

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**Extracción y purificación de aceite a partir de la semilla del
piñoncillo (Jatropha curcas) para su aplicación en industria
alimentaria.**

Por:

JOSÉ AMBROSIO RAMOS

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

**Extracción y purificación de aceite a partir de la semilla del
piñoncillo (Jatropha curcas) para su aplicación en industria
alimentaria.**

POR:

JOSÉ AMBROSIO RAMOS

TESIS

**Que se somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como
Requisito Parcial Para Obtener el Título de:**

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA

**M.C. María Hernández
González
Presidente**

**ING. Miguel Ángel Santana
Martínez
Sinodal**

**M.C. Xochitl Ruelas Chacón

Sinodal**

**M.C. Oscar Noé Reboloso
Padilla
Sinodal**

**Dr. Ramón García Castillo
Coordinador de la División de Ciencia Animal**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2006

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la vida, iluminarme el camino y llevarme hacia el bien, por tener una gran familia en la que me he respaldado en todos los momentos difíciles, pero sobre todo, por haberme permitido culminar una de mis metas más anheladas en mi vida, con una ilusión y un orgullo para mis padres.

A mi **Alma Terra Mater** que me concedió las facilidades necesarias para realizar una de mis metas, y por acogerme en su seno y ser la madre de mis conocimientos y que me haya formado como un profesionalista.

A la **M.C. María Hernández González**, por dirigir la investigación, pero sobre todo por su paciencia y amistad.

Al **Ing. Miguel Ángel Santana Martínez** por su apoyo, para llevar a cabo el término de la presente investigación, además de compartir sus conocimientos y de brindarme su amistad.

A la **M.C. Xochitl Ruelas Chacón**, por regalarme unos minutos de su tiempo y sus consejos, además por la confianza depositada en mí y creer en esa persona, sobre todo brindarme su amistad y cariño. Gracias madrina.

Al **M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla**, por sus consejos, y por brindarme la oportunidad de compartir sus conocimientos, experiencias, además de convivir con él dentro de laboratorio, pero sobre todo brindarme su confianza y amistad. Gracias padrino.

A todos los integrantes del **Departamento de Nutrición y Alimentos** y a los profesores de la carrera de **Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos**.

A mi gran amiga **Magdalena Ramírez**, por que me compartió sus conocimientos y por preocuparse por esa persona.

A la familia **Amparo Rangel Vázquez**, por sus consejos y el cariño que depositaron en mí.

Expreso una gran gratitud a mis compañeros y amigos: **Álvaro, Julio, Luís Miguel, Juan Antonio, Pilar, Mayra, Paty, Paola, Eraisa, Alfredo, Javier, Oscar, Sarahí, Rosy, Brenda, Luís, Ángel, Alfredo y Felipe**, por compartir sus conocimientos pero sobre todo sus consejos.

DEDICATORIA

Lo dedico con todo cariño, por ser las personas más importantes en mí vida y haberme brindado todo su apoyo, además de impulsarme a seguir adelante para el bien propio.

A mí mamá: **Agustina Ramos Arenas**, te agradezco mamá todo lo que has hecho por mí, lo que has realizado en mí, por darme la vida, por todo tu cariño, aunque a veces incomprendido por mí, pero tu siempre estas ahí mama, te quiero mucho; gracias por ser el pilar de todos nosotros y se me llena la boca de orgullo con solo decirlo que tu eres mi madre. Te amo mama. Gracias.

A mi papá: **Juan Ambrosio Pérez**, con todo cariño para ti papa, por tu comprensión y tus consejos, gracias por hacerme un hombre de valor, sin esperar nada a cambio, ya que para mí representa la mayor herencia de mi vida. A ti papa con mucho amor, te quiero. Gracias.

A mis hermanos: **Andrés (Guadalupe, mi cuñada y mis sobrinos)**, **Francisca (Mariano, mi cuñado y mis sobrinos)** y mi sobrino **Pato**. Ellos que a

parte de ser mis hermanos, son mis grandes amigos, por la confianza y amistad que nos une, quienes me han brindado el apoyo incondicional sin esperar nada a cambio para seguir adelante. A ustedes hermanos gracias. Los quiero mucho.

A mi hermana **Petra** por todo su cariño y comprensión, por todos los momentos que hemos compartido desde que ella está presente en este mundo, sin ella no sé que hubiera sido de mí. Gracias mamá, te quiero mucho.

A la **M.C. Xochitl Ruelas Chacón** y al **M.C. Oscar Noé Rebolloso Padilla** por haberme brindado todo su apoyo y además de impulsarme a seguir adelante, y son de las personas que admiro mucho, gracias por su comprensión y cariño, ya que ustedes son como mis segundos padres. Los quiero mucho.

Deseo expresar mis más profundos sentimientos a todas estas personas y a todas ellas mil gracias.

INDICE GENERAL

Agradecimiento.....	i
Dedicatoria.....	iii
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Resumen.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1.....	4
1.1 Objetivos generales.....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Justificación.....	5
CAPITULO 2 REVICION DE LITERATURA.....	6
2.1 Características generales de la planta.....	6
2.2 Clasificación taxonómica.....	7
2.3 Descripción morfológica.....	7
2.4 Origen y distribución.....	8
2.5 Usos.....	8
2.6 Potencial alimenticio.....	9
2.7 Importancia económica.....	9
2.8 Principales fuentes de extracción de aceites vegetales.....	10
2.8.1 Aceite de canola.....	10
2.8.2 Aceite de coco.....	11
2.8.3 Aceite de maíz.....	11
2.8.4 Aceite de semilla de algodón.....	12
2.8.5 Aceite de oliva.....	12
2.8.6 Aceite de palma.....	13

2.8.7	Aceite de cacahuate.....	13
2.8.8	Aceite de cartamo.....	13
2.8.9	Aceite de girasol.....	14
2.9	Métodos de extracción.....	14
2.9.1	Extracción mecánica.....	15
2.9.2	Extracción por arrastre de vapor.....	15
2.9.3	Extracción con solvente.....	16
2.10	Refinado de grasas y aceites.....	17
2.10.1	Desgomado.....	17
2.10.2	Neutralizado.....	18
2.10.3	Decoloración.....	18
2.10.4	Desodorización.....	19
2.11	Composición química de los lípidos.....	19
2.12	Clasificación.....	20
2.12.1	Lípidos simples.....	21
2.12.2	Lípidos compuestos.....	21
2.12.3	Compuestos asociados.....	22
2.13	Ácidos grasos.....	22
2.13.1	Clasificación de los ácidos grasos más comunes.....	23
2.13.2	Ácidos grasos saturados.....	23
2.13.3	Ácidos grasos insaturados.....	25
2.13.4	Ácidos grasos monoinsaturados.....	26
2.13.5	Ácidos grasos políinsaturados.....	26
2.13.6	Ácidos grasos esenciales.....	27
2.13.7	Ácidos grasos trans.....	27
2.14	Deterioro de aceites.....	28
2.14.1	Hidrólisis o lipólisis.....	28
2.14.2	Rancidez oxidativa.....	28
2.15	Beneficios y perjuicios a la salud.....	29
2.16	Aceite de cocina.....	30
2.17	Aceite para ensaladas.....	31
2.18	Antioxidantes.....	31
CAPITULO 3 MATERIALES Y METÓDOS.....		33
3.1	ETAPA 1: Obtención y análisis de la semilla.....	33
3.1.1	Recolección de la materia prima.....	33
3.1.2	Análisis físico-químico.....	33
3.2	ETAPA 2: Métodos de extracción.....	34
3.2.1	Acondicionamiento de la materia prima.....	34
3.2.2	Extracción por arrastre de vapor.....	34
3.2.3	Extracción con solvente.....	35
3.2.4	Extracción a contracorriente.....	35
3.2.5	Extracción a nivel planta piloto.....	37
3.3	ETAPA 3. Caracterización físico-químico del aceite.....	39

3.3.1	Determinación de la densidad del aceite crudo y reinado.....	39
3.3.2	Índice de acidez.....	39
3.3.3	Determinación del porcentaje de ácidos grasos libres por titulación.....	40
3.4	ETAPA 4: Refinado.....	41
3.4.1	Proceso de saponificación.....	41
3.4.2	Eliminación de humedad.....	42
3.5	ETAPA 5: Caracterización del producto final.....	42
3.5.1	Determinación de índice de peróxidos.....	42
3.5.2	Espectrometría del aceite del piñoncillo (IR).....	43
CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		44
4.1	ETAPA 1: Obtención y análisis de las semilla.....	44
4.1.1	Recolección de la materia prima.....	44
4.1.2	Análisis físico-químico del piñoncillo.....	44
4.2	ETAPA 2: Extracción.....	46
4.2.1	Análisis granulométrico.....	46
4.2.2	Extracción por arrastre de vapor.....	48
4.2.3	Extracción con solvente.....	48
4.2.4	Extracción a contracorriente o lixiviación.....	50
4.2.5	Extracción a nivel planta piloto.....	52
4.3	ETAPA 3: Caracterización física y química del aceite.....	53
4.3.1	Determinación de la densidad del aceite crudo y refinado.....	53
4.3.2	Índice de acidez.....	54
4.3.3	Determinación de porcentaje de ácidos grasos libres por titulación.....	54
4.4	ETAPA 4: Refinado.....	55
4.4.1	Proceso de saponificación.....	54
4.4.2	Eliminación de la humedad.....	56
4.5	ETAPA 5: Caracterización del producto final.....	56
4.5.1	Determinación de índice de peróxidos.....	57
4.5.2	Espectrometría del aceite del piñoncillo (IR).....	57
CAPITULO 5 CONCLUSIONES.....		61
CAPITULO 6 RECOMENDACIONES.....		63
CAPITULO 7 REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.....		64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág.
1	Clasificación botánica del piñoncillo	7
2	Principales fuentes de aceites	10
3	Clasificación de los ácidos grasos más comunes	23
4	Ácidos grasos saturados	24
5	Ácidos grasos insaturados	25
6	Análisis físico-químico del piñoncillo (<i>Jatropha curcas</i>).	45
7	Análisis granulométrico de la harina del piñoncillo	47
8	Rendimiento porcentual de aceites extraídos con diferentes intervalos de tiempo.	49
9	Rendimiento obtenida a contracorriente o lixiviación	51
10	Densidad del aceite crudo y refinado	53
11	Ácidos graso libres presentes en el aceite del piñoncillo	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pág.
1	Extracción por arrastre de vapor	16
2	Extracción a contracorriente o lixiviación	36
3	Rota vapor diferencial de 20 lts de capacidad	38
4	Tiempo eficiente para la extracción.	50
5	Relaciones optimas de extracción	52
6	IR Espectro Infrarrojo. Estándar puro de Ácido oleico	58
7	Cromatógrama de la fase líquida del aceite de piñoncillo (<i>Jatropha curcas</i>)	59
8	Cromatógrama de la fase sólida del aceite de piñoncillo (<i>Jatropha curcas</i>)	60

RESUMEN

En la presente investigación se muestra la extracción y purificación de lípidos obtenidos a partir de la semilla del piñoncillo (*Jatropha curcas*) que fue recolectada en la región norte del estado de Veracruz, para su uso en la industria alimentaria.

Para los fines del presente trabajo se evaluaron varios aspectos, primeramente se compararon diversos métodos de extracción, los cuales consistieron en arrastre por vapor, extracción con solventes y a contracorriente o lixiviación, donde la mayor eficiencia fue obtenida mediante el método a contracorriente o lixiviación, ya que fue el que arrojó mayores rendimientos.

El segundo aspecto a evaluar consistió en determinar el tamaño de partícula óptima para los mayores rendimientos, utilizando una malla # 10, 25, 40, 50, siendo la más eficiente la de 10.

Se realizaron varias pruebas de extracción variando la relación soluto – solvente de 1:40, 1:20, 1:15, los tiempos de extracción de 3.5, 5, 7.5 minutos y

a las temperaturas de 60, 65 y 70 °C. De los resultados de las pruebas, la extracción de miscella más significativa se dio bajo las siguientes condiciones: una relación soluto – solvente de 1:40, a 3.5 minutos y a una temperatura de 60 °C.

La miscella extraída fue sometida a un proceso de sedimentación, posteriormente fue filtrada mediante la malla # 200 y 325, para su destilación y finalmente se obtuvo el aceite crudo separado del solvente (hexano).

Para la cuantificación de ácidos grasos libres (AGL), se realizaron pruebas con 10 gr de muestra de aceite crudo, utilizando NaOH y KOH al 0.1 N para establecer la cantidad necesaria de cada uno, para el proceso de refinado. Considerando que con NaOH se obtuvo un 72% del total y fue el mayor porcentaje, por lo tanto se establece que para el refinado es conveniente usar el NaOH al 0.1 N.

El aceite extraído fue caracterizado cromatográficamente tanto en crudo como refinado.

Los resultados del proceso de refinado del aceite del piñoncillo mostraron resultados satisfactorios, obteniéndose dos fases: una líquida y una sólida (sin recibir un tratamiento de hidrogenación). Cada una de las fase fueron analizadas espectrometricamente, mostraron que la fase líquida se trata de un triacilglicerido de cadena larga que guarda similitud con el ácido oleico, mientras que la sólida se trata de un di ó monoacilglicerido con ácidos grasos saturados.

INTRODUCCIÓN

El piñoncillo (*Jatropha curcas*) es un arbusto que crece rápidamente y alcanza una altura de 3 m y tiene una producción anual de semilla de cinco toneladas por hectárea, de las cuales 2 ton. son de aceite y 1 ton. es de pasta residual, rica en proteína (60%). La semilla, la cual pesa alrededor de 0.75 g. contiene 30-32% de proteína y 55-60% de lípidos (Makkar y Becker, 1999; Heller, 1996).

La semilla de este arbusto ha sido considerada tóxica, pues se ha encontrado en la semilla la presencia de alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan efecto purgante y algunos otros síntomas. Solamente en México, se han encontrado variedades no tóxicas, las cuales son consumidas después de tostar y en la preparación de platillos tradicionales por los pobladores de la región de Papantla en Veracruz, Querétaro (Makkar y col., 1998), región Totonacapán de Veracruz y Huitzilán en Puebla (Martínez y col., 2004).

En la actualidad existen una gran variedad de aceites vegetales destinados al procesamiento de alimento, algunos son el de soya, girasol, oliva, algodón, palma, entre otros, cuales presentan características que los hace diferenciar entre sí. Los aceites y grasas, son considerados como una materia prima indispensable en la industria alimentaria ya que proporcionan características adecuadas a los alimentos.

Se entiende por grasas y aceites comestibles aquellos que se componen de glicéridos de ácidos grasos y son de origen vegetal, animal o marino. Podrán contener pequeñas cantidades de otros lípidos, tales como fosfátidos, de constituyentes insaponificables y de ácidos grasos libres presentes en las grasas o aceites. Pudiendo aclarar que el aceite y las grasas vírgenes son obtenidos por procedimiento mecánico y por aplicación únicamente de calor. Podrán ser purificados por lavados, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente (Codex Alimentarius).

El aceite deberá tener como características un aspecto limpio y transparente, la temperaturas de entre 15 – 20 °C, olor y sabor agradable, mientras que las grasas presentan una consistencia sólida a esta misma temperatura (Madrid, 1988).

La mayoría de estos elementos están compuestos por una combinación de ácidos grasos saturados e insaturados, los primeros son más difíciles de ser usados por el organismo.

Según Gaydou (1982), sirve como cultivo alternativo para los agricultores que se encuentran en regiones en donde sus cultivos han perdido su valor comercial y para aquellas tierras que no son aptas. Los ésteres de forbol presentes, son utilizados como bióinsecticidas en contra de ciertas plagas del sorgo y maíz en países de África.

El aceite extraído puede ser utilizado como Biocontrol del diesel, producto que tiene demanda en los Estados Unidos y Europa; presenta muy alto valor de saponificación, donde está siendo utilizado extensivamente para hacer el jabón en algunos países (Makkar y Becker, 1999; Gaydou 1982).

La pasta residual rica en proteína (60-65%), después de la extracción del aceite, podría ser transformada en un buen alimento balanceado para aves, ganado bovino e incluso peces (Martínez, 2004). A la vez, también puede ser utilizada como una fuente de abono orgánico ya que presenta altas cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio.

El afán de la presente investigación va en la búsqueda de nuevas alternativas de lípidos de buena calidad para la industria de alimentos, y así mismo para generar fuentes de empleo, además de hacer uso de una planta subutilizada y fácil propagación, ya que el aceite de este cultivo no presenta demanda alguna en el mercado para la industria alimentaria.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Extraer, cuantificar y caracterizar la fracción lipídica presente en el fruto del piñoncillo (*Jatropha curcas*), para su uso en la industria alimentaria.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer mediante diferentes métodos la fracción lipídica del fruto del piñoncillo.
- Establecer las condiciones óptimas para el máximo rendimiento en la extracción de la fracción lipídica del fruto del piñoncillo.
- Refinar la fracción lipídica obtenida
- Caracterizar cromatográficamente las fracciones lipídicas obtenidas.

1.3 HIPÓTESIS

El piñón es una fuente potencial de aceite comestible para la industria de los alimentos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Uno de los motivos para usar la semilla del piñoncillo para la extracción de aceite es por su alta concentración de lípidos (55 – 60 %), con ácidos grasos de alto valor biológico como el oleico y linoleico, con valores superiores al 40% cada uno.

La semilla compite por su contenido de aceite sobre las oleaginosas de exportación actual, y de la misma manera cabe resaltar que esta especie no requiere de mucho cuidado y mantenimiento, ya que se trata de una especie que no invade a otros cultivos.

La semilla no es utilizada en ninguna de las áreas de la industria alimentaria, y sería una fuente importante u otra de las alternativas para la extracción de aceite vegetal.

2.1 Característica general de la planta

El piñoncillo (*Jatropha curcas*) también es conocido con otros nombres comunes: piñón, tempate, yupur, tempacte, sakil-te, piñoncillo, purgante, quahuayohuachtli y sangre de grado (Martínez, 1994).

La planta de *Jatropha curcas*, es un miembro de la familia de las Euphorbiaceae, la cual crece en climas tropicales y semi-tropicales (Salas y col., 1994), llega a medir hasta 3 m, en altitudes que van desde 5 a 1500 msnm; crece en suelos pobres y arenosos, es resistente a la sequía. Se desarrolla como un arbusto y requiere un mínimo de 250 mm. de precipitación por año para sobrevivir. Es propagado por recortes y semillas.

2.2 Clasificación taxonómica

En el cuadro 1 se citan la característica taxonómica del piñoncillo.

Cuadro 1 Clasificación botánica del piñoncillo (Morton, 1977).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyt
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Jatropha
Especie	curcas

2.3 Descripción morfológica

La corteza de este arbusto es pálida y casi lisa con pecíolos alargados y delgados, hojas alargadas (laminas) redondo-ovaladas en contorno, la mayoría mide de 7-16 cm. de largo y de alrededor del mismo ancho, abiertamente cortada en la base, someramente 3 - 5 lobada; cuenta con muchas flores, pétalos blanquecinos, densamente pilosos por dentro; cápsula de 2.5 - 4 cm de largo, 2-3 celdas, elipsoides; semillas alrededor de 2 cm de largo y 1 cm de

ancho, pálidas, oblongo - elipsoides, con líneas negras conspicuas (Morton, 1977).

2.3 Origen y distribución

Las *curcas de Jatropha* son una planta del origen americano latino que es extenso ahora a través de las regiones tropicales áridas y de semiáridas del mundo. Es un miembro perene, que una vida resistente a la sequía hasta 50 años y crecimiento en suelos marginales.

El piñoncillo posee una amplia distribución en México y Centroamérica, se cultiva en América central, Sudamérica y África (Schmook y Serralta, 1997). En México se conoce con el mismo nombre por los pobladores del estado de Veracruz o como Sikil-té por los Mayas en la península de Yucatán. La distribución silvestre de la especie se localiza en los estados de Sonora, Sinaloa, Oaxaca, Quintana Roo, Yucatán. Tamaulipas, Puebla, Veracruz y Morelos (Martínez, 1994).

2.4 Usos

Esta planta ha sido usada como cerca viva o para proteger terrenos de la erosión o como simplemente una reforestación de zonas erosionadas; pero la semilla posee un alto potencial agroindustrial, la pasta residual rica en proteína

(60-65%), después de la extracción del aceite, podría ser transformada en un perfecto alimento balanceado para aves, ganado e incluso peces.

El aceite puede ser empleado como sustituto del diesel, al transformarse en biodiesel, producto que tiene demanda en los Estados Unidos y Europa (Makkar y Becker 1999; Heller 1996; Liberiano y col., 1988).

2.6 Potencial alimenticio

El uso de semillas de piñoncillo para la obtención de aceite puede justificarse al compararla con otras fuentes de aceites. La semilla presenta como característica para competir, un 60 % de lípidos, que es superior al aceite de palma (47%) y aceite de cacahuate (45%).

Contiene un 34.3% de ácido linoleico, superado por el aceite de cacahuate (38%), lo cual muestra un alto potencial y una buena fuente para extraer aceite y además la planta no requiere de muchos cuidados.

2.7 Importancia económica

Utilizado como tutores de otros cultivos, por ejemplo vainilla, y como cerca viva. Actualmente hay proyectos para establecer una planta procesadora en Brasil coordinada por Petronic para obtener éster metílico de aceite de tempate.

Se han estudiado producciones de 5 tn/ha de semilla, con aproximadamente 37% de aceite, equivalente a 2100-2800 lts de combustible/ha (anónimo 2).

2.8 Principales fuentes de extracción de aceites vegetales

Existen cientos de semillas oleaginosas las cuales se citan en cuadro 2, aunque solamente unos cuantos son utilizados por la industria alimentaria.

Cuadro 2 Principales fuentes de aceites (Robinson, 1991.)

<ul style="list-style-type: none">• Canola• Coco• Maíz• Semilla de algodón• Oliva• Palma• Cacahuate	<ul style="list-style-type: none">• Cartamo• Girasol• Pepita de uva• Cacao• Ajonjolí• Soya• Linaza
---	--

2.8.1 Aceite de de canola

Se denomina canola al aceite obtenido a partir de una variedad relativamente nueva de colza. Este tipo de aceite comestible ha sido más importante en países como Canadá, Rusia y Finlandia.

La clave de aceptación de la canola es su bajo contenido en ácido grasos saturados (alrededor de 6%). Debido a cuestiones de salud, es posible que la canola pueda llegar a convertirse pronto en la segunda fuente de aceite vegetal importante. Es utilizado en la fabricación de aceite de mesa y cocina.

2.8.2 Aceite de coco

Se considera como una grasa, ya que es sólido a temperatura ambiente y a temperatura de 25.6 °C se convierte en aceite líquido. Presenta altos porcentaje de ácido láurico. Presenta un punto de fusión brusco (24.4 -25.6 °C), debido a un elevado contenido de ácidos grasos de bajo peso molecular. Sin embargo, es resistente a los fenómenos oxidativos en condiciones normales de almacenamiento, haciendo de él un buen producto.

2.8.3 Aceite de maíz

A pesar de que el maíz es uno de los principales cultivos de los Estados Unidos, sólo una pequeña proporción es usada para la obtención de aceite de maíz. La mayor parte es producida del subproducto (almidón de maíz). El uso principal es en la elaboración de margarinas de aceite de maíz. Presenta bajos niveles de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valor medios de 11 y 2 %, respectivamente. En cambio, contiene relativamente altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico, 55%).

2.8.4 Aceite de semilla de algodón

Se obtiene a partir de la semilla del algodón. El aceite de la semilla de algodón bruto tiene un olor y sabor fuerte y un color oscuro marrón-rojizo. Sin embargo, estos son utilizados en algunos aceites para margarina, como aceite de ensalada y para freír. El 20% de la producción total de este aceite se origina de la semilla de algodón (Robles, 1985).

2.8.5 Aceites de oliva

Importante en el cocinado y en la preparación de ensaladas. El aceite de oliva virgen es un aceite que no ha sido desodorizado para eliminar los elementos naturales del aceite de oliva.

Contiene alrededor del 71 % de ácido oleico (octadecanoico / monoinsaturado).

En la composición del aceite de oliva están presentes los tres tipos de ácidos grasos:

- Saturados (palmítico)
- Monoinsaturados (oleico)
- Políinsaturado (linoleico y linolénico)

2.8.6 Aceite de palma

Es un aceite semisólido extraído del datil de palma, y es uno de los más importantes en el comercio mundial, su uso ha crecido en un corto tiempo; Cabe mencionar que este aceite presenta ácidos saturados alrededor de un 50 %. Es usada como parte de la porción de grasa / aceite de shortening y margarina. También es usada como aceite de cocina en los países de Oriente y Europa.

2.8.7 Aceite de cacahuete

Es un aceite comestible con escasa importancia en los EE UU. También tiende a ser un producto demasiado caro en relación con su uso potencial, fundamentalmente para fritura en profundidad y como aceite de cocina. Al rededor del 40 -50 % de la modesta producción de aceite de cacahuete en los Estados Unidos es destinado al mercado de exportación.

2.8.8 Aceite de cártamo

Contiene altos contenidos de ácido linoleico (políinsaturado), alrededor de 75 – 80 %, que es el contenido más elevado en los aceites existentes en el comercio, y un 15 % de ácido oleico (monoinsaturado).

2.8.9 Aceite de girasol

El aceite de girasol tiene un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados (90%), que incluye un 55 – 60 % de poliinsaturados como linoleico y alrededor de un 30 % de monoinsaturados como el ácido oleico (Lawson, 1999).

2.9 Métodos de extracción

Existen varios métodos de extracción, sin embargo, la elección del mismo es muy importante, ya que influye directamente en la cantidad que puede ser extraída.

La extracción de ciertos tipos de aceites son basados de acuerdo con las normas establecidas en ciertas correspondencias, y estas extracciones son sometidas a proceso de refinación completa, previa a su utilización como aceites para consumo humano.

Las semillas oleaginosas deben ser limpiadas y descascarilladas previamente, después son trituradas y molidas antes de su extracción de su aceite por cualquiera de los sistemas. Recalcando este último punto, los aceites pueden ser extraídos por métodos físicos o químicos.

2.9.1 Extracción mecánica

Dentro de este método de extracción, las semillas molidas pasan a un acondicionador para obtener un producto homogéneo que pasa a la prensa de tornillo donde a elevadas presiones y en un solo paso se procede a la separación del aceite de la harina proteica. El aceite obtenido es limpiado de impurezas groseras en un tamiz vibratorio. El abrillantamiento y limpieza final del aceite se lleva acabo en un filtro el cual se obtiene un aceite crudo filtrado (Lawson, 1999).

2.9.2 Extracción por arrastre de vapor

En la obtención de aceite por arrastre de vapor, se hace pasar una corriente de vapor a través de la harina y/o materia prima y de los componentes que son solubles en el vapor son separados (Bailey, 1945). Entre las sustancias que se pueden separar por esta técnica se pueden citar los aceites esenciales de bajo peso molecular (orégano) como se muestran en la figura 1.

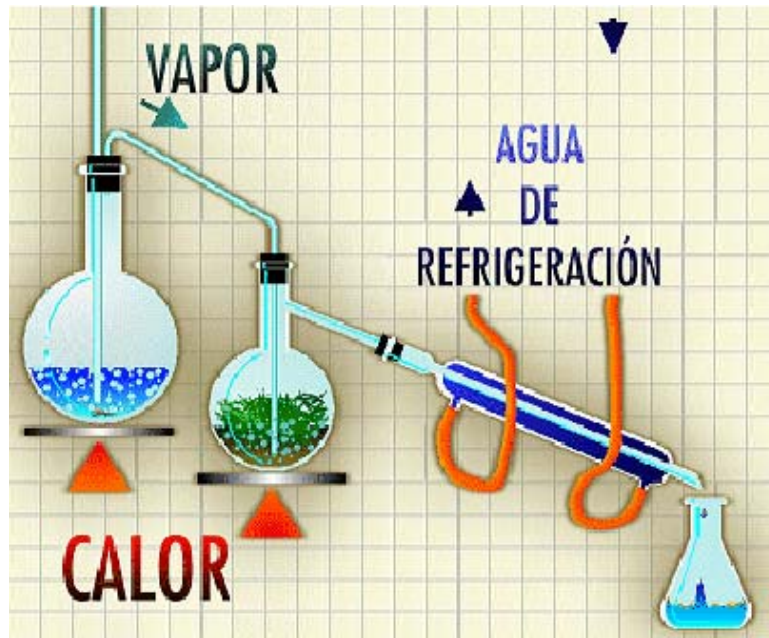


Fig. 1 Extracción por arrastre de vapor

2.9.3 Extracción con solvente

El principio en que se basa este método de extracción es muy sencillo: la materia prima seca, y reducida a escamas, se pone en contacto con un disolvente adecuado. Ese disolvente disuelve el aceite separándola de la llamada "miscella", de la que posteriormente, una vez separado del residuo extraído, se obtiene el aceite puro por evaporación del disolvente (Thieme, 1970).

Este proceso de extracción es el más recomendable, ya que a través de solventes se extraen al máximo. La desventaja de este método, es que a pesar de que es la más eficiente, el solvente es costoso.

2.10 Refinado de grasas y aceites

Se refiere a los tratamientos de purificación de los aceites crudos para eliminar básicamente los ácidos grasos libres, pigmentos (carotenoides y clorofila), fosfolípidos y monocilgliceridos. Es un método clásico de refinamiento para los lípidos con algún álcali.

Esta etapa es efectuada para obtener un aceite comestible con un olor, color y sabor agradable listos para ser utilizado en la industria alimenticia (Fennema, 1985).

Este método comprende varias etapas para obtener el aceite refinado tales como:

2.10.1 Desgomado

Tratamiento que consiste en la adición de un 2 – 3 % de agua, agitación de la mezcla, a unos 50 °C, y separación de los fosfolípidos, hidratados y materias coloidales (polisacáridos, gomas y resinas), las cuales pueden ser separado por centrifugación o por decantación lenta (Fennema, 1985).

2.10.2 Neutralización

Para eliminar los ácidos grasos libres, se mezcla la sosa cáustica con el aceite, se calienta a cierta temperatura y por tiempos indicados, se deja la mezcla en reposo hasta que sedimente la fase acuosa. La fase acuosa resultante se utiliza para la elaboración de jabón. Las cantidades residuales de sales sódicas de los ácidos grasos que permanecen en la grasa tras la retirada de la fase acuosa, se elimina del aceite neutralizado por lavado de agua caliente, seguida de sedimentación o centrifugación.

Aunque el objetivo perseguido por el tratamiento alcalino es la eliminación de los ácidos grasos libres, este proceso reduce también significativamente el contenido del aceite en fosfolípidos y productos pigmentados.

2.10.3 Decoloración

Se puede eliminar casi la totalidad de los pigmentos calentado el aceite a unos 85 °C y tratándolo con absorbentes, como carbón activado o tierra de diatomeas. Hay que evitar la oxidación durante el proceso de decoloración, junto a los pigmentos, se absorben otros materiales, como fosfolípidos, jabones y algunos compuestos de oxidación. El material adsorbente utilizado para la decoloración se elimina por filtración.

2.10.4 Desodorización

Para eliminar los compuestos volátiles que imparten a la grasa o al aceite aromas indeseables, se eliminan mediante destilación en corriente de vapor, a presión reducida. Frecuentemente se añade ácido cítrico, para secuestrar las trazas de metales prooxidantes presentes. Este tratamiento parece destruir las sustancias no volátiles responsables de los sabores anórmalos y eliminar, mediante destilación, los volátiles resultantes de su degradación.

2.11 Composición química de los lípidos

La palabra lípido proviene del griego “*lipos*”, que significa grasa y cuya aplicación no ha sido bien establecida; originalmente, se definía como una sustancia insoluble en agua, pero solubles en disolventes orgánicos, tales como cloroformo, hexano y éter de petróleo, bajo esta condición de solubilidad, hay otros muchos compuestos.

Tanto las grasas como los aceites son ésteres de ácidos grasos y glicerol. En general las grasas son sólidas a temperatura ambiente y se caracterizan por el contenido elevado de ácidos grasos saturados. Los aceites son líquidos que contienen una elevada proporción de ácidos grasos insaturados.

Sin embargo, algunos autores contemplan como lípido sólo aquellas moléculas que son derivados reales de los ácidos grasos y sustancias relacionadas, con lo

cual se excluyen terpenos, caratenoides y colesterol, pero no los esteres de este último.

Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos contribuyendo a la textura y en general a las propiedades sensoriales del producto (Badui, 1996).

Este grupo de compuestos presenta una estructura heterogénea muy abundante en la industria de los alimentos, ya que las grasas y los aceites son los más representativos en el área de alimentos (Badui, 1988).

Son sustancias formadas por grasas, entre las cuales el ácido graso y el glicerol son los compuestos predominantes.

Las fuentes cuantitativamente más importantes de aceites vegetales son las semillas de soya, algodón, cacahuate, girasol, árboles como la palma, así como la oliva y el coco (Fennema, 1985).

2.12 Clasificación

Existen numerosas sustancias que son considerados como lípidos, cada uno con ventajas y desventajas, pero todas ellas basados en las propiedades físico-químico que los caracterizan.

Esta clasificación se divide en tres grandes grupos de acuerdo a su composición química:

2.12.1 Lípidos simples

Esta categoría está formada por esteroides de ácidos grasos y alcoholes tales como son:

- Grasas y aceites. Esteroides de glicerol con ácidos monocarboxílicos
- Ceras. Esteroides de alcoholes monohidroxilados y ácidos grasos.

Los lípidos simples son esteroides de ácidos grasos fijados sobre los triglicéridos u otros alcoholes superiores.

2.12.2 Lípidos compuestos

Este grupo, está compuesto por los lípidos simples conjugados con moléculas no lipídicas tales como son:

- Fosfolípidos. Estos son esteroides que contienen ácido fosfórico en el lugar de un ácido graso, combinado con una base de nitrógeno.
- Glucolípidos. Compuestos de carbohidratos, ácidos grasos y esfingosinol, llamados también cerebrósidos.
- Lipoproteínas. Compuestos de lípidos y proteínas.

2.12.3 Compuestos asociados

- Ácidos grasos (derivados de los lípidos simples)
- Pigmentos
- Vitaminas liposolubles
- Esteroles
- Hidrocarburos

Finalmente los lípidos derivados o asociados son todos aquellos que no se ubican en ninguna de las subdivisiones anteriores; en este grupo están los ácidos grasos libres, los caratenoides, las vitaminas liposolubles y el colesterol entre otros (Badui, 1996).

2.13 Ácidos grasos

Son nutrimentos orgánicos. Pueden encontrarse libres o combinados con el glicerol formando, mono, di o triglicéridos. Pueden dividirse en saturados e insaturados según tenga dobles ligaduras o no; destacan ciertas funciones como: aportar energía; ser precursor de hormonas (prostaglandinas, leucotrieno, tromboxanos), ser vehículos de las vitaminas liposolubles y forma parte de la membrana celular (Burton y Routh. 1977).

2.13.1 Clasificación de los ácidos grasos más comunes

En el cuadro 3 se citan los ácidos grasos mas comunes en los diferentes aceites vegetales.

Cuadro 3 Clasificación de los ácidos grasos más comunes (Robinson, 1991).

Aceites	Composición media de los ácidos grasos en %				
	Mirístico	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico
Oliva	0 – 1	5 – 15	1 – 4	67 – 86	8 – 12
Cacahuete	–	7 – 12	2 – 6	30 – 60	20 – 38
Maíz	1 – 2	7 – 11	3 – 4	25 – 35	50 – 60
Algodón	1 – 2	18 – 25	1 – 2	17 – 38	45 – 55
Soya	1 – 2	6 – 10	2 – 4	20 – 30	50 – 58
Linaza	–	4 – 7	2 – 4	14 – 30	14 – 25
Cártamo	–	1 – 5	1 – 5	14 – 21	73 – 78
Coco		8.2	2.0	6.0	2.5
Ajonjolí		9.1	4.3	45.4	40.4

2.13.2 Ácidos grasos saturados

Carecen de dobles ligaduras. Se recomienda que no excedan más de una tercera parte de los ácidos grasos consumidos. Algunos productos contienen cantidades elevadas: la mantequilla, margarina, mantecas, chicharrón de cerdo,

chorizo, crema, aceite de coco, chocolate y todos los quesos En el cuadro 4 se enlista los ácidos grasos saturados

Cuadro 4 Ácidos grasos saturados (Food Fats and Oils, 1998).

Nombre Común	Nombre Sistemático	No..de Átomos de Carbono	No. de Dobles Enlaces	Fuentes de Grasa Típica
Butírico	Butanoico	4	0	Mantequilla.
Caproico	Hexanoico	6	0	Mantequilla.
Caprílico	Octanoico	8	0	Aceite de coco
Cáprico	Decanoico	10	0	Aceite de coco.
Láurico	Dodecanoico	12	0	Aceite de coco, Aceite de palma.
Mirístico	Tetradecanoico	14	0	Mantequilla, Aceite de coco
Palmítico	Hexadecanoico	16	0	Aceite de palma, Grasa animal.
Esteárico	Octadecanoico	18	0	Sebo, mantequilla de cacao.
Araquídico	Elcosanoico	20	0	Aceite de cacahuate.
Behénico	Docosanoico	22	0	Aceite de cacahuate.

2.13.3 Ácidos grasos insaturados

Tienen una (monoinsaturados) o más (polinsaturados) dobles ligaduras. Están presentes en alimentos como en aguacates y la mayoría de los aceites vegetales. En el cuadro 5 se enlista los ácidos grasos insaturados.

Cuadro 5 Ácidos grasos insaturados (Food Fats and Oils, 1998).

Nombre Común	Nombre Sistemático	No. de Átomos de Carbono	No. de Dobles Enlaces	Fuentes de Grasa Típica
Miristoleico	9-Tetradecenoico	14	1	Mantequilla.
Palmitoleico	9-Hexadecenoico	16	1	Aceite de pescado, grasa de la carne
Oleico	9-Octadecenoico	18	1	Aceite de oliva, aceite de canola.
Elaidico	9-Octadecenoico	18	1	Mantequilla
Linoleico	9,12-Octadecadienoico	18	2	Aceite de maíz, aceite de soya, aceite de algodón.
Linolénico	9, 12, 15-Octadecatrienoico	18	3	Aceite de soya, aceite canola.

2.13.4 Ácidos grasos monoinsaturados

Tiene una doble ligadura como los ácidos oleicos y palmitoléico. Abundante en el aceite de oliva y otros. Según los nutricionistas de La Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, el consumo de grasas monoinsaturadas debe representar entre el 15 y el 20 % de las grasas ingeridas

2.13.5 Ácidos grasos poliinsaturados (AGP)

Tienen varias dobles ligaduras. Los AGP son importantes para mantener las membranas de todas las células, para producir las prostaglandinas que regulan muchos procesos corporales, por ejemplo, la inflamación y para la coagulación de la sangre. Asimismo, las grasas son necesarias en la dieta para que las vitaminas liposolubles de los alimentos (A, D, E y K) puedan ser absorbidas y para regular el metabolismo del colesterol. Se encuentran en aceite de maíz, girasol, cártamo, canola, soya, algodón.

Lawson (1999) reporta lo siguiente:

El ácido linoleico y el linolénico se consideran como ácidos grasos esenciales porque:

- No puede ser sintetizados por el cuerpo, por lo tanto, debe ser proporcionado por la dieta.

- Son importantes para las funciones corporales como:
 1. el crecimiento
 2. el buen estado de la piel y el pelo.

Dentro de las investigaciones científicas se ha demostrado que un mayor consumo de grasas poliinsaturadas reducen los niveles de colesterol (GS - aterosclerosis), ya que ayuda a su excreción.

2.13.6 Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales son dos (linoleico y linolénico), que son indispensables para la dieta, ya que no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano. Los ácidos se encuentran abundantemente en muchos aceites, ambos se clasifican como ácidos grasos poliinsaturados. Estos necesitan una manipulación y una protección adecuada para su almacenamiento, ya que ambos se deterioran fácilmente con la presencia de la luz, calor y oxígeno (Lawson, 1999).

2.13.7 Ácidos grasos trans

Son isómeros de ácidos grasos monoinsaturados. Pueden ser producido en la hidrogenación de aceite vegetal durante la elaboración de margarinas y grasas vegetales (cuaderno de nutrición).

2.14 Deterioro de aceites

Las grasas y los aceites pueden sufrir diferentes deterioros, que además de reducir el valor nutritivo del alimento producen compuestos volátiles que imparten sabores y olores desagradables. El grado de deterioro depende del tipo de grasa o aceite.

2.14.1 Hidrólisis o lipólisis

La rancidez hidrolítica o lipólisis, es por la acción de la humedad que hidrolizan los triglicéridos, a sus componentes: glicerol y ácidos grasos libres, especialmente de cadena corta ($C_4 - C_{12}$), produciendo una rancidez en los lípidos. La hidrólisis resulta acelerada por altas temperaturas, presiones y altas concentraciones agua.

La lipólisis es producida por la presencia de enzimas lipolíticas llamadas lipasas, y en ciertas condiciones, por efecto de altas temperaturas, donde se liberan ácidos grasos de los triglicéridos y de los fosfolípidos (Badui, 1996).

2.14.2 Rancidez oxidativa

Las reacciones de oxidación de los lípidos tienen diversos orígenes: la primera es la acción directa del oxígeno sobre las dobles ligaduras de los ácidos grasos

insaturados. Otro mecanismo es la acción enzimática de la lipoxigenasa y del alcohol-deshidrogenasa (Badui, 1996).

2.15 Beneficios y perjuicios a la salud

Los lípidos son las sustancias que proporcionan mayor energía al organismo, aproximadamente 9 Kcal/gr. Además desempeña un papel muy importante en el cerebro y en el tejido nervioso, sirve como capa protectora y aislante a la parte principal de la membrana celular.

Fennema (1988) reporta que los lípidos suministran calorías y ácidos grasos esenciales, vehiculan vitaminas liposolubles (A, D, E, K), y su principal misión es el almacenar en el tejido adiposo como fuente de energía. Desgraciadamente una ingesta excesiva de las grasas da lugar a que las grasas se acumulen a largo plazo con el consiguiente incremento de peso.

Una dieta normal corresponde a una ingesta de 15 – 20 gr. de grasa. Se recomienda que las grasas de la dieta aporten entre un 20 – 30% de las necesidades diarias (Food Fats and Oils. 1998).

- Ácidos grasos saturados (AGS) menor del 10%
- Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) 10%
- Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) menor del 10%

Los ácidos grasos esenciales intervienen en el crecimiento, en las funciones sexuales, en la formación de estructuras cerebrales y en el metabolismo celular. Las grasas y los aceites pueden tener propiedades nutricionales diferentes a la materia prima de donde provienen; en forma natural. Este elemento puede funcionar como:

- Un aislante térmico del cuerpo frente a la temperatura exterior.
- Forman parte de las membranas celulares (sobre todo fosfolípidos).
- Constituye de un 50 – 60% de la masa cerebral.
- Son indispensables para el crecimiento y la regeneración de tejidos.
- Ayuda a mantener la temperatura corporal.
- Protege la integridad de la piel.

2.16 Aceite de cocina

Empleados en fabricas de elaboración de alimentos, en operaciones de hostelería, restauración y en casa, presenta una característica líquida y generalmente de origen vegetal. Se emplea bien en su estado natural. Funcionan como transmisor de calor y aportan sabor y textura a los alimentos. En general, en la fritura el aceite debe mantenerse a una temperatura máxima

de 180 °C. Si los alimentos se fríen a temperaturas demasiadas bajas, éstos atrapan mas grasa (Food Fats and Oils. 1998).

2.17 Aceites para ensaladas

No debe contener cristales sólidos que, al refrigerarlo, le confieran una textura pegajosa de sebo, rompan la emulsión formada entre el agua y el aceite, o den al producto un aspecto turbio. Pueden ser frigelizados para eliminar los cristales sólidos que se forman a temperatura del frigorífico (Food Fats and Oils. 1998).

Algunos aceites vegetales como el cártamo, soya, girasol, maíz y oliva no requieren winterización ya que son aceites naturales para ensaladas. El aceite de oliva suele servir a temperatura ambiente como aceite para ensalada. Estos son usados en los aliños y mayonesas (Desrosier, 1986).

2.19 Antioxidantes

Un antioxidante puede ser de origen natural o comercial al ser adicionado en un producto de grasa / lípido; la incorporación de estos aditivos retrasa el deterioro de los aceites vegetales e incrementa su vida de anaquel. La mayoría de estos compuestos usados en la industria de los alimentos pertenecen a la familia de los fenoles como el BHA (butilhidroxianisol), BHT (butilhidroxitolueno), el galato de propilo y TBHQ (butilhidroxiquinona); ya que de origen natural, el más

común es el tocoferol (vit. E) y la lecitina. En general, los antioxidantes naturales son muy poco efectivos y por ello se recurre a los sintéticos (Badui, 1988).

Los aditivos de origen comercial, favorecen la conservación de lípidos aumentando su vida útil, ya que estos actúan como donadores y secuestradores de protones. Entre el BHA y BHT son los más usados, pero en los últimos años el TBHQ ha adquirido mucha popularidad, con la propiedad de que es más soluble en agua; todos estos conservadores deben ser aprobados por el (Codex Alimentarius Volumen).

El desarrollo de la presente investigación fue efectuado varias etapas, las cuales son descritas a continuación.

3.1. ETAPA 1: Obtención y análisis de la semilla

3.1.1 Recolección de la materia prima

Las semillas evaluadas de piñoncillo (*Jatropha curcas*) cuyo tamaño oscila entre 1.8 – 1.9 cm. fueron recolectadas en el norte del estado de Veracruz (Coyutla, La Colonia Guadalupe, San Andrés y Las Chacas). Las vainas fueron colectadas manualmente del tutor, para posteriormente retirar los granos y secarlos directamente a la luz solar.

3.1.2 Análisis físico-químico

El análisis bromatológico fue realizado en el Departamento de Nutrición y Alimentos de la UAAAN. El cual consistió en la determinación de: materia seca total, humedad, proteína, grasa y fibra cruda mediante los métodos establecidos por la AOAC en 1980.

3.2 ETAPA 2: Métodos de extracción

3.2.1 Acondicionamiento de la materia prima

Como parte de la preparación de la materia prima se descascararon los granos de piñoncillo para obtener la semilla sola; posteriormente se molió en un mortero a un tamaño de partícula # 10, para evitar que se forme una pasta por el alto contenido en grasa y que no se pierda la grasa que contiene la semilla a fin de evitar la pérdida en rendimiento durante la extracción.

En la extracción del aceite crudo, se evaluaron diferentes métodos para determinar con cual se obtienen mayores rendimientos.

3.2.2 Extracción por arrastre de vapor

La presente investigación fue desarrollada en el Departamento de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En la obtención de aceite por arrastre de vapor, se hace pasar una corriente de vapor a través de la mezcla de reacción, donde los componentes solubles de la materia prima son arrastrados por el mismo, para obtener una mezcla de aceite y agua en un matraz y posteriormente ser separados mediante un embudo separador (Bailey 1945).

3.2.3 Extracción con solvente

Las extracciones fueron evaluadas en el Departamento de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Para el desarrollo de esta extracción, se implemento el uso de un solo solvente (hexano), a una sola concentración con diferentes intervalos de tiempo: 10, 15, 20 horas. Corriéndose extracciones por duplicado aplicando el método soxhlet establecido por la AOAC en 1980.

3.2.4 Extracción a contracorriente

Estos estudios fueron realizados en el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Se realizaron tres estudios de extracción a nivel laboratorio, estableciendo la relación soluto-solvente y el tiempo de contacto, para así determinar la optima.

Dichas extracciones fueron hechas con relaciones de: 1:40 (10 gr de muestra, 400 ml de hexano por 3.5 minutos); 1:20 (10 gr de muestra, 200 ml de hexano por 5 minutos); 1:15 (10 gr de muestra, 400 ml de hexano por 7.5 minutos).

La metodología fue la siguiente:

Calentar el baño de arena entre 90 – 95 °C.; en tres matraces Erlenmeyer de 500 ml se deposita la harina, y hexano indicado; en la boca de cada matraz se coloca un vidrio de reloj con agua; posteriormente es sometido al baño de arena a los intervalos de tiempos mencionados anteriormente.

La harina con el hexano obtenida es enfriada y sometida a una filtración (papel y embudo de cola corta) recibiendo la miscella en un matraz Erlenmeyer, posteriormente es destilado para obtener por separado el hexano y el aceite crudo para calcular el porcentaje de rendimiento. Estos pasos son iguales para las tres relaciones. En la fig. 2 se muestra la extracción por lixiviación.

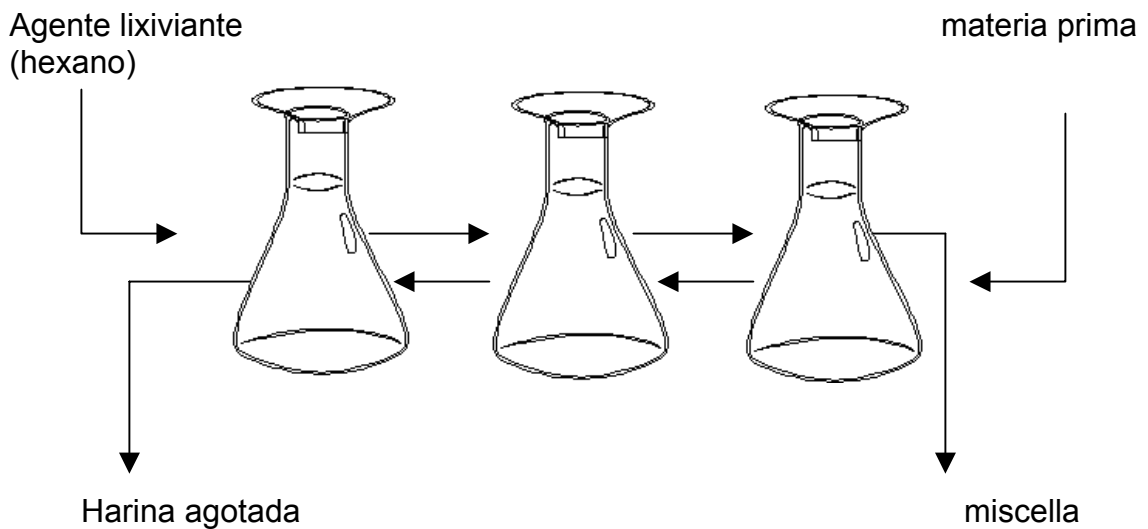


Fig. 2 Extracción a contracorriente o lixiviación

3.2.5 Extracción a nivel planta piloto

De acuerdo a los resultados obtenidos a nivel laboratorio, se siguió con una nueva extracción, utilizando un rotavapor diferencial de 20 lts de capacidad con un baño de agua, el cual es calentado con vapor.

Extracción

Encender la caldera por 45 minutos antes de la extracción, llenar el baño de agua de manera que quede flotando el matraz. Cargar el matraz bola con 2400 gr de materia prima con 6 lts de hexano. Abrir las llaves del refrigerante y del vapor hasta que el interior del matraz alcance una temperatura de 60 °C, con una rotación de 50 r.p.m. y mantenerla refluendo por 15 minutos como se muestra en la fig. 3. Una vez cumplido el tiempo de reflujo, se disminuye la temperatura del baño de agua para posteriormente separar la harina de la miscella mediante una filtración utilizando una malla # 325, y con esta misma harina se le introducen 6 lts de hexano y se repiten los pasos.



Fig. 3 Rotavapor diferencial de 20 lts de capacidad

Destilación

Encender la caldera por 45 minutos, llenar el baño de agua, cargar la miscella en matraz bola y conectarla a su base para someterla a una agitación de 50 r.p.m., abrir las llaves de reflujo, de vapor hasta que el interior del matraz alcance una temperatura de 60 °C para llevar la destilación y obtener el hexano separado del aceite crudo.

Nota: El hexano recuperado durante la destilación puede ser utilizado para otra extracción.

3.3 ETAPA 3: Caracterización físico-químico del aceite.

3.3.1 Determinación de la densidad de aceite crudo y refinado

Una vez obtenido el aceite rudo y refinado, se determina la masa de la unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico, calculando la densidad mediante la siguiente formula:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = peso del aceite

v = volumen del aceite

3.3.2 Índice de acidez

Se toma una muestra de 50 ml de alcohol etílico y es colocado en un matraz Erlenmeyer, se agregan 2 gotas de fenolftaleína para ser neutralizado con una solución de NaOH al 0.1 N alcanzando una tonalidad de color leuco – bongambilia; una vez neutralizado se agrega 1 gr de aceite crudo del piñoncillo y se mezcla, se calienta a una temperatura de entre 80 – 85 °C/20 min,

posteriormente se agregan 2 gotas de fenolftaleína y se titula con NaOH al 0.1 N. hasta cambiar la tonalidad del titulado

3.3.3 Determinación del porcentaje de ácidos grasos libres por titulación

Durante la titulación se estima una lectura de NaOH al 0.1 N, este valor es substituído en la formula corespondiente y para así poder obtener los valores indicados (Hart y Fisher, 1991)

La cuantificación de ácidos grasos pueden ser estimados de acuerdo a las siguientes formulas:

$$\% \text{ de ácido oléico} = \frac{(\text{ml. de NaOH}) (0.1\text{N})(28.2)}{\text{Gramos de la muestra}}$$

$$\% \text{ de ácido palmítico} = \frac{(\text{ml. de NaOH}) (0.1\text{N})(25.6)}{\text{Gramos de la muestra}}$$

$$\% \text{ de ácido láurico} = \frac{(\text{ml. de NaOH}) (0.1\text{N})(20.0)}{\text{Gramos de la muestra}}$$

Factores de los ácidos:

❖ Ácido oleico	28.2
❖ Ácido palmítico	25.6
❖ Ácido láurico	20.0

3.4 ETAPA 4: Refinado

Esta etapa se realizó tomando como base el ácido oleico (37.5 %), ya que se encuentra presente en una mayor concentración. Una vez obtenida esta parte, se puede estimar la cantidad necesaria de NaOH para el proceso de saponificación.

3.4.1 Proceso de saponificación

Una vez realizado la cuantificación de los ácidos grasos libres, se pesan 4 gr de NaOH y se disuelven en 100 ml de agua destilada; se agregan 10 gr de muestra (aceite crudo); se calienta en baño de arena a ciertos intervalos de tiempo y temperatura (90 °C/20 min; 80 °C/10 min; 75 °C/10 min) con agitación, finalmente se separa por decantación (en un embudo separador) para eliminar el jabón (esterato de sodio), lavar el aceite refinado 4 veces con agua destilada calentada a 45 °C con porciones de 100 ml de cada una de ellas.

3.4.2 Eliminación de humedad

La eliminación de la humedad se realizó mediante vacío utilizando un matraz kitazato. En un matraz Erlenmeyer de 500 ml donde se depositaron 100 gr de aceite refinado, y en un papel filtro contenido sulfato de sodio anhidro (15gr - 25 gr) para posteriormente ser colocado en un embudo Buchner.

3.5 ETAPA 5: Caracterización del producto final

3.5 1 Determinación de índice de peróxido

El índice de peróxido (IP) nos da el grado de calidad del aceite o que tan sensible es al proceso de enranciamiento al estar en contacto con la luz durante el periodo de almacenamiento.

En un matraz Erlenmeyer de 500 ml se disuelven 5 gr del lípido en 50 ml de ácido acético en cloroformo, se agrega 1 ml de solución saturada de yoduro de potasio y se agita con movimiento de rotación.

Después de 1 minuto, se añaden 100 ml de agua destilada y se titula el yodo liberado con una solución de tiosulfato de sodio 0.1 N, usando 4 ml. de almidón al 0.5 % como indicador.

Cálculos

$$IP = \frac{A N 1000 / 100}{M}$$

Donde

A = ml de tiosulfato de sodio gastado.

N = normalidad del tiosulfato de sodio.

M = gramos de muestra.

3.5.2 Espectrometría del aceite del piñoncillo

El espectro se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Coahuila empleando un Espectrómetro FT-IR Nicolet 550.

Se caracterizó una pequeña muestra del aceite antes y después del refinado, usando estándares de ácidos grasos puros para poder interpretar los resultados obtenidos.

4.1. ETAPA 1: Obtención y análisis de la semilla

4.1.1 Recolección de la materia prima

Una buena recolección y manejo de la materia prima permite obtener un producto final de buena calidad.

Es importante tomar en cuenta la humedad que posee el mismo, ya que es un factor relativamente importante para evitar el crecimiento de los hongos y favorecer la conservación de la misma por largos periodos de tiempo.

4.1.2 Análisis físico – químico del piñoncillo

El cuadro 6 muestra los datos de los valores promedios del análisis físico-químico de la semilla del piñoncillo:

Cuadro 6. Análisis físico-químico del piñoncillo (*Jatropha curcas*).

Determinación	Porcentaje (%)
Humedad	4.23
Materia seca total	95.76
Cenizas	2.62
Grasas	55.60
Proteínas	26.98
Fibra cruda	5.50

Haciendo énfasis con la investigación que se llevo acabo y lo que los diferentes investigadores que han estudiado este cultivo, se puede considerar como un elemento mas que presenta un amplio potencial agroindustrial, como lo cito (Makkar y Becker, 1999; Heller, 1996; Liberiano y col., 1988), quienes reportaron un 25 - 30% de proteína y 55-60% de lípidos. Apreciando la comparación de ambos resultados obtenidos, se puede mencionar que los granos de este arbusto poseen altos potenciales nutritivos, de tal manera que todos estos nutrientes pueden ser asimilados fácilmente por el consumidor, ya que presenta las características necesarias.

4.2 ETAPA 2: Extracción

Necesariamente se requiere de un acondicionamiento de la materia prima, para ser sometido a un proceso de extracción del aceite. Esto fue realizado manualmente, donde se seca la semilla y se tritura mediante un mortero con malla #10.

4.2.1 Análisis granulométrico

En la siguiente tabla se muestra el análisis granulométrico de 100 gr de harina del piñoncillo que fue triturado con una malla #10, después se somete a un tamiz por 3 minutos como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 7 Análisis granulométrico de la harina del piñoncillo.

No. Malla	W. ob. (gr.)	% Corr. Ajustado	% Lib.
25	67.6	71	29
40	27.8	29	0
50	0.4	0	0
65	0	0	0
85	0	0	0
100	0	0	0
140	0	0	0
200	0	0	0
270	0	0	0
325	0	0	0

- peso observado en gramos
- % corrección ajustado
- % liberado

Como se puede observar en el cuadro 7, la malla 25 y 40 son los que detuvieron mayor cantidad de harina representando casi el 70 % y con un 29 % de liberación.

4.2.2 Extracción por arrastre de vapor

En la aplicación de este método de extracción del aceite de la semilla del piñoncillo, los resultados estimados no fueron favorables para ello, ya que durante la extracción se observó solamente una mezcla de agua con poco aceite en el fondo del matraz. Pudiendo hacer mención que químicamente la materia prima presenta ácidos grasos de alto peso molecular y no pudieron ser arrastrados por el vapor inyectado. De tal manera que se busco otros métodos de extracción que sean mas eficientes para este caso.

4.2.3 Extracción con solvente

En esta segunda prueba de extracción a nivel laboratorio se utilizo hexano con una concentración de 150 ml con intervalos de tiempo 10, 15 y 20 horas, utilizando 5 gr de harina para cada extracción, de manera que estas pruebas se corrieron por duplicado.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar, para constatar, que no existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las extracciones, y obteniendo un coeficiente de variación (Cv) relativamente bajo de 4.83 %. El cuadro 8 muestra las medias obtenidas durante la obtención del aceite a diferentes intervalos de tiempo.

Cuadro 8. Rendimiento porcentual de aceites

Extraídos con diferentes intervalos de tiempo.

T. de contacto (hr)	Media	FC
Hexano, 10	55	0.07858136
Hexano, 15	56.06	0.07858136
Hexano, 20	55.48	0.07858136

Los resultados de la misma extracción se valoraron mediante una grafica de barras (fig. 4), así que esta misma demuestra que el tratamiento II (15 horas), fue con el que se extrajo mayor porcentaje de aceite (56.06 %) a comparación de los otros tiempos, como se muestran en la fig.4.

Realizando un énfasis para los tiempos que fueron expuestas las extracciones, de manera que esto es muy importante en cuanto a la eficiencia del rendimiento y así mostrar que a menor y mayor tiempo la eficiencia es menor que la que representa el valor intermedio.

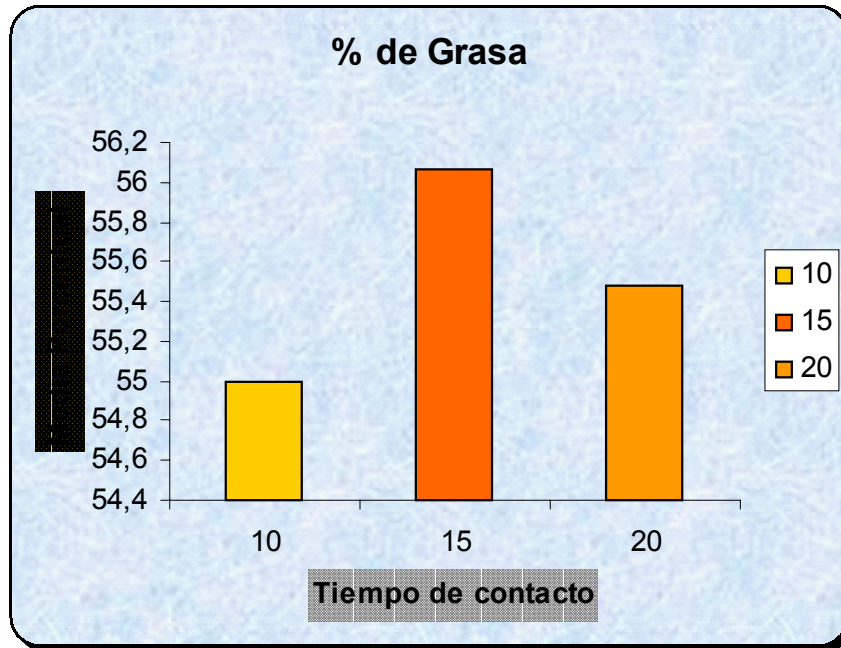


Fig. 4. Tiempo eficiente para la extracción.

4.2.4 Extracción a contracorriente o lixiviación

Se realizaron tres estudios de extracción a nivel laboratorio, estableciendo la relación soluto-solvente y el tiempo de contacto, tomando como base inicial 10 gr de harina para cada uno de los matraces (30 gr / experimento), misma que agotaría durante las extracciones mediante las relaciones establecidas.

Cuadro 9. Rendimiento obtenida a contracorriente o lixiviación

Experimento	Relación	Tiempo de contacto (min)	Harina inicial (gr)	Harina agotada (gr)	Media de la harina agot.	Aceite crudo (gr)	% de aceite	Media %
I	1:40	3.5	10	4.2	4.2	5.7	57	55
			10	4.0		5.7	57	
			10	4.4		5.1	51	
II	1:20	5	10	4.8	4.7	4.7	47	43
			10	5.0		5.1	51	
			10	4.7		3.7	37	
III	1:15	7.5	10	4.3	4.3	4.0	40	42
			10	4.2		4.3	43	
			10	4.4		4.5	45	

Como se aprecia, los valores de los rendimientos presentan diferencias altamente significativas para ambas extracciones, así mismo se puede apreciar en la misma tabla que el primer experimento expulso mayor porcentaje de aceite 55 %; 2^a un 43 %; 3^a 42.6 %. Haciendo mención en valor a los resultados, que el experimento I presenta los parámetros idóneos para este tipo de extracción en la figura 5.

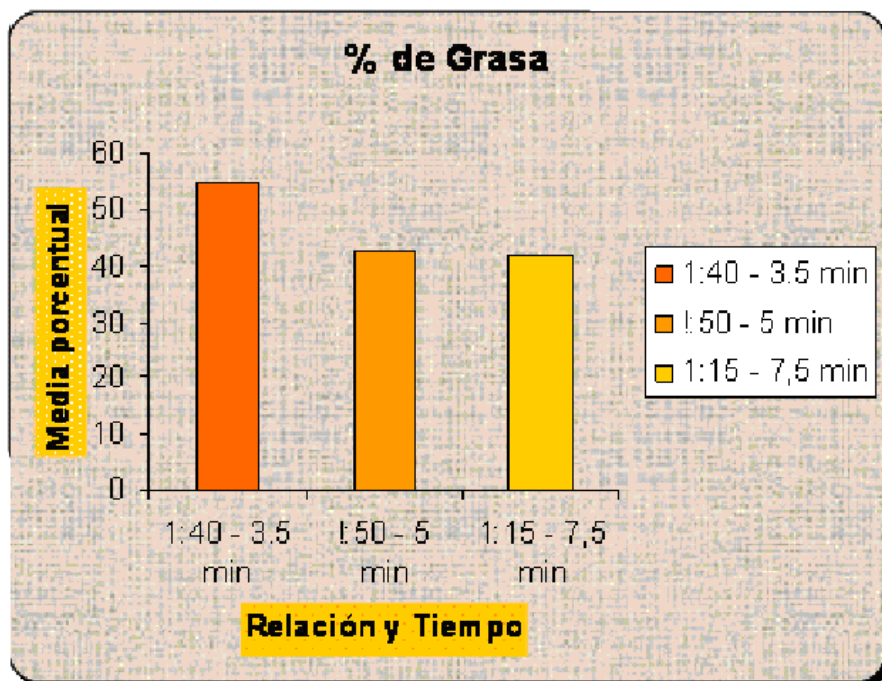


Fig. 5 Relaciones optimas de extracción.

Analizando los valores obtenidos, se dice que a menor concentración de soluto - solvente y a temperaturas elevadas por tiempos prolongados los rendimientos son menores debido a que el solvente es saturado rápidamente por el soluto.

4.2.5 Extracción a nivel planta piloto

De acuerdo a los resultados obtenidos a nivel laboratorio, se siguió con una nueva extracción, considerando la relación estipulada durante las pruebas de laboratorio, utilizando un rotavapor diferencial. Se contó con 2.4 kg de materia prima (MP), que para ello se utilizaron 12 lts de hexano para la extracción, el cual fue dividida en dos lotes (2.4 kg de MP – 6 lts de hexano).

Para esta extracción se considero una temperatura idónea de 60 °C con un tiempo de contacto de 15 minutos, y una vez obtenida la extracción, la miscella fue sometida a una destilación para separar el hexano del aceite crudo, y poder recuperar el hexano residual.

El aceite crudo final obtenido es de 1.003 kg, lo que representa un rendimiento de 41.79 %.

4.3 ETAPA 3: Caracterización física y química del aceite

4.3.1 Determinación de la densidad del aceite crudo y refinado

En la siguiente tabla se aprecia la densidad del aceite crudo y del refinado.

Cuadro 10. Densidad del aceite crudo y refinado

Aceite	Densidad (gr/ml)
Crudo	0.93
Refinado	0.88

En la tabla 9, se observa que la densidad del aceite crudo es mayor que la del aceite refinado, esto se debe a que el aceite crudo presenta mayor cantidad de impurezas que el refinado.

La densidad que presenta el aceite refinado es aceptable, ya que la mayoría de los aceites comestibles (aceite de colza) presentan una densidad parecida a la del piñoncillo.

4.3.2 Índice de acidez

El índice de acidez, expresado como ácido oleico, para el aceite crudo del piñoncillo es de 74.62%, lo que indica un alto contenido en ácido oleico.

4.3.3 Determinación del porcentaje de ácidos grasos libres por titulación

En la siguiente tabla se observa los valores de los ácidos grasos libres cuantificados durante la investigación.

Cuadro 11. Ácidos grasos libres presentes en el aceite del piñoncillo.

Ácido graso	Porcentaje
Ácido oleico	37.5
Ácido palmítico	34.0
Ácido láurico	26.6

Considerando a los valores, tenemos como resultado que el ácido oleico esta presente en mayor porcentaje en relación al ácido palmitico y láurico. El aceite de piñoncillo hoy en día puede formar parte primordial de la industria alimentaria por su alta concentración de ácido graso insaturado.

4.4. ETAPA 4: Refinado

La etapa de refinado de aceite, se realiza calculando la concentración necesaria de NaOH para la saponificación del aceite crudo, tomando como punto de partida el ácido oleico, ya que es el acido graso que representa mayor porcentaje en el mismo.

El refinado es realizado con el afán de eliminar las impurezas que pudieran impactar sabores, colores y olores desagradables en el producto terminado.

4.4.1 Proceso de saponificación

Se realizaron pruebas de saponificación con KOH y NaOH, ambos fueron bajo las misma condiciones (70 -75 °C / 10 minutos) dando como resultado idóneo la sosa para el proceso de saponificación, tomando en cuenta que los parámetros antes mencionados son muy importantes para el proceso.

Durante la extracción se obtuvo 1.003 kg de aceite sin procesar, dejando reposar por 2 días para que evaporara el poco solvente y se sedimentara las

finas partículas que quedaban en ella, dando como resultado final 0.965 kg después de haber separado el sedimento; se somete al proceso de saponificación utilizando solo 386 gr de NaOH.

4.4.2 Eliminación de la humedad

El aceite obtenido se filtro a vacío con un papel filtro y una capa de sulfato de sodio anhidro de 15 – 20 gr / 100 gr de aceite con un 82 % de rendimiento.

Al terminó del tratamiento, se obtuvo un aceite claro sin necesidad de ser sometido a una decoloración; pero mas sin embargo se pudo observar que el aceite se integro de dos fracciones (sólida – líquida).

Esto es necesario para eliminar las impurezas que se forman durante la extracción y que proporcionen sabores, colores y olores desagradables y que pueden deteriorar el producto final.

4.5. ETAPA 5: Caracterización del producto final

Después del refinado se obtuvo un rendimiento de 50 % de la fracción lípidica (la fase líquida representa un 25 % de esta, y un 25 % de la sólida), considerando que la otra parte esta integrada de impurezas.

4.5.1 Determinación de índice de peróxido

El producto final muestra un índice de peróxido de un 0.28 gr/ml, este se encuentra dentro de los valores normales establecidos por el Codex Alimentarius, el cual establece que un aceite refinado debe presentar el índice de peróxido no mas de 10 milieq/kg de grasa. Esto nos indica que el aceite del piñoncillo no es tan sensible a un proceso de enranciamiento.

4.5.2 Espectrometría del aceite del piñoncillo (IR)

El espectro se realizó para ambas fracciones (liquida, sólida), utilizando un Espectrómetro FT-IR Nicolet 550.

El cromatógrama de la figura 7 se puede observar el índice de refractómetro de la fase liquida (aceite vegetal), mientras que la figura 6 lo representa la sólida (grasa vegetal). Al observar ambas figuras podemos destacar que presentan altas discrepancias para cada concentración como los picos del IR.

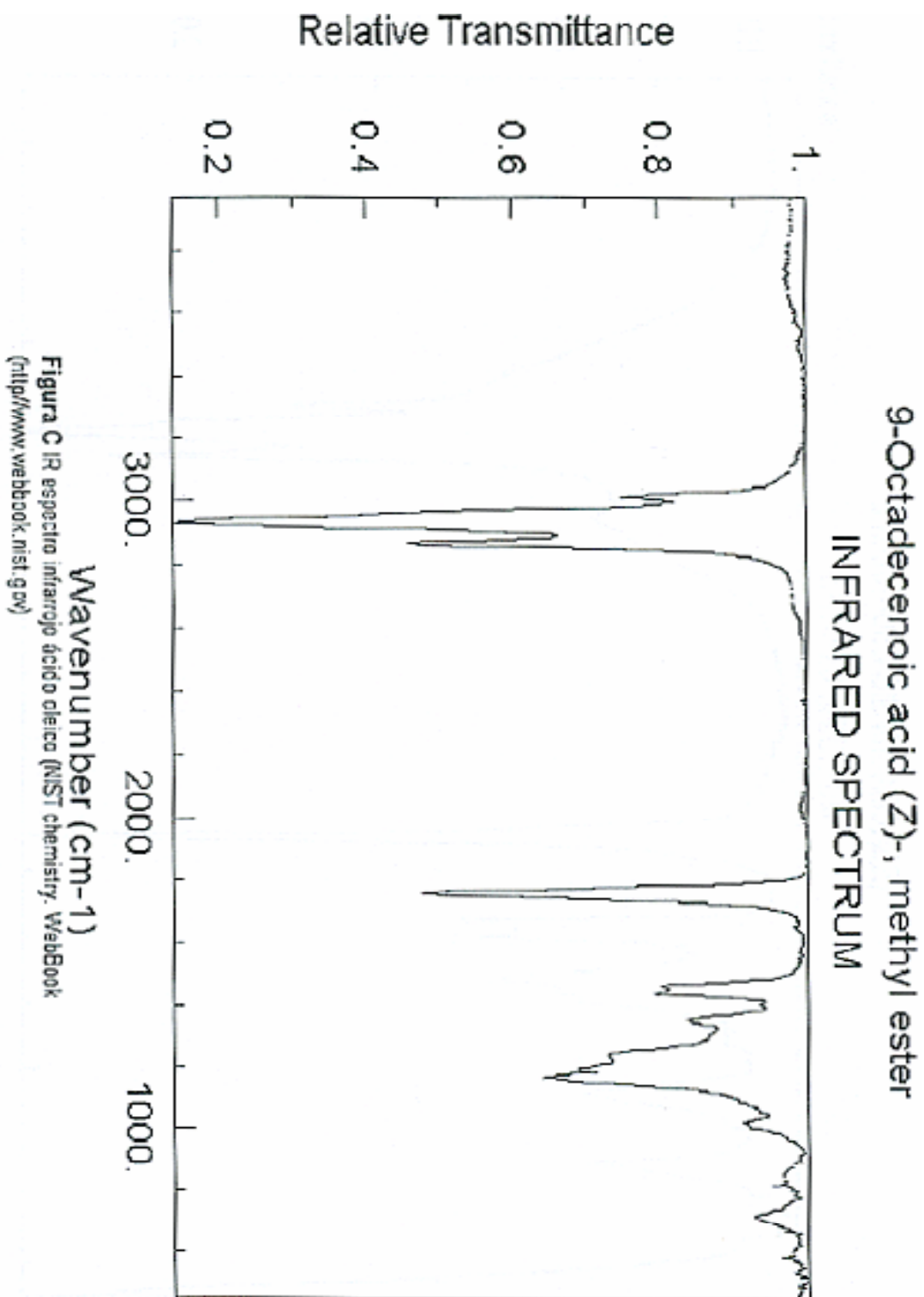


Figura 8. IR Espectro Infrarrojo. Estándar puro de Ácido oleico.

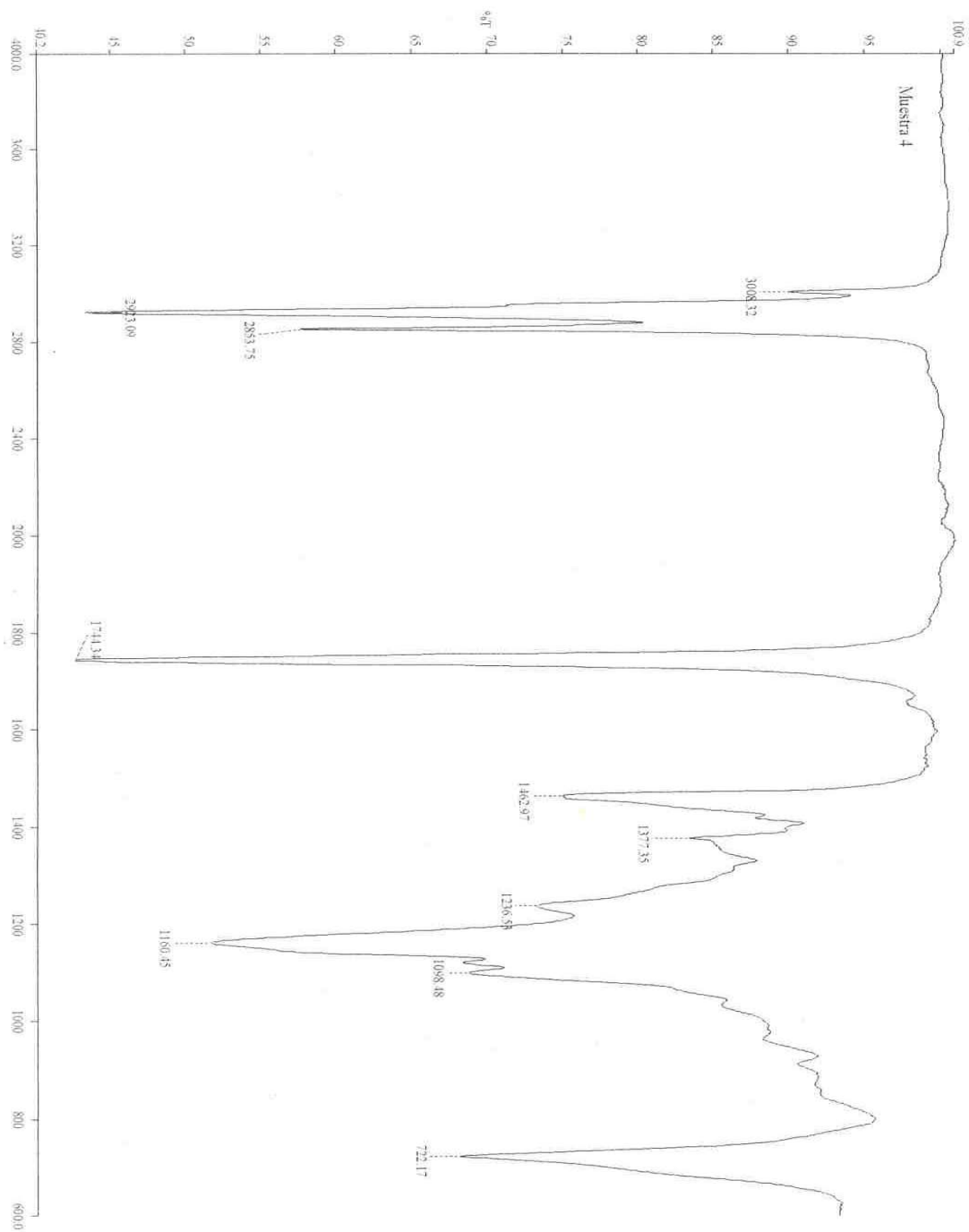


Fig. 7 Cromatograma de la fase líquida del aceite del piñoncillo (*Jatropha curcas*)

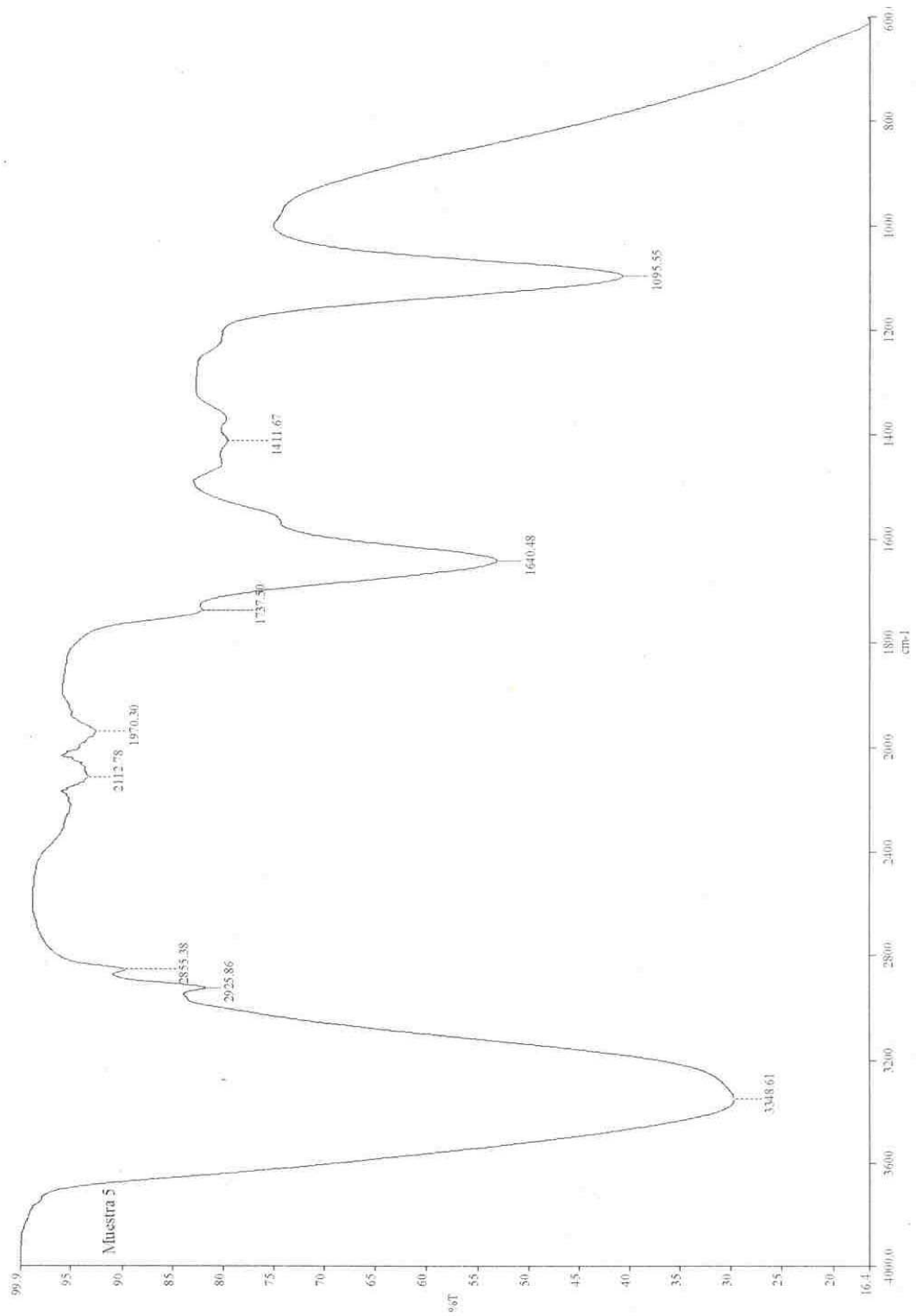


Fig. 8 Cromatograma de la fase sólida del aceite del piñoncillo (*Jatropha curcas*)

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

El secado de la semilla previo al sol, es importante para su conservación y evitar el deterioro de la misma, donde esta presenta muy poca humedad.

De los resultados obtenidos en este estudio se determina que método es el más adecuado para la extracción del aceite del piñoncillo el cual es a contracorriente o lixiviación, ya que tuvo mayor rendimiento comparando con los otros métodos.

El grosor de la harina, influye en el rendimiento del aceite, donde reportando que el tamaño óptimo de partícula para este tipo de semilla es la molida con una malla de descarga # 10, con una relación de soluto – solvente de 1:40 y un tiempo de 3.5 minutos a 60°C.

La fracción lipídica obtenida a partir de la semilla de piñoncillo presenta dos tipos de ácidos grasos en concentraciones, separándose en una fase líquida, ácidos grasos insaturado, y otra sólida, ácidos grasos saturados, por lo cual es posible la obtención de una grasa vegetal sin necesidad de procesos de hidrogenación.

La fracción líquida presenta un pico característico para esteres, por lo cual se puede citar que se trata de un triacilglicerido de cadena larga que guarda similitud con el ácido oleico.

Para la fase sólida se aprecia un pico característico para un grupo OH libre donde es posible citar que se trata de un di ó monoacilglicerido con ácidos grasos saturados.

En cuanto al refinado de la misma, se concluye que el NaOH al 4 %, es el adecuado, ya que se mayores rendimientos; así mismo se concluye que este aceite no necesita de una decoloración y blanqueo, ya que no presenta una alta pigmentación.

Con los resultados obtenidos de la presente investigación podemos concluir que la semilla presenta alto potencial para la extracción del aceite y puede ser rentable en base al rendimiento final obtenida.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de extracción de aceite mediante un proceso de prensado a presión.

Se recomienda realizar pruebas sensoriales. A fin de evaluar que tan aceptable es el aceite y la grasa vegetal del piñoncillo en la industria de las frituras y en la repostería.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A.O.A.C. 1980. METODOS OFICIALES DE ANALISIS. Association of Official Agriculture Chemists. Washington. D.C.U.S.A.

Anónimo 1. Food Fats and Oils. 1998. Institute of Shortening and Edible Oils.

Anónimo 2.

http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/jatropha_curcas.htm

Badui D. S. 1988. Química de los Alimentos. Primera Edición. Editorial Alhambra Mexicana.

Badui D. S. 1996. Química de los Alimentos. Tercera Edición. Editorial Alhambra Mexicana.

Bailey. A. E. 1945. Industrial Oils and Fat products. Interscience Publishers. Inc. New York.

Burton D. J. y Routh D. J. 1977 Química Orgánica y Bioquímica. Editorial Interamericana. 2ª Edición.

Cheftel Jean-Claude y Cheftel Henry. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de alimentos. Volumen I. Acribia, Zaragoza, España.

Codex Alimentarius. 1992. Vol. 8. 2ª Edición. Grasas y Aceites y Productos Derivados.

Cuadernos de Nutricion, México S.A. de C.V., 24 (1). Enero-Febrero 2001.

Desrosier N. W. 1986. Elementos de Tecnología de Alimentos. Continental, S. A. de C. V., México.

Fennema O. R. 1985. 2ª Edición. Química de los Alimentos. Acribia, Zaragoza, España.

Foidl, N. & P. Eder (1997): Agro-industrial exploitation of *Jatropha curcas*. In: G.M. Gübitz, M. Mittelbach & M. Trabi, Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. Dbv-Verlag, Graz: 88-91.

García R. M. 1990. Alimentación Humana. Ediciones Mundi-Prensa.

Gaydou, Menet L., Ravelojaona G., y Geneste P. 1982. Fuentes de energía vegetales en Madagascar: alcohol etílico y semillas oleaginosas (francesas). Oleagineux 37(3):135-141.

Hart F. L. y Fisher H. J. 1991. **Análisis Modernos de los Alimentos.** Acribia, Zaragoza, España.

http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.svlele.com/jatropha_plant.htm&prev=/search%3Fq%3Djatropha%2Bcurcas%26start%3D10%26hl%3Des%26lr%3D%26sa%3DN

Lawson H. 1999. **Aceites y Grasas Alimentarios.** Acribia, Zaragoza, España.

Madrid V. A. 1994. **Métodos Oficiales de Análisis de los Alimentos.** Edición Mundi-Prensa.

Madrid V. A. 1988. **Producción, Análisis y Control de Calidad de Aceites y Grasas Comestibles.** Editorial Madrid.

Morton, 1977; Poco et al., 1974; Salas, 1994; Schmook y Serrata, 1997.

Manual de las cosechas de energía inéditas.

http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Jatropha_curcas.html&prev=/search%3Fq%3Djatropha%2Bcurcas%26hl%3Des%26lr%3D

NIST (National Institute of Standards and Technology) Chemistry. Webbook. "<http://webbook.nist.gov/chemistry>."

Robinson D. S. 1991. Bioquímica y Valor Nutritivo de los Alimentos. Acribia, Zaragoza, España.

Robles, S. R. 1985. Producción de Oleaginosas y Textiles. Editorial Limusa. 2ª Edición. México.

Salas, 1994; Heller, 1996; Makkar y col., 1998; Liberiano, 1998; Becker, 1999; Martínez, 1994 - 2004. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos – IPN. El piñón (*Jatropha curcas*) una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial.
<http://hypatia.morelos.gob.mx/No12/pinon.html>

Thieme J. G. 1970. La Industria del Aceite de Coco. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación.

APÉNDICE

Proteína cruda

Método Kjeldhal

En un matraz Kjeldhal de 800 ml depositar un gramo de muestra; añadir 5 gr de catalizador (mezcla de selenio); adicionar 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y 6 perlas de vidrio; conectar al Kjeldhal (parte digestora); digerir hasta un color verde o azul cristalino (30 – 40 minutos) y enfriar. En un matraz Erlemeyer poner 50 ml de ácido bórico al 4 % (H_3BO_3) y agregar 5 gotas de indicador mixto (verde de bromocresol y rojo de metilo), en esta solución se recupera el producto de la destilación. Conectar en el Kjeldhal en al parte destiladora; en un matraz Kjeldhal donde se obtiene el producto de la digestión agregar 300 ml de agua destilada, 6 granallas de zinc y agregar 110 ml de hidróxido de sodio al 40 %. Conectar inmediatamente y recuperar 250 ml del destilado. Titular con ácido sulfúrico al 0.1015 N.

Los cálculos son estimados mediante las siguientes formulas:

$$\% N = \frac{\begin{array}{l} \text{ml gastados} \\ - \text{ ml. Blanco} \end{array} \cdot 0.1015 \cdot 0.014}{\text{Gramos de muestra}} \cdot 100$$

$$\% PC = (\%N) (6.25)$$

Cenizas

Método de calcinación.

Preincinerar en una parrilla (Kjeldhal) 2 gr de muestra seca, contenida en un crisol previamente sometido a peso constante. Colocar el crisol en la mufla por un periodo de 2 –3 hrs. Después de haber transcurrido el tiempo, sacar, enfriar y pesar el crisol.

Cálculos

$$\% C = \frac{\text{(peso del crisol con ceniza – peso del crisol solo)}}{\text{Gramos muestra}} * (100)$$

Materia seca

Sacar un crisol de la estufa 103 – 105 °C; enfriar en desecador con silica gel por 10 – 15 minutos (este a peso constante); pesar en una balanza analítica y registrar el peso del crisol; pesar 2 gr de muestra molida – seca, colocarlo en el crisol y someterlo a una estufa (103 – 105 °C) por 12hrs. Pasado el tiempo, enfriar el crisol en un desecador por 10 –15 minutos, pesar y registrar peso.

Cálculos

(peso del crisol con muestra seca – peso del crisol solo)

$$\% \text{ MST} = \frac{\text{_____}}{\text{Gramos muestra}} * 100$$

$$\% H = 100 - \% \text{ MST}$$

Extracto etéreo o grasa

Método de Soxhlet

Pesar 5 gr de muestra seca y molida sobre un papel filtro; doblar el papel con cuidado y pasarla a un cartucho de celulosa; colocarla en el cartucho con la muestra en un sifón soxhlet; sacar de la estufa un matraz bola boca esmeralda, enfriarla en un desecador por 15 minutos, pesar y registra el dato; agregar hexano hasta la marca; colocar el sifón, junto con el matraz al refrigerante, encender la manta, abrir la llave del agua, reflujar por 16 hrs. Al cumplir el tiempo, retirar el dedal con pinzas, recuperar el solvente, colocar el matraz en estufa por 12 hrs. Sacar, enfriar y pesar. El porcentaje de grasa se calcula mediante la siguiente formula:

Cálculos

(peso del matraz con grasa – peso del matraz solo)

$$\% \text{ grasa} = \frac{\text{_____}}{\text{Gramos de muestra}} * 100$$

Fibra cruda

Primera etapa

La determinación de la fibra cruda consiste en: Pesar 2 gr de muestra desengrasada; colocarla en un vaso de berzelius; agregar 100 ml de ácido sulfúrico al .225 N; colocar en el aparato digestor Labconco por 30 minutos con calor bajo (abrir la llave de agua); transcurriendo el tiempo, quitar el vaso y filtrar con tela de lino, lavar con agua caliente hasta quitar la reacción ácida.

Segunda etapa

Por medio de una espátula vaciar la muestra nuevamente al vaso de berzelius con 100 ml de hidróxido de sodio al 0.313 N; colocar en el aparato digestor Labconco por 30 minutos con calor bajo (abrir la llave de agua); lavar con agua caliente hasta quitar la reacción alcalina; retirar la fibra de la tela de lino y pasarla a un crisol; ponerla en la estufa (103 –105 °C) por 12 hrs.; sacar de la

estufa, enfriar en un desecador 15 minutos y pesar. Preincinerar y meter a la mufla 600 °C por 3 hrs., sacar, enfriar y pesar.

Cálculos

(peso del crisol con fibra seca – peso de crisol con ceniza)

$$\% \text{ FC} = \frac{\text{_____}}{\text{Gramos de muestra}} * 100$$

Densidad

En una balanza analítica se pesa una probeta de 10 ml, se agrega la muestra hasta la marca, se pesa la probeta con la muestra. La densidad es calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m}{V}$$

Donde:

m = peso del aceite

v = volumen del aceite

Índice de acidez

Se toma una muestra de 50 ml de alcohol etílico, colocarlo en un matraz Erlenmeyer, agregan 2 gotas de fenolftaleína, titular con una solución de NaOH al 0.1 N (leuco – bongamilia); una vez neutralizado se agrega 1 gr de aceite crudo del piñoncillo y mezclarlo con mismo, se calienta a ebullición por 20 minutos; se agrega 2 gotas de fenolftaleína y titularlo con NaOH al 0.1 N. hasta cambiar la tonalidad del titulado.