



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

OBTENCIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE  
MAMEY CRIOLLO (*Calocarpum Mammosum*) POR  
TRES MÉTODOS DIFERENTES DE EXTRACCIÓN

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**  
P R E S E N T A  
**JOSE LUIS ELIZALDE MONTAÑO**

ASESOR: M. EN C. RICARDO P. HERNÁNDEZ GARCÍA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Obtención del Aceite de la Semilla de Mamey Criollo (Calocarpum mammo-  
sum) por Tres Métodos Diferentes de Extracción.

que presenta el pasante: José Luis Elizalde Montaño

con número de cuenta: 7207377-7 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Químico

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

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

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 29 de Septiembre de 1997

PRESIDENTE I.Q.I. Alvaro Leo Ramírez

VOCAL Dr. José Luis Ruiz Guzmán

SECRETARIO M. en C. Ricardo P. Hernández García

PRIMER SUPLENTE Dr. José Luis Arjona Román

SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Gilberto Atilano Amaya Ventura

### **Agradecimiento**

**A la Subdirección de Investigación y Docencia de la Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT), por haberme permitido desarrollar esta Tesis dentro del Departamento de Tecnologías Básicas Agroindustriales.**

**Al Departamento de Control de Calidad de Aceites Maravilla y en especial al Q. Marco Antonio Castrejon por tu apoyo en este trabajo.**

**Al M. en C. Ricardo Paramont García Hernández por su asesoramiento y dirección de este trabajo**

**A mis Padres:**

**Con mucho cariño por su incondicional apoyo que me brindaron para terminar mi carrera, la mejor herencia que un hijo puede recibir.**

**A Josefina, mi esposa y compañera que me ha dado todo su apoyo para lograr este objetivo, gracias.**

## ÍNDICE

	Página
<b>Capítulo I.-</b>	
<b>Introducción</b>	
<b>Antecedentes Bibliográficos del Mamey</b>	<b>1</b>
1.1 Origen	
1.2 Descripción Botánica	
1.3 Clasificación y Nombres comunes	
1.4 Características Climatológicas	
1.5 Composición del fruto	
1.6 Cosechas y Producción	
1.7 Utilidad del Fruto.	
<b>Capítulo II.-</b>	
<b>Antecedentes Generales de Aceites y Grasas</b>	<b>8</b>
2.1 Estructura y composición de aceites y grasas	
2.2 Factores que afectan a la semilla durante su almacenamiento	
2.3 Pretratamiento de la semilla:	
2.3.1 Descascarillado	
2.3.2 Molienda	
2.3.3 Tratamiento térmico.	
<b>Capítulo III.-</b>	
<b>Tecnología de Extracción de Aceites y Grasas</b>	<b>18</b>
3.1 Método de Extracción por Prensado	
3.2 Método de Extracción por Solventes:	
3.2.1 Principio teórico	
3.2.2 Formas de Extracción	
3.2.3 Tipos de Extractores	
3.3 Método de Extracción por Centrifugación:	
3.3.1 Principio teórico	
3.4 Refinación de aceites y grasas:	
3.4.1 Desgomado	
3.4.2 Neutralización	
3.4.3 Blanqueado	
3.4.4 Desodorización	
<b>Capítulo IV.-</b>	
<b>Desarrollo Experimental</b>	<b>48</b>
4.1 Pruebas de Extracción por Prensado	
4.2 Pruebas de Extracción por Solventes:	
4.2.1 Selección del solvente	
4.2.2 Relación muestra-solvente	
4.2.3 Relación tamaño de partícula y % de humedad	
4.2.4 Tiempo de extracción	
4.3 Pruebas de Extracción por Centrifugación	
4.4 Análisis Fisicoquímico de la semilla de mamey	
4.5 Análisis Fisicoquímico del aceite de mamey	
4.6 Análisis de la Composición de ácidos grasos del aceite de mamey	
4.7 Pruebas de Refinación y Blanqueado del aceite de mamey	

	<b>Página</b>
<b>Capitulo V.-</b>	
<b>Resultados</b>	<b>73</b>
5.1 Métodos de Extracción	
5.1.1 Método por Prensado	
5.1.2 Método de Extracción por solventes	
5.1.3 Método por Centrifugación	
5.2 Análisis de la semilla de mamey	
5.3 Análisis del aceite de mamey	
5.4 Análisis de la composición de los ácidos grasos del aceite de mamey	
5.5 Refinación y blanqueado del aceite de mamey	
<b>Capitulo VI.-</b>	
<b>Selección del Proceso de Extracción</b>	<b>89</b>
6.1 Elección del tipo de extractor	
6.2 Descripción del proceso	
6.3 Paquete de extracción	
6.4 Especificación del equipo de proceso y servicios auxiliares	
6.5 Seguridad industrial en una planta de extracción	
6.6 Localización de la planta.	
<b>Conclusiones</b>	<b>114</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>119</b>
<b>Apéndice I</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		<b>Página</b>
<b>Cuadro 1</b>	<b>Rendimiento aproximado del fruto, (Anónimo)</b>	<b>3</b>
<b>Cuadro 2</b>	<b>Composición aproximada de la pulpa por 100 g. de muestra, (Woo-Tsuen leung)</b>	<b>4</b>
<b>Cuadro 3</b>	<b>Resultados de las pruebas de prensado</b>	<b>75</b>
<b>Cuadro 4</b>	<b>Resultados de las pruebas de la selección de solvente en la extracción</b>	<b>76</b>
<b>Cuadro 5</b>	<b>Resultados de las pruebas de la influencia de la relación muestra-solvente en la extracción</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 6</b>	<b>Resultados de la influencia del tamaño de partícula y el % de humedad en la extracción</b>	<b>78</b>
<b>Cuadro 7</b>	<b>Resultados de las pruebas de la influencia del tiempo de extracción.</b>	<b>80</b>
<b>Cuadro 8</b>	<b>Resultados de las pruebas de centrifugación</b>	<b>82</b>
<b>Cuadro 9</b>	<b>Resultados del análisis de la semilla de mamey</b>	<b>84</b>
<b>Cuadro 10</b>	<b>Resultados del análisis del aceite de mamey</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 11</b>	<b>Resultados de la composición del aceite de mamey</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 12</b>	<b>Resultados de las pruebas de refinación y blanqueado</b>	<b>87</b>
<b>Cuadro 13</b>	<b>Principales estados con actividad en la industria de aceites y grasas</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Vista estructural de un triglicérido	9
Figura 2	Vista estructural de un glicérido mixto y simple	10
Figura 3	Sección transversal de una trituradora	15
Figura 4	Dos tipos de Cocedor de semillas	17
Figura 5	Prensa expeller Anderson (tipo tornillo)	22
Figura 6	Extractor Hansa-Muhle (tipo cesta)	29
Figura 7	Extractor de percolación Lurgi	30
Figura 8	Extractor de Smet	32
Figura 9	Extractor Crown	34
Figura 10	Diagrama de la fuerza centrífuga	36
Figura 11	Tipos de Centrifugas	41
Figura 12	Diagrama de bloques general de la obtención del aceite de mamey	50
Figura 13	Diagrama de bloques para la obtención del aceite de mamey por prensado	52
Figura 14	Esquematación de una prensa hidráulica	53
Figura 15	Diagrama de bloques para la obtención del aceite de mamey por extracción por solventes	55
Figura 16	Equipo de extracción soxhlet	56
Figura 17	Diagrama de bloques par la obtención del aceite de mamey por centrifugación	62
Figura 18	Vista interior de una centrifuga Sharpless tipo tubular	64
Figura 19a 19b	Vista interior del rotor de la centrifuga Sharpless tipo tubular: clarificación/ separación	65
Figura 20	Gráfica de la relación:% de humedad y rendimiento final de la harina en la extracción por prensado	75
Figura 21	Gráfica de la relación:% de humedad y el rendimiento final de la harina en la extracción por solventes	79
Figura 22	Gráfica de la relación: tiempo de extracción y el rendimiento final de la harina en la extracción por solventes	81

		<b>Página</b>
<b>Figura 23</b>	<b>Gráfica de la relación: temperatura de escaldado y el rendimiento final de la harina en la extracción por centrifugación</b>	<b>83</b>
<b>Figura 24</b>	<b>Cromatografía del aceite de (Calocarpum Mammosum)</b>	<b>86</b>
<b>Figura 25</b>	<b>Diagrama de proceso de extracción por solventes</b>	<b>94</b>
<b>Figura 26</b>	<b>Zonas principales de actividad de la industria de aceites y grasas</b>	<b>108</b>

#### ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b>	<b>Estadísticas de producción y superficie cosechada para 1993 (anuario estadístico de la SARH-DGEA)</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2</b>	<b>Estadísticas de producción y superficie cosechadas para 1994 (anuario estadístico de la SARH-DGEA)</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 3</b>	<b>Composición de ácidos grasos y aceites comestibles</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 4</b>	<b>Propiedades físicas del hexano comercial</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 5</b>	<b>Composición química del hexano comercial</b>	<b>..58</b>
<b>Tabla 6</b>	<b>Requerimientos para llevar a cabo la refinación de diferentes aceites comestibles</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>Condiciones de refinación de diferentes aceites comestibles</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 8</b>	<b>Lista y clasificación de los equipos</b>	<b>96</b>

## **Introducción**

**México es un país de grandes recursos naturales, en donde el sector agrícola desempeña un papel importante en su desarrollo, gracias a nuestra situación geográfica y climatológica la cual nos proporciona todas las ventajas para el cultivo de una gran variedad de frutas.**

**Lamentablemente uno de los frutos potenciales en contenido calórico y vitamina, disponibles en nuestro país y que no ha sido industrializado, es el mamey criollo (*Calocarpum mammosum*) que al igual que otros frutos tropicales no han recibido la debida atención.**

**Este trabajo formó parte de un proyecto en el Departamento de Tecnologías Básicas Agroindustriales de la Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT) ya desaparecida, planteando la posibilidad de poder industrializar el fruto completo.**

**Este proyecto de industrialización del mamey precede a una serie de investigaciones que se realizaron en la misma dependencia, sobre la selección de tipos de mamey criollo que existen en diferentes puntos de cultivo del país (34). Esto con el fin de ver la posibilidad de crear huertos en esos puntos, para obtener frutos con las mejores características en calidad y aumentar los niveles de producción. Sin embargo, hay que mencionar que este estudio está enfocado exclusivamente a la semilla del fruto.**

**Para lograr huertos en los lugares adecuados y obtener frutos de calidad la fruticultura requiere de un mejoramiento y una expansión racional: ya que según datos de la Secretaría de Programación y Presupuesto (27), entre el 30 - 40 % de**

**la producción frutícola en México se pierde por falta de una estructura de extensión frutícola permanente como lo son: vías de comunicación, transporte, conservación a temperaturas adecuadas, etc., y esto aunado a la marcada influencia del Intermediarismo que es consecuencia principal de que se eleve el costo de los productos frutícolas a nivel consumidor hasta en un 250 %.**

**Por lo que resulta necesario una programación de la producción nacional del mamey con huertos que satisfagan la demanda y oferta del fruto en el mercado nacional y así poder obtener proyecciones de la demanda total futura, que traería como consecuencia final, el poder industrializar el fruto completo.**

**El aceite de mamey es de color amarillo brillante y es tradicionalmente utilizado como artículo de tocador en diferentes regiones del país, debido a su agradable aroma, en todo semejante al olor del aceite de almendras, siendo ésta una de sus principales características, con lo cual podría tener muy buena aplicación en la Industria de Cosméticos. Y posiblemente realizando pruebas posteriores en el aceite, con el fin de verificar si es comestible y no tóxico, podría tener aplicación en la industria Alimentaria y Confitera.**

**Sin embargo, cabe mencionar que el desarrollo de la semilla del mamey criollo como recurso aceitero estará supeditado al establecimiento de una industria del procesamiento de la fruta.**

**En el capítulo I se da una visión general del fruto, producción, cosechas, usos y generalidades del mamey así como su posible aplicación dentro de la industria aceitera, confitera y de cosméticos.**

**En el capítulo II se dan los antecedentes generales de aceites y grasas, así como una descripción del tratamiento previo de toda semilla oleaginosa para la extracción del aceite crudo.**

**En el Capítulo III se da una descripción general de la tecnología de los tres métodos de extracción utilizados describiendo principios y teoría de cada uno, así como una descripción general del tratamiento posterior del aceite crudo.**

**En el Capítulo IV describe el trabajo experimental del estudio, dando los pormenores de los métodos de extracción utilizados, además de las pruebas fisicoquímicas de la semilla y el aceite, así como las pruebas de refinación y blanqueado del mismo.**

**En el Capítulo V se dan los resultados de los tres métodos seleccionados, así como las características encontradas en el aceite y la semilla de mamey que son los objetivos secundarios.**

**En el capítulo VI a manera de complemento se da la información básica de los diferentes factores que intervienen y que hay que tomar en cuenta para una posible instalación de una planta de extracción, los cuales servirán de base y apoyo al inversionista, en la toma de decisiones para realizar el proyecto; lo que traería consigo beneficios económicos y sociales a la región donde se ubicara y contribuiría parcialmente a restar las grandes mermas de las cosechas de este fruto.**

**Dado que hasta la fecha no existe información alguna sobre las características y formas de obtención del aceite de mamey, se llevó a cabo el presente trabajo teniendo como objetivo principal:**

La obtención del aceite de mamey por tres métodos de extracción seleccionados: Prensado, Extracción por Solventes y Centrifugación a nivel laboratorio. Comparandolos entre si y registrando ventajas y desventajas desde el punto de vista rendimiento y costos, con el fin de observar cual podría ser utilizado para la obtención del mismo.

Y como Objetivos Secundarios: el análisis de las propiedades fisicoquímicas del aceite obtenido, el análisis de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases del aceite obtenido, el análisis de la pasta y la obtención del aceite refinado y blanqueado.

## **Capitulo I**

### **Antecedentes Generales del Mamey**

## **Antecedentes Bibliograficos**

**1.1 ORIGEN.-** No se conoce el lugar de origen exacto del mamey. Se le considera originario de Centróamerica, las selvas del sur de México y varias islas de las Antillas, dada la gran variedad de tipos criollos que se localizan en estas regiones. Actualmente además existe en Cuba, Filipinas y Florida.

**1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.-** El mamey criollo (*Calocarpum mammosum*) es un fruto de clima tropical, que pertenece a la familia de las zapotáceas. El árbol del mamey alcanza de 30 a 40 metros de altura, las ramas se encuentran cubiertas de vello pardo rojizo o café rojizo y posee hojas en abundancia de 4 cm de largo.

Las flores son blancas y están dispuestas en las axilas de las hojas. Su corola es de color verdoso o blanco amarillento y su floración ocurre de agosto a octubre, (1).

El fruto es la parte más importante del árbol, ya que es considerado entre los más finos del trópico. Consiste en una drupa, de forma ovoide de 10 a 20 cm de largo por unos 10 cm de ancho. Su cáscara (epicarpio) es dura, áspera y parduzca o morena rojiza y el mezocarpio es blando de color rosado, moreno rojizo o rojo de sabor dulce y delicado.

Su semilla es de forma elíptica, algo comprimida lateralmente y aguda en los extremos, de 5 a 10 cm de largo. La testa es leñosa, lisa y brillante de color



negro o café oscuro, con una notoria banda blanca o amarillenta. Su periodo de maduración es de diciembre a marzo.

**1.3 CLASIFICACIÓN Y NOMBRES COMUNES.-** Los nombres científicos con los que se le conoce son:

**(*Pouteria sapota*. Moore & Stern)**

**(*Lucumma Mammosa*. Gaertn.)**

**(*Sapota Mammosa*. Mill.)**

**(*Calocarpum Sapota*. Merr.)**

***Calocarpum Mammosum* L.**

**Fuente: Judith Serafín García, 1982.**

Al mamey se le conoce con varios nombres comunes los cuales cambian de país a país, algunos de estos nombres son:

Tzaptl (Ecuador y Colombia), Yuco (Venezuela), y en la mayor parte de México el fruto se le conoce como: Zapote Mamey, Zapote colorado, jaas y chacalhazz en Maya (Yucatán y Chiapas), taquizapane en Zoque (Chiapas), cá-ac y potkak en Mixe (Oaxaca), cuyg´auac en Popoluca (Veracruz), guendaxiña y guela-gue en Zapoteco (Oaxaca), huaruz y uruata en Tarasco (Michoacán), lynchcut-ja-ca en Totonaca (San Luis Potosí), bolom en Huasteco (San Luis Potosí) y tetzonzapotl en Nahuatl.

**1.4 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.-** El árbol de mamey se desarrolla en lugares cálidos y húmedos, al fruto se le considera tropical ya que no puede soportar temperaturas menores a los 0 °C. En México se le puede encontrar entre los 0 y 1250 metros de altitud.

Su desarrollo óptimo se da en lugares donde la temperatura media anual es de 23.6°C a 25.6°C y con precipitación pluvial de 575 mm a 2635 mm.

Su cultivo se hace en suelos margoso-arenoso, profundos y fértiles, con gran cantidad de materia orgánica y bien drenado con un pH de 5.1 a 7.6.

Se propaga a partir de semillas seleccionadas, los arboles son plantados a 12 ó 14 metros de distancia y empiezan a producir a los 6 u 8 años.

**1.5 COMPOSICIÓN DEL FRUTO.-** La composición de la pulpa y del fruto completo los podemos observar en los cuadros 1 y 2.

**Cuadro 1.- Rendimiento aproximado del fruto  
(en % en peso).**

<b>Pulpa</b>	<b>67.00 %</b>
<b>Semilla</b>	<b>9.36 %</b>
<b>Cáscara</b>	<b>16.60 %</b>
<b>Fuente: Anónimo 1976.</b>	

**Cuadro 2.- Composición aproximada por 10 g de porción comestible.**

Valor energético	121.00	Cal
Humedad	65.00	%
Proteína	1.70	g
Grasa	0.12	g
H. Carbono Totales	31.10	mg
Fibra	2.00	g
Ceniza	1.20	g
Calcio	40.00	mg
Fósforo	28.00	mg
Hierro	1.00	g
Vitamina A (actividad)	115.00	mg
Tiamina	0.01	mg
Rivoflavina	0.02	mg
Niacina	2.00	mg
Ácido ascórbico	22.00	mg

Fuente: Woot-Tsue leung  
Tablas de Nutrición del INCAP.

**1.6 COSECHA Y PRODUCCIÓN.-** La época de cosecha varía según la región, el periodo de maduración es de diciembre a marzo, aunque se le encuentra en forma congelada todo el año.

La recolección del fruto es manual, un cortador con una garrocha que tiene una navaja en la punta, que sirve para raspar el fruto y observar el color de la pulpa. Este fruto es muy delicado, sufriendo grandes daños al recolectarlo y transportarlo ya sea en costales o en cajas, que provocan que haya grandes pérdidas en la producción.

Los estados de mayor producción en toneladas del fruto son Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas, y Yucatán (ver tablas 1 y 2).

Debido a que no existen huertos establecidos, es de esperarse que la producción del fruto sea fluctuante. Y como consecuencia no se manejan grandes volúmenes de producción, el fruto se restringe al consumo nacional exclusivamente.

**1.7 UTILIDAD DEL FRUTO.-** El fruto se consume en fresco. Hoy en día existen proyectos para industrializar el mismo comercialmente:

-- Por liofilización: que consiste en congelar trocitos de pulpa con nitrógeno líquido, que al ser descongelados presenten las características de olor, color y aroma lo más cercano posible a la fruta en estado fresco (Anónimo, 1976).

-- Por secado por aspersión: que consiste en la obtención del polvo de mamey a partir de la pulpa del fruto y que pueda ser rehidratado en forma de bebida instantánea o licuado (YMIT, 1983).

-- El aceite obtenido de la semilla se utiliza en la fabricación de cosméticos así como jabones para el cabello, que evitan la caída del mismo y le dan brillo. La almendra tostada y molida se mezcla con el cacao para comunicarle un sabor amargo. Y en Oaxaca es usado en la fabricación de una bebida alimenticia llamada pozol (Serafin García, 1982).

**TABLA 1.- SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y VALOR DE LAS COSECHAS DEL MAMEY  
(AÑO AGRÍCOLA 1993)**

MAMEY	SUP. COSECHADA (ha)			RENDIMIENTO (TON/HA)			PRODUCCIÓN (TON)			PRECIO MEDIO RURAL (\$)			VALOR DE PRODUCCIÓN MILES (\$)		
	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total
CHIAPAS	684	684	684	10500	10500	10500	7182	7182	7182	--	1416	1416.00	--	10180	10180.00
GUERRERO	97	131	228	24536	13885	18417	2380	1819	4199	2060	1593	3653.00	4902.8	2897.6	7800.40
HIDALGO	22	--	22	4000	--	4000	18	--	18	3500	--	3500.00	28.0	--	28.00
JALISCO	--	12	12	--	6750	6750	--	81	81	--	2681	2681.00	--	217.9	217.90
MÉXICO	36	--	36	9500	--	9500	342	--	342	2330	--	2330.00	803.7	--	803.70
MICHOACÁN	58	--	58	8052	--	8052	467	--	467	2050	--	2050.00	957.3	--	957.30
MORELOS	29	--	29	12000	--	12000	228	--	228	2211	--	2211.00	504.8	--	504.80
OAXACA	--	20	20	--	5000	5000	--	100	100	--	1600	1600.00	--	160.0	160.00
PUEBLA	20	--	20	13500	--	13500	270	--	270	1580	--	1580.00	428.3	--	428.30
TABASCO	--	55	55	--	6100	6100	--	245	245	--	1071	1071.00	--	283.5	283.50
VERACRUZ	--	145	145	--	5311	5311	--	239	239	--	1010	1010.00	--	241.4	241.40
YUCATÁN	22	25	47	18727	7480	12745	412	187	598	801	1408	1058.00	371.2	263.3	634.50
Total	284	1072	1356	16169	16578	17812	4107	9853	13960	1947	1451	1800.00	7987.1	14232.7	22228.8

**FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA,  
FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE, S.A.R.H.**

**TABLA 2.-SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y VALOR DE LAS COSECHAS DEL MAMEY  
(AÑO AGRÍCOLA 1994)**

MAMEY	SUP. COSECHADA (ha)			RENDIMIENTO (TON/HA)			PRODUCCIÓN (TON)			PRECIO MEDIO RURAL (\$)			VALOR DE PRODUCCIÓN MILES (\$)		
	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total	Riego	Temp.	Total
CHAPAS	884	884		11382	11382		7785	7785		1500	1500.00		11677	11677.00	
GUERRERO	97	66	163	25134	8667	18466	2438	572	3010	2420	1700	2283.20	5998.9	972.4	6872.40
HIDALGO	22	--	22	5000	--	5000	10	--	10	3100	--	3100.00	31.0	--	31.00
JALISCO	--	11	11	--	8000	8000	--	66	66	--	3000	3000.00	--	188.0	188.00
MÉXICO	36	--	36	9444	--	9444	340	--	340	2180	--	2180.00	744.6	--	744.60
MICHOACÁN	90	--	90	10156	--	10156	914	--	914	3000	--	3000.00	2742.0	--	2742.00
MORELOS	29	--	29	12105	--	12105	230	--	230	5500	--	5500.00	1265.0	--	1265.00
OAXACA	--	20	20	--	6000	6000	--	120	120	--	1700	1700.00	--	204.0	204.00
PUEBLA	20	--	20	12500	--	12500	260	--	260	1300	--	1300.00	325.0	--	325.00
TABASCO	--	50	50	--	5100	5100	--	205	205	--	1380	1380.00	--	323.5	323.50
VERACRUZ	--	125	125	--	4210	4210	--	195	195	--	1280	1280.00	--	298.0	298.00
YUCATÁN	26	23	49	21231	8652	14388	552	153	705	1728	1458	1888.40	953.8	223.3	1178.93
Total	290	979	1265	16324	10858	12312	4744	9086	13830	2327	1525	1878.27	11961.3	13886.2	25827.4

**FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA,  
FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE, S.A.R.H.**

## **Capítulo II**

### **Antecedentes Generales de Aceites y Grasas**

**2.1 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE ACEITES Y GRASAS.-** Los aceites y grasas son sustancias de origen vegetal, marino o animal, que consisten predominantemente de mezclas de ésteres de glicerina con ácidos grasos, es decir triglicéridos, como lo muestra la Figura 1.



Figura 1.- Vista estructural de un Triglicérido

En general las grasas son glicéridos mixtos que pueden ser de 2 ó 3 radicales de ácidos grasos diferentes. En tanto que los glicéridos simples que contienen un sólo tipo de ácido graso es raro encontrarlos en aceites y grasas, tal y como lo muestra la Figura 2.



Figura 2.- Vista estructural de un Glicérido mixto y un Glicérido simple.



En general el término "**Grasa**" se usa para referirnos a los materiales sólidos a la temperatura ambiente; mientras que, el término "**Aceite**" se usa para referirnos a los líquidos a la misma temperatura ambiente.

Los ácidos grasos a su vez se clasifican en :

- **ÁCIDOS GRASOS SATURADOS.**- Son aquellos ácidos grasos en los cuales los átomos de carbono de su cadena están unidos a no menos de dos átomos de hidrógeno. Estos varían del C4 al C20, siendo los más comunes el ácido palmítico ( C16 ) y el ácido estéarico ( C18 ) . Su punto de fusión en este tipo de ácidos grasos es directamente proporcional al tamaño de cadena de átomos de carbono.

- **ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS.**- Son aquellos ácidos grasos que presentan una mayor reactividad química que los ácidos grasos saturados y esto se debe a que los primeros contienen dobles enlaces. Por lo que el grado de insaturación de una grasa o aceite dependerá del número medio de dobles enlaces de sus ácidos grasos. Su punto de fusión disminuirá a medida que aumente el grado de insaturación y su sensibilidad a las reacciones de oxidación que serán mayores, cuanto más insaturado sea el ácido graso.

En la Tabla 3, podemos observar una vista estructural de los ácidos grasos Saturados e Insaturados más comunes en la composición de aceites y grasas comestibles.

**Tabla 3.- ÁCIDOS GRASOS QUE SE ENCUENTRAN EN LA COMPOSICIÓN DE LOS PRINCIPALES ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES.**

Nombre	Símbolo	Fórmula
<b>SATURADOS:</b>		
butírico	C4	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -COOH
caprónico	C6	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -COOH
caprílico	C8	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -COOH
capríco	C10	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> -COOH
láurico	C12	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> -COOH
mirístico	C14	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> -COOH
palmitico	C16	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -COOH
estearico	C18	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -COOH
araquídico	C20	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> -COOH
beténico	C22	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>20</sub> -COOH
<b>INSATURADOS:</b>		
palmitoléico	C16:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
oléico	C18:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
linoléico	C18:2	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
linolénico	C18:3	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> CH=CH) <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
araquidónico	C20:4	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CHCH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH

**2.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA SEMILLA DURANTE SU ALMACENAMIENTO.-** La extracción de un aceite vegetal presenta una gran diferencia, debido a que las semillas contienen considerables cantidades de producto sólido asociado a la misma y que pueden alterar en poco o mucho la calidad del aceite obtenido.

Por lo tanto se exige siempre un estricto control de calidad de la semilla desde que es llevada a la planta, durante su almacenamiento, y hasta la obtención del aceite como producto terminado. Esto con el fin de obtener un buen rendimiento de todo el proceso, así como un aceite de buena calidad (33).

El principal factor que afectará a una semilla, será el contenido de **humedad** que presente la misma, ya que si es un valor alto favorecerá la acción enzimática y análogamente el crecimiento de bacterias y moho, provocando la

putrefacción de la misma. Este factor se verá más marcado, si la semilla es almacenada por largo tiempo.

Por lo tanto, si la semilla contiene altos valores de humedad, deberá manipularse pronto si es que se desea obtener un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, que son los que tienden a degradar a una grasa o aceite comestible oxidándolo y provocando su rancidez. Por otro lado, si éste presenta un valor alto de acidez, provocará grandes pérdidas en la operación de *refinación* y merma en el *rendimiento final* del proceso, (5).

Por lo tanto se recomienda que el valor de humedad de una semilla oleaginosas sea *menor del 10 %* y si se va almacenar que sea a una temperatura de almacenamiento adecuada, esto dependiendo de la semilla a almacenar, (33).

Además se ha observado que cuando la semilla es almacenada sin descortizar, se conserva mejor que las que están desprovistas de corteza. Aunque hay casos como el de la Copra y la Palma las cuales deben de ser descortizadas en su lugar de origen, debido a sus características. Estas presentarán una gran cantidad de "*finos*" obtenidos durante la molienda de la semilla y que posteriormente son un problema para separarlos del aceite: ya que éstos afectan la calidad del aceite oscureciéndolo y haciéndolo más difícil decolorarlo, mermando así el rendimiento del aceite obtenido al final del proceso.

**2.3 PRETRATAMIENTO DE LA SEMILLA.**- Por lo general al extraer el aceite de una semilla oleaginosas se recomienda un pretratamiento de la misma, con el

fin de obtener altos rendimientos en la extracción del aceite, (5). Estas operaciones son:

- Descascarillado,
- Molienda (trituración de la semilla)
- Tratamiento térmico o "Cocción"

**2.3.1 DESCASCARILLADO.**- En el pretratamiento de una semilla oleaginosa por lo regular se procura descortizar si es posible, debido a que la cascarilla suele contener cantidades menores al 1 % de aceite. Existen excepciones, como es el caso de la semilla de linaza la cual contiene un 22 % de aceite en su cascarilla.

Salvo en casos como el anterior, la cascarilla es separada ya que de no hacerlo, se disminuye el rendimiento de la extracción del aceite, debido a la absorción de éste en la torta, restando capacidad a la instalación.

Las principales máquinas descascarilladoras empleadas son de barras y discos. La descascarilladora de barras es básicamente un cilindro provisto en su superficie de cuchillas o "barras" cuadradas, cuyos cantos están afilados y sobresalen ligeramente y colocados longitudinalmente. Opuesta al cilindro y en una superficie que corresponde a un tercio de éste, hay otros dispositivos de forma cóncava del que sobresalen otras barras. Las semillas se colocan entre el cilindro rotatorio y la parte cóncava, separando la cascarilla cuando son aprisionadas las semillas. La separación entre los bordes puede variar según el tamaño de la semilla.

La descascarilladora de discos es básicamente igual en el principio, salvo que los bordes cortantes se sustituyen por dos discos opuestos con muescas grabadas radialmente en su superficies, (5).

**2.3.2 MOLIENDA.-** La transformación de las semillas oleaginosas en partículas más pequeñas, facilita la extracción del aceite, (28). Ya sea que ésta se realice por prensado mecánico o por acción de los disolventes. Por lo que la molienda es importante y necesaria para mejorar el rendimiento de la extracción del aceite de una semilla y el efecto se verá más marcado en el *método de extracción por solventes*, ya que disminuye las distancias que deben de recorrer el aceite y el solvente, dentro y fuera de la semilla.

Los equipos utilizados en esta operación son los molinos de martillos o los molinos de cizalla. El molino de rodillos es el más utilizado a nivel industrial, debido a su economía de operación. Este tipo de molino como lo muestra la Figura 3, consiste de una serie de 5 rodillos colocados verticalmente, uno encima del otro. En donde la semilla es introducida entre los rodillos superiores que están corrugados, por medio de un mecanismo adecuado de alimentación, pasando hacia atrás y adelante entre los pares de rodillos y de la parte superior al fondo, en donde los rodillos inferiores lisos "laminan" la semilla 4 veces.

En el caso de la extracción del aceite por prensado utilizando Prensas de Tornillos o "Expellers", no es tan esencial la obtención de la semilla con partículas pequeñas, como en el caso de la prensas hidráulicas que si lo requieren. Las semillas de copra, palma, cacahuete, etc., pueden ser exprimidos

por un "Expeller" con o sin previa molienda, ya que este tipo de equipo genera el suficiente calor para romper o triturar la semilla en las cajetines y presionar a su vez, obteneniéndose el aceite (25).

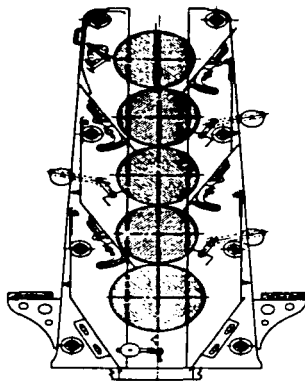


Figura 3.- Sección transversal de una trituradora, provista de cinco rodillos superpuestos (cortesía de French Oil Mill Machinery, Co.)

**2.3.3 TRATAMIENTO TÉRMICO.-** El siguiente paso en la preparación de una semilla oleaginosa es el tratamiento térmico o "Cocción", término con el que se le conoce a nivel industrial. Éste puede tener dos aplicaciones:

1.- Para producir directamente el aceite por "*Fusión*" y que es el que se aplica generalmente en el tratamiento de extracción de aceite de los tejidos animales.

2.- Sólo para facilitar la extracción del aceite por medios mecánicos (prensado y extracción por solventes).

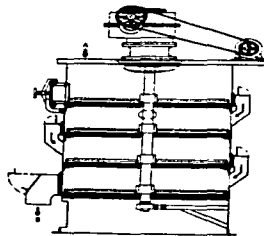
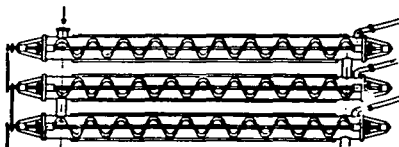
La finalidad de la "*Cocción*" es coagular las proteínas de las paredes de las células oleaginosas y hacerlas permeables al paso del aceite, (5). Existen tantas explicaciones del fenómeno, que los cambios producidos por la cocción de la semilla son muy complejos, tanto en su naturaleza química como fisicoquímica.

Una de las explicaciones que existen, es que la cocción favorece la reunión de pequeñas gotas ultramicroscópicas que se hallan distribuidas por toda la semilla, haciendo gotas más grandes que pueden fluir más fácilmente de las semillas, (28). En la práctica se ha comprobado que las semillas oleaginosas ceden más fácilmente su aceite si son sometidas previamente a una cocción.

Además por otro lado podemos controlar el grado de humedad de una semilla, la cual afecta enormemente el rendimiento de extracción de un aceite. El porcentaje de humedad óptimo de semillas cocidas varía ampliamente y dependerá de las diferentes clases de semillas oleaginosas y del proceso de extracción a utilizarse. Un ejemplo sería el caso de la semilla de soya, en donde el aceite obtenido por prensado debe de contener entre un 2- 3 % de humedad, según estudios realizados por Godovsky (1936).

La cocción de las semillas ordinariamente se realiza en *hornos verticales*, que consisten de una serie de 3 a 6 bandejas cilíndricas cerradas y superpuestas, estando a su vez provistas independientemente de camisas de calefacción con vapor, tanto en las paredes como en el fondo. En el fondo de cada bandeja hay una compuerta de operación automática, menos en la última que es para la descarga del contenido.

Hay otro tipo de hornos a presión que han tenido gran aceptación en la cocción de semillas de algodón. Es el *horno horizontal* con camisa de vapor, provisto con un depósito vertical de alimentación, aislado térmicamente y otro depósito vertical receptor situado debajo, en donde las partículas de las semillas caen por cargas completas, desde el depósito alimentador al horno y de éste al receptor, el cual se encargará de descargar la torta como lo muestra la Figura 4(a,b).



a) Cocedor Horizontal

b) Cocedor de platos superpuestos

Figura 4.- Dos Tipos de Cocedores de semilla



## **Capítulo III**

# **Tecnología de extracción de Aceites y Grasas**

La separación de aceites y grasas de los productos oleaginosos, constituye hoy en día una tecnología ya especializada, que tiene que ver con las características de cada uno de los métodos de extracción ya sea: prensado, extracción por solventes, fusión (usado en tejido animal), extracción enzimática y centrifugación (utilizado en la extracción de aceite en pulpa de frutas).

Todos los métodos anteriores buscarán en sí el mismo fin : La obtención del aceite crudo sin ninguna alteración y desprovisto de impurezas, además de obtener un rendimiento óptimo de acuerdo al método a utilizarse. Y la torta residual como subproducto la cual puede tener utilidad como alimento para ganado.

Sólo se hará referencia a los métodos utilizados en el presente trabajo, haciendo mención de sus principales características.

### **3.1 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR PENSADO**

La extracción del aceite de las semillas oleaginosas por este método, se puede llevar a cabo de dos maneras:

***PENSADO CONTINUO.***- que son en base a prensas de tornillo, también llamadas "**Expellers**".

***PENSADO DISCONTINUO.***- Que es básicamente un prensado hidráulico, que a su vez se subdivide en dos tipos:

- **Prensas Abiertas.**- En donde el producto oleaginoso debe de estar encerrado entre filtros de tela como lo son las prensas de placa y de cajetilla.

**- Prensas Cerradas.-** Que prescinden del filtro y las materias oleaginosas se introducen en una jaula, como es el caso de la prensa de vaso y de jaula.

Hoy en día la presión de la semilla oleaginosa a nivel industrial, se realiza casi exclusivamente por prensado continuo. Las prensas discontinuas (tipo hidráulico) hoy en día son obsoletas, por lo que en el presente trabajo, sólo nos enfocaremos a la descripción de las prensas continuas.

**PRENSADO CONTINUO.-** Se emplean las prensas de tornillo o "Expellers" generalmente en casi todas las semillas oleaginosas, exceptuando la del aceite de olivo. Las prensas continuas pueden ser utilizadas con dos fines distintos:

1) Extraer la máxima cantidad de aceite, la cual no será sometida a ningún otro proceso posteriormente. Se utiliza en semillas oleaginosas con un alto contenido de aceite, y que requieren de un trabajo más fuerte, como es el caso de la Copra.

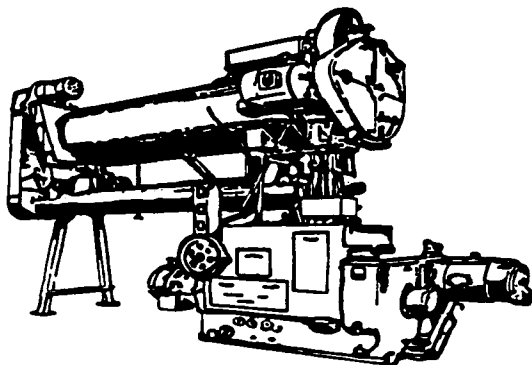
2) Extraer una cierta cantidad de aceite, para posteriormente, someter la torta residual a otro proceso de recuperación de ese aceite residual.

El segundo fin es el que se utiliza hoy más comunmente a nivel industrial. Es básicamente una extracción combinada: se extrae primero parte del aceite por prensado (pre-prensado), y posteriormente agotar la torta residual por extracción con solventes, obteniéndose finalmente un mayor rendimiento en la extracción del aceite.

La prensa Expeller es esencialmente una cesta, Figura 5, en donde la presión es ejercida por un eje rotatorio o tornillo sin fin de forma helicoidal que a medida que la semilla avanza, encuentra un espacio más reducido entre la cesta y el tornillo sin fin, sometiendo a la semilla a presiones del orden de 1400 a 2800 Kg/cm<sup>2</sup>, la cesta esta constituida de muchos espacios por los cuales fluye el aceite, los que pueden ser ajustados dependiendo de la semilla de 0.013 a 0.005 cm.. En la parte final del sin fin existe un cono de acero, el cual regula el espacio que queda entre el sin fin y el propio cono y que nos permite regular fácilmente el espesor de la lámina de la semilla que sale.

Las prensas continuas tienen la ventaja de ahorrar mucha mano de obra, con respecto de las discontinuas. Además se adaptan a una gran variedad de semillas y se obtienen mejores rendimientos en la extracción del aceite, menores del 5 % de aceite residual en la torta, que es bastante aceptable.

Su mayor desventaja estriba en un alto gasto de energía, además de que requieren una buena práctica de operación y conservación, ya que no se adaptan a procesos intermitentes. El aceite obtenido por Expeller contiene una mayor cantidad de sólidos pequeños "fines", por lo que al final de la operación se suele hacer pasar el aceite por un filtro-prensa para eliminarlos. Esto último es muy importante, ya que su presencia aumentará las pérdidas de aceite durante la refinación, (5).



**Figura 5 .- Prensa Expeller Anderson (tipo tornillo)**

**3.2 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.**-Hoy en día la extracción por solventes constituye ser el método más eficaz, para la obtención de aceite de cualquier semilla oleagínea, debido a que presenta las mejores ventajas en la manipulación de la semilla.

Si es utilizado como único proceso, se recomienda su uso en semillas con un contenido menor al 20 % de aceite. Y para el caso de porcentajes mayores de aceite, se recomienda una extracción combinada aplicando dos métodos, (23). Realizando primero un *prepresado* que reduzca el contenido de aceite en la torta entre un 18-20 % y después aplicando una *extracción por solventes*, dejando un valor de aceite residual en la torta entre un 3-4 %, éste último es el que se utiliza más en la actualidad a nivel industrial.

**3.2.1 PRINCIPIO TEÓRICO.**- Sobre este punto, todos los estudios que se han realizado para observar el comportamiento que representa poner en contacto semillas que contienen sustancias grasas en un disolvente, han dado como resultado ecuaciones de velocidad de extracción. Dando a fin de cuentas sólo datos teóricos que distan mucho de la realidad.

La ecuación que más se acerca a la velocidad real de difusión de la sustancia grasa de las semillas al disolvente, es el estudio del análisis matemático realizado por Fan y colaboradores en 1948, (16), que partió de la ecuación obtenida por Boucher y colaboradores en 1942:

$$\frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \left| \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 - D t}{(2L)^2} \right| \dots \dots (1)$$

- donde:  $q$  = Cantidad de aceite por unidad de peso después de la extracción.  
 $q_0$  = Cantidad de aceite por unidad de peso antes de la extracción.  
 $D$  = Constante de difusión a una temperatura dada.  
 $L$  = Espesor de las láminas.  
 $t$  = tiempo de extracción.

Y tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- El coeficiente de difusión,  $D$ , tiene que ser constante e independiente del espesor.
- La estructura de la semilla tiene que ser homogénea.
- La distribución del aceite en la semilla tiene que ser uniforme.
- El espesor de la semilla laminada tiene que ser pequeña comparada con las dimensiones de la superficie.
- El espesor de la semilla laminada tiene que ser uniforme.

De acuerdo a lo anterior, Fan y colaboradores llegaron a la conclusión en su estudio, que excepto para valores muy pequeños de  $t$ , todo el primer término de la serie puede eliminarse, reduciendo la ecuación (1) a:

$$\frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{Dt}{(2L)^2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

o bien

$$\log \frac{q}{q_0} = -0.0911 - 4.286 \frac{Dt}{(2L)^2} \dots\dots\dots (3)$$

Esta última ecuación representada gráficamente ( $\log q / q_0$ ) con respecto al ( $t$ ). Se obtiene una línea recta, cuya pendiente puede ser utilizada para evaluar

el coeficiente de difusión y que es válido para láminas o placas de semillas que tengan el mismo grueso.

Fan y colaboradores comprobaron que este coeficiente de difusión es simplemente una función del producto de las viscosidades ( $\mu$ ) del solvente y el aceite. Además que éste disminuye considerablemente al aumentar el contenido de humedad (alrededor de  $0.4 \text{ cm}^2$  por segundo, por 1% de humedad, para valores de ésta entre 10 al 22 %). Llegando a la conclusión de que la mayor parte del aceite extraído proviene de las células que se rompen, durante los procesos de preparación de la semilla como la *molienda, cocción, presión o laminado*. Mientras que la fracción más difícil de extraer, proviene de las células enteras.

Osburn y Kats (1944) en estudios realizados pudieron afirmar, que el mayor obstáculo frente a la extracción, es probablemente la difusión a través de las paredes de las células y que la extracción inicial rápida se debe a que estas células están rotas. Además de observar que la proporción de aceite fácilmente extractado disminuye rápidamente, al incrementarse el espesor de las escamas.

El diseño de un aparato de extracción por solventes, se determina por la velocidad de extracción y ésta se ve influida por una serie de factores: como la capacidad intrínseca de difusión del solvente y el aceite determinada por sus viscosidades, tamaño y forma de las partículas de las semillas.

**3.2.2 FORMAS DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.-** La extracción del aceite por este método se puede realizar por tres maneras diferentes:



**Por percolación**

**Por inmersión**

**Por inmersión-percolación (mixto)**

**EXTRACCIÓN POR PERCOLACIÓN.-** Se lleva a cabo mediante una lluvia de solventes de tal manera que llegue a toda la masa, pero ésta no llena todos los espacios vacíos de la semilla. Por lo tanto, para que exista una verdadera percolación, el solvente debe de bañar a todas las partículas, (5).

En la percolación, la velocidad del solvente en contacto con la superficie de las semillas es grande y se debe a que la película del mismo escurre rápidamente sobre las partículas por gravedad. Y debido a esas altas velocidades de paso de solvente, requiere de varias recirculaciones del solvente, por lo que el proceso se realiza en distintas etapas.

Es necesario que las partículas de las semillas tengan un tamaño, que permita un fácil drenado del solvente a través de la masa. Por lo que la semilla debe de ser preparada antes y con bajos porcentajes de finos. La percolación como medio de extracción debe de realizarse a contracorriente, es decir, que la semilla más pobre en aceite, se ponga en contacto con el solvente con menor concentración de aceite (miscela), (6).

**EXTRACCIÓN POR INMERSIÓN.-** Ésta se realiza poniendo la masa inmersa en el solvente, incluso si está en movimiento. En este caso la velocidad del solvente de recambio sobre la superficie de las partículas es lenta, por lo tanto se puede realizar una extracción continua con sólo un perfecto lavado, sin la necesidad de recirculación, como en el caso de la percolación.

Además la extracción, se puede llevar a cabo aún en semillas que hayan sido reducidas de tamaño de partícula.

**EXTRACCIÓN INMERSIÓN-PERCOLACIÓN (MIXTA).**- Parece ser que el uso, cómo procedimiento de las dos formas anteriores es resuelto en un aparato soxhlet. El cual realiza una extracción combinada con muy buenos resultados, siendo utilizado ampliamente en la determinación analítica del contenido de aceite de una materia oleaginosa (*rendimiento total*) y en las determinaciones del aceite residual de una torta.

### 3.2.3 TIPOS DE EXTRACTORES

Las plantas de extracción por solventes operan por dos tipos de sistemas de extracción: continuos y discontinuos.

**SISTEMAS DE EXTRACCIÓN CONTINUO.**- Este tipo de sistemas aseguran una mayor economía de vapor, energía, mano de obra y material. Su adaptabilidad está limitada por las dificultades del transporte de la masa de las semillas y las mezclas en direcciones opuestas, con libertad de mezcla y por la necesidad de efectuar una separación final de las mezclas y las partículas.

**SISTEMA DE EXTRACCIÓN DISCONTINUO.**- Es aquel que opera de modo que utiliza, como su mayor ventaja el principio de volver a utilizar el solvente, en diferentes extractores que conforman la batería.

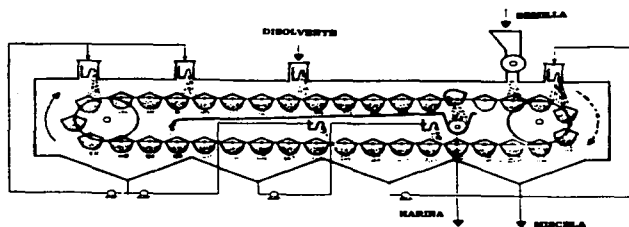
Sólo se hará mención de los Extractores Continuos por Percolación, que son los más utilizados en la actualidad a nivel industrial y que han desplazado casi en su totalidad a los extractores por inmersión, debido a que tienen un

menor costo y son menos voluminosos y pueden lograr una gran capacidad de trabajo.

Existen diferentes tipos de extractores en el mercado como: el Hansa-Muhle (alemán), el Anderson (U.S.A.), el Smet, el Crown, el Lurgi (alemán), etc., por sólo mencionar algunos extractores. Se darán algunas características y funcionamiento de los más usados hoy en día.

**EXTRACTOR HANSA-MUHLE.-** Es un extractor continuo, de los más antiguos, pero considerado dentro de los mejores en la actualidad. Es conocido también como extractor de tipo cesta, Figura 6.

La extracción se realiza por percolación, en una serie de cestos en donde la semilla se encuentra encerrada. Los cestos tienen el fondo perforado para asegurar la percolación y el drenado uniforme y están sostenidos sobre una cadena sin fin, haciendo su recorrido continuo, subiendo y bajando lentamente a razón de una vuelta por hora. El solvente fresco es pulverizado en la cesta, de la cual va percolándose a contracorriente, a través de las cestas inferiores. La *miscela* (mezcla aceite-solvente), es recogida en colectores que están, en la parte inferior, para ser bombeados y pulverizados en la cesta superior y así repetir el proceso de ir concentrando la miscela, a la que se le separan los "finos", para posteriormente ser desolvada la mezcla aceite-solvente, recuperando por un lado el solvente y por el otro el aceite crudo.



**Figura 6.- Extractor Hansa-Muhle (tipo Cesta)**

**EXTRACTOR LURGI.-** Este extractor es de fabricación alemana y está formado por una doble cadena de anillos cerrados, que giran mediante sus rodillos extremos, Figura 7. La cadena lleva dispuesta ciertas placas que en los tramos horizontales, dan lugar a la formación de una serie de celdas y el fondo de ellas está constituido por un tamiz perforado, que forma parte de 2 cintas móviles y debajo de éstas existen unas bandejas que recogen la miscela a contracorriente.

Su funcionamiento es el siguiente: la semilla previamente tratada entra en el punto A como lo muestra la Figura 7, por medio de un tornillo sin fin, llenando las celdas y haciendo la miscela abundante el recorrido a una velocidad lenta hasta que la celda se encuentra próxima al final de la zona horizontal, de donde

desaparece el fondo perforado, cae la semilla por gravedad a la celda inferior. Iniciándose la segunda etapa de lavado similar a la anteriormente descrita, hasta llegar al punto B. La operación del extractor se realiza por percolación, donde el solvente puro entra en el punto C y es reciclado por bombas al proceso nuevamente, hasta obtener una miscela concentrada en aceite, el cual saldrá por el punto D.

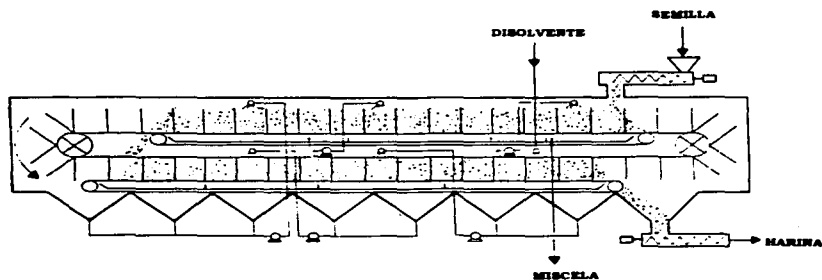


Figura 7.- Extractor por percolación Lurgi

Este tipo de equipo presenta bajos consumos de energía y su principal desventaja es que forma muchos "finos", que son perjudiciales en la miscela, ya que posteriormente es muy difícil separarlos del aceite y esto a su vez provoca mermas en el rendimiento final del proceso.

**EXTRACTOR DE SMET.-** El extractor de Smet, está constituido por un cuerpo horizontal en el que las hojuelas se depositan y circulan sobre una banda transportadora, que es una serie de marcos articulados, con un piso de malla de acero inoxidable los cuales reposan sobre rodillos Figura 8.

Un registro regula el espesor del lecho de hojuelas para mantener una altura constante. El engrane que mueve a la banda transportadora está accionada por un motor y un reductor de velocidad (10).

La capa de hojuelas se rocía sucesivamente por una serie de rociadores de miscela asegurando una repartición uniforme del líquido. Por debajo de la banda, una serie de tanques recogen la *miscela* (enriquecida al pasar a través del lecho de hojuelas) y se alimentan a las bombas de etapa que impulsan a la solución al rociador dispuesto encima del mismo tanque. En cada circuito una válvula permite regular la cantidad de rociado.

Cada sección o etapa está separada de la siguiente mediante una zona de drenado, mientras que la parte superior del lecho es removida mediante rastrillos articulados, los cuales tienen la finalidad de restablecer la permeabilidad del lecho que pudiera haber sido reducida por la sedimentación de partículas finas.

La concentración de miscela va disminuyendo gradualmente hasta llegar a disolvente puro. Al pasar encima del último tanque y ser rociadas por disolvente fresco las hojuelas se dejan drenar y se descargan a una tolva (10).

Una vez que se descargaran las hojuelas, la banda transportadora queda prácticamente limpia; sin embargo, algunas partículas quedan pegadas a su superficie. La limpieza de la banda se realiza mediante un rociado a presión con

miscela procedente de el tanque de almacenamiento de miscela, en la parte de retorno de la banda. La solución que recoge el tanque localizado en la parte inferior de esta sección es llevada a un rociador que se encuentra sobre el lecho de hojuelas a la entrada del extractor (10).

La *miscela* no necesita filtrarse al salir del extractor debido a que el lecho de hojuelas actúa como un excelente medio filtrante. Este tipo de extractor se fabrica por De Smet Corporation.

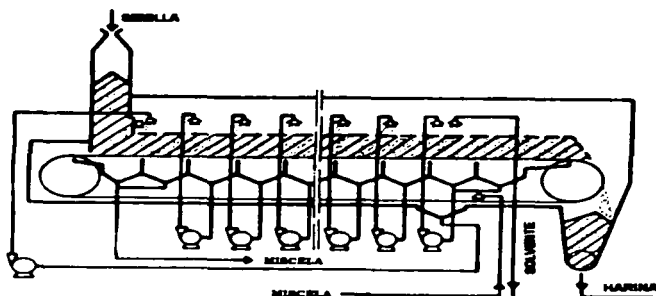


Figura 8.- Extractor por percolación de Smet

**EXTRACTOR CROWN.-** En el extractor Crown, el material preparado (quebrado, acondicionado y hojuelado), se alimenta a una tolva de entrada en la parte superior de el equipo, la cual regula la entrada de hojuelas y la altura del lecho. Una cadena transportadora especial, formada por compartimientos, recoge las hojuelas y las lleva a través del recorrido, para descargarlas al término de la extracción por la parte superior también, muy cerca de la

alimentación. La velocidad de la cadena transportadora se controla electrónicamente para balancear la alimentación de materia prima, manteniendo una densidad y altura de lecho uniforme Ver Figura 9.

Las hojuelas entran al extractor, forman un lecho y son transportadas al brazo descendente de éste. Aquí las hojuelas se rocían primeramente con miscela la cual diluye al aceite que se encuentre en la superficie de ellas y "ablanda" las celdas de aceite en las hojuelas para facilitar la extracción. A medida que el lecho es transportado a la parte inferior del extractor, la *miscela* es recirculada a través del material, además de ser utilizado como medio filtrante para eliminar la mayor parte de las partículas finas en la *miscela* antes de ser llevada fuera del extractor, en donde un hidrociclón elimina las trazas de finos que hayan quedado en ella (14).

Esta secuencia se lleva a cabo mediante una serie progresiva de rociados con una miscela cada vez más diluida, hasta un rociador final con disolvente fresco en la parte superior del extractor. La circulación del solvente contraria al flujo del material sólido, resulta en una miscela más rica en aceite y por tanto se tendrán menores costos de recuperación de disolvente. Una vez que se ha llevado a cabo el rociado final con disolvente, el lecho de hojuelas es transportado hacia una área de drenado para ser descargada posteriormente a una tolva (14).

Nótese que el lecho de hojuelas ha sido volteado completamente al viajar a través del extractor, con lo cual se logra una máxima exposición al disolvente (14). Este extractor es fabricado por Crown Iron Works Co.



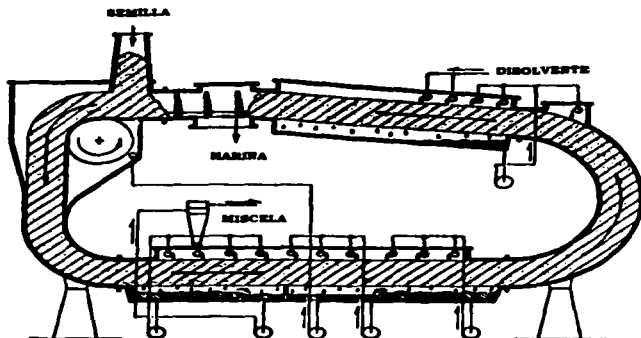


Figura 9.- Extractor por percolación Crown

**3.3 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN.-** Este método se utiliza hoy en día en la extracción de aceite de pulpas de fruta con muy buenos resultados. El único aceite de importancia comercial que procede de pulpa de fruta, es el de la palma. Aunque se ha querido aplicar en la obtención de aceite de oliva sin lograr buenos resultados.

Según Bunting, Goergi y Milsom (1934), en una instalación eficaz de extracción de aceite de palma, se ejecutan las siguientes operaciones: -  
 Primeramente los racimos verdes de la fruta se esterilizan a medida que van llegando a la planta, con el fin de inactivar las enzimas lipolíticas. Esta

esterilización se lleva a cabo en grandes autoclaves, bajo una presión de vapor no superior a los 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> durante 1 hora.

Los racimos esterilizados pierden normalmente un 10% de humedad, con respecto al peso de la fruta. Si se quiere extraer el aceite por centrifugación (quedando claro que lo que se está realizando es una separación), deberá evitarse la pérdida excesiva de agua.

Los racimos esterilizados se hacen pasar por desgranadoras con el fin de separar los frutos de los tallos y pedúnculos, para posteriormente ser tratados por digestores. Esta digestión se efectúa, según sea el proceso a seguir (ya sea prensado hidráulico o centrifugación).

En el caso de la extracción por centrifugación, se requiere de un digestor cerrado y llevándola a una ligera presión de vapor. El contenido del digestor finalmente es vaciado a la centrifuga para la separación del aceite (por diferencia de densidades).

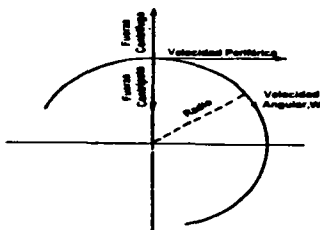
Las centrifugas utilizadas son del tipo cesta, totalmente cerradas y provistas de una tobera para la inyección del vapor durante la extracción. Con respecto a la obtención del aceite este puede proporcionarnos un 85 % del aceite en la pulpa.

El costo de instalación de este equipo, si lo comparamos con un prensado hidráulico, en este caso específico, viene a ser el mismo en ambos sistemas y apenas existirán diferencias en gastos de mano de obra y energía. En el aceite de palma obtenido por prensado hidráulico se obtiene mayor cantidad de aceite,

pero con un contenido de sólidos "*finos*", que harán mermar el rendimiento del aceite crudo al refinario.

Cabe mencionar que en el presente trabajo, las pruebas realizadas fueron a partir de una *semilla y no una pulpa de fruta*. Por lo tanto, se trató de observar como se comporta el rendimiento de la extracción del aceite de mamey, durante el escaldado y como se vería mermado este durante la refinación.

**3.3.1 PRINCIPIO TEÓRICO.-** Centrifugar es la acción de efectuar una operación de separación aplicando una fuerza, tal como lo muestra la Figura 10. Una centrifuga, en un sentido amplio, es un equipo diseñado para someter el material contenido en ella o que pasa por ella, a un movimiento rotativo del que tiende a separarse en virtud de su fuerza centrífuga. Y este concepto se ha aplicado a mecanismos que se usan para *separaciones* de sistemas multi-fase donde una de dichas fases, por lo menos es fluida y que es el que se aplica en este método.



**Figura 10.- Diagrama de fuerza centrífuga.**

Al analizar el comportamiento de una centrifuga con un alto grado de separación o clarificación, es importante considerar las partículas más pequeñas del sistema, ya que éstas suelen constituir el factor limitante, de el grado de separación. La fuerza efectiva que actúa sobre una partícula en un campo centrifugo es:

$$F = (m - m_1)w^2r \dots\dots\dots(1)$$

donde:  $m$  = masa de la partícula.

$m_1$  = masa del fluido desplazado.

$w$  = velocidad angular.

$r$  = distancia de la partícula, al eje de rotación.

Ahora si consideramos que la partícula es esférica,  $F$  es:

$$F = \frac{\pi}{6} d^3 \Delta \rho w^2 r \dots\dots\dots(2)$$

donde:  $d$  = diámetro de la partícula.

$\Delta \rho = \rho - \rho_1$  = Diferencia entre la densidad de la partícula y la del fluido.

La fuerza que se opone a la sedimentación, suponiendo que es pequeña y no se mueve muy rápido, esta dada por la ley de Stokes:

$$F = 3\pi\mu dV_s \dots\dots\dots(3)$$

donde:  $\mu$  = viscosidad del fluido.

$V_s$  = velocidad de la partícula que se mueve a través del fluido.

En el equilibrio, cuando las fuerzas acelerantes y de resistencia se igualan, tenemos:

$$V_s = \frac{\Delta \rho d^2 w^2 r}{18\mu} \dots\dots\dots(4)$$

Además podemos obtener la distancia radial recorrida por la partícula, multiplicando la ecuación (4) por el tiempo diferencial ( $d\Theta$ ) obteniendo:

$$V_r d\Theta = \frac{rw^2 \Delta \rho d^2}{18\mu} d\Theta \dots \dots \dots (5)$$

que al integrarla, obtenemos:

$$V_r d\Theta = X = \frac{rw^2 \Delta \rho d^2}{18\mu} \frac{V}{Q} \dots \dots \dots (6)$$

donde: V = volumen del material contenido en la centrifuga.

Q = Gasto volumétrico de alimentación a la centrifuga.

V/Q = tiempo de residencia de la partícula en la centrifuga.

X = distancia radial recorrida por una partícula.

Este tiempo mínimo de residencia es función de las características geométricas de la centrifuga empleada, así como de ciertas variables de proceso tales como el flujo volumétrico (Q) y volumen del líquido (V) en la cámara de separación, todo esto, implica, que el tiempo de residencia es función de la velocidad de sedimentación de las partículas y de la relación de densidad entre los líquidos inmiscibles, Foust, et al., 1974.

Ahora para el caso de la *separación de partículas*, la velocidad terminal de sedimentación es función a su vez del diámetro de partículas, de la diferencia de densidades entre el sólido y el líquido y de la viscosidad del líquido, todas estas variables, en todo caso pueden considerarse como independientes y controlables de ciertos límites.

Si tomamos X como la mitad del espesor de la capa líquida ( $r_2 - r_1$ ) / 2, la mitad de las partículas de cierto diámetro D'p se sedimentarán sobre la pared,

mientras que la otra mitad de ellas permanecerán en suspensión, cuando el fluido salga de la centrifuga. Resolviendo la ecuación (6) para  $D'_p$  y sustituyendo  $(r_2-r_1)/2$  por  $X$ , el diámetro de partícula será:

$$D'_p = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\Delta\rho w^2 v} \frac{r_2 - r_1}{r}} \dots\dots\dots(7)$$

donde:  $r_2 - r_1$  = espesor de la capa líquida.  
 $D'_p$  = diámetro crítico de partícula.

La ecuación anterior presenta 2 grupos, el primero concierne solamente a los parámetros del sistema en proceso: *densidad, diámetro y viscosidad*. Los factores del segundo grupo relacionarán parámetros referentes a la centrifuga: *Volumen, velocidad de rotación, radio y distancia de asentamiento*.

Partiendo de las ecuaciones (4) y (7), se puede derivar una característica muy útil en la centrifuga. Resolviendo la ecuación (7) para  $Q$ , insertando la constante gravitacional, se puede expresar en los siguientes términos:

$$Q = \frac{\Delta\rho g D_p^2}{9\mu} \frac{Vw^2 r}{g(r_2 - r_1)} = 2Vt \cdot \Sigma \dots\dots\dots(8)$$

en donde:

$$Vt = \frac{\Delta\rho g D_p^2}{18\mu} \dots\dots\dots(9)$$

donde:  $Vt$  = velocidad de sedimentación terminal de una partícula en un campo gravitacional.

de donde:

$$\Sigma = \frac{Vw^2 r}{g(r_2 - r_1)} \dots\dots\dots(10)$$

donde:  $r$  = radio efectivo

$\Sigma$  = índice del tamaño de la centrífuga

Este valor sigma ( $\Sigma$ ), es una característica de la centrífuga misma y no del sistema por separarse. Este valor es de importancia considerable, ya que nos permite comparar y estimar el desempeño de centrífugas con forma geométrica semejante a igualar la forma y velocidad de un separador centrifugo con el área de un tanque de sedimentación equivalente.

Siguiendo este razonamiento, para una centrífuga de rototubular este valor de sigma será:

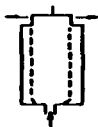
$$\Sigma = \frac{\pi \omega^2 l (r_2^2 - r_1^2)}{g \ln \frac{r_2}{r_1}} \dots \dots \dots (11)$$

donde:  $l$  = longitud del rotor.

Una centrífuga consta generalmente de:

- a) rotor o cabezal en el cual se aplica la fuerza.
- b) eje de transmisión de la fuerza.
- c) conexión del eje de transmisión.
- d) mecanismo de manejo (usualmente motor o turbina eléctrica).
- e) armazón o estructura para sostener y alinear, todo lo anteriormente enunciado.

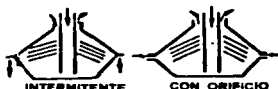
En la Figura 11, podemos observar los diferentes tipos de Centrífugas que existen, con ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas.



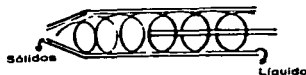
**CENTRIFUGA TUBULAR**  
Fácil de limpiar, alta fuerza centrífuga  
capacidad limitada de sólidos.



**CENTRIFUGA DE CÁMARAS MÚLTIPLES**  
No hay pérdida de eficiencia durante la  
operación, alto volumen de retención de  
sólidos, no tiene descarga de sólidos



**CENTRIFUGA DE DISCO**  
Habilidad de descargar sólidos, descarga  
de líquido bajo presión, dificultad de  
limpieza.



**CENTRIFUGA DE TORNILLO**  
Descarga continua de sólidos, admite  
una alta concentración de sólidos,  
baja fuerza centrífuga.

**Figura 11.- Diferentes Tipos de Centrífugas.**

### 3.4 REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

El siguiente paso después de ser obtenido el aceite crudo, por los diferentes métodos de extracción, es su *refinación*. Por lo general el aceite viene acompañado de sustancias de composición y propiedades diferentes a los glicéridos, según estudios de Chanfield (1936), (5).

Estas sustancias diferentes, por lo regular son fosfátidos, fragmentos proteínicos, gomas, pigmentos carotenoides y los ácidos grasos libres, los cuales afectan de algún modo al aceite crudo obtenido. Siendo estos últimos los



que más perjudican, degradándolo y provocando su rancidez. Esta degradación será más marcada cuando el aceite es almacenado por largo tiempo, ya que ocasiona que el valor de acidez (ácidos grasos libres) aumente considerablemente y que haya grandes pérdidas en su refinación y provocando una merma notable en el rendimiento final del proceso (2).

La gran mayoría de esas sustancias, son eliminadas durante la neutralización del mismo. Aunque habrá algunas de ellas que resistan y que perjudican posteriormente al aceite refinado, por tener propiedades oxidativas, que le dan un color y sabor fuerte y desagradable. Éstos son posteriormente separados totalmente en las operaciones de *blanqueado* y *deodorizado*, para el caso de un aceite comestible.

En la mayoría de las industrias aceiteras, el proceso de refinación del aceite crudo, por lo regular involucra las siguientes operaciones:

**Desgomado.**

**Neutralización**

**Blanqueado.**

**Desodorización.**

**3.4.1 DESGOMADO.-** La principal función de esta operación será la de precipitar la materia mucilaginoso (gomas, fosfátidos, proteínas), que perjudica la neutralización del aceite crudo (*refinación*). Ya que se ha comprobado de alguna forma, que éste material contenido en el aceite crudo, se emulsiona durante la operación de neutralización, reteniendo aceite neutro y provocando pérdidas en la refinación.

Hoy en día existen dos sistemas esenciales para llevar a cabo esta operación de Desgomado en aceites comestibles a nivel industrial:

a) Tratamiento de desgomado antes del proceso de neutralización, con la eliminación y algunas veces el aislamiento de gomas, para su venta como "*lecitinas*".

b) Tratamiento de desgomado seguido de un tratamiento alcalino, sin la separación específica de las gomas.

La operación de desgomado en el caso (a), es el más utilizado, es el desgomado por hidratación: el cual obtiene como subproducto la "*lecitina*", la que se utiliza como material industrial en pinturas, hules, alimentos, etc. y siendo su principal productor el aceite de soya.

La operación de desgomado para el caso (b), en donde las gomas se eliminan junto con el jabón (*soup-stock*), es hoy en día el más importante y utilizado a nivel industrial, ya que involucra la neutralización alcalina (*refinación*) con el desgomado. Y será descrito posteriormente en la operación de neutralización.

**3.4.2 NEUTRALIZACIÓN.-** Este término generalmente se aplica a un proceso de separación de los ácidos grasos libres, contenidos en aceites y grasas crudas. Hoy en día existen a nivel industrial varios procesos de desacidificación como:

- Neutralización alcalina
- Neutralización en solución de solventes.

**– Desacidificación por destilación.**

El método más comúnmente utilizado en la mayoría de las industrias aceiteras, es el primero. Los otros no han tenido una aplicación industrial, por ser incosteables. Sólo describiremos el primer método, ya que fue el aplicado en este trabajo.

**– NEUTRALIZACIÓN ALCALINA.-** Este proceso puede llevarse a cabo con álcalis y es el más utilizado hoy en día a nivel industrial. El álcali más empleado, tanto desde el punto de vista costos como de eficiencia es la *Sosa cáustica*, cuya acción al mismo tiempo tiene el efecto de : purificar, desgomar, neutralizar y decolorar parcialmente el aceite crudo.

La única desventaja del empleo de la sosa cáustica es que debe de ser agregada al proceso en exceso, provocando una sobresaponificación y que se debe a los ácidos grasos libres y parte de el aceite neutro, causando la formación de mayores cantidades de jabón, pero esto no se puede evitar.

Por lo tanto, la mayor parte de la tecnología de desacidificación se concreta más a minimizar las pérdidas por neutralización que una perfecta purificación, (2). Se recomienda que el aceite crudo lleve la menor cantidad de agua posible, ya que la acción conjunta de ésta con las enzimas generan un fenómeno de fermentación en el aceite, desdoblando los glicéridos en glicerina y ácidos grasos libres, quedando estos últimos en solución en el aceite, aumentando su grado de acidez y provocando mermas abundantes en la refinación final, (34).

**3.4.3 BLANQUEADO.-** Esta operación es el siguiente paso en la refinación de un aceite y cuyo fin es la eliminación de *materias colorantes* (pigmentos carotenoides), que son indeseables en un aceite.

Aunque en la neutralización, se elimina parte de ésta materia colorante, algunas son solubles en la grasa y son constituyentes naturales de aceites y grasas crudas, por lo que no se les puede considerar como impurezas. Son eliminados sólo por métodos especiales, en la operación de Blanqueado existen diferentes formas de blanquear el aceite:

- En la Hidrogenación de un aceite, lo convierte en una grasa plástica (usado en las margarinas), con la presencia de catalizadores, por acción química.

- En la desodorización de un aceite al ser calentado, disminuye la intensidad de los colores rojo y amarillo, ésta operación debe de hacerse al vacío para evitar que el aceite se oxide.

- Por adsorción con materiales, con alta actividad superficial, retienen las sustancias colorantes de un aceite. Siendo éste último método el más utilizado a nivel industrial y el que se aplicó en este trabajo.

**BLANQUEADO POR ADSORCIÓN.-** Los adsorbentes utilizados en este método son la arcilla y el carbón activado. En la actualidad se usa como adsorbente, la mezcla de estos dos (arcilla-carbón activado), a razón de 10 a 20 partes en peso de arcilla por 1 parte de carbón activado, tendrá dos ventajas efectivas ya que no comunica sabor ni olor extraño al aceite y es más económico, (2).

La elección del adsorbente dependerá del costo, actividad y capacidad de retención de aceites. Siendo el primero factor el que determinara su uso. En esta operación de blanqueado hay una mínima pérdida de aceites, siendo ésta de mala calidad y muy difícil de recuperar. Por lo que en general en la mayoría de las Industrias, no se recupera la tierra diatomácea con ningún tratamiento.

La operación se realiza a altas temperaturas, mayores de 75 °C, para eliminar primero la humedad que pudiese contener el aceite, ya que el agua reduce la acción decolorante de los adsorbentes. En la mayoría de los aceites refinados y blanqueados, el color se determina en *Intómetros Lovibond* o por *Espectrofotometría*, siendo el primero el más utilizado a nivel industrial.

**3.4.4 DESODORIZACIÓN.-** La función principal de esta operación, es la de eliminar sustancias que proporcionen olor y sabor desagradable al aceite y que son principalmente aldehídos y cetonas. Dentro de la refinación de un aceite, es necesaria esta operación, con el fin de darle un sabor suave, que es una ventaja en la manufactura de aceites, grasas vegetales y margarinas.

La desodorización es esencialmente un proceso de destilación en corriente de vapor, a temperaturas elevadas, pero cuidando que no se oxide éste, impidiendo la hidrólisis indebida del aceite por acción del vapor de agua y esto se logra aplicando vacío en el proceso.

En nuestro caso el *aceite de mamay*, no se realizó esta operación, debido a que el *aroma* del aceite es una de las características principales que tiene y no tendría aplicación en la industria de los Cosméticos. Aunque por otro lado sería conveniente realizar trabajos posteriores de digestibilidad, con el fin de analizar

**y probar su uso como aceite comestible y que pueda tener aplicación en la industria Confitera.**

## **Capitulo IV**

## **Desarrollo Experimental**

**OBJETIVOS.-** Obtención del aceite de mamey por 3 métodos de extracción: *Prensado, Extracción por solventes y Centrifugación* a nivel laboratorio, comparándolos entre sí y checando ventajas y desventajas, desde el punto de vista rendimiento y costos, para observar cual podría ser el procedimiento óptimo para la obtención del mismo y como objetivos secundarios: el análisis de la semilla, su composición y análisis del aceite así como la refinación y blanqueado del aceite crudo de mamey.

La semilla de mamey utilizada en todas las pruebas, fue recolectada y comprada en algunos casos, en toda la zona de la Merced en juguerías y puestos de mamey, la cual investigando con los comerciantes provenía principalmente de los estados de Guerrero y Veracruz.

Todas las pruebas de extracción del aceite de mamey realizadas en el presente trabajo, fueron con base en el diagrama de bloques general representado en la Figura 12, el cual describe la metodología a seguir para la obtención del aceite por los tres métodos de extracción seleccionados.

La primera parte del diagrama describe el pretratamiento de la semilla de mamey, que consistió de tres operaciones:

- Descascarillado
- Molienda
- Tratamiento térmico o "Coccción".

La semilla fue descascarillada manualmente y la almendra o hueso obtenida de la semilla, fue cortada en pequeños trocitos (con dimensiones entre

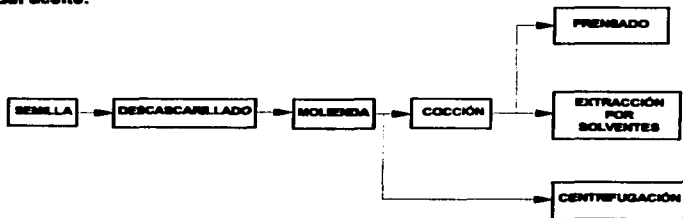


1-2 cm aprox.) y otra parte fue triturada en un molino de martillos, con el fin de obtener muestra finamente dividida (con dimensión menor a las 200 micras), la que fue utilizada para todas las diferentes pruebas de extracción.

Como siguiente paso se realizó el tratamiento térmico o "Cocción", el cual tuvo como único fin el eliminar la humedad excesiva de la semilla de Mamey, ya que en análisis previos de la misma se obtuvo:

**23.85 % de Rendimiento total y 50-56 % de Humedad.**

Siendo este último un valor muy alto y que no favorece en nada a la extracción del aceite.



**Figura 12.- Diagrama de Bloques General de la Obtención del aceite de Mamey (Calocarpum Mammosum) por los 3 Métodos seleccionados.**

La eliminación de la humedad se realizó en una estufa Parlow, a temperaturas menores a los 95 °C, para no afectar las propiedades fisicoquímicas del aceite.

Después de realizado el pretratamiento de la semilla de mamey, se procedió a aplicar la semilla condicionada en cada uno de los métodos de extracción: *presado, extracción por solventes y centrifugación.*

Con el aceite crudo obtenido de la extracción, se analizaron sus propiedades fisicoquímicas del mismo y la semilla, así como la composición y la obtención de un aceite refinado y blanqueado como objetivos secundarios ya mencionados en la introducción de este trabajo.

#### 4.1 PRUEBAS DE EXTRACCIÓN POR PRENSADO

Las pruebas de extracción del aceite de mamey, realizadas por este método, fueron con base en el diagrama de bloques representado en la Figura 13, el cual describe la metodología seguida para la obtención del mismo. Podemos observar que la primera parte del diagrama nos describe el pretratamiento realizado a la semilla de mamey y que ya fue descrito.

Por este método se efectuaron seis pruebas de extracción y tomando en cuenta dos parámetros:

- Influencia del tamaño de partícula
- Influencia del % de Humedad

Con el fin de observar que influencia podrían ejercer en el rendimiento final de la extracción del aceite de mamey. Las pruebas de extracción se realizaron en una Prensa Mohr & Federhaff Ag. de tipo hidráulica, esquematizada en la Figura 14, con lecturas de presión de:

- 0 - 12000 Kg/cm<sup>2</sup>
- 12000 - 30000 Kg/cm<sup>2</sup>
- 30000 - 40000 Kg/cm<sup>2</sup>

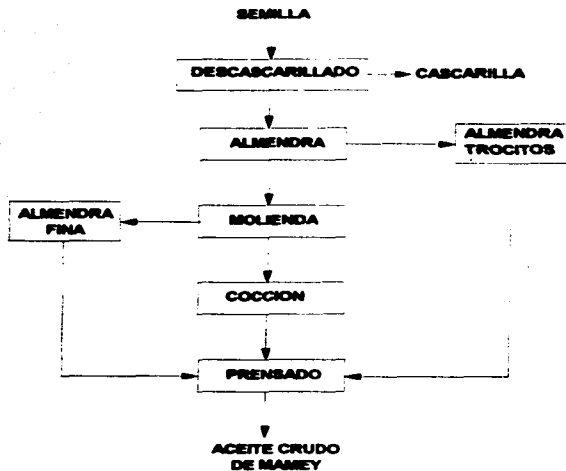
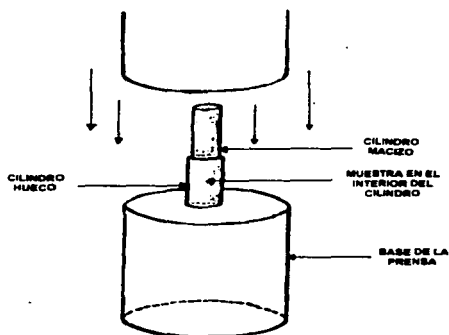


Figura 13.- Diagrama de Bloques para la Obtención del aceite de Mamey (*Calocarpum Mammosum*) por el Método de Prensado

Utilizando como complemento, baleros de acero macizo compuesto de dos partes: un cilindro hueco y un cilindro macizo, este último embona perfectamente en el primero y con las siguientes dimensiones:

Cilindro Hueco:	15.30 cm de largo 5.25 cm de $\Phi$
Cilindro Macizo:	15.30 cm de largo 5.15 cm de $\Phi$



**Figura 14.- Esquematación de una Prensa Hidráulica.**

Las seis pruebas efectuadas se realizaron de acuerdo a la siguiente relación variando el porcentaje de Humedad y el tamaño de la semilla:

**Muestra 1:** muestra molida con 56.50 % de Humedad

**Muestra 2:** muestra en trocitos con 56.27 % de Humedad

**Muestra 3:** muestra molida con 37.84 % de Humedad

**Muestra 4:** muestra en trocitos con 39.43 % de Humedad

**Muestra 5:** muestra molida con 2.57 % de Humedad

**Muestra 6:** muestra en trocitos con 2.83 % de Humedad

**TÉCNICA:** Se colocó 200 g de la muestra previamente preparada dentro del cilindro hueco, sellando uno de los lados y poniéndolo en la base de la prensa, el

cilindro macizo se depositó encima de manera que embonara perfectamente dentro del cilindro hueco, como lo muestra la Figura 14, aplicando presión de 12000Kg/cm<sup>2</sup> de la prensa de arriba hacia abajo y manteniendo ésta durante un lapso de tiempo de 10 minutos en cada prueba.

Después de realizada la extracción del aceite de mamey, a la torta agotada se le analizó: *Humedad, Proteína y Aceite residual*, siendo éste último el que nos determinará el rendimiento final obtenido en la extracción.

Cabe mencionar que por este método de extracción, no se pudieron realizar las pruebas de *refinación y blanqueado* del aceite de mamey, debido a las cantidades pequeñas obtenidas durante el experimento, ya que la cantidad mínima que se requiere para estas operaciones es de 500 g de aceite crudo de mamey.

Cabe mencionar que ésta fue la única prensa que se pudo conseguir para realizar las pruebas de extracción por prensado. Lo ideal hubiera sido utilizar una prensa tipo "Expeller" para obtener un mejor rendimiento del proceso de extracción.

#### 4.2 PRUEBAS DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

Las pruebas de extracción del aceite de mamey, realizadas por este método, se hizo con base en el diagrama de bloques representado en la Figura 15, el cual describe la metodología que se siguió para la obtención del aceite. Las pruebas efectuadas a nivel laboratorio, se realizaron tomando en cuenta cuatro parámetros:

- Selección del tipo de Solvente.
- Influencia de la relación muestra-solvente.
- Influencia del tamaño de partícula y el % de Humedad.
- Influencia del tiempo de extracción.

El fin fue el observar que influencia tienen estas variables en el *rendimiento final* de la extracción del aceite de mamey para poder encontrar las mejores condiciones de operación del proceso.

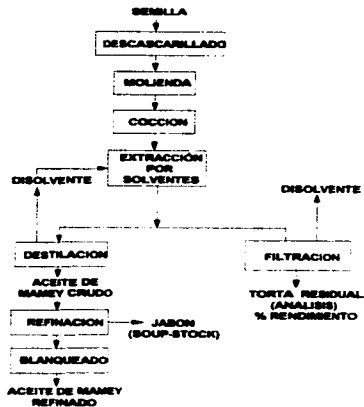


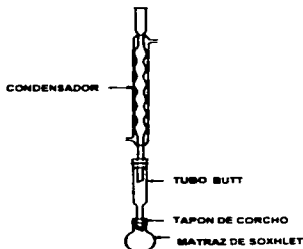
Figura 15.- Diagrama de bloques para la obtención del aceite de mamey (Calocarpum mammosum) por el Método de extracción por solventes

**TÉCNICA.**- Todas las pruebas de extracción fueron hechas en un aparato soxhlet con 1000 ml de capacidad y una operación mixta (inmersión-percolación), como se muestra la Figura 16.

Después de realizadas todas las extracciones en cada una de las pruebas se filtró en caliente, obteniéndose por un lado la *miscela* (mezcla aceite-solvente) y por otra la torta residual agotada.

La *miscela* se pasó a una operación de destilación, con el fin de separar el aceite crudo de mamey y el disolvente. La torta residual se filtró en caliente analizándose: *humedad, proteína y porcentaje de aceite residual* para verificar la eficiencia del proceso.

Ya separado el aceite de mamey crudo se realizó el objetivo secundario: análisis de las propiedades fisicoquímicas, análisis de composición de ácidos grasos por cromatografía de gases y las pruebas de refinación y blanqueado del aceite los cuales serán descritos más adelante.



**Figura 16.- Equipo Soxhlet de Extracción por Solventes**

**4.2.1 PRUEBAS DE SELECCIÓN DEL SOLVENTE.-** Los solventes se seleccionaron con base en el uso comercial y más económico en el mercado de extracción de semillas oleaginosas utilizándose en el experimento:

- Hexano Comercial
- Benceno

**TÉCNICA.-** Se colocó 10 gr. de muestra molida previamente tratada (con dimensiones menor de 200 micras) y con un valor de humedad por debajo del 10% (esto con el fin de favorecer al máximo la extracción). Se puso en contacto directo con 100 ml de cada uno de los disolventes seleccionados, durante un lapso de tiempo de 3 Hrs., en un aparato soxhlet, como lo describe la Figura 16.

Después de realizada la extracción a la torta agotada se le analizó: *la humedad, la proteína y el aceite residual*, con el fin de observar la eficiencia obtenida en la extracción. En las Tablas 4 y 5 se describen las propiedades y composición del Hexano Comercial que es el disolvente que se eligió.

En la industria de aceites vegetales, el hexano ha sido el disolvente más utilizado y es usado en la actualidad en un 95 % de la industria de extracción de semillas oleaginosas. Con excepción de su flamabilidad, el hexano cumple con gran parte de los requerimientos de un disolvente ideal.



**TABLA 4.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL HEXANO COMERCIAL**

<b>Masa Molecular</b>	<b>86.2</b>
<b>Punto de Fusión</b>	<b>-93.8 °C</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>65 - 69 °C</b>
<b>Límites explosivos</b>	<b>1.2 - 6.9 % Vol.</b>
<b>Temp. de ignición</b>	<b>260 °C</b>
<b>Gravedad específica</b>	<b>0.67 - 0.72</b>
<b>Viscosidad a 20 oC</b>	<b>0.32 ctp.</b>
<b>Calor latente de vaporización</b>	<b>79.6 Cal/g</b>
<b>Calor de combustión</b>	<b>11,651 Cal/g</b>
<b>Calor específico a 20 oC</b>	<b>0.531 Cal/g °C</b>
<b>Solubilidad en agua</b>	<b>0.05 g/lt</b>

**TABLA 5.- PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HEXANO COMERCIAL**

<b>Característica</b>	<b>Análisis típico</b>	<b>Método ASTM</b>
<b>Color Saybolt</b>	<b>+25</b>	<b>D - 156 - 64</b>
<b>Peso específico a 20/4 oC</b>	<b>0.667</b>	<b>D - 1298 - 67</b>
<b>Azufre, p.p.m.</b>	<b>30</b>	<b>D - 1266 - 70</b>
<b>Número de Bromo cg. Br/g</b>	<b>1</b>	<b>D - 1159 - 66</b>
<b>Corrosión, 2 hrs. a 100 oC</b>	<b>std. No.1</b>	<b>D - 130 - 68</b>
<b>Temp. inicial de ebullición</b>	<b>62 °C</b>	
<b>Punto seco</b>	<b>70 °C</b>	
<b>Reacción del residuo</b>	<b>No ácida</b>	<b>D - 1093 - 65</b>

Fuente: Johnson, L.A. y Lusas, E.W., (20).

**4.2.2 INFLUENCIA DE LA RELACIÓN MUESTRA-SOLVENTE.-** Con base en los resultados obtenidos de la prueba anterior se usó Hexano Comercial para todas las pruebas restantes (la explicación se da en los resultados finales). Se

procedió a realizar las pruebas de extracción, observando la relación muestra-solvente, en el rendimiento final de la extracción del aceite de mamey.

Sabemos de antemano, por la literatura, ( 6 ), que entre más grande sea esta relación, mayor será el rendimiento final de la extracción de cualquier semilla oleaginosa, y siendo la relación máxima 1:84, si se aplica una relación mayor a ésta ya no será notoria y por lo tanto, no aumentará la eficiencia final del proceso de extracción. Se realizaron tres pruebas de extracción, con las siguientes relaciones muestra-solvente:

- relación 1: 3 (100 g de muestra - 300 ml Hexano)
- relación 1: 6 (100 g de muestra - 600 ml Hexano)
- relación 1: 8....(100 g de muestra - 800 ml Hexano)

No se realizarán más pruebas de extracción, con relaciones mayores (1:10, 1:12 etc.) debido a las limitaciones del equipo de trabajo, ya que éste fue de una capacidad de 1000 ml únicamente.

**TÉCNICA.-** Se colocó 100 g de semilla previamente tratada y molida (menor de 200 micras) y con un valor menor del 10 % de humedad. Colocándola dentro del equipo Soxhlet de trabajo y en contacto directo con cada una de las relaciones previamente seleccionadas. Manteniendo el tiempo de extracción fijo de 90 minutos en todas las pruebas realizadas.

Transcurrido el lapso de tiempo en cada prueba, y de haber extraído el aceite de mamey, a la torta agotada se le analizó: *el aceite residual, la humedad y la proteína*. Esto con el fin de observar la influencia de este parámetro en el

rendimiento final de la extracción.

**4.2.3 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE HUMEDAD.-** En esta prueba se observó paralelamente la influencia del tamaño de partícula: muestra molida (menor de 200 micras) y muestra en trocitos ( de 1 a 2 cm aprox. ) y el porcentaje de humedad en el rendimiento final de la extracción del aceite de mamey.

Sabiendo previamente por teoría que valores altos de humedad no favorecen la extracción de un aceite en cualquier semilla oleaginosa, ( 5 ). Se realizaron 4 pruebas de extracción, con las siguientes relaciones:

- Muestra 1 : molida y con 3.63% de humedad
- Muestra 2 : en trocitos con 4.86 % de humedad
- Muestra 3 : molida con 54.05 % de humedad
- Muestra 4 : en trocitos con 52.06 % de humedad

**TÉCNICA.-** Se colocó 100 g de muestra base en cada una de las pruebas, tomando en cuenta que las muestras que tenían poco porcentaje de humedad fueron previamente tratadas para el proceso. Esta se colocó en contacto directo con 800 ml de Hexano comercial, en el equipo soxhlet ya descrito anteriormente. Y manteniendo en cada una de las pruebas, un tiempo de extracción fijo de 90 minutos. Realizada la extracción del aceite de mamey, se procedió a realizar las pruebas del análisis en la torta residual: *del aceite residual, de la humedad y de la proteína*, con el fin de observar su influencia en el rendimiento final de la extracción.

**4.2.4 INFLUENCIA DEL TIEMPO DE EXTRACCIÓN.-** En este parámetro observamos la influencia del tiempo de extracción en el rendimiento final de la obtención del aceite de mamey, y además con base en los anteriores parámetros ya discutidos.

Las pruebas se realizaron con muestra de semilla previamente tratada y molida (menor de 200 micras) y con porcentaje de humedad por debajo del 10 %.

Se hicieron tres pruebas de extracción con las siguientes relaciones de tiempo de extracción:

- 30 minutos
- 60 minutos
- 90 minutos

**TÉCNICA.-** Se colocó 100 g de muestra molida previamente tratada en contacto con 500 ml de Hexano comercial, dentro de nuestro equipo soxhlet de trabajo en cada uno de los lapsos de tiempo de extracción. Finalmente se extrajo el aceite de mamey y se separó la torta agotada residual, la cual fue analizada: *el aceite residual, la humedad y la proteína*, para verificar la influencia en el rendimiento final de la extracción del aceite de mamey.

**4.3 PRUEBAS DE EXTRACCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN.-** Las pruebas de extracción del aceite de mamey realizadas por este método, se efectuaron con base en el diagrama de bloques representado en la Figura 17, el cual nos describe la metodología seguida para la obtención del mismo. La primera parte

describe el pretratamiento de la semilla de mamey, el cual consistió únicamente en el *descascarillado* y la *molienda*. Posteriormente se realizó un *escaldado* en medio acuoso (causa por lo que no se realizó el tratamiento térmico en la semilla).

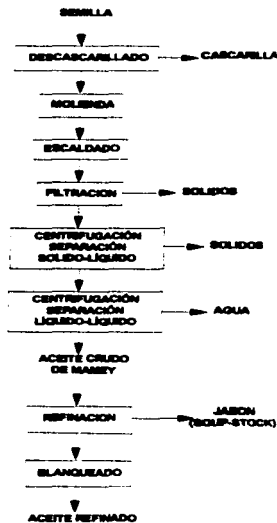


Figura 17.- Diagrama de Bloques para la Obtención del aceite de Mamey (*Calocarpum Mammosum*) por el Método de Centrifugación

**TÉCNICA.-** Se colocó una relación de : 2Kg de muestra finamente molido (menor de 200 micras) y con un porcentaje de humedad entre 50-56, en contacto

con 5 lts. de agua en un recipiente adaptado con un agitador, para mantener la mezcla homogénea y así favorecer la extracción del aceite, durante un lapso de tiempo de 4 hrs.,

Cabe mencionar que en esta operación de escaldado fue donde se realizó la extracción del aceite de mamey. Se realizaron tres pruebas de extracción por este método teniendo como variable la temperatura de escaldado:

- a 75 °C
- a 85 °C
- a 95 °C

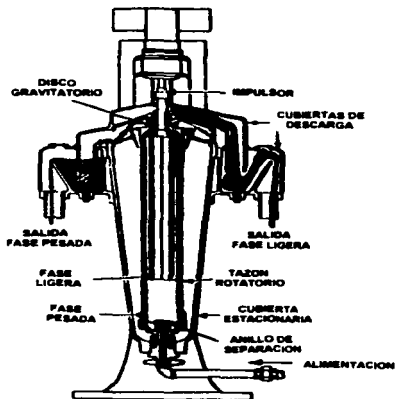
Con el fin de observar su influencia en el rendimiento de la extracción en el escaldado y observar si afectaba las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo de mamey obtenido. Posteriormente se procedió a filtrar la muestra, para eliminar la mayor cantidad de sólidos posibles, con el fin de llevar a cabo las dos operaciones de separación por centrifugación y obtener el aceite crudo de mamey libre de impurezas, estas dos operaciones de separación son:

- Separación Sólido líquido
- Separación Líquido-líquido

Estas pruebas de separación, se realizaron en una centrifuga Sharpless modelo T1 tipo tubular, con velocidad de giro de rotor de 25,000 r.p.m., tal y como lo muestra la Figura 18, y que presenta la desventaja de no tener eliminación de sólidos continuos (éstos son retirados del rotor manualmente, después de terminada la operación), las condiciones de operación fueron las siguientes:

**Gasto: 500 ml x minuto**

**Temperatura de Separación: 70 °C**



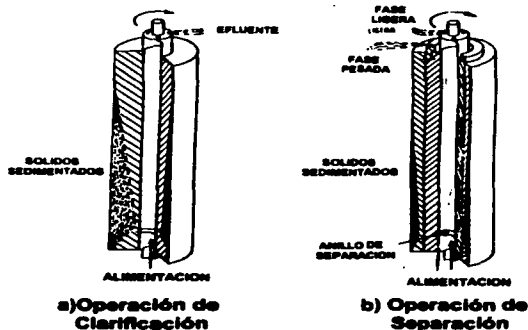
**Fig. 18 Vista interior de una Centrifuga Sharpless tipo Tubular**

Para esta primera separación, el rotor utilizado en la centrifuga fue el adecuado para una separación sólido-líquido, tal como lo muestra la Figura 19a. Terminada esta operación se procedió a retirar los sólidos del rotor manualmente para analizar: *la humedad, la proteína y el aceite residual*, para verificar el rendimiento final obtenido de la extracción del aceite de mamey.

Los resultados finales del rendimiento se reportan en el cuadro 8. En este punto hay que mencionar y aclarar que el rendimiento que está en los resultados,

fue el obtenido en la operación de escaldado (donde propiamente se llevó la extracción del aceite de mamey) y no en la eficiencia de la operación de centrifugación (como método de separación).

Posteriormente se procedió a realizar la segunda separación (líquido-líquido) de la mezcla agua-aceite de mamey, se utilizó el mismo equipo pero con un rotor adecuado para una separación líquido-líquido, tal y como lo muestra la **Figura 19b**



**Fig. 19.- Vista interior de un rotor de la Centrifuga Sharpless**

Para esto se realizaron pruebas previas de selección de anillo, con el fin de observar cual de ellos nos daría la mejor separación de la mezcla de agua-aceite de mamey, se llevaron acabo tres pruebas con anillos de diferente radio interno:



Anillo	radio interno
5	1.85
9	2.31
10	2.37

Siendo el anillo No. 9, el que obtuvo los mejores resultados de separación de la mezcla (por diferencia de densidades) y aplicando las mismas condiciones de operación:

Gasto: 500 ml x minuto  
 Temp. de Separación: 70 °C  
 Anillo de rotor: 9

Terminada la operación de separación, se obtuvo el aceite de mamey, el cual se filtró con dikalite en caliente, para obtenerlo limpio de impurezas y se utilizó para cumplir los objetivos secundarios.

**4.4 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA SEMILLA DE MAMEY.-** A la semilla de mamey sin tratamiento se le realizaron las siguientes pruebas:

- Porcentaje de Humedad; Cenizas y Fibra Cruda; Rendimiento Total y Aceite residual (eficiencia de la extracción).

Las técnicas utilizadas para el análisis de la semilla del mamey, se hicieron con base en el Manual A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society). Las técnicas de cada una de ellas se describen en el Apéndice I.

**4.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE DE MAMEY.-** Al aceite de mamey obtenido de las diferentes extracciones se le realizaron las siguientes pruebas:

- Peróxidos y Acidez (A.G.L.); Densidad; Índice de Iodo; Índice de Saponificación; Índice de Refracción; Punto de Fusión; Punto de Solidificación y Color.

Todos los métodos utilizados para el análisis del aceite de Mamey obtenido se hicieron con base en el Manual oficial A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society). Las técnicas se describen en el Apéndice I.

**4.6 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE AC. GRASOS DE EL ACEITE DE MAMEY (CALOCARPUM MAMMOSUM).**- La composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de mamey se obtuvo por cromatografía de gases, utilizando la técnica de esterificación metílica y con base en la siguiente técnica.

**TÉCNICA.**- La preparación de la muestra del aceite de mamey, se hizo disolviendo 10-30 mg de muestra en 1 ml de Benceno y agregando 1 ml de metóxido de sodio 0.5 N, colocando posteriormente muestra en ampollitas selladas en baño María a 80 °C durante un lapso de tiempo de 20 minutos (temperatura de reacción). Dejando enfriar a temperatura ambiente, rompiendo las ampollitas y agregando 3 ml de éter etílico y 3 ml de agua (para lavar) agitando hasta la formación de 2 fases, retirando la fase inferior con una aguja hipodérmica. Posteriormente secando la otra fase con sulfato de sodio. Se inyecta de 1-2 microlitros aproximadamente en el aparato de cromatografía.

Existen curvas estándar de referencia con los tiempos de retención de cada uno de los ácidos grasos y sólo se compararon con los tiempos de retención obtenidos de las muestras inyectadas.

Las pruebas se realizaron en un Cromatógrafo Varian Mod. 3700, con detector de ionización de flama (IF) y una columna de dietilenglicol succinato (DEGS) al 10% con las siguientes condiciones de operación:

Temperatura de inyector: 130 °C  
 Temperatura del detector: 200 °C  
 Temperatura de la columna: 170 °C  
 Gas acarreador: N<sub>2</sub>  
 Flujo : 30 ml x minuto

Los Resultados de la composición del aceite de mamey (Calocarpum mammosum) los podemos observar en el Cuadro 11 y el Cromatograma representado en la Figura 23.

#### 4.7 PRUEBAS DE REFINACIÓN Y BLANQUEADO DEL ACEITE CRUDO DE MAMEY (Calocarpum mammosum)

**REFINACIÓN.-** La refinación de un aceite de semillas en general, se realiza con el fin de eliminar todos los ácidos grasos libres presentes en el aceite crudo obtenido del proceso de extracción por solventes, ya que éstos son los que favorecen la oxidación y rancidez de un aceite.

La refinación del aceite como tal, es una neutralización, que se logra agregando Sosa al aceite crudo, precipitando por un lado el jabón en forma de estéres (soup-stock) y que se ven como un subproducto en las industrias jaboneras y por el otro lado el aceite refinado libre de los ácidos grasos libres y con un valor de acidez por debajo de 0.03.

La técnica utilizada en este trabajo es la que se realiza a nivel laboratorio en las instalaciones de Industrias aceiteras y nos indica las pérdidas por

**refinación** de un determinado aceite, es decir, las mermas que se tendrán del aceite durante la refinación.

El primer problema que se presentó fueron las *condiciones de operación de refinación*, debido a que no se reportan para el aceite de mamey en las Tablas del Manual A.O.C.S.

En la tabla 6 se presentan los requerimientos para efectuar la refinación de diferentes aceites comestibles: algodón, cacahuete, soya, maíz y coco. Por lo tanto, se decidió escoger el del coco que es el más drástico, ésto con el fin de poder realizar las pruebas y observar que resultados se obtienen.

En la Tabla 7 se pueden observar las condiciones de operación de refinación para diferentes aceites comestibles, obtenidos del A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society), (3).

Las pruebas de refinación se realizaron en un equipo de *refinación de Cops*. Primero se homogeneizó la muestra del aceite de mamey con agitación vigorosa, registrando el valor de acidez, con el fin de poder aplicar la ecuación de la Tabla 6, para la refinación del coco que es la más utilizada a nivel laboratorio:

$$5 (1.1 \times \text{A.G.L.}) = \text{g de NaOH } 20 \text{ } ^\circ\text{Baume}$$

**Tabla 6.- Requerimientos para llevar a cabo la Refinación de varios aceites comestibles.**

ACEITE	TIPO	RANGO (A.G.L.)	No. DE REFINACIONES	SOLUCIONES ALCALINAS (°Bé)
ALGODON	HIDRAULICO	0 - 1.1	2	80 Máximo de 12°
ALGODON	HIDRAULICO	3.1 - 4.9	2	Máximo de 14°
ALGODON	HIDRAULICO	7.6 - 16.9	2	Máximo de 20°
ALGODON	EXPPELLER	0 - 3.9	3	Máximo de 20°
ALGODON	EXPPELLER	5.1 - 19.9	2	Máximo de 26°
CACAHUATE	---	0 - 3.9	3	80 Máximo de 16°
SOYA	EXPPELLER	TODOS	2	Máximo de 12°
MAÍZ	---	TODOS	2	Máximo de 15°
COCO	---	TODOS	1	(1.1 X A.G.L.) g. de 20° per 100 g de Aceite

**Tabla 7.- Condiciones para la Operación de Refinación de diferentes aceites comestibles**

REFINACIÓN	ALGODON	CACAHUATE	SOYA	MAÍZ	COCO
TEMPERATURA DE BAÑO FRÍO (°C)	20 - 24	20 - 24	20 - 24	20 - 24	30 - 35
R.P.M. DEL BAÑO FRÍO	280	250	280	280	280
TIEMPO DEL BAÑO FRÍO (Min)	15	30	90	5	15
TEMPERATURA BAÑO CALIENTE (°C)	63 - 67	63 - 67	63 - 67	63 - 67	50 - 53
R.P.M. DEL BAÑO CALIENTE	70	70	70	70	70
TIEMPO BAÑO CALIENTE (Min)	12	12	12	12	5
TEMPERATURA ACEITE FINAL (°C)	90 - 95	90 - 95	90 - 95	90 - 95	45 - 50
TIEMPO DE REPOSO (Hrs.)	12	12	12	12	12

**FUENTE: MANUAL A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society).**

La anterior fórmula, dependiendo del valor de acidez de la muestra, nos indicará la cantidad de gramos de sosa necesarios para neutralizar completamente el aceite.

**TÉCNICA.-** Se pesaron 500 g de muestra de aceite de mamey, en una copa de refinación de acero inoxidable (para evitar oxidaciones) y se colocó dentro de el equipo de refinación con un agitador dentro de la copa. Poner el baño a una temperatura entre 30 y 35 °C y agregar la cantidad de NaOH 20 °Baume que requiera según la acidez obtenida. Agitar toda la muestra a 250 r.p.m. durante 5 minutos, pasado el lapso de tiempo incrementar la temperatura entre 50 y 53 °C, con una agitación de 70 r.p.m. durante otros 5 minutos. Pasado el tiempo, se deja reposar a 10 °C y después dejarlo en reposo absoluto por un mínimo de 12 hrs. para que precipite el jabón. Posteriormente se decanta el aceite refinado, observando que en la parte inferior de la copa se queda precipitado el jabón (Soup-stock) y las impurezas. El porcentaje de pérdidas por refinación se reporta de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pérdidas } \times \text{ refinación} = \frac{\text{peso a. crudo} - \text{peso a. refinado}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

Para corroborar que se llevó a cabo con éxito la refinación del aceite, se verifica nuevamente la acidez del aceite, el cual deberá de estar entre un valor de 0.03 - 0.09.

El aceite refinado que se obtuvo es filtrado en caliente con dikalite, con el fin de obtener el aceite transparente para poder realizar la medición del color en

un Tintómetro Lovi-bond.

**BLANQUEADO.-** El único fin del blanqueado del aceite de mamey, es el de mejorar el color del mismo.

**TÉCNICA.-** Pesar 300 g de muestra de aceite y colocarlo en un vaso de pp. de 600 ml y calentarlo a una temperatura de 90 °C con el fin de eliminar la posible humedad que pudiese contener el aceite y agregar el 3 % del peso de la muestra que se quiere blanquear, en nuestro caso ( para 300 g de aceite equivale a 9 g de tierra diatomáceas), homogeneizar con agitación y elevar la temperatura posteriormente a 110 °C y 250 r.p.m. de agitación durante 5 minutos. Después de ese tiempo, filtrar en caliente con dikalite para obtener el aceite blanqueado transparente y poder checar el color en el Tintómetro Lovi-bond.

## **Capitulo V**

## **Resultados**



## 5.1 RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

**5.1.1 MÉTODO POR PENSADO.-** Los resultados del rendimiento de la extracción por pensado los podemos observar en el Cuadro 3 y en la Figura 20, en donde se puede observar y comprobar la marcada influencia del tamaño de partícula en las pruebas noes (1, 3 y 5) con los de muestra fina (menor de 200 micras), en donde el rendimiento de estas pruebas fue mejor, con respecto al de las pruebas pares (2, 4 y 6) con muestra en trocitos (de 1 a 2 cm).

El mejor resultado se obtuvo en la *prueba No. 5*, la cual arrojó los mejores resultados con un valor de 31.03 % (para una muestra con contenido de humedad menor del 10 % y tamaño de partícula fina) Y que es la que corresponde a la curva B de la Figura 20 en la que nos muestra la gráfica de la relación: porcentaje de humedad contra el rendimiento final obtenido durante la extracción. Los datos que corresponden a la curva B (*muestra molida*) obtuvo los mejores resultados, con respecto a los datos de la curva A que corresponden a la (*muestras en trocitos*).

De todo lo anterior podemos concluir que para valores bajos de humedad, los valores de aceite residual en la harina disminuirán y por lo tanto los valores del rendimiento aumentarán, mejorando con esto la eficiencia de la extracción.

Sin embargo, es necesario resaltar que los valores de *rendimiento* obtenidos por este método fueron bajos y éste se debió a que no se contó con el equipo apropiado para realizar las pruebas, (*prensa Expeller*) como ya se comentó en el desarrollo experimental.

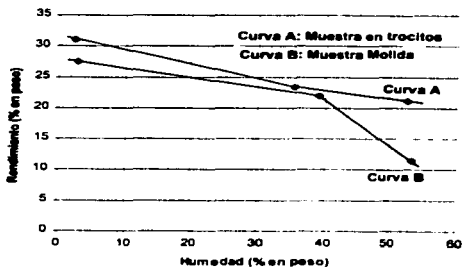
**CUADRO 3.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE Prensado**

PRUEBAS	MUESTRA NORMAL	PRESIÓN/ TIEMPO (kg/cm <sup>2</sup> ) 10 Min	MUESTRA Prensada				
	% HUMEDAD		PROTEÍNA	% HUMEDAD	PROTEÍNA	%C. RESIDUAL	RENDIMIENTO
1.M.F.	56.50	8.87	1945	52.67	9.73	18.82	21.09 %
2 M.T.	56.27	8.49	840	53.48	9.84	21.12	11.45 %
3 M.F.	37.84	9.24	2400	35.37	9.94	18.27	23.40 %
4 M.F.	39.43	9.17	2130	39.05	9.74	18.82	21.92 %
5 M.F.	2.57	10.88	3600	2.49	12.81	16.45	31.03 %
6 M.T.	2.83	10.51	2750	2.71	12.17	17.28	27.55 %

donde: M.F. = Muestra Fina

M.T. = Muestra en Trocitos

Nota.- Para los cálculos del Rendimiento se tomo como base 23.85 % de Rendimiento Total. (valor Obtenido por Soxhlet)



**Fig. 20.- Gráfica de la relación: % de Humedad y Rendimiento final para la Extracción por Prensado.**

**5.1.2 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.-** Los resultados por este método los podemos observar en los Cuadros 4, 5, 6, 7 y en las Figuras 21 y 22.

**SELECCIÓN DEL SOLVENTE.-** Los resultados experimentales de la selección de solvente los podemos ver en el Cuadro 4, en el se ve que los valores del rendimiento para ambos disolventes son muy similares. La elección del disolvente fue el Hexano Comercial y esto se hizo con base entre otras cosas:- Por ser el solvente más utilizado en la actualidad, para la extracción de aceites vegetales, se usa en un 95 % de la industria de extracción de semillas oleaginosas.

- Por ser más económico y a excepción de su flamabilidad, es el disolvente que hoy en día cumple con la gran parte de los requerimientos de un disolvente ideal.

-Y por su disponibilidad para efectuar todas las diferentes pruebas experimentales en el presente trabajo.

**Cuadro 4.- Resultados de las Pruebas de Selección de Solvente**

Solvente	Muestra Normal		Muestra Extractada			
	Humedad	Proteína	Humedad	Proteína	A. Residual	Rendimiento
<b>Hexano</b>	<b>6.06</b>	<b>11.99</b>	<b>7.19</b>	<b>17.48</b>	<b>6.31 %</b>	<b>73.54 %</b>
<b>Benceno</b>	<b>6.06</b>	<b>11.99</b>	<b>7.33</b>	<b>17.44</b>	<b>6.35 %</b>	<b>73.38 %</b>

### RELACIÓN MUESTRA-SOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.-

En el Cuadro 5 podemos observar los resultados obtenidos por la influencia de la relación *muestra-disolvente*.

Donde podemos ver que conforme aumentamos esta relación, el valor del rendimiento fue aumentando considerablemente hasta alcanzar un valor de **84.86 %** para una relación 1:8. Todas las pruebas nos dieron valores de rendimiento por encima del 60 %, lo cual nos indica la gran eficiencia de este método de extracción con respecto de los otros dos.

Cabe mencionar que no se realizaron más pruebas con mayor relación de disolvente (1:10, 1:12, etc.) debido a las limitaciones del equipo de extracción y del cual ya se hizo mención anteriormente.

**CUADRO 5.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LA INFLUENCIA SOBRE LA RELACIÓN SOLVENTE-MUESTRA**

Tiempo de Extracción	Relación Muestra/Solvente	Muestra Normal		Muestra Extractada			
		Humedad	Proteína	Humedad	Proteína	A. Residual	Rendimiento
90 Min	1 : 3	3.19	13.48	5.29	14.97	8.20 %	68.62 %
90 Min	1 : 6	3.19	13.48	5.68	15.13	6.71 %	71.87 %
90 Min	1 : 8	3.19	13.48	5.74	17.98	3.61 %	84.86 %

### RELACIÓN TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE HUMEDAD.-

Los resultados sobre la influencia: *del tamaño de partícula y el porcentaje de humedad* están reportados en el Cuadro 6, donde podemos observar la marcada influencia de estos parámetros en el rendimiento final de la extracción por

solventes. Las pruebas 1 y 3 corresponden a muestras finamente molidas, y corresponden a la curva B de la Fig. 21, en donde se graficó la relación entre el porcentaje de humedad contra el rendimiento final de la harina durante la extracción.

De las cuatro pruebas realizadas la prueba No. 1, resultó ser la mejor, con un rendimiento de **84.74 %** (muestra con contenido menor del 10 % de humedad y tamaño de partícula menor de las 200 micras), siendo las condiciones ideales de la semilla antes de la extracción. Lo que no sucede con la prueba 3 a pesar de ser muestra molida su valor de 54.05 % de humedad es alta y el rendimiento final se ve afectada a un valor de **41.85 %**.

**CUADRO 6.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.**

PRUEBAS	Muestra Normal		Muestra Extractada			
	Humedad	Proteína	Humedad	Proteína	A. Residual	Rendimiento
1 M.F.	3.63	13.27	5.72	16.10	3.64 %	84.74 %
2 M.T.	4.86	12.37	7.31	16.98	13.87 %	41.85 %
3 M.T.	54.05	8.77	54.90	12.59	12.59 %	47.21 %
4 M.T.	52.07	9.90	53.87	13.72	15.81 %	33.71 %

M.F. Muestra Fina

M.T. Muestra en Trocitos

Nota.- Para los cálculos del Rendimiento se tomo en base 23.85 % como Rendimiento Total. (Valor obtenido por soxhlet).

Además podemos observar como los valores del *rendimiento*, se ven afectados en el caso de la curva A (prueba 2 y 4) y esto se debe en gran parte a los valores altos de 50-55 % de Humedad y al tamaño de partícula de la semilla (muestra en trocitos de 1 a 2cm), los cuales no favorecen la extracción y dan valores de *rendimiento* final menores del 50 %. Con lo cual queda demostrado que estos dos factores influyen enormemente en la extracción del aceite.

Por lo tanto podemos concluir que la semilla requiere un tratamiento térmico y ser finamente dividida, como es el caso de la prueba 1, con el propósito de obtener el *máximo rendimiento* en la extracción por solventes.

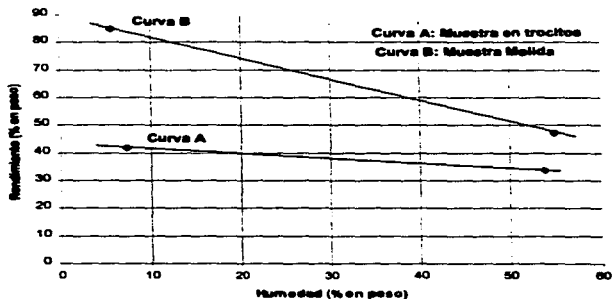


Figura 21.- Gráfica de la relación: % de Humedad y el Rendimiento Final de la Extracción por Solventes.

**INFLUENCIA DEL TIEMPO DE EXTRACCIÓN .-** En el Cuadro 7 se reportan los resultados obtenidos de la influencia del tiempo de extracción en el Rendimiento de la extracción. Se comprobó que conforme aumentamos el tiempo de extracción, el valor del aceite residual en la semilla (harina), irá disminuyendo notablemente y por lo tanto nuestro rendimiento aumentará.

**CUADRO 7.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE EXTRACCIÓN EN EL RENDIMIENTO.**

Prueba	Tiempo de Extracción	Muestra Normal		Muestra Extractada			
		Humedad	Proteína	Humedad	Proteína	A. Residual	Rendimiento
1	30 Min	3.19	13.40	5.12	17.09	6.37 %	73.31 %
2	60 Min	3.19	13.40	5.37	18.44	5.03 %	79.90 %
3	90 Min	3.19	13.40	5.82	18.55	3.52 %	85.24 %

Gráficamente lo podemos observar en la Figura 22, en donde se gráfico la relación entre el tiempo de extracción contra el rendimiento final de la harina al final de la extracción. Obteniéndose para un tiempo de 90 minutos un rendimiento óptimo de 85.24 % que es bastante bueno, con respecto a los otros dos métodos de extracción seleccionados.

Ahora bien podemos observar que para un tiempo de extracción de 30 minutos se obtuvo un rendimiento del 73.31 % (que es más del 50 % del contenido de aceite de la semilla). Por lo tanto el criterio que se seguirá en la industria, dependerá de la cantidad de aceite que se desee obtener. Por lo que

podemos concluir que este método de extracción por solventes resulta ser el mejor de los tres propuestos.

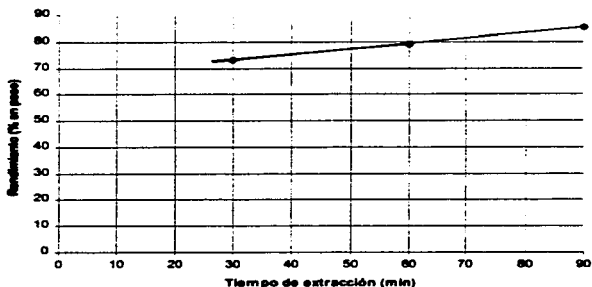


Fig. 22.- Gráfica de la relación: Tiempo de extracción y el Rendimiento Final en la Extracción por Solventes.

**5.1.3 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR CENTRIFUGACIÓN.-** Los resultados de este método de extracción los podemos observar en el Cuadro 8 y en la Figura 23, de las tres pruebas realizadas a diferente temperatura de ebullición. Los valores del rendimiento final de la extracción fueron muy bajos, no mayores del 25 %. Los resultados son muy parecidos entre sí, resultando ser mejor la prueba 1 a 75 °C donde se obtuvo un rendimiento final de la extracción de 25.53 % que es un valor muy bajo con respecto del método de extracción por solventes.



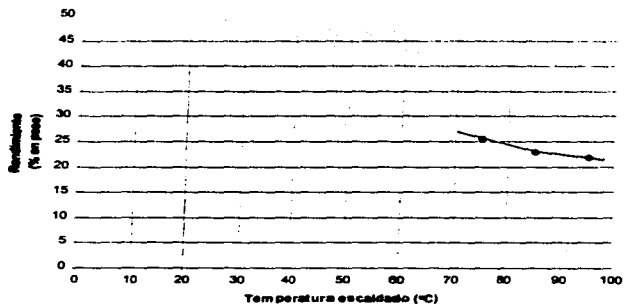
La Figura 23 nos muestra gráficamente la relación: *temperatura de escaldado contra el rendimiento final* obtenido durante la extracción por este método. Podemos observar que las tres pruebas realizadas a diferentes temperaturas de escaldado, los valores del rendimiento resultaron son muy parecidos y bajos, no mayores del 25 %.

#### CUADRO 8.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CENTRIFUGACIÓN

Prueba	Temperatura de Escaldado	Muestra Normal		Muestra Extractada			
		Humedad	Proteína	Humedad	Proteína	A. Residual	Rendimiento
1	75 °C	53.87	7.93	53.99	9.84	17.76 %	25.53 %
2	85 °C	54.37	7.97	55.24	9.15	18.37 %	22.98 %
3	95 °C	54.25	7.97	56.10	9.18	18.63 %	21.89 %

Cabe hacer mención que en el aceite de mamey obtenido, se vio afectado enormemente el valor de peróxidos y el de acidez, debido a que las pruebas se realizaron en medio acuoso, aunado a que la semilla recolectada contaba con altos valores de humedad (aprox. 50-56 %).

Esto hace que el aceite crudo obtenido, tienda a degradarse más fácilmente, además de que las mermas serán mucho mayores, ya que al ser refinado el aceite, las pérdidas por refinación resultan ser altas, como se podrá observar más adelante.



**Figura 23.- Gráfica de la relación: T. de Escaldado y el Rendimiento Final en la Extracción por Centrifugación.**

**5.2 ANÁLISIS DE LA SEMILLA DE MAMEY.-** Los resultados de la semilla de mamey los podemos ver en el Cuadro 9, donde el valor del rendimiento total de la semilla (*contenido de aceite*) es de **23.85 %**, que no es un valor alto pero bueno, y esta influenciado por el alto valor de humedad de la muestra fresca sin tratamiento (50-55 %). Este valor es muy alto comparado con el de otras semillas oleaginosas que por lo general no rebasan el 12 % de humedad.

Hay que tomar en cuenta que nuestra semilla proviene de un fruto, por lo que si se quiere industrializar, deberá de ser pretratada (disminuir la humedad por debajo del 10 %) para que no afecte las condiciones ideales de la extracción del aceite de la semilla.

**CUADRO 9.- ANÁLISIS DE LA SEMILLA DE MAMEY (CALOCARPUM MAMMOSUM)**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>POR CIENTO EN PESO</b>
<b>HUMEDAD</b>	<b>50.56</b>
<b>PROTEÍNA</b>	<b>21.70</b>
<b>ACEITE</b>	<b>23.85</b>
<b>FIBRA CRUDA</b>	<b>20.25</b>
<b>CENIZAS</b>	<b>0.69</b>

Observamos también que el valor de *proteína* es de **21.70** y que comparado con otras semillas no es bajo, podría tener aplicación en la industria alimentaria como complemento en alimento de animales. Y tal vez haciendo estudios posteriores de digestibilidad dependiendo de los resultados podría aplicarse en la alimentación humana.

El valor de la cascarilla de la semilla resultó con valores por debajo del 1% de proteína, por lo que no tiene caso incorporarlo en el tratamiento final de la harina final para alimentación de animales.

**5.3 ANÁLISIS DEL ACEITE DE MAMEY.-** Los resultados de las propiedades del aceite se reportan en el Cuadro 10, comparándolo con datos de otros aceites comestibles, como son el girasol, ajonjolí, algodón y el coco.

De las propiedades podemos mencionar su punto de fusión que es de 18-19 °C, lo que nos indica que es un aceite a temperatura ambiente. Su valor de *peróxidos* 0.7 es muy alto, al igual que el valor de *acidez* 0.45, y se verán influidos dependiendo del método de extracción a usar, como fue el caso del método de centrifugación que llegó a dar valores de *acidez* de **2.99** (el cual es demasiado alto), y repercutió en las pruebas de *refinación y blanqueado* y en el

rendimiento final del método de centrifugación.

**CUADRO 10.- COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE DE MAMEY CON OTROS ACEITES.**

Propiedades fisicoquímicas	mamey (Calocarpum Bismoesum)	ajonjolí	algodón	girasol	coco
Densidad a 25 °C	0.880	0.916	0.917	0.917	0.919
Índice de Refracción a 25°C	1.484	1.472	1.466	1.467	----
Índice de Yodo	64.92 - 69.24	109.5	106	130.5	7.5
Índice de Saponificación	170.85	191.00	193.5	193.00	250
Punto de Fusión (°C)	18 a 19	20 - 25	11	17 - 26	20 - 24
Punto de Solidificación (°C)	9 - 10	----	----	----	----
Acidez (A.G.L.)	0.45	0.73	0.90	0.55	----
Valor de Peróxido	0.70	----	----	0.61	----

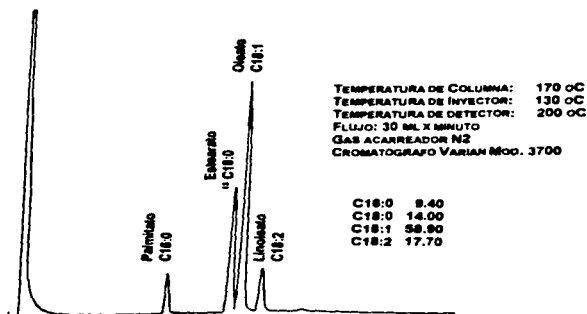
**5.4 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE MAMEY.-** Los resultados de la composición del aceite de mamey los podemos observar en la Figura 24, el cual nos muestra el cromatograma realizado y que obtuvo la siguiente composición de ácidos grasos Cuadro 11 :

**Cuadro 11.- Composición de A. grasos del aceite de Mamey**

ácido palmítico	C 16 : 0	9.40 %
ácido esteárico	C 18 : 0	14.00 %
ácido oléico	C 18 : 0	58.90 %
ácido Linoléico	C 18 : 0	17.70 %

Donde podemos observar que aproximadamente un **80 % de los ácidos grasos del aceite de mamey son INSATURADOS**. Con lo que se corrobora los altos valores de peróxidos obtenidos en las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Por lo tanto, se puede concluir que el aceite de mamey (*Calocarpum Mammosum*) es un aceite que tiende a oxidarse muy fácilmente, por lo que se recomienda, en caso de industrializarlo, se deberá realizar el tratamiento de la refinación del aceite después de ser extraído.



**Figura 24.- CROMATOGRAMA DEL ACEITE DE MAMEY  
(CALOCARPUM MAMMOSUM)**

**5.5 REFINACIÓN Y BLANQUEADO DEL ACEITE DE MAMEY.-** En el Cuadro 12 podemos observar los resultados de las pruebas experimentales de la refinación y blanqueado del aceite de mamey obtenido de las extracciones de: **EXTRACCIÓN POR SOLVENTES Y CENTRIFUGACIÓN.**

Podemos observar que las pérdidas por refinación del aceite de la extracción por centrifugación fueron de 4.2 %, es un valor muy alto y si lo

comparamos con respecto al del aceite del método de *extracción por solvente* fue de 3.05 %, es una gran diferencia. Por ejemplo si utilizamos para la prueba 500 g de aceite de mamey y extrapolamos estos valores a toneladas de aceite, el método de centrifugación tiene una mayor merma al obtener el aceite refinado y por lo tanto baja aún más el rendimiento final del proceso.

Este valor de las *pérdidas por refinación* del aceite obtenido por centrifugación, se debe en gran parte al alto valor de acidez 2.99 (ácidos grasos libres) que presentó, y ésto fue debido al escaldado en medio acuoso (donde se realizó la extracción del aceite) y al alto valor de humedad (entre 50- 56 %) de la semilla.

**CUADRO 12.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE REFINACIÓN Y BLANQUEADO DEL ACEITE DE MAMEY (CALOCARPUM MAMMOSUM)**

PRUEBA	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	ANÁLISIS	ACEITE CRUDO	ACEITE REFINADO	ACEITE BLANQUEADO	PÉRDIDAS POR REFINACIÓN
1	CENTRIFUGACIÓN	ACIDEZ	2.99	0.06	0.06	4.2 %
		COLOR	6.5 - 10	3.2 - 20	0.6 - 6	
2	EXTRACCIÓN POR SOLVENTES	ACIDEZ	0.63	0.06	0.06	3.05 %
		COLOR				

Lo que no sucedió en el caso del método de extracción por solventes, en donde se obtuvo aceite de mamey con bajos valores de acidez de hasta 0.63 y ello se debió principalmente al *pretratamiento de la semilla* utilizada en los

experimentos con valores menores al 10 % de humedad y semilla molida por debajo de 200 mm antes de realizar la extracción del aceite.

Podemos concluir que altos valores de humedad favorecen que se degrade el aceite fácilmente y que haya más ácidos grasos libres, los que favorecerán que el aceite se enrancie, provocando olor y sabor desagradable al mismo.

Ahora con respecto a los valores obtenidos en el color del aceite de mamey crudo, refinado y blanqueado para los dos métodos de extracción, podemos concluir que son muy similares, aunque ligeramente un poco mejor en apariencia el obtenido por centrifugación.

## **Capítulo VI**

### **Selección del Proceso de Extracción**



Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio podemos ver que el método de extracción por solventes es el mejor de los tres métodos seleccionados. En este capítulo el propósito fundamental es ofrecer la información básica sobre los diferentes factores técnicos y económicos que intervienen en la localización de una planta, que hagan que el proceso sea tecnológicamente viable, y pueda implementarse en la extracción del aceite de mamey.

#### 6.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE EXTRACTOR

Con base en los diferentes extractores presentados en el capítulo 2, la gran flexibilidad que presenta el sistema De Smet, su versatilidad, su alto rendimiento, así como las ventajas que a continuación se mencionan, lo hacen el extractor más adecuado para el proceso de extracción por solventes.

El sistema De Smet ofrece una sencillez mecánica real, ya que el único cuerpo móvil del sistema es la banda sin fin perforada, accionada por un impulsor de baja potencia, lo cual lo hace igualmente económico en cuanto al consumo de energía eléctrica. El caudal de miscela se regula fácilmente con la ayuda de válvulas y mirillas, permitiendo que la cantidad de miscela en cada sección de el extractor sea variable. Esto es importante ya que el sistema puede tolerar variaciones en el tamaño de hojuela, sin afectar la eficiencia, logrando así una extracción más uniforme en todo momento.

Ofrece mayor facilidad y menores costos en cuanto a mantenimiento, ya que al efectuarse la auto limpieza de la banda, se evita que las partículas de

material se peguen a ésta, logrando así una percolación, siempre uniforme, sin tener que para el proceso continuamente para mantenimiento.

Al aprovechar la capacidad filtrante del lecho, se suprime el equipo de filtración obteniéndose miscela casi totalmente clara.

Los rastrillos articulados localizados en las áreas de drenado restablecen la permeabilidad del lecho que pudiera haber sido disminuida por la sedimentación de partículas finas, obstaculizando el paso de la miscela o el disolvente.

Debido a la facilidad que posee de variar el espesor del lecho y la velocidad de la banda transportadora, así como la intensidad del rociado, se puede extraer cualquier tipo de material oleaginoso, sin tener que efectuar cambios en el equipo y consecuentemente no tener que realizar inversiones adicionales y costosas.

El funcionamiento de la instalación es prácticamente automática y además, el sistema se encuentra provisto de dispositivos de seguridad los cuales impiden el funcionamiento bajo condiciones peligrosas, con lo cual se protege a la instalación, al personal y a la planta en general.

La utilización de lechos poco profundos en este sistema, es adecuada y se prefiere con respecto a otros sistemas como los rotatorios que utilizan lechos de hasta 1.2 mts (4 pies); ya que la cantidad de *miscela* es retenida así como la cantidad necesaria de solvente se mantienen mínimas, además, se ha comprobado que los lechos profundos alcanzan el equilibrio muy lentamente y en algunas ocasiones no llegan a alcanzar esta condición (10).

Por último, y tal vez la más importante de todas las ventajas que ofrece este sistema de extracción con respecto a los otros, es su total integración en México. Con lo cual se abaten en gran medida los costos de la inversión y se evitan los problemas que lleva consigo la importación de el equipo y las refacciones sobre todo en la actual situación del país.

## **6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

El Diagrama de proceso de extracción por solventes esquematizado en la Figura 25 , representa los pasos de la extracción, de los cuales se derivan procesos secundarios para la obtención del aceite de mamey, la descripción de cada uno de estos pasos se presenta a continuación.

**Recepción.-** El silo de recepción de la semilla debe de ser calculado de acuerdo a la capacidad diaria de producción y las condiciones locales, para que el material no sufra daños. La semilla proveniente de los sembradíos se seca para que no sufra alteraciones químicas y físicas durante su almacenamiento, es pesada y almacenada. Se recomienda almacenarla no más de 10 días antes de procesarla.

**Proceso de acondicionamiento de la semilla.-** La semilla antes de procesarse, se somete a un acondicionamiento para tener la misma a condiciones de extracción (menos del 10 % de humedad, semilla molida con dimensiones entre 200 micras y hojuelada). La semilla es transportada del silo de almacenamiento, pasa a través de una malla vibradora, que posee un separador magnético, para separar objetos indeseables. La semilla es descascarillada y molida en un molino de martillos, triturada la semilla es cocida en un cocedor con camisa de vapor y

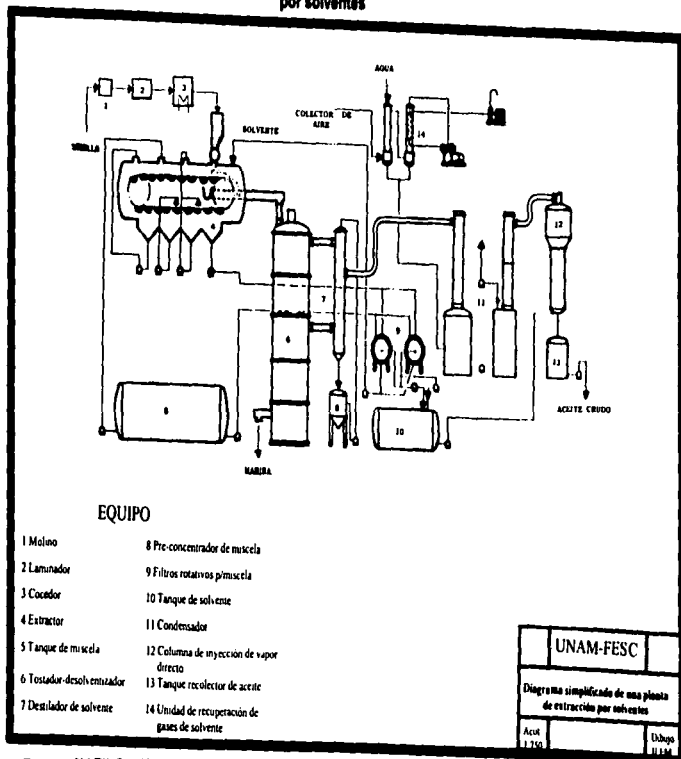
luego es transferida a los rodillos laminadores para obtener la semilla hojuelada lista para la extracción.

**Proceso de extracción del Aceite.-** En este paso la semilla hojuelada llega al extractor a través de una tolva de alimentación que regula su acceso. Dentro del extractor las hojuelas son rociadas con Hexano y *miscela* a la vez en un proceso continuo a contracorriente, donde el aceite es solubilizado por el solvente, donde se obtiene una *miscela* rica (mezcla aceite-Hexano) y una pasta agotada impregnada con disolvente.

**Proceso de desolventización de la Pasta.-** La pasta que sale del extractor continuo, sale con solvente el cual es eliminado en un *desolventizador-tostador*, que se asemeja a los cocedores de semilla, ya que cuenta con varios pisos calentados por chaquetas con provisión para inyección de vapor, el material es movido por medio de paletas eliminando el disolvente que se envía a los condensadores para su recuperación para recircularlo nuevamente al proceso de extracción

**Proceso de recuperación del aceite crudo.-** La *miscela* que sale del extractor se almacena en un tanque y es bombeada a evaporadores para realizar la separación del aceite y el disolvente, éste último es recuperado en condensadores y se regresa al sistema extractor para su uso. El aceite con ligeras trazas de disolvente (menor del 2 %) se pasa a un stripping al cual se le inyecta vapor por abajo, por arrastre al vacío elimina el disolvente en el aceite, es enfriado, filtrado y enviado por bomba al tanque de almacenamiento como aceite crudo.

Figura 25.- Diagrama simplificado de una planta de extracción por solventes



Fuente: NAFINSA 1900

### **6.3 PAQUETE DE EXTRACCIÓN:**

**En el mercado existen equipos comercialmente disponibles para una planta de extracción por solventes. Los equipos del paquete de extracción por lo general consisten en :**

- Silo de espera (semilla)**
- Molino**
- Separador magnético**
- Triturador acanalado**
- Calentador**
- Hojuelador**
- Extractor**
- Tostador-Desolventizador**
- Enfriador**
- Silo de materia proteica tratada (pasta)**

**LISTA DE EQUIPOS.- En la Tabla 8 se muestra la lista y clasificación de los diferentes equipos involucrados en un proceso de extracción por solventes.**

**Tabla 8.- LISTA Y CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS**

<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LOCALIZACIÓN (SECCIÓN DE)</b>
Silo de almacenamiento		Preparación de semilla
Maquina de pesado		Preparación de semilla
Separador magnético		Preparación de semilla
Molino		Preparación de semilla
Hojuelador o Laminador		Preparación de semilla
Cocedor de semilla		Preparación de semilla
Extractor semilla		Preparación de semilla
Tostador-Desolventizador		Recuperación de producto (harina)
Centrifuga		Recuperación de producto (harina)
Tanque de filtrado		Recuperación de producto (harina)
Tanque de solvente		Recuperación de producto (harina)
Tanque miscela		Separación de fases
Evaporador de hexano		Recuperación de aceite
Enfriador de aceite		Recuperación de aceite
Condensador de hexano		Recuperación de aceite
Recalentador		Recuperación de aceite
Condensador de torre		Recuperación de solvente
Condensador de hexano		Recuperación de solvente
Tanque de almacenamiento		Recuperación de solvente
Separador de hexano		Separación de aceite
Tanque de hexano Puro		Recuperación de solvente
Bomba miscela		Separación de fases
Bomba recirculación		Separación de fases
Bomba de carga de evaporador		Separación de producto (harina)
Bomba de descarga de tanque		Separación de producto (harina)
Bomba de agua caliente		Separación de fases
Bomba de carga evaporador		Separación de aceite
Bomba de aceite puro		Separación de aceite

#### **6.4 ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO DE PROCESO Y SERVICIOS AUXILIARES. EQUIPO DE PREPARACIÓN**

**SILO DIARIO.-** El silo diario de la sección de preparación de la semilla. Con transportador de tornillo dosificador para extraer la semilla del silo, dosificándola al elevador de tazas. El elevador se completa con un reductor de velocidad y motor eléctrico.

**BÁSCULA PESADORA DE ENTRADA.-** Para el pesado automático, antes de pasar al proceso de preparación.

**ALIMENTADOR CON SEPARADOR MAGNÉTICO.-** Es un alimentador rotativo con dispositivo de mando. El separador magnético con imanes permanentes tipo magnoplaques.

**MOLINO DE CILINDROS ACANALADOS.-** Molino con un par de cilindros acanalados de 340mm de diámetro y de 500 mm de largo. Con limpieza instantánea durante la marcha y registro de regulación.

**LAMINADOR.-** Modelo estandar provisto de un par de cilindros lisos de 500 mm x 1000mm, montados en amplios rodamientos de rodillos. Incluye además: un dispositivo de seguridad que aparta automáticamente los cilindros en caso de necesidad; soportes especiales que actúan en los cojinetes y evitan la rotura de los cilindros al pasar una piedra u objeto duro. El aparato esta cerrado herméticamente por una cubierta con anchas puertas de visita.

**CALENTADOR ACONDICIONADOR VERTICAL.-** Con dispositivo de inyección de vapor vivo y conductor exterior de salida de vapor, con válvulas mariposas, regulables en cada compartimento. Donde cada compartimento esta



provisto de un agitador rotativo, así como un dispositivo regulador de purgas y aparatos de medida necesarios.

**TRANSPORTADOR DE UNIÓN A EXTRACCIÓN.-** Del tipo horizontal-vertical, de cadena y raspadores, lleva las hojuelas desde la tolva de salida de los molinos hojueladores hacia el extractor. El extractor se completa con un mecanismo de transmisión y sello mecánico.

### **EXTRACCIÓN CONTINUA**

Se hará referencia de cada una de las partes más importantes:

**ALIMENTADOR SELLO.-** Alimenta al extractor, construido de manera que siempre quede lleno, para evitar que salgan los vapores de disolvente.

**TOLVA DE ALIMENTACIÓN.-** Provisto de un dispositivo automático con micro-interruptores a prueba de explosión para controlar la altura de la semilla hojuelada en la tolva de alimentación.

**EXTRACTOR CONTINUO.-** Con tolvas de miscela, provisto de un transportador de cinta, articulado, compuesto de una serie de marcos, que incluye además:

- Un mecanismo de transmisión, con reductor y regulador de velocidad del transportador.
- Con bombas de circulación de miscela de gran capacidad.
- Rociadores de Smet, que proporcionan un rociado uniforme de miscela en la semilla.
- Con grandes tapas, que permiten el fácil acceso al mecanismo extractor.

- Un dispositivo de enjuague automático, que mantiene limpio el transportador de cinta.

- Un juego de mirillas con limpiadores que permiten el control fácil de todas las partes esenciales del extractor y de cada sección de rociado.

**TOLVA DE SALIDA.-** Es la que recibe la harina extraída descargada por el transportador de cinta del extractor. Incluye además un gusano de paso diferencial y mando con variador de velocidad.

**DESOLVENTIZADOR-TOSTADOR.-** Compuesto de un conjunto vertical de partes superpuestas con fondo calentador y doble pared, calentadas a vapor, el compartimiento superior es de mayor volumen, para facilitar la evaporación del disolvente. Completo con dispositivos automáticos de control del nivel de la harina en cada etapa con indicador externo. Cuenta con purgas, válvulas, aparatos de medida y accesorios.

**CONDENSADOR DE SUPERFICIE HORIZONTAL.-** Para condensar los vapores que proceden del sistema de secado de las harinas.

#### **EQUIPO DE DESTILACIÓN DE MISCELA**

**TANQUE DE MISCELA PRINCIPAL CON ESPUMADERA.-** Completo con entrada de hombre con tapa de aluminio a prueba de chispas, mirilla de control y vidrio de luz, indicador de nivel a distancia y accesorios.

**EVAPORADOR DE MISCELA.-** De película ascendente. Con separador de aceite. Ideado especialmente para la evaporación bajo vacío y a baja temperatura de la *miscela*, a fin de no fijar el color. Completo con vidrio de luz y mirilla de control.

**ACABADOR DE ACEITE.-** Este aparato, trabaja a alto vacío, sirve para eliminar del aceite los últimos vestigios de disolvente, gracias a la inyección de vapor vivo a contra-corriente.

**EYECTOR DE VAPOR.-** Mantiene el vacío en los aparatos de destilación y acabado de aceite.

### **UNIDAD DE RECUPERACIÓN DE DISOLVENTE**

Este equipo permite recuperar en las mejores condiciones el disolvente contenido en los flegmas de los aparatos de extracción, antes de descargarlos en la atmósfera y se compone del siguiente equipo:

**SEPARADOR DE MISCELA DE NIVEL CONSTANTE.-** Con válvula de flotador automática, vidrio de iluminación y mirilla de control.

**BOMBA CENTRIFUGA.-** Asegura la circulación de la miscela a través del economizador de vapor de miscela, viene con base y acoplamiento.

**EQUIPO PRODUCTOR DE VAPOR A BAJA PRESIÓN.-** Nos permite usar el calor latente del vapor condensado para recalentar y evaporar la miscela.

### **ACCESORIOS**

para todos los equipos descritos anteriormente, tienen válvulas para solvente, miscela, aceite, vapor, dentro del edificio de extracción.

### **BOMBAS**

Para solvente, *miscela* y aceite, del tipo centrífugo equipados eventualmente con sellos mecánicos.

**Extractor:** Bomba de circulación de *miscela* y bomba de limpieza de la bandeja, bomba del solvente, bomba de alimentación de la destilación, bomba de

*miscela, bomba de los condensados, bomba de aceite crudo, bomba de agua caliente.*

### **ENFRIAMIENTO DE LAS PASTAS EXTRAÍDAS**

**TRANSPORTADOR NEUMÁTICO.-** De alto flujo de aire, ya que lleva la pasta desde la salida del Desolventizador-Tostador hasta la bodega de pasta, enfriándola al mismo tiempo.

### **MOLIENDA DE PASTA Y ENSACADO DE HARINA**

Consta del siguiente equipo:

**Molino de martillo.-** Con motor eléctrico totalmente a prueba de goteo.

**Ventilador.-** Completo con base y transmisión.

**Transportador de gusano.-** Para recoger el material molido y llevarlo hasta el elevador.

**Elevador de cangilones.-** Para llevar la harina a la estación pesadora/ensacadora.

### **INSUMOS PRINCIPALES DEL EQUIPO TECNOLÓGICO:**

**Equipo de Extracción para una Capacidad de la planta 30 Ton/día:**

Vapor ..... 12,000 lb/24hrs  
Energía..... 3,200 Kw/24 Hrs  
Agua.....2000 Lt/24 Hrs  
Solvente..... 112 Kg/24 Hrs

#### **Pozo:**

Energía.....130 Kw/24Hrs  
Agua.....1000 lt/24Hrs

#### **Torre de enfriamiento:**

Energía.....268 Kw/24Hrs  
Agua.....1800 lt/24Hrs

#### **Caldera de 200 H.P.:**

Energía.....210 Kw/24Hrs  
Agua.....27,000 lt/24Hrs

### **6.5 SEGURIDAD INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN:**

Las normas fundamentales de seguridad para plantas extractoras que trabajan con solvente se hizo con base en una revisión bibliográfica, haciéndose una descripción de equipos, localización para evitar accidentes.

*Operación de la Planta.-* Hay que considerar los principales puntos de la operación; cuando nos referimos al "*Área restringida*" es el área delimitada en la que existe mayor peligrosidad.

*Equipos para almacén y manejo de solvente.-* Primero hay que mencionar que los tanques de almacenamiento de solventes deben de estar fuera de cualquier edificio (por lo menos 25 pies) y cercanos al área de extracción. Y los tanques deben de estar debidamente protegidos contra la electricidad estática.

La localización de los equipos debe de ser al aire libre, siendo conveniente que la zona de extracción este en función de la pendiente del terreno y de los vientos prevalecientes. Es conveniente en el caso de equipos de flama directa necesarios en la zona de extracción que exista una barrera de vapor con un mínimo de 1.2 metros de alto, de tal manera que los vapores efectúen un recorrido de unos 30 metros a partir de las fuentes de ignición.

*Las Bombas.-* Deberán ser de diseño adecuado para manejar solventes. El uso de presión de aire como medio de transferencia de solvente no es el adecuado para las plantas extractoras. **Debe ser prohibido.**

Todas las bombas que manejen líquidos inflamables en el área de proceso, deben de localizarse en el primer piso. Las tuberías deben de ser instaladas de

preferencia con inclinaciones y bajadas, de forma que puedan drenarse y que no queden atrapados líquidos inflamables.

Las bombas de desplazamiento positivo deberán ser provistas con "by pass" o con válvulas de relevo de presión, las cuales descargarán nuevamente a la succión de la bomba o al tanque de donde se extrajo.

**Fuentes de Ignición.-** Las instalaciones eléctricas deberán estar acordes al código nacional correspondiente, tener protección contra la electricidad estática y rayos.

**Protección contra incendios.-** Deberá existir un sistema automático de aspersión de agua en el área de proceso y una de rociado en los edificios. Deberán tenerse hidrantes de patio en lugares estratégicos así como extinguidores de fuego portátiles, del tipo y tamaño apropiados.

**Instalación eléctrica.-** Se deberá instalar de acuerdo al tipo especificado por el Código Nacional Eléctrico de E.U.A. Todos los equipos, tuberías y motores junto con enrejados y estructuras de edificios dentro del área de extracción deberán estar conectados entre sí de manera tal que sean considerados eléctricamente en forma segura.

#### **EQUIPO DE PROCESO**

**El sistema de transporte para sólidos.-** Pueden utilizarse sistemas neumáticos cuando los materiales y el aire manejados estén libres de solvente.

**Los desolventizadores, tostadores y secadores.-** Deben estar diseñados para minimizar las posibilidades de ignición de los materiales que entren en el

**equipo (solvente).** Es recomendable que los secadores tengan una línea de vapor directo para ahogar o purgar totalmente el interior.

**Los Filtros.-** Que se usen deberán ser cerrados. En caso de emplearse filtros del tipo abierto, deberán tener ventilación para que eliminen los restos del solvente.

**Los Recipientes y Tanques.-** En el fondo deberán de estar equipado con válvulas de cierre normal.

**El equipo de transferencia de calor.-** El lado con agua en condensadores y cambiadores de calor deberá tener una presión mayor que la del solvente inflamable en el lado vapor. En caso de una emergencia por falta de agua se debe de contar con una tanque con capacidad suficiente para alimentar a los condensadores de solvente, a fin de poder parar la planta en forma segura.

Todos los condensadores de vapor del área de extracción deben de operar prácticamente a presión atmosférica y deberán quedar conectados a un recipiente provisto de venteos adecuados en el cual puedan desahogarse cualquier entrada de solvente.

**Control del Proceso.-** Se deben de contar con controles de protección de los equipos y materiales para emergencias por fugas de vapor, paro de equipo de proceso, falta de agua de enfriamiento en condensadores, falla del extractor etc.. Debe de contarse con indicadores portátiles de mezclas de vapores de solvente-aire y deben mantenerseles en buen estado de operación, además que es recomendable contar con un sistema confiable de muestreo continuo y detección de mezclas de vapores combustibles y equipo con alarma.

## **6.6 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA**

Las tendencias que actualmente rigen la localización de una planta están dirigidos a realizarse en:

-- Parques industriales en áreas suburbanas atractivas con medios de comunicación y servicios centralizados.

-- En lugares cercanos al Mercado o de los Recursos Naturales.

Para que la localización de una planta sea óptima, el lugar escogido debe de tomar en cuenta materia prima, desplazamiento de la población, los mercados y los medios de transporte, teniendo en cuenta los siguientes factores fundamentales:

**Costos de producción.-** En los que se deben de incluir los costos de construcción.

**Materia prima.-** Hay que tomar en cuenta el abasto de la semilla.

**Combustible y Energía.-** Estos se consumen por entero en la fabricación, a diferencia de la materia prima, no entran en el peso del producto. Los costos de transporte del combustible y gas natural variarán dependiendo del lugar donde ponga la planta.

**Mano de Obra.-** Habrá que tomar en cuenta cantidad de mano de obra, grado medio de inteligencia, experiencia laboral e industrial, escala de salarios de la zona.

**Factores geográficos.-** El tipo de terreno, el clima, zona de lluvias, vías pluviales, temperatura atmosférica.



**Recursos hidráulicos (Agua).**- El agua es fundamental ya que se utiliza en la gran mayoría de los procesos químicos. El agua empleada no se consigue en los servicios públicos, debe utilizarse la de pozos, manantiales, ríos que contienen elevado contenido de carbonatos y bicarbonatos, por lo que debe ser tratada previamente para evitar corrosión de los equipos y tuberías.

**Costos de transporte.**- Es el factor más importante que hay que tomar en cuenta para la ubicación de una planta. Y tener en cuenta los diferentes medios de transporte (líneas de ferrocarril, carreteras, etc.) que existan en la zona para transportar materias primas y productos terminados.

**Mercados.**- Desde un punto de vista muy general, el Mercado es el sitio donde concurren la oferta y la demanda de un producto, es decir, es el conjunto de personas o empresas localizadas en un área geográfica determinada cuyas necesidades, recursos económicos y capacidades productivas generan el consumo y comercialización de un producto dado.

El estudio de mercado nos ayuda a responder preguntas básicas en la formulación de un proyecto industrial tales como:

¿Cantidad de producto a venderse?, ¿a qué precio?, ¿qué características debe cumplir?, ¿los canales de distribución?, ¿localización de proveedores y consumidores?, ¿posible demanda internacional?

El contar con una respuesta confiable y acertada de las anteriores cuestiones es fundamental, ya que nos permite determinar importantes parámetros:

**Técnicos** (capacidad de la planta, localización de la planta y selección adecuada de la tecnología).

**Financieros** (información necesaria para la promoción del proyecto entre los posible inversionista, ya que aporta datos de su rentabilidad, inversión total requerida, etc.)

La localización de la industria de extracción de aceites y pastas de semillas oleaginosas en México puede dividirse en cuatro grandes zonas, tal como lo muestran el Cuadro 13 y la Figura 26, que comprenden los siguientes estados según datos de un estudio de Nafinsa en 1990 (27):

**Cuadro 13.- Principales estados con actividad en la industria de aceites y grasas**

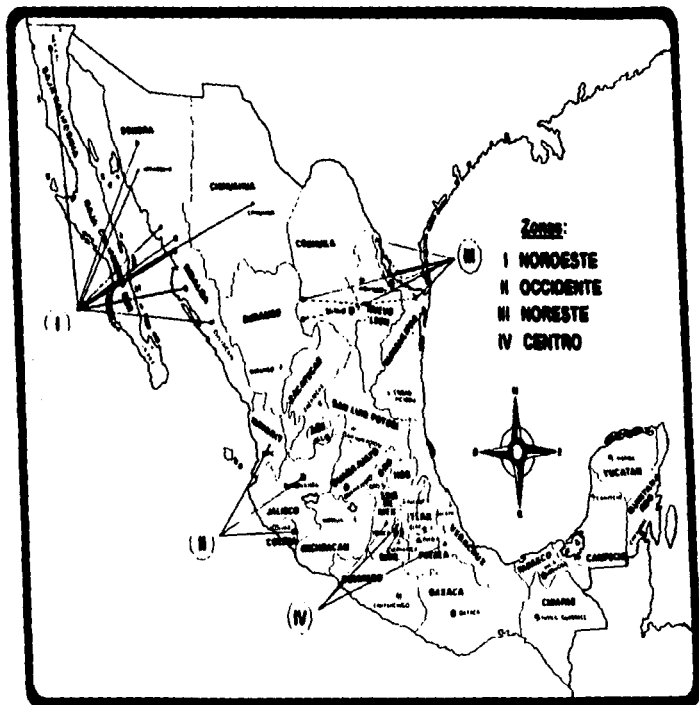
<b>I Noroeste</b>	<b>II Occidente</b>	<b>III Noreste</b>	<b>IV Centro</b>
<b>SONORA</b>	<b>JALISCO</b>	<b>COAHUILA</b>	<b>EDO. DE MÉXICO</b>
<b>SINALOA</b>	<b>NAYARIT</b>	<b>NVO. LEÓN</b>	<b>D.FEDERAL</b>
<b>CHIHUAHUA</b>	<b>COLIMA</b>	<b>TAMAULIPAS</b>	<b>VERACRUZ</b>

Estas zonas son determinadas con base principalmente tomando en cuenta tres factores:

- 1.- Ubicación de las principales zonas productoras de materias primas.
- 2.- Ubicación de los principales centros de consumo.
- 3.- Ubicación de los lugares de acceso al país, como son los puertos marítimos.

El mercado del aceite de mamey y su pasta puede ser amplio, ya que podría ser comercializado en diferentes ramas industriales. Siendo su principal

**Figura 26.- Principales zonas de actividad de la industria de aceites y grasas**



aplicación en la industria Cosmética con base en formulación de productos tales como Shampoos, aromatizantes etc. y tal vez en el ramo alimenticio realizando pruebas posteriores de digestibilidad con el fin de aplicarse en el consumo humano directo. Como es el caso de la pasta extractada que puede aplicarse en el consumo animal.

Con base en todos los factores anteriores así como en las diferentes zonas de cultivo y consumo, se propone que los estados más propicios para la explotación industrial del aceite de mamey podrían ser: *el Edo. de México y Veracruz.*

Teniendo como base las siguientes características:

- Cercanía a la materia prima (por su importancia)
- Zona de estímulos fiscales
- Superficie disponible para venta.
- Calidad de los servicios.
- Red eléctrica e hidráulica.

A continuación se da una descripción de las características más importantes de los estados escogidos dando una información básica de: Situación Geográfica, Desarrollo económico, Vías y medios de comunicación, Demografía, etc..

#### **EDO. DE MÉXICO:**

**Situación Geográfica:** Se ubica en la parte central del país. Envuelve prácticamente al Distrito Federal. Su extensión geográfica es de 22,499.95 Km<sup>2</sup>,

que representan el 1.1 % del territorio Nacional. Es de los estados más pequeños, pero ocupa el tercer lugar por el número de habitantes.

Limita al norte con Querétaro e Hidalgo, al este con Tlaxcala y Puebla, al sur con Morelos y Guerrero y al oeste con Michoacán. La mitad septentrional del estado pertenece a la cuenca del río Lerma. Sobre este están las presas Solís y Tepuxtepec. También se localiza el Río Balsas, que recibe aguas del Cutzamala y del Amacuzac. La temperatura media anual oscila entre los 15 y 20 grados centígrados. Las precipitaciones fluctúan entre los 500 mm cúbicos anuales. Políticamente está dividido en 121 municipios.

*Desarrollo económico.*- El área agrícola representa el 36 % de la superficie total. Las zonas de producción más importantes están en los valles de Toluca y Bravo.

La producción industrial se concentra en los municipios de Tlalnepantla, Naucalpan, Ecatepec y Tultitlán, que generan el 65 % del total de la industria de la transformación. Otros centros importantes se localizan en los valles de Lerma y Toluca. La industria manufacturera se caracteriza por un alto grado de diversificación y el sector comercial tiene un gran impulso.

*Vías y medios de comunicación:* Su colindancia con el D.F. hace que cuente con una buena red de comunicaciones terrestres, cuenta con 7,896 Km. de carreteras principales. De carreteras secundarias, existen 3,971 Km. Cuenta con pistas aéreas y aeropuerto internacional en la Cd. de Toluca. Cuenta con 81 Universidades, de las cuales 41 son privadas y 40 son del sector público. Además de 106 escuelas preparatorias.

**Demografía:** De la población registrada en el censo de 1990; 7'882,806 habitantes; 2.4 millones son trabajadores, es decir, uno de cada tres habitantes de más de 12 años, desarrolla actividades productivas.

**Parques Industriales:** El Oro; Atlacomulco; Cuauhtémoc; Toluca; El Cerillo; San Antonio Buenavista; Tultitlán; Jilotepec.

#### **ESTADO DE VERACRUZ:**

**Situación Geográfica:** Se localiza en la parte sureste del territorio nacional. Ocupa parte de la sierra madre oriental, de la llanura costera del golfo norte, de la sierra Volcánica transversal y de la sierra madre del sur. Tiene una superficie de 72,815 Km<sup>2</sup>, de los cuales 72,757 son de formación continental y 58 de formación insular. Los ríos son de poca longitud y desembocan en el Golfo formando barra. Los principales son el Pánuco, Tamesí, el Papaloapan, Tonalá, Tuxpan, Cazones, Tecolutla y Nautla.

El clima es muy variado y va desde el calido-húmedo en la región costera hasta el frío con nieves permanentes en las sierras. Políticamente esta dividido en 203 Municipios.

**Desarrollo económico:** El 19 % de la superficie estatal se dedica a la agricultura. La superficie forestal es del 36 %. La industria manufacturera se concentra en los municipios de Veracruz, Orizaba, Coatzacoalcos y Córdoba.

**Vías y medios de comunicación:** Las carreteras en el estado tienen una longitud de 2,538.7 km., de los cuales 1,055 km. están pavimentados y 1462,2 revestidos. La carretera federal cuenta con 2535 km., de los cuales 2,522.6 están pavimentadas y 12.4 revestidas, el resto es de terracerías y caminos rurales.

Actualmente se termino el tramo de Córdoba a Veracruz. La red ferroviaria cuenta con 277,577 km. Centros de educación superior Universidad de Veracruz, Villa Rica, Inst. Tec. de Minatitlán, el de Orizaba etc.

**Demografía:** De la población registrada en el censo de 1990; 6'750,684 habitantes; 1796 mil son trabajadores, es decir, uno de cada tres habitantes de más de 12 años, desarrolla actividades productivas.

**Parques Industriales:** Bruno Pagliai, Tuxpan y Córdoba.

Finalmente en este capítulo hay que contemplar y considerar los recursos económicos necesarios para la adquisición, instalación y puesta en marcha de la planta en estudio.

**Evaluación Económica.-** Toda actividad económica que realiza el hombre requiere de una evaluación para cada alternativa posible de inversión de capital de forma tal que le permita saber con certeza las esperanzas de éxito o de fracaso. Hay que analizar y cuantificar cierta información (tamaño de la planta, proceso, etc.) en la forma más exacta posible, para considerar los recursos económicos necesarios para la adquisición, instalación y puesta en marcha de una planta en estudio (29) . Al aplicar los conceptos anteriores se debe de tomar en cuenta información sobre financiamiento, depreciación y amortización fiscal, etc., que regirán durante el horizonte de evaluación de un proyecto.

La *inversión inicial* esta constituida por tres rubros: los activos fijos; los activos nominales y el capital de trabajo.

**- Activos fijos.-** Están compuestos por todas aquellas inversiones realizadas en bienes tangibles que se utilizarán en el proceso de transformación de los

insumos o que se utilicen en la operación normal de la planta. En nuestro proyecto destacan todo el equipo de proceso, tuberías, etc., anexos a esta: la construcción, el equipamiento de oficinas y almacenes, los equipos de transporte y los servicios de apoyo.

• *Activos nominales.*- Estos se refieren a las inversiones que se realizan en derechos, patentes, licencias, permisos y capacitación de empleados antes de la puesta en marcha. Los gastos derivados del proyecto de construcción (arquitecto, planos, cálculos estructurales, etc.) Aquí se contemplan los derechos y gastos ante el gobierno: uso de suelo, licencia sanitaria y de funcionamiento, bomberos, protección civil y agua. Y los trámites con proveedores: teléfonos, red eléctrica, gas, etc.

• *Capital de trabajo.*- Este constituye el conjunto de recursos destinados a la operación normal de la planta durante un ciclo productivo. Este ciclo se refiere al proceso que inicia con el primer desembolso destinado a la compra de insumos necesarios en la operación y que termina cuando se venden estos transformados en productos terminados y se percibe el producto de la venta, quedando este disponible para volver a emplearse en nuevos insumos.



## **Conclusiones**

### **CONCLUSIONES.-**

Con base en los resultados obtenidos del rendimiento, el mejor método de extracción de los tres seleccionados fue el método de *Extracción por Solventes*, ya que obtuvo los mejores rendimientos 85 % en la parte experimental con un valor bastante aceptable.

La desventaja es que afecta ligeramente el aroma del aceite de Mamey, que es una de las características principales del mismo. Pero hay que recordar que en el proceso industrial se elimina todo vestigio del solvente con vapor.

La extracción por solventes continua a contracorriente, es el método más comúnmente utilizado hoy en día en la extracción de semillas oleaginosas y es aplicable a la extracción del aceite de mamey. El equipo de proceso de este método es más caro que el de los otros dos seleccionados, pero se compensa a nivel industrial con los grandes rendimientos que se obtienen, dando valores de aceite residual entre 1-2 % en la pasta extractada.

Hoy en día se utilizan dos tipos principales de extractores en la extracción de aceites vegetales: el *extractor percolatorio* y el *extractor por inmersión*. Este último es utilizado en la lixiviación de materiales oleaginosos con contenido de grasa mayor al 20 %. Para el aceite de mamey se recomiendan los extractores percolatorios con contenido *menor* del 20 % de aceite.

Existe una gran variedad de extractores percolatorios en el mercado; sin embargo para la extracción de aceite de semillas oleaginosas se utilizan particularmente extractores como el de canastas, los de bandas transportadoras,

los de cadena y los rotatorios. Todos estos tipos de extractores han sido modificaciones del extractor Bollman.

La elección del extractor por solventes se hizo con base en las ventajas que presenta el proceso, siendo el *extractor de Smet* el que ofrece las mejores ventajas con respecto a los demás extractores que se manufacturan comercialmente, por ser flexible y versátil y fue el seleccionado para la planta extractora en el presente trabajo.

Dentro las ventajas que presenta: su sencillez mecánica; el caudal de cada rociador de *miscela* se regula individualmente, lo que permite un rociado más uniforme; las mirillas y los puntos de iluminación localizados a lo largo del extractor, permiten seguir el proceso de extracción y lograr una regulación del rociado óptima y la principal de sus ventajas es la total fabricación e instalación en México, esto debido a la situación actual del país para tratar de economizar, evitando los problemas de importación que conlleva este tipo de equipos el cual es del 100 % tecnología extranjera.

El método de *Extracción por Prensado* podemos observar que los valores experimentales obtenidos en el estudio fueron bajos entre un 30-35 % . Pero como ya se comentó en los resultados, esto se debió a que no se contó con el equipo apropiado para realizar la pruebas de extracción.

Lo recomendable es utilizar una prensa de tornillo "*Expeller*"; estos equipos incrementan notablemente el rendimiento hasta un 50-60 %, lo que sería muy aceptable. Este método tiene la ventaja de no afectar el aroma del aceite de mamey. El equipo es más económico que el de extracción por

solventes, por este método nunca obtendríamos los % de rendimiento final del aceite de mamey por extracción por solventes.

A nivel Industrial el prensado se aplica en semillas oleaginosas con alto contenido de aceite en una extracción combinada (Prensado-Extracción por solventes) con muy buenos resultados en el rendimiento final y con valores de aceite residual menores al 2% de aceite. obteniéndose del pre-prensado un 20 % del aceite y en la extracción con solventes entre el 50-60 % del aceite.

A través del método de *Extracción por Centrifugación*, se obtuvieron los valores más bajos por debajo del 25 % de rendimiento final.

Hay que mencionar que este método ha sido aplicado últimamente con éxito en la extracción de aceite de pulpas de fruta como la palma, el coco, el aguacate, etc. Pero como se menciona en la metodología experimental de este trabajo se utilizó una *semilla*, la cual no presenta las características y textura de una *pulpa de fruta*. Por lo que en el caso de la semilla de mamey, no es recomendable utilizarlo, en la extracción del mismo, por el pobre rendimiento final obtenido, además de las siguientes desventajas en su contra como son:

- Los altos valores de humedad de la semilla sin tratamiento 50.56 %, aunado esta al *escaldado* (medio acuoso) utilizado en este método, no favorecen la extracción del aceite de mamey y sólo disminuyen el rendimiento final debido al incremento de los ácidos grasos libres en el aceite (*acidez*), por lo cual no lo hacen rentable como proceso de extracción.

- Las altas pérdidas en la refinación del aceite crudo como se pudo corroborar en los resultados obtenidos, estos debido a los altos valores de acidez que presenta el aceite que se obtuvo en el proceso.

Para concluir se recomienda que la semilla de mamey sea *pretratada* antes de su extracción, esto será de gran importancia para la obtención de aceite y harina de buena calidad, y de ello dependerá en gran medida los resultados de la extracción hasta los niveles requeridos de aceite en la pasta residual. Por lo que se recomienda ser procesada rápidamente, debido a los altos valores 50-56 % de humedad aprox., que provocan su rápido deterioro y no favorecen la extracción del aceite. En caso de almacenarse la semilla, deberá mantenerse la humedad por debajo del 10 %, estos niveles favorecerán la extracción del aceite y aumentarán el rendimiento final.

**BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Alvarez José Rogelio, 1978. Enciclopedia de México. Tomo VIII, 4° edición. Coyoacán, México 21 D.F.**
- 2.- Anderson J.C., 1979. Refinación de Aceites y Grasas. 1° edición, Ed. Continental.**
- 3.- American Oil Chemistry Society (A.O.C.S.), 1975. Official and Tentative Methods of the American Chemistry Society.**
- 4.- Ambler Charles M., 1952. The Evaluation of Centrifuge Performance. Chemical Engineering Progress, Vol. 48, No.3, pags. 150-158**
- 5.- Bailey Alton Edward, 1956. Aceites y Grasas Industriales Ed. Reverte.**
- 6.- Bernardini E., 1981. Tecnología de Aceites y Grasas 1° edición., Ed. Alhambra.**
- 7.- Brennan J.G., Butter J.R. y Cowell N.D., 1976. Food Processing Operations. Capítulo 7, Applied Science Publisher Limited.**
- 8.- Casa Alencaster Norma, 1977. Cambios Fisiológicos y Bioquímicos durante la maduración del Mamey (Calocarpum Mammosum)., Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N., México.**
- 9.- Cruz Madueño E., 1982. Centrifugación de emulsiones. Grasas y Aceites., Vol.33, Fasc. 3, pags. 165-168.**

- 10.- De Smet S.A. de C.V. 1990  
**Comunicación Personal.**
- 11.- Diego Quintana R. Serafín, 1974. **Propagación del Mamey.**  
**Tesis Profesional, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo.**
- 12.- Dirección general de Economía Agrícola, S.A.R.H. (1993 y 1994).  
**Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México 18, D.F.**
- 13.- Escamilla Obregón Jorge, 1954. **Estudio Químico de los esteres metílicos. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N., México.**
- 14.- Eckey E.W., 1954. **Vegetable Fats and Oils.**  
**Ed. Reinhold Publishing Corporation.**
- 15.- Escobar Rómulo, 1958. **Enciclopedia Agrícola y de Conocimientos afines. Tomo II, Cd. Juárez Chihuahua.**
- 16.- Fan H.P. y Morris J.C., 1948. **Diffusión Phenomena in Solvent Extracción of Peanut Oil. Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 40, No. 2, pags. 195-199.**
- 17.- Foust A.S., Wenzal L.A., Mauss L. y Clump C.W., 1975. **Principios de Operaciones Unitarias. Ed. C.E.C.S.A.**
- 18.- García Soto Horacio Alfredo, 1980. **Contribución al estudio de la Centrifugación. Tesis Profesional. Ciencias Químicas, U.N.A.M., México.**

- 19.- Gómez Malagón Benjamin, 1973. **Diversos Equipos para la obtención de aceite vegetal crudo. Tesis Profesional. Ciencias Químicas, U.N.A.M., México.**
- 20.- Johnson, L.A. y Lusas, E.W. **Alternative extracción Solvents. Journal of the American Oil Chemist's Society. Vol. 60, pags. 181a-186a, 1983**
- 21.- Hilditch T.P., 1956. **Constitución Química de las Grasas Naturales. Ed. John Wiley & Sons Inc.**
- 22.- Kirschenbauer H.G., 1960. **Fats and Oils Chemistry and Technology. 2° edición, Ed. Reinhold Publishers Corp.**
- 23.- Krupp Westein, 1984. **Nuevo Método de extracción de aceites. Food Engineering. Vol. 9, No. 5, pags. 59-63.**
- 24.- Lopez-Andrew F.J., Molina J.M. y Corpener O., 1982. **Estudio comparativo sobre la calidad de 3 semillas de girasol español. Grasas y Aceites., Vol 33, Fasc. 3, pags. 150-153.**
- 25.- Mehlenbacher V.C., 1970. **Análisis de Grasas y Aceites. Vol. 6, Enciclopedia de Química Industrial. ed. URMO.**
- 26.- Mckette J. John, 1980. **Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Tomo VII, de. Marcell Dekker Inc.**
- 27.- Nafinsa, Nacional Finaciera S.A., 1990. **Comisión Nacional de Alimentación. Elementos para la Programación del Desarrollo de la Industria de Aceites y Pastas Vegetales en México. ed. Delta.**



- 28.- **Marvín W. Formo, Norris A.F. y Jungermann E., 1970 . Bayley's Industrial Oil and Fat Products. Vol. 1, 4ª edición, Ed. John Wiley & Sons.**
- 29.- **Nassir S. Chain y Reynaldo S. Chain, 1990. Preparación y evaluación de Proyectos. 2o. edición, ed. Mc Graw Hill.**
- 30.- **Ortega C.B., Berumen M.H. y Barrera B.H., 1982. Perspectivas de la Fruticultura Mexicana. Estudio de la S.P.P.**
- 31.- **Peniche Barron S. y Almazán Sánchez F., 1987. Oleaginosas, Problemática y Estrategias a seguir. Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas A.C., México D.F.**
- 32.- **Perry R.H. y Chilton C.H., 1975. Chemical Engineers' Handbook. 5ª edición, ed. McGraw-Hill.**
- 33.- **Quintero Ramírez Rodolfo, 1981. Ingeniería Bioquímica, Teoría y Aplicación. 1o edición, De. Alhambra Mexicana.**
- 34.- **Roden A. y Ulliot G., 1984. Control de Calidad en el Procesamiento de Aceites Comestibles. JAOCs, Vol. 61, No.6, pags. 1109-1111.**
- 35.- **Serafín García Judith, 1982. Selección de Tipos Criollos de Mamey (Calocarpum Mammosum L.). Tesis Profesional. Escuela Nacional de estudios Profesionales Iztacala, U.N.A.M., México.**
- 36.- **Weiss T.J., 1970. Food Oil and Their Uses. Av. Publishers Co. West Part Connecticut.**

**37.- Woot-Tsuen Wu leung, 1979. Tablas de Nutrición de  
Latinoamerica INCAP-JCND. Ed. Interamericana.**

## **Apéndice I**

### ANÁLISIS DE LA SEMILLA DE MAMEY

**HUMEDAD.-** La Humedad de semilla de Mamey, se determinó por diferencia de pesos, colocando 5 g de muestra en cajas metálicas (aluminio) taradas, y colocadas en una estufa parlow a 95 °C durante 2 hrs., y reportándose esta de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{pérdida de peso} \times 100}{\text{peso de muestra}}$$

**CENIZAS Y FIBRA CRUDA.-** Las cenizas de la semilla del Mamey se determinaron, pesando 2 g de muestra, colocándola en un crisol previamente pesado y tarado, procediéndose a quemar la muestra con un mechero directamente, cuidando que no se flamee esta, para evitar proyecciones. Ya quemada la muestra, se metió el crisol en un horno mufla a una temperatura de 600 °C, durante 2 hrs., pasando posteriormente el crisol a un desecador, dejándolo enfriar y pesándolo, se reportan las cenizas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de cenizas} \times 100}{\text{peso de muestra}}$$

La fibra cruda de la semilla, se determinó pesando 2 g de muestra previamente tratada (muestra extractada con menos del 1 % de aceite). Se coloca la muestra en un vaso de pp de 1000 ml, agregando 200 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25 % y dejar a ebullición la digestión durante 30 minutos. Teniendo por otro lado preparado el equipo de filtración al vacío, con un papel filtro previamente tarado. Pasado el lapso de tiempo, se filtro la solución con la muestra y agregar agua caliente para lavar hasta que no de reacción ácida. Posteriormente poner la muestra en digestión ahora con 200 ml de NaOH al 1.25 % a ebullición durante 30 minutos, pasando el lapso de tiempo, filtrar y lavar con agua caliente, hasta que no de reacción alcalina, pesar posteriormente el papel filtro con el residuo y reportar el % de Fibra cruda de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{peso residuo} \times 100}{\text{peso de muestra}}$$

**PROTEÍNA.-** La proteína de la semilla, se determinó utilizando el método Kjeldahl modificado, que determina el contenido total de nitrógeno y con factor de 6.25, de contenido de nitrógeno en la muestra. Se peso 1 g de muestra de la semilla colocándola en un recipiente Kjeldahl de 800 ml con 16 g de catalizador (  $K_2SO_4$  y  $CuSO_4$  pentahidratado ) + 25 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, calentando hasta disolver la muestra (de color negro a verde azulado). Se enfrió a temperatura ambiente en una campana de extracción y ya enfriada se agrego 300 ml de agua destilada lentamente (reacción exotérmica) con un baño de agua fría. Agregando posteriormente a la solución, granalla de Zn + 90 ml de Sol. de Sosa y Sulfuro de sodio al 5% (relación 90 ml / 25 ml ) sin agitar (precaución). Por otro lado se preparó en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, como receptor, con 25 ml de  $H_2SO_4$  0.5 N + gotas de indicador de rojo de metileno-azul de metileno + 100 ml de Agua destilada (color morado). Se puso a destilar el recipiente Kjeldahl y en el fondo del matraz Erlenmeyer como receptor y suspendiendo la destilación después de 30 minutos. El contenido del matraz receptor se tituló con una sol. de NaOH 0.25 N, todos los pasos anteriores se realizan para el blanco. Y se reportó la proteína de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Proteína = \frac{(blanco - ml\ gastados) \times N \times 0.017032 \times 100}{peso\ de\ muestra}$$

**RENDIMIENTO TOTAL.-** El Rendimiento total de la semilla (contenido de aceite) fue determinado en un aparato soxhlet, como lo muestra la Figura 15. Se colocó 2 g de muestra en un cartucho, dentro de un vaso de pp. de 100 ml previamente pesado. Dejándose extraer durante 5 Hrs., pasado este lapso de tiempo, se procedió a recuperar el solvente y pesándose el vaso de pp. con el aceite obtenido. El Rendimiento se obtuvo por diferencia de peso del vaso de pp. y reportándose de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Rendimiento\ total = \frac{peso\ residuo \times 100}{peso\ de\ muestra}$$

**ACEITE RESIDUAL.-** El aceite residual de la semilla fue determinado en un aparato soxhlet, como el de la Figura 15. Este tipo de prueba se realiza con el fin de conocer el grado de extracción que se haya obtenido durante la extracción previa, por extracción por solventes. Dicho en otras palabras, nos indicará el Rendimiento obtenido en el método de extracción seleccionado, ya que nos ayudará a conocer la cantidad final de aceite en la semilla.

Se pesaron 5 g de muestra en un cartucho, dentro de un vaso de pp. de 100 ml previamente tarado + Hexano y dejándolo extraer durante 2 Hrs., pasado el lapso de tiempo, se procedió a recuperar el solvente, pesándose posteriormente el vaso de pp. con el aceite obtenido. El Rendimiento se obtiene por diferencia de peso del vaso de pp. y reportándose de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Aceite residual} = \frac{\text{peso residuo} \times 100}{\text{peso de muestra}}$$

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE DE MAMEY

Todos los métodos utilizados para el análisis del aceite de Mamey obtenido se hicieron en base al Manual oficial A.O.C.S. (American Oil Chemistry Society) y son las siguientes:

**PERÓXIDOS Y ACIDEZ (A.G.L.).-** Para conocer el valor de peróxidos, se colocó 5.8 ml de muestra del aceite de Mamey dentro de un matraz Erlenmeyer con tapón, y agregando 30 ml de sol. ácido acético-cloroformo (relación 3:2) + 0.5 ml sol. de KI saturado, tapándolo y agitándolo y dejarlo en reposo 1 minuto. Agregar 30 ml de agua destilada + 0.5 ml de sol. indicadora de almidón (si no presenta ningún cambio, no tiene peróxidos), en caso contrario titular con tiosulfato de sodio 0.01 N, hasta vire de color azul a incoloro. Reportando el valor de peróxidos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Peróxidos} = \frac{\text{muestra} - \text{blanco} \times N \times 1000}{\text{peso de muestra}}$$

Para la prueba de Acidez (ácidos grasos libres), se toman 5 ml de muestra del aceite y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 300 ml

y adicionar 50 ml de sol. de Alcohol neutralizado (alcohol etílico + indicador de fenoftaleína + gotas de de NaOH 0.1 N) y se calienta a 60 °C, titular con sol. de NaOH 0.1 N, hasta vire de color a rosa pálido y reportar éste de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez(A.G.L.)} = \text{ml gastados} \times 0.6596 \times N$$

**DENSIDAD.-** La densidad del aceite, se determinó en un picnómetro de 50 ml. Primero se peso el picnómetro vacío y después se peso con agua destilada hasta el rebose, tapándolo y limpiándolo perfectamente con acetona. Ponerlo en baño María a 25 °C durante 30 minutos, secarlo perfectamente y pesar. Realizar la misma operación con el aceite de Mamey y reportar la densidad de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad } \frac{25}{25} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{\text{peso con aceite} - \text{peso picnómetro}}{\text{peso del agua a } 25 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

**ÍNDICE DE IODO.-** El índice de iodo del aceite, se determinó por el método de Wijs. Se pesan 0.12 - 0.20 g de muestra y colocarlo en un matraz Erlenmeyer previamente pesado, agregar 30 ml de  $\text{CCl}_4$  + 12.5 ml de sol. Wijs (previamente preparado) + 5 ml de catalizador (ac. acético + acetato de mercurio al 2.5 %) y tapar el matraz y colocarlo en un lugar oscuro durante 5 minutos. Pasado el lapso de tiempo agregar 10 ml de KI al 15 % y 40 ml de agua destilada. Titular con tiosulfato de sodio 0.1 N, hasta vire de color azul negrozco a incoloro. Realizar todos los pasos anteriores para el (blanco), y reportar el índice de iodo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Índice Iodo} = \frac{(\text{ml T.blanco} \times \text{ml T.muestra}) \times N \times 12.69}{\text{peso de muestra}}$$

**ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN.-** El índice de saponificación, se determinó pesando 4-5 g de muestra, adicionar 50 ml de sol. alcohólica de KOH previamente preparada (10 g de KOH en 2 lit de sol. alcohólica, destilándola durante 2 ½ Hrs.), debe de ser adicionada con pipeta volumétrica. El blanco debe de prepararse simultáneamente. Y se pone a reflujo, tomándose el tiempo de destilación desde que cae la primera gota, durante 1 hr., pasando

ese lapso de tiempo agregar 10 ml de agua destilada para lavar las paredes del refrigerante, con el fin de evitar pérdidas, tapar y dejar enfriar. Agregar 1 ml de fenofaleína al 1 % en alcohol y titular con HCL 0.5 N (perfectamente valorada). Realizar los mismos pasos con el blanco, y reportar el índice de saponificación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Índice Saponificación} = \frac{28.05(\text{ml } T.\text{blanco} - \text{ml } T.\text{muestra})}{\text{peso de muestra}}$$

**ÍNDICE DE REFRACCIÓN.-** El índice de refracción, se determinó por medio de un refractómetro. Este índice en aceites es característico para ciertos límites dependiendo del aceite. Y ésta relacionado con el grado de saturación y que es afectado por otro tipo de factores como son el contenido de ac. grasos libres, oxidación y tratamiento al calor.

**PUNTO DE FUSIÓN Y PUNTO DE SOLIDIFICACIÓN.-** El punto de fusión, no se pudo determinar por el método convencional de capilar. Por lo tanto lo que hizo fue poner el termómetro a una temperatura de 5 °C. Y poner la muestra de aceite congelada en la punta del termómetro y observando cuando cayese la primera gota.

El punto de solidificación, se determinó en un titer, poniendo primero a calentar la muestra de aceite a una temperatura de 60 °C y pesando 40 g de la muestra. Se colocó la muestra ya pesada en un tubo de ensaye junto con un termómetro que presenta una corona en la cabeza. Y poniendo a funcionar el titer, en donde el tubo esta en un baño con hielo a 0 °C. La lectura se hará cuando el titer jale el termómetro junto con el tubo de ensaye, el cual nos indicara en ese momento el punto de solidificación de la muestra de aceite.

**COLOR.-** El color del aceite, se determinó en un Coloriméto Lovi-bond. Este método determina el color por comparación de un blanco con la muestra, los colores amarillo y rojo representarán la escala del mismo, con diferentes valores



conocidos y característicos, se utilizó un Tintómetro Lovi-bond AF 710 y con la siguiente escala:

**amarillo**  
1 30, 40  
2 10, 15, 20, 35, 50, 70  
3 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

**rojo**  
4 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 20  
5 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7  
6 .1, .2, .3, .4, .5, .6, .7, .8, .9