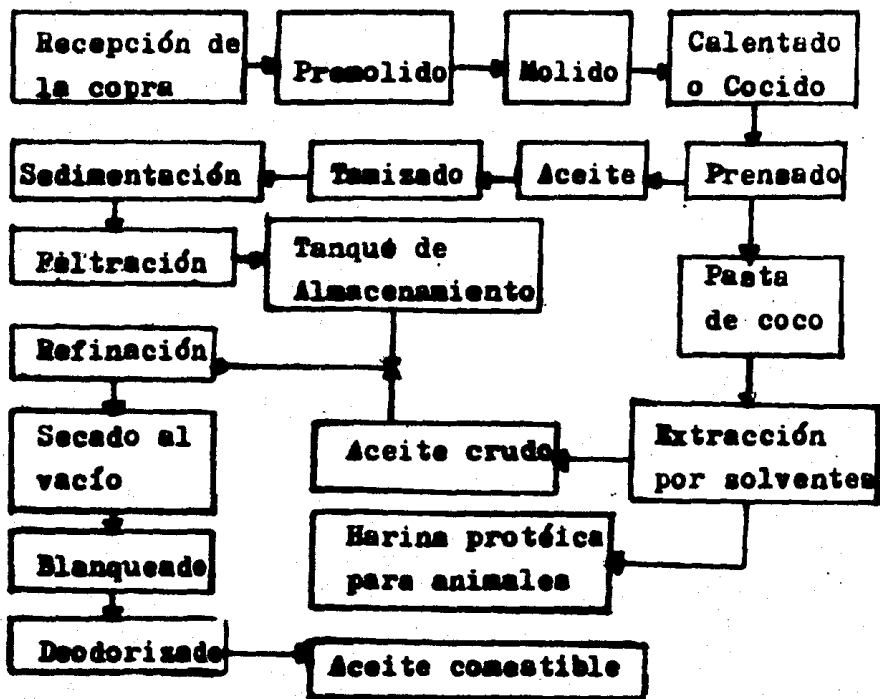
El índice de yodo y el índice de saponificación no presentan problema alguno ya que los valores encontrados cumplen con la norma así como el punto de solidificación de los ácidos grasos, peróxidos e índice de Reichert-Meissel.

TABLA 9. ANALISIS DEL ACEITE DE COCO.

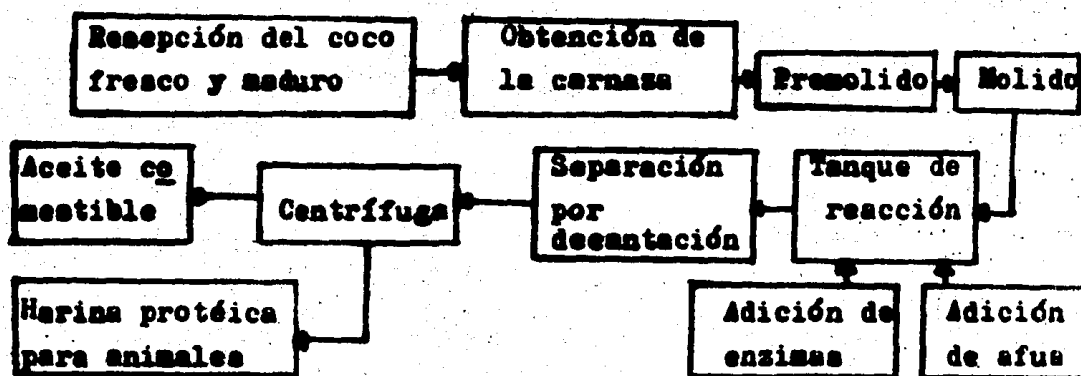
	Análisis realizados		Norma oficial	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Acidez (ác. oléico) ‰	0.0721	0.072		0.05
Peso específico 25/25°C	0.9200		0.917	0.919
Indice de refracción 25°C	1.450		1.448	1.450
Impurezas insolubles	0.0			0.02
Prueba fría 0°C Hrs.		Sólido a temp rtura ambiente	Sólido a temp rtura ambiente	
Prueba caliente sin olores desagradables °C	180		180	
Indice de iodo	8.5	9.5	7.5	13
Indice de saponificación	258	260	251	264
Punto de solidificación de los ácidos grasos °C	22	24	20	24
Indice de peróxidos ppm	0.518	0.904		2.0
Indice de Reichert-Meissel ‰	0.05			0.05

III.12. Comparación energética y de costos del proceso tradicional y el proceso propuesto.

III.12.a. Diagrama de bloques del proceso tradicional.



III.12.b. Diagrama de bloques del proceso propuesto.



+ Los costos se muestran en las tablas 10 y 11 de una manera cualitativa, ya que no había una estabilidad económica en el mercado.

TABLA 10. PRINCIPALES OPERACIONES DE ALTO CONSUMO ENERGÉTICO EN LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE COCO.

Proceso tradicional	Proceso propuesto
Premolido	Premolido
Molido	Molido
Cocido	- - - - -
Prensado	- - - - -
Tamizado	- - - - -
Filtración	- - - - -
Extracción por solventes	- - - - -
Centrifugación (Refinación)	- - - - -
Secado al vacío	- - - - -
Blanqueado	- - - - -
Deodorizado	- - - - -
- - - - -	Calentamiento a 40°C
- - - - -	Mezclado

TABLA 11. PRINCIPAL EQUIPO UTILIZADO EN LA EXTRACCION DE ACEITE DE COCO.

Proceso tradicional	Proceso propuesto
Premolido	Premolido
Molido	Molido
Calentadores o cocedores	- - - - -
Prensas o cocedores	- - - - -
Tamizador	- - - - -
Tanques de sedimentación y almacenamiento	Tanques de reacción
Filtros prensa	- - - - -
Equipo de extracción por solventes	- - - - -
Centrífugas	Centrífugas
Secador al vacío	- - - - -
Blanqueador	- - - - -
Deodorizador	- - - - -

CAPITULO VI

**RESUMEN, CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**

Resumen

El método tradicional de extracción de aceite de coco empleado en el país, consiste en utilizar copra (coco se cado al sol), la cual es molida, calentada y finalmente pasada a través de una prensa para extraer el aceite; éste aceite crudo debido a las malas condiciones del proceso y de secado al sol del coco, debe ser refinado ya que contiene gran cantidad de ácidos grasos libres, además de color, olor, gomas y otros productos indeseables en el aceite comestible.

El proceso, desde la forma de secar el coco hasta el último paso de la refinación presenta varias desventajas, entre las más importantes destacan las siguientes:

- Pérdidas hasta un 30% de aceite en el secado del coco al sol debidas al ataque de roedores, insectos y microorganismos, así como enranciamiento de los ácidos grasos y - producción de ácidos grasos libres.
- Altos costos en la adquisición de maquinaria ya que se u tiliza una gran cantidad de ésta: molinos, cocedores, - prensas, tanque de almacenamiento, centrifugas, etc. y - gran parte de ésta maquinaria es de importación, maxime si el proceso de extracción por prensado es complementado con una extracción por solventes.
- Un elevado costo de operación ya que el gasto energético del proceso es grande y requiere de más personal.
- Costos de mantenimiento elevados puesto que se emplea - gran cantidad de maquinaria y la mayoría de ésta, es muy sofisticada.

Debido a esto, en varios países del mundo ha surgido la necesidad de encontrar un método más sencillo y econó mico y que no tenga pérdidas. De una manera general se - puede afirmar que México cuenta con la materia prima sufi ciente para explotar a nivel industrial la producción nacional de coco, por lo que se debe de poner mayor aten--

-ción a ésta industria, no solo desde el punto de vista de la obtención del aceite sino también desde el punto de vista de la utilización de los subproductos, los cuales representan importantes egresos económicos ya que en algunos casos, los productos elaborados a partir de desperdicios de la industria de la extracción del aceite los tenemos que adquirir de importación.

CONCLUSIONES

Mediante el presente trabajo se logró desarrollar un método eficiente para extraer el aceite de coco eliminando las pérdidas producidas en el antiguo proceso de extracción del aceite.

Las enzimas que liberan la grasa presente en la carnaza de coco son las siguientes:

- Poligalacturonasa
- α -amilasa y
- Proteasa microbiana.

Las condiciones óptimas encontradas para utilizar este proceso a nivel industrial son las siguientes:

- Dilución 1:4 (carnaza/ agua).
- Concentración de las enzimas antes mencionadas 0.1% p/v.
- Temperatura de reacción: 40°C.
- Tiempo de reacción: 20 minutos.
- Velocidad de centrifugación de la emulsión una vez tratada enzimáticamente: 10 000 rpm.

El aceite obtenido cumple con los requerimientos de la norma oficial mexicana para aceite de coco comestible refinado en vigor. (tabla 9).

Observando la tabla 10 podemos concluir que el proceso tradicional representa un gasto energético considerablemente elevado, ya que las operaciones de extracción por solventes y refinación principalmente, tienen un costo muy elevado; además de que las operaciones subsiguientes a la refinación también son costosas.

Si analizamos los dos procesos desde el punto de vista de costos de inversión fija, la diferencia que existe entre el proceso tradicional y el proceso propuesto es muy grande, ya que el primero requiere de equipo más sofisticado y en mayor proporción (Ver tabla 11), inclusive gran parte de éste equipo es de importación; mientras que el segundo, el equipo necesario es mucho más limitado y de bajo grado de sofisticación.

Analizando los costos de operación de ambos procesos se concluye que el proceso desarrollado requiere de menor inversión, ya que implica menor número de equipos: un tanque de reacción con agitación y calentamiento y una centrífuga principalmente. Los costos de mantenimiento de una planta equipada por medio del proceso tradicional también son bastante elevados por las razones ya antes mencionadas.

En conclusión, el proceso desarrollado tiene un costo global y analizándolo desde cualquier punto de vista, mucho más bajo que el proceso tradicional, el aceite obtenido no requiere de refinación y el rendimiento obtenido es del 80% considerado a partir del contenido de grasa en el coco fresco.

RECOMENDACIONES

Para llevar a cabo la extracción del aceite de coco a nivel industrial mediante el método desarrollado, se recomienda lo siguiente:

- Disminuir el tamaño de partícula de la carnaza al mayor grado posible mediante el uso de un molino apropiado.
- Centrifugación continua de todo el volumen de la emulsión, incluyendo los sólidos, ya que, tal vez a nivel industrial, si solamente se centrifugase el líquido, muchas partículas de aceite se adsorberían a las partículas sólidas disminuyendo considerablemente el rendimiento.

Se recomienda como parte complementaria a éste trabajo, el efectuar un estudio de factibilidad técnico-económica del nuevo proceso. Es altamente recomendable y en esta dirección se encaminan actualmente los esfuerzos, el pensar en pequeños módulos de producción, a nivel de agroindustria, con el fin de aprovechar los recursos copreros de varios estados de la República.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.O.A.C., Methods of Analysis. George Banta Co. Inc. Menasha, Wisconsin, U.S.A. 13^a Ed.
- 2.- Badui, D.S., Química de los alimentos, Ed. Alhambra México 1981 1^a Ed.
- 3.- Balasobramanian and K. Sihotang. Studies of coconut protein and its enzyme activities. Journal of Food Science Vol. 44 N°1, 1979 62-65.
- 4.- Birosel D.M., Antonio L. Gonzalez, Milagros P. Santos. The nature and properties of the emulsifier system - of an oil globules in coconut milk and cream. Philippine. Journal of Science. Vol 92 num. 1 1963 1-15.
- 5.- Dandy D.A.V. and W.H. Timmis. Development of a wet - coconut process designed to extract protein and oil - from fresh coconut. Tropical Products Institute 1973.
- 6.- Gunetileke K.S. and Laurentius S.F. Conditions for - the separation of oil and protein from coconut milk - emulsion. Journal of Food Science. Vol 39 1974 230-233.
- 7.- Guy Woodroot Jasper. Coconut: Production, processing, products. AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut U.S.A. 1979 2nd Ed.
- 8.- Hagenmaier Robert, Carl M. Cater and Karl P. Mattil. Aqueous processing of fresh coconut for recovery of oil and coconut skim milk. Journal of Food Science Vol. 38 1973 516-578.
- 9.- Lehninger L. Albert. Bioquímica. Ediciones Omega S.A. Barcelona 1980 2^a Ed.
- 10.- Lowry Oliver H. et al Protein measurement with the Folin - phenol reagent. J. Biol. Chem. 1951 Vol. 193 p. 265-275
- 11.- Norma oficial mexicana F-14-1976 Aceite de coco comestible refinado. Dirección General de Normas México 1982.

- 12.- Puertollano L. Carmen, Julian Benson and Keith Stein kraus. Separation of the oil and the protein fraction in coconut (Coco nucifera Linn) by fermentation J. Agr. Chem. Vol. 18 N° 4 1970 p. 579-584.
- 13.- Reed Gerald, Enzymes in food processing. Academic Press 2nd Ed. 1975 New York U.S.A.
- 14.- Robledano P. Method of extracting oil from mature fresh coconuts meat. U.S. Patent 2742487 April 17 1956.
- 15.- Roxas P.G. Process of recovering oils from oleagineus meats of nuts, beans and seeds. U.S. Patent 3083365 March 26 1963.
- 16.- Summer J.B., S.T. Howell. Method for determination of Saccharase activity 1935 J. Biol. Chem. Vol. 101:51.
- 17.- Thomas Thomas. Chemistry and Biology an interface in oils. Chemistry and Industry 17 July 1982.