

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleifera*)

TESIS DE GRADO

**MAYLIN ZULEMA VALENCIA OSEIDA**

CARNET 10428-04

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*)  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**MAYLIN ZULEMA VALENCIA OSEIDA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADA

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
ING. WALTHER DAVID MAYÉN CABRERA

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
ING. PAMELA ANDREA ELIZABETH CAMARERO BARREDA DE QUIÑONEZ

Guatemala, 8 de octubre del 2018

**Señores**  
Consejo de Facultad  
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar

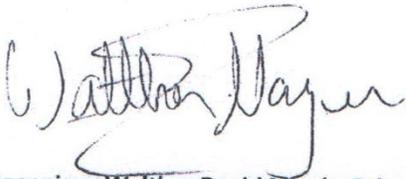
Señores:

Por este medio hago de su conocimiento que, de acuerdo con el nombramiento recaído en mi persona como asesor del trabajo de tesis titulado "**MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleifera Lam*)**" elaborado por la estudiante **MAYLIN ZULEMA VALENCIA OSEIDA** con número de carné 1042804.

Después de efectuada la revisión y solicitud de correcciones a la estudiante, considero que el contenido de la tesis se encuentra realizada conforme a los requerimientos y regulaciones descritos en el instructivo aprobado por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar.

Por lo anteriormente expuesto emito **DICTAMEN FAVORABLE** a efecto que a la estudiante **VALENCIA OSEIDA** continúe con los procedimientos y requisitos establecidos por la Universidad Rafael Landívar.

Atentamente,



**Ingeniero Walther David Mayén Cabrera**  
Asesor de Tesis designado



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 061038-2018

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante MAYLIN ZULEMA VALENCIA OSEIDA, Carnet 10428-04 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06190-2018 de fecha 8 de octubre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA SEMILLA DE MORINGA  
(*Moringa oleífera*)

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AGRÓNOMA CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 8 días del mes de octubre del año 2018.

  
\_\_\_\_\_  
**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO**  
**CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**  
Universidad Rafael Landívar



## AGRADECIMIENTOS

A Dios.

## DEDICATORIA

A todas las personas que me apoyaron en el camino para alcanzar mi meta.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	MARCO TEÓRICO.....	2
2.1	Descripción del cultivo .....	2
2.2	Taxonomía del cultivo .....	2
2.3	Clima.....	3
2.4	Toxicología .....	3
2.5	Suelos.....	3
2.6	Cultivo y propagación.....	4
2.7	Distancia de siembra .....	5
2.8	Riego.....	5
2.9	Fertilización .....	5
2.10	Podas.....	5
2.11	Floración y fructificación .....	6
2.12	Cosecha.....	6
2.13	Uso de la planta.....	7
2.14	Reproducción del cultivo y semillas .....	9
2.15	Semilla .....	9
2.16	Contenido de ácido grasos en la semilla .....	9
2.17	Variedad de Moringa PKM1.....	10
2.18	Aceites esenciales .....	10
2.19	Características de los aceites esenciales.....	11
2.20	Perfil de ácidos grasos.....	11
2.21	Estructura de los ácidos grasos.....	11
2.22	Cromatografía de ácidos grasos .....	12
2.23	Densidad.....	12
2.24	Teoría de la extracción de sólidos con disolventes .....	12
2.25	Extracción Soxhlet .....	13
2.25.1	Partes del aparato Soxhlet: .....	15
2.26	Arrastre de vapor.....	15
2.27	Ley de Dalton .....	16
2.28	Presión de vapor.....	17
2.29	Extracción por prensa o extrusión.....	17
2.29.1	Filtro prensa. ....	18
2.30	Solvente.....	19
2.31	Solventes a utilizar.....	19
2.31.1	Éter etílico .....	20
2.31.2	Composición química de los aceites esenciales naturales.....	21
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	22
4.	OBJETIVOS .....	23
4.1	General.....	23
4.2	Específicos .....	23
5.	HIPÓTESIS.....	23

5.1	Hipótesis Alterna .....	23
6.	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
6.1	Localización del trabajo .....	23
6.2	Material Experimental.....	23
6.3	Factores a estudiar .....	24
6.4	Descripción teórica de los tratamientos .....	24
6.5	Diseño experimental.....	26
6.6	Modelo estadístico.....	26
6.7	Unidad experimental .....	26
6.8	Croquis.....	26
6.9	Variables de respuesta.....	27
6.10	Análisis de la información.....	27
6.10.1	Análisis estadístico.....	27
6.11	Manejo del experimento .....	27
6.11.1	Extracción por método Soxhlet .....	27
6.11.2	Extracción por método arrastre de vapor.....	28
6.11.3	Extracción por método de prensa.....	29
7.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
7.1	Extracción Soxhlet.....	30
7.2	Extracción arrastre por vapor.....	30
7.3	Extracción prensa.....	31
7.4	Rendimientos de las extracciones .....	32
7.5	Densidad.....	33
7.6	Resultado de perfil de ácidos grasos.....	33
7.6.1	Ácido Hexadecanoico C:16:0 .....	34
7.6.2	Ácido Heptadecanoico C:17:0.....	34
7.6.3	Ácido Pentadecanoico C:15:0.....	34
7.6.4	Ácido Tridecanoico C:13:0.....	34
7.6.5	Ácido Octadecanoico C:18:0 .....	34
8.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
9.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
10.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>38</b>
11.	<b>ANEXOS.....</b>	<b>41</b>
11.1	Materia prima .....	41
11.2	Extracción Soxhlet.....	43
11.3	Extracción arrastre por vapor.....	47
11.4	Extracción prensa.....	51
11.5	Resultados estadísticos.....	52
11.6	Proceso de cálculo de densidad.....	53
11.7	Resultados análisis de ácidos grasos de las muestras .....	55
11.8	Recibo de análisis .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de <i>Moringa oleífera Lam</i> .....	2
Tabla 2. Contenido en semilla de ácidos grasos y grasas .....	9
Tabla 3. Descripción del procedimiento de cada método utilizado para la extracción del aceite esencial de la semilla de <i>Moringa oleífera Lam</i> . .....	24
Tabla 4. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción Soxhlet .....	30
Tabla 5. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción de arrastre de vapor	31
Tabla 6. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción de prensa .....	31
Tabla 7. Descripción de variables de respuesta, rendimiento promedio y densidad.....	33
Tabla 8. Perfil de ácidos grasos presentes en el informe de laboratorio, derivado de las tres extracciones del aceite esencial de la semilla de <i>Moringa oleífera Lam</i> . .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes y usos del cultivo de <i>Moringa oleífera Lam</i> .....	8
Figura 2. Aparato Soxhlet .....	14
Figura 3. Equipo de laboratorio para destilación por arrastre de vapor. ....	16
Figura 4. Prensa hidráulica .....	18
Figura 5. Distribución de unidades experimentales diseño experimental completamente al azar	27
Figura 6. Diagrama de rendimientos .....	32

# MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA SEMILLA DE MORINGA

(*Moringa oleífera Lam*)

## Resumen

El interés en el cultivo de la moringa, se basó en la evaluación del método más efectivo para la transformación de la semilla de Moringa en aceite esencial, ya que aún no existe un método estandarizado y establecido que determine la efectividad de una extracción de aceite. Se utilizaron tres métodos para la obtención del aceite esencial; extracción por Soxhlet, arrastre de vapor y prensa manual. La extracción Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente usada para la determinación del contenido graso en una muestra, en este caso el de la semilla. Una de las ventajas de éste método es su efectividad y buen rendimiento en un alto porcentaje ya que no es necesaria una filtración luego del procedimiento, aunque se debe esperar la evaporación del éter etílico utilizado como solvente para la concentración del aceite que se obtiene ya en la etapa final. Resulta un alto porcentaje en rendimiento comparado con los otros métodos que se estudiaron. El método de arrastre de vapor permitió la separación de sustancias insolubles en agua y ligeramente volátiles de otros compuestos dentro de la solución debido a que los aceites esenciales están constituidos por terpenoides y fenilpropanoides, compuestos volátiles, los cuáles, utilizando el método de arrastre por vapor, fueron fáciles de separar para la obtención del aceite esencial. Se obtuvo resultados favorables a pesar del largo tiempo que toma, alrededor del doble de tiempo con unas 16 a 18 horas en su proceso. El método de prensa mecánica, se utiliza para obtener los aceites esenciales de cáscaras, cortezas o materiales duros como las semillas, nuestro caso. Este proceso transforma la energía mecánica en energía térmica. Se determinó que este proceso es el menos efectivo debido a los resultados de su rendimiento comparado con los anteriores, debido a la baja cantidad de aceite obtenido en cada una de las extracciones. Por lo tanto, se determinó que el mejor método para extraer aceite esencial de la semilla de Moringa es la extracción por método Soxhlet.

# 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de moringa es originario de la India y se ha propagado a lo largo de muchos países. En Guatemala fue introducido desde el siglo pasado, y no se posee mucha literatura de investigación referente a la especie que crece en ésta región. Los departamentos donde se cultiva el árbol de *Moringa oleifera Lam* como tal es muy poca, sin embargo, se conoce que se cultiva en San Marcos, Santa Rosa, Suchitepéquez en suelos de clima cálido.

Los aceites esenciales pueden ser utilizados para diversos usos entre ellos, antibióticos, antiinflamatorios, antisépticos, relajantes, regeneradores celulares, activadores de la circulación sanguínea y linfática, como ingrediente activo de algunos biocombustibles, en el área de la cosmetología etc. El aceite extraído de la semilla de moringa, es rico en vitamina C y hierro. Una semilla contiene 220 mg/100 g de vitamina C, aminoácidos y proteínas (6,7 %). (Folkard, 1997).

El aceite de la semilla tiene un rendimiento de 25 a 30%, es transparente, sabor ligeramente dulce, densidad de 0.899 a 0.912 g/ml, índice de refracción 1.4652; la extracción en frío da menor rendimiento, pero mejor calidad; la extracción en caliente da más rendimiento, pero menor calidad; es un aceite que no se enrancia fácilmente. (Cáceres, 1996).

Considerando que en la actualidad no existe información de un método eficaz para la obtención de aceites esenciales de la semilla de moringa, se realizó el estudio con tres métodos los cuales fueron, extracción de Soxhlet, arrastre por vapor y prensa manual.

Se evaluó los tres procedimientos para determinar la efectividad de cada uno de ellos e identificar cuál tiene mejor rendimiento para la extracción de aceite esencial de la semilla de moringa. En base al análisis obtenido se determinó que el método más efectivo es el Soxhlet. El cual constó de 10 corridas de 16 horas cada una, con un rendimiento promedio de 55.10%.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descripción del cultivo

Es un árbol originario del sur del Himalaya, Nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. Se encuentra diseminado en una gran parte del planeta. En América Central fue introducido en los años 1920 como planta ornamental y para cercas vivas, se encuentra en áreas desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm. Se puede reproducir por estacas o semillas. El árbol alcanza de 7 a 12 m de altura y de 20 a 40 cm de diámetro, con una copa abierta, tipo paraguas, fuste generalmente recto. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de estos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. En los folíolos tenemos láminas foliares ovaladas de 200 mm de área foliar organizadas frontalmente entre ellas en grupos de 5 a 6. Las hojas compuestas son alternas tripinadas con una longitud total de 30 a 70 cm. Flores bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos, perfumadas. Frutos en cápsulas trilobuladas, dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud. Contienen de 12 a 25 semillas por fruto. Las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas. Cada árbol puede producir de 15000 a 25000 semillas por año. El árbol de *Moringa oleífera Lam*, posee un alto contenido de proteínas en sus hojas, ramas y tallos. Sus frutos y flores contienen vitaminas A, B y C y proteínas. Las semillas tienen entre 30 y 42% de aceite y su torta contiene un 60% de proteína. (Foild, 1998).

### 2.2 Taxonomía del cultivo

El cultivo de *Moringa oleífera Lam* con nombre genérico que deriva de la lengua malayo Muringa, se le denomina también Marango, y el término que acompaña su nombre, oleífera significa: “que produce aceite” y usa la siguiente clasificación taxonómica descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de *Moringa oleífera Lam*

Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Subclase	Dilleniidae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Capparidales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleífera</i>

Nombre Científico	<i>Moringa oleífera Lam</i>
(Lanmark, 1783)	

### 2.3 Clima

La moringa vive en climas con una amplia gama de temperaturas, siempre que su media anual sea superior a los 18,7 °C. Su óptimo de crecimiento se encuentra entre los 25 y 35 °C. Sensible a los fríos, pierde las hojas en invierno y soporta mal las heladas. Si estas se producen, deben ser ligeras y puntuales (hasta -3 °C); en este caso, la parte aérea muere pero rebrota con vigor con la llegada de la primavera. Las temperaturas inferiores a -4 °C, que se dan en las “zonas de rusticidad” 9a o inferiores, son letales para la planta. En cuanto a la temperatura máxima, esta puede llegar a los 48 °C. En esos climas, el árbol y flor de *Moringa oleífera Lam* prospera en un amplio rango de precipitaciones (300 a 3.000 mm/año), estando su óptimo entre los 500 y 1.500 mm. Resistente a la sequía, puede perder las hojas si esta se alarga. En climas tropicales, resiste hasta 6 meses de sequía, si bien necesita un aporte de riego periódico durante el primer verano. En climas tropicales, su cota no suele sobrepasar los 1.200 m de altitud. Estando su óptimo en el entorno de los 600 m. (Godino, 2016).

### 2.4 Toxicología

La planta se considera segura por pruebas toxicológicas en varias especies de animales, tanto por administración oral como intravenosa. Los cotiledones son tóxicos para los peces y protozoos, por inhibición de la acetilcolinesterasa, aunque sin riesgo para la salud humana en las concentraciones usadas. Estudios sobre la toxicidad crónica de las semillas no demuestran alteraciones histológicas en 28 órganos examinados. La DL50 de pterigospermina por vía oral en ratón es 400 mg/kg; en dosis mayores los animales mueren por paro respiratorio; la DL50 de espiroquina por vía intravenosa en ratón es 350 mg/kg (Cáceres, 1996).

### 2.5 Suelos

La Moringa tolera un amplio rango de condiciones climáticas y de suelo. Crece en lugares con precipitación que varía desde 250 hasta 3,000 mm de lluvia. La planta puede desarrollarse muy bien en condiciones de mucha precipitación que oscila entre 3,500 a 4,000 mm anuales, en alturas de hasta 1,110 msnm. La planta se adapta a suelos duros o pesados, suelos con poca capacidad de

retención de humedad y hasta en aquellos que presentan poca actividad biológica. En términos generales, el terreno donde se planta debe poseer un buen drenaje ya que esta planta no soporta el encharcamiento. Cuando la planta encuentra condiciones óptimas de humedad y nutrientes puede crecer hasta más de tres metros en nueve meses (este es el caso de las condiciones que se observaron en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla) (CONCYT, 2008).

Crece en altitudes de hasta aproximadamente 1,400 m en aluviones arenosos. Estos suelos tienen por lo general un buen drenaje y tienen a menudo poca materia orgánica. Mientras que el suelo superficial puede ser muy seco durante varios meses al año, el nivel de agua subterránea se encuentra por lo general dentro de la zona de profundidad máxima de sus raíces (Flores y Duarte, 2004).

La Moringa requiere de suelos francos-francos arcillosos, no tolera suelos arcillosos o vertisoles, ni suelos con mal drenaje. La alta productividad implica una alta extracción de nutrientes del suelo por lo que su cultivo intensivo debe ser contemplado la fertilización. Se realizó un ensayo de cultivo a una altura de 1200 msnm, las semillas germinan, pero su crecimiento es muy lento (Foidl, 1998).

## **2.6 Cultivo y propagación**

Es una planta de rápido crecimiento y fácil de propagar, tanto por semilla como por material vegetativo. Las semillas se seleccionan tomando en cuenta tres variables importantes, según la experiencia de los agricultores en el campo. Durante el mes de agosto se puede empezar a identificar los mejores árboles productores de semilla, según el desarrollo y abundancia de flores. La época de producción de la semilla es a partir de octubre cuando empieza a madurar, prologándose hasta el mes de abril del siguiente año. La siembra directa en campo definitivo, se recomienda siempre y cuando existan condiciones para el control de insectos y la disponibilidad de la semilla sea abundante (50% más de la que se necesite), esto para compensar las pérdidas que puedan existir (CONCYT, 2008).

## **2.7 Distancia de siembra**

El distanciamiento de los árboles depende de los propósitos de la plantación, para el objetivo de producción de semilla se debe sembrar a una distancia de 3 a 5 metros, pues ésta permitirá el desarrollo normal del follaje, sin interferencia entre los extremos de las ramas (Falasca, 2008).

## **2.8 Riego**

Durante el trasplante es necesario mantener los riegos dos a tres veces por semana, dependiendo de las condiciones de lluvia en el lugar. La planta no demanda demasiado riego (1.5 litros/riego). Cuando se presenta amarillamiento de hojas viejas o bajas en la planta son señales de estrés hídrico (CONCYT, 2008).

## **2.9 Fertilización**

El árbol crece sin necesidad de fertilizantes. Sin embargo, se recomienda la aplicación de fuentes nitrogenadas para favorecer la formación de la proteína, que es el potencial de esta planta. En India han demostrado que una aplicación de 7.5 kg de estiércol más 0.37 kg de sulfato de amonio por árbol permite triplicar el rendimiento de vainas (CONCYT, 2008).

## **2.10 Podas**

Los árboles mayores de tres años, pueden podarse a una altura de un metro o a la altura del cerco que está protegiendo, aproximadamente 1.5 metros. El árbol se recupera a los dos o tres meses en época de lluvia y vuelve a producir flores y vainas en un año, aunque no tan abundantes. Se calcula que un árbol joven produce de 400 a 600 vainas y un árbol maduro puede producir hasta 1600 vainas. Si el objetivo es obtener rebrotes o renovar el árbol puede realizarse una poda severa a una altura de 30 a 50 cm. El árbol tiende a crecer recto, de manera determinada. Siendo así, se recomienda la poda para estimular la ramificación a partir de una altura de 1.5 metros sobre el suelo. Esto permite que el árbol pueda producir muchas hojas y vainas fáciles de cortar o manejar (CONCYT, 2008).

## 2.11 Floración y fructificación

Existen grandes variaciones en la fenología del florecimiento de acuerdo a la variedad y el sitio en donde crece. La Moringa puede florecer sólo una vez al año entre los meses de abril y junio en regiones con temporadas frías, como el norte de la India; puede también florear dos veces al año al sur de la India, o durante todo el año en lugares con temperaturas y precipitación anuales más constantes. (Parrotta, 2009).

Son flores bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos, perfumadas. Frutos en cápsulas trilobuladas, dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud. Contienen de 12 a 25 semillas por fruto. Las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas. Cada árbol puede producir de 15000 a 25000 semillas por año. El árbol de *Moringa oleífera Lam*, posee un alto contenido de proteínas en sus 15 hojas, ramas y tallos. Sus frutos y flores contienen vitaminas A, B, C y proteínas. Las semillas tienen entre 30 y 42% de aceite y su torta contiene un 60% de proteína. (Foidl, 1998).

## 2.12 Cosecha

La Moringa florea y fructifica siempre que tenga humedad disponible. Si las lluvias son continuas a lo largo del invierno, el rendimiento será constante y la floración puede marcarse dos veces. En condiciones de aridez puede inducirse la floración por medio de riegos. En ocasiones, es necesario podar algunas ramas para evitar el desgaje, por exceso de producción de vainas. (Falasca, 2008).

Cuando se produce semilla para la reproducción, las vainas deben dejarse secar en el árbol hasta que se pongan color café. La cosecha debe realizarse antes de que las vainas se abran y caigan las semillas. Son de color pardo oscuro, globulares y de aproximadamente 1 cm de diámetro, con tres alas con una consistencia papirácea. Aparentemente existen variaciones en los pesos de las semillas de acuerdo a la variedad, desde 3,000 a 9,000 semillas por kilogramo (Parrotta, 2009).

El corte de los rebrotes se realiza en intervalos entre 35 y 45 días, estos en función de las condiciones de manejo del cultivo, pueden llegar a tener una altura de 1.20- 1.5 m. El material cortado, tallos, ramas y hojas se pica y se suministra a los animales. Se ha llegado a ofrecer hasta 27 kg de material fresco/animal/día. (Foidl, 1998).

Los costales con la semilla deben guardarse en lugares ventilados y secos bajo sombra. Durante el proceso de cosecha debe evitarse el jaloneo de las vainas, pues esto desgaja las ramas. Debe tenerse presente que la madera es frágil, poco densa, por lo que es quebradiza (durante la cosecha evitar subirse al árbol o sostenerse en las ramas de menor diámetro) (CONCYT, 2008).

### **2.13 Uso de la planta**

Desde el punto de vista forestal, tiene capacidad para prosperar en terrenos baldíos y proporcionar una cobertura arbórea rápida, lo que podría ser una alternativa para muchos proyectos de reforestación en zonas secas. Probablemente, también sea un buen cultivo asociado para especies de crecimiento más lento que con el tiempo dominarán el sitio. Por su raíz pivotante y profunda y su copa rala, es susceptible de ser utilizada en los sistemas silvopastoriles. La moringa se ha destacado dentro de un grupo de árboles no leguminosos como planta promisoría para los sistemas mixtos de corte y acarreo, así como en la formación de barreras cortavientos y cercas vivas por su resistencia a la sequía, el control de la erosión y su capacidad para vegetar en suelos degradados. Por sus virtudes alimenticias, culinarias y medicinales, la moringa se cultiva en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo: en el sureste asiático y la India, el consumo de moringa es tradicional; en África, las ONG lo están promocionando desde la década de los 90, ya que permite alimentar a bajo costo, con rapidez y eficacia a gran número de personas; y en América, su cultivo está empezando a dejar de ser desconocido. En la actualidad es una especie prácticamente desconocida en la Península. Su uso como alimento está recogido en el Codex Alimentario español y en Europa está considerado como un alimento no nuevo. (Godino, 2016).

Su composición nutricional en vitaminas, aminoácidos, micronutrientes es atípica en una planta. Suele decirse que las hojas frescas de moringa tienen siete veces más vitamina C que las naranjas, cuatro veces más vitamina A que la zanahoria, cuatro veces más calcio que la leche, tres veces más potasio que los plátanos y 0,75 veces el hierro de la espinaca. Como fuente de proteínas, las hojas pueden superar el 30 %. Las hojas, por su buen sabor y su alto valor nutritivo (más del 27 % de proteínas, 18 de los 20 aminoácidos y con todos los aminoácidos esenciales, minerales, beta carotenos, riboflavinas y vitaminas A, B y C), se consumen frescas, en forma de ensalada o en guisos; o secas, añadiéndola a los guisos como una especia más o, como complementos nutricionales, en cápsulas o en infusiones. Su uso medicinal está recogido en libros de farmacia y medicina antiguos. Su consumo ayuda a mejorar muchos problemas derivados de la mala

alimentación (diabetes, tensión alta, colesterol, artritis, etc.). Sus vainas, largas, también son comestibles cuando están tiernas, pero deben ser de las variedades verdes pues las moradas son muy fibrosas. Cocidas o a la plancha, cuando están tiernas, tienen un sabor semejante al de los espárragos. Las vainas maduras, peladas, se utilizan en guisos. Sus flores también son comestibles lo mismo que las raíces. En la piel de las raíces y en la corteza se encuentra la moringinina, alcaloide que puede ser abortivo, por lo que es importante pelar las raíces antes de su consumo. Las semillas, son comestibles aunque amargas, son oleaginosas y contienen entre 33 y 41 % de un aceite de calidad. También contienen polielectrolitos, que la confieren una capacidad floculante natural. Estos polielectrolitos se mantienen en la torta después de haber prensado las semillas. Otros usos de la torta resultante son como alimento para el ganado y como abono rico en nitrógeno. (Godino, 2016).

Los usos de la *Moringa oleifera* pueden ser alimentarios, industriales, medicinales y agrícolas como en la distribución en la figura 1.

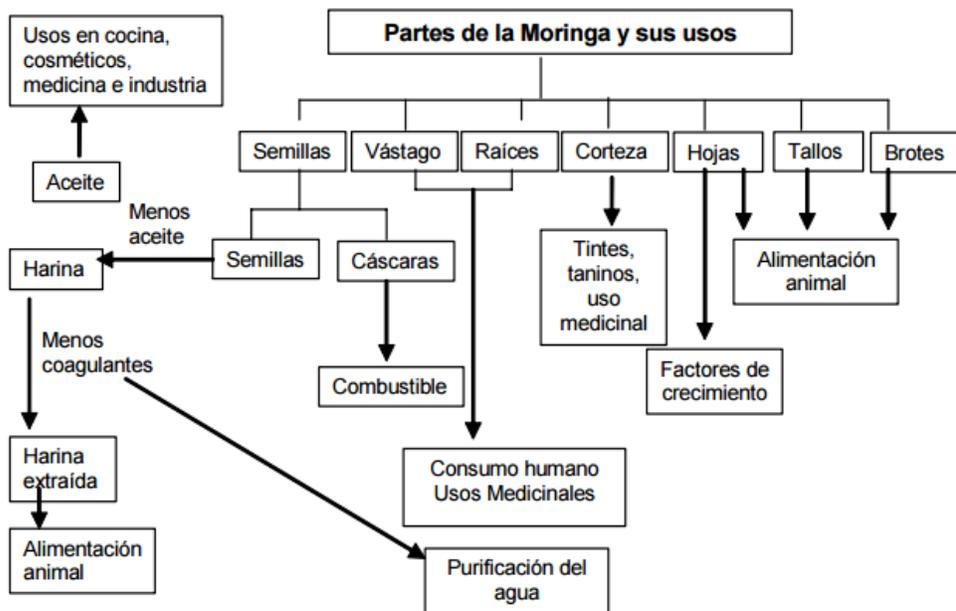


Figura 1. Partes y usos del cultivo de *Moringa oleifera* Lam, (Foidl, 2001).

## 2.14 Reproducción del cultivo y semillas

Se puede reproducir por estacas o semillas. En la propagación por estacas estas deben tener un mínimo de 2,5 cm de grosor (en la India se recomiendan mayores de 4 cm) y una longitud superior a 30 cm; y a ser posible, deberán regarse diariamente hasta su arraigo. Los árboles procedentes de esqueje tienen un mayor crecimiento y empiezan antes a producir vainas, pero su sistema radical se desarrolla menos, haciéndole más sensible al estrés hídrico y al vuelco por viento. (Godino, 2016).

## 2.15 Semilla

Las semillas de la moringa son carnosas, de color pardo oscuro, globulares y de aproximadamente 1cm diámetro, con tres alas y una consistencia papirácea; su endospermo es blanquecino y muy oleaginoso. Aparentemente existen variaciones en los pesos de las semillas de acuerdo con la variedad, desde 3,000 a 9,000 semillas por kilogramo. Cada árbol puede producir de 15000 a 25000 semillas por año. Las vainas maduras con semillas permanecen en el árbol por varios meses antes de partirse y de liberarlas, las cuales son dispersadas por el viento, agua y probablemente animales. (Cáceres, 1996).

## 2.16 Contenido de ácido grasos en la semilla

El contenido presente en la semilla de Moringa oleífera Lam, refleja diferentes tipos de ácidos que según el número de cadenas de carbonos presentes reciben una clasificación específica, así como tipos de grasas detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Contenido en semilla de ácidos grasos y grasas

Parámetro	Valor
Agua	0
Glúcidos	0
Proteínas	0
Fibras	0
Grasas, de las cuales	100
Grasas saturadas: (ácidos grasos saturados)	20.8
Ácido mirístico (C14:0)	0.1
Ácido palmítico (C16:0)	6.2
Ácido palmitoleico (C16:1)	1.1
Ácido esteárico (C18:0)	4.8
Ácido behénico (C22:0)	6.2

Ácido araquídico (C20:0)	3.5
Grasas insaturadas, de las cuales: (ácidos grasos insaturados)	78.6
Grasas monoinsaturadas: (ácidos grasos monoinsaturados)	77.1
Ácido oleico(C18:1)	74.4
Ácido gadoleico(C20:1)	1.6
Grasas poliinsaturadas: (ácidos grasos poliinsaturados)	1.5
Ácido linoleico, omega 6 (C18:2)	1.2
Ácido linoleico, omega 3 (C18:3)	0.3

---

(Rahman, 2009)

### 2.17 Variedad de Moringa PKM1

Es una variedad superior de línea pura programada para garantizar plantas de alta productividad. Se puede cultivar en diferentes tipos de suelos con buen drenaje. Las semillas PKM1 incorporan rasgos beneficiosos y se desarrolla a través de la selección de línea pura. Es por eso que es líder mundial en la plantación a gran escala, para la producción de fruta y aceite de calidad. Usted puede comprar semillas de moringa a precios competitivos de nosotros mientras procesamos sus pedidos en el tiempo mínimo. (González, 2014).

Es una de las variedades híbridas de moringa para dar un rendimiento más alto en comparación con otros. La longitud de cada vaina es 45-75 cm. Cada planta produce 300-400 palos. (González, 2014).

### 2.18 Aceites esenciales

El origen de los aceites esenciales fue en oriente, específicamente en Egipto, Persia y la India luego se dieron a conocer en occidente donde en el año 485 a.C. ya se conocía el aceite de trementina el cual es uno de los más antiguos. En los tejidos vegetales encontramos sustancias llamadas aceites esenciales, cada uno de los diferentes aceites esenciales contienen propiedades específicas de la planta de donde son obtenidos. (Gunther,1948).

Un aceite esencial es un aceite volátil que se obtiene por medio de la destilación por vapor de la planta. Los aceites esenciales son los compuestos odoríferos de las mismas y se pueden aislar, se volatilizan con vapor, pero son poco solubles en agua; se evaporan a diferentes velocidades bajo presión atmosférica ordinaria y a una temperatura ambiente promedio de 24 °C. (Gunther,1948).

En Guatemala la industria de los aceites esenciales principió durante la segunda guerra mundial, época en la cual los Estados Unidos tenía que abastecerse en América, ya que prácticamente resultaba difícil el comercio entre los países del lejano oriente.

### **2.19 Características de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales se caracterizan por ser uniformes en sabor, en cuanto a origen de la materia prima, el cual es muy intenso, están libres de enzimas, taninos, bacterias y suciedad, razón por la cual las plantas que contienen aceites esenciales combaten los agentes patógenos, a las bacterias y posiblemente a los virus. Los aceites esenciales no son constituyentes de humedad, ni aporta color significativo al producto final, que sería en este caso las especies. Otra de las características de los aceites esenciales es que bajo condiciones normales de almacenamiento se mantienen estables. (Martínez, 2003).

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos. En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable como por ejemplo los del ajo y la cebolla, los cuales contienen compuestos azufrados. (Martínez, 2003).

### **2.20 Perfil de ácidos grasos**

Es un término que hace referencia a una medida, la cual nos indica el grado de falta de transparencia de un líquido, debido en gran medida, a la presencia de partículas que se encuentren en suspensión en dicho líquido. Así, cuanto mayor sea la cantidad de sólidos en suspensión presentes en un agua, mayor será la sensación de suciedad de esta, por lo tanto, mayor será la turbidez. (Andrade, 2014).

### **2.21 Estructura de los ácidos grasos**

Las grasas y aceites comestibles están formados por triglicéridos, compuestos de una molécula de glicerol enlazada a tres moléculas de ácidos grasos que pueden variar dentro de cada triglicérido o entre varios de ellos. Estos ácidos grasos están constituidos por una cadena larga de hidrocarburo con un grupo carboxilo (-COO-) al extremo, y esta cadena larga puede contener enlaces dobles (insaturados) entre carbonos. El número de carbonos por ácido graso es par en la mayoría de los

casos y salvo pocas excepciones los enlaces dobles son cis, es decir, la cadena continúa hacia el mismo lado en los dos carbonos del doble enlace. La nomenclatura omega-x designa el carbono del primer enlace doble a partir del extremo contrario al grupo carboxilo. (Andrade, 2014).

## **2.22 Cromatografía de ácidos grasos**

Es una técnica de separación. Es una herramienta fundamental para determinar la calidad de materias primas. Debido a la complejidad de la estructura de los ácidos grasos y a la dificultad de determinar exactamente la composición de una grasa mediante los análisis tradicionales, la cromatografía de gases se ha convertido en una herramienta indispensable para establecer el perfil de ácidos grasos. (Andrade, 2014).

## **2.23 Densidad**

Es la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

La densidad de las grasas sólidas o líquidas es bastante constante para los diferentes tipos de triglicéridos, pero la diferencia es grande entre el estado sólido y líquido. Este cambio de volumen es el que se utiliza para determinar el contenido de sólidos en las grasas parcialmente fundidas. La densidad aumenta a medida que disminuye el PM del ácido graso y el grado de insaturación. (Chang, 1999).

## **2.24 Teoría de la extracción de sólidos con disolventes**

Según Perry y Green (1997), al estudiar los principios físicos por los que se rige la transferencia de un soluto líquido o sólido desde los sólidos inertes con los cuales está asociado al medio líquido que le rodea, en el cual se disuelve, hay que tener en cuenta las diferentes maneras en que el soluto puede ser retenido por los sólidos.

La manera de estar el soluto físicamente combinado con los sólidos depende del origen o la naturaleza de los materiales y de su tratamiento mecánico o químico antes de la extracción con disolvente o durante su preparación para la misma. La manera de estar el soluto distribuido en los sólidos es el factor determinante en la accesibilidad del disolvente al soluto para la extracción, la facilidad con que se produce la transferencia del soluto y las leyes físicas por las que se rige esa

transferencia. Sólo en algunos casos poco prácticos se ha comprendido suficientemente la estructura de los sólidos y la distribución del soluto para un análisis válido de los principios en que se basa la transferencia de los solutos.

## 2.25 Extracción Soxhlet

Es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente usada para la determinación del contenido graso en muestras de diferente naturaleza. De igual modo, puede ser usada como técnica preparativa de muestra como paso previo al análisis mediante otra técnica instrumental. Aunque su campo de aplicación es fundamentalmente el agroalimentario es también de utilidad en el área medioambiental, así es el método de análisis recomendado para la determinación del aceite y la grasa total recuperable en aguas de vertidos industriales permitiendo la determinación de hidrocarburos relativamente no volátiles, aceites vegetales, grasas animales, ceras, jabones y compuestos relacionados. Como ya hemos comentado, el contenido de materia grasa es uno de los parámetros analíticos de interés en los productos destinados a la alimentación, tanto humana como animal, y, en consecuencia, su determinación es muy habitual. El procedimiento para llevar a cabo su extracción se basa en la extracción sólido-líquido en continuo, empleando un disolvente, con posterior evaporación de éste y pesada final del residuo. El resultado representa el contenido de sustancias extraíbles, que mayoritariamente son grasas, aunque también hay otras sustancias como las vitaminas liposolubles y pigmentos en el caso de su determinación en alimentos. (Núñez, 2008).

Según Grau, (1982), su funcionamiento consiste en hacer hervir en el matraz el disolvente con el cual se va a extraer la materia sólida deseada que se encuentra en la muestra depositado en el cartucho del Soxhlet. Los vapores del disolvente ascienden por el extractor y se condensan en el refrigerante cayendo gota a gota sobre el cartucho. La parte soluble pasa por gravedad al matraz.

Otros extractores de Soxhlet se construyen de tal modo que el disolvente llena la cámara de extracción y la disolución resultante es sifonada al matraz de destilación, el proceso se repite automáticamente hasta que la extracción es completa.

La sustancia sólida se introduce en un cartucho poroso (generalmente hecho con papel de filtro, que permite al solvente entrar y salir reteniendo al sólido) que se coloca dentro del recipiente *B*. Se adosa un balón *C* a dicho recipiente donde se coloca el volumen de solvente que se utilizará en la extracción. Por el extremo superior del recipiente *B*, se coloca un condensador *D*.

El solvente se calienta; los vapores ascienden por el tubo *E*, condensan en el refrigerante *D* y caen dentro del recipiente *B* impregnando al sólido que se encuentra en el cartucho *A*. El recipiente *B* se va llenando lentamente de líquido hasta que llega al tope del tubo *F* y se descarga dentro del balón *C* por efecto de sifón, llevando consigo a la sustancia extraída. El proceso se repite automáticamente hasta que la extracción se completa. El solvente de extracción se evapora, recuperando así a la sustancia deseada. En la figura 2 se describe visualmente las partes del aparato Soxhlet para comprender su funcionamiento.

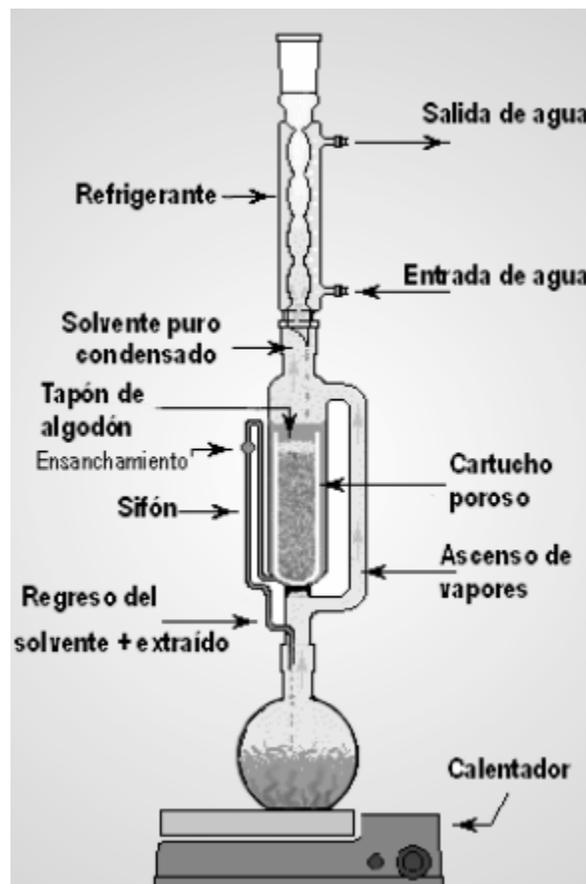


Figura 2. Aparato Soxhlet, (Nuñez, 2008)

En todos los casos es primordial la elección del solvente de extracción. Cuando no se conoce la estructura del compuesto que se desea extraer, se utilizan diferentes solventes (de menor a mayor polaridad) y se determina dónde queda el compuesto luego de cada extracción mediante técnicas cromatográficas (cromatografía en capa delgada, cromatografía gas-líquido, etc.). De esta forma se

busca el sistema de solvente/s más apropiado/s tanto para una extracción líquido-líquido como sólido-líquido.

### **2.25.1 Partes del aparato Soxhlet:**

Nuñez (2008), describe las partes y el funcionamiento del aparato Soxhlet.

Cartucho: Es un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que se apoye perfectamente, El cartucho es donde se coloca la muestra.

Tubo refrigerante: Es usado para condensar los vapores que se desprenden.

Tubo Soxhlet: Consta de un cuerpo cilíndrico con boca esmerilada y un tubo sifón protegido por el tubo para pasaje de vapor. La parte inferior del extractor termina en una unión esmerilada para adaptarse al tubo extractor. Se utiliza como condensador de vapores.

Matraz Fondo Plano: Ahí se coloca el solvente y además es ahí en donde se termina depositándose toda la grasa y el solvente.

Calentador: Cumple la función de calentar el solvente que se encuentra en el matraz para que este desprenda vapores.

Sifón: Es un tubo el cual es la clave del equipo Soxhlet.

### **2.26 Arrastre de vapor**

Guenther (1948), define a la destilación como “la separación de componentes de una mezcla de 2 o más líquidos por medio de la diferencia de su presión de vapor”.

Es un método que consiste en separar sustancias insolubles en agua y ligeramente volátiles, de otros productos no volátiles; de esta forma, compuestos orgánicos de alto punto de ebullición son destilados con cierta rapidez por debajo del punto de ebullición del agua, al lograr ser arrastrados por el vapor generado. La destilación es una operación utilizada con frecuencia para la purificación y aislamiento de líquidos orgánicos. La destilación aprovecha las volatilidades y puntos de ebullición de los componentes líquidos a separar. La destilación por arrastre con vapor también se emplea con frecuencia para separar aceites esenciales de tejidos vegetales. Los aceites

esenciales son mezclas complejas de hidrocarburos, terpenos, alcoholes, compuestos carboxílicos, aldehídos aromáticos y fenoles y se encuentran en hojas, cáscaras o semillas de algunas plantas.

La obtención de los aceites esenciales es realizada comúnmente por la tecnología llamada de destilación por arrastre con vapor, en sus diferentes modalidades. La pureza y el rendimiento del aceite esencial dependerán de la técnica que se utilice para el aislamiento. (Guenther 1948).

Aguilar (2012), muestra gráficamente la distribución de cada componente del sistema de arrastre de vapor y la cristalería que se necesita para la destilación en la figura 3.

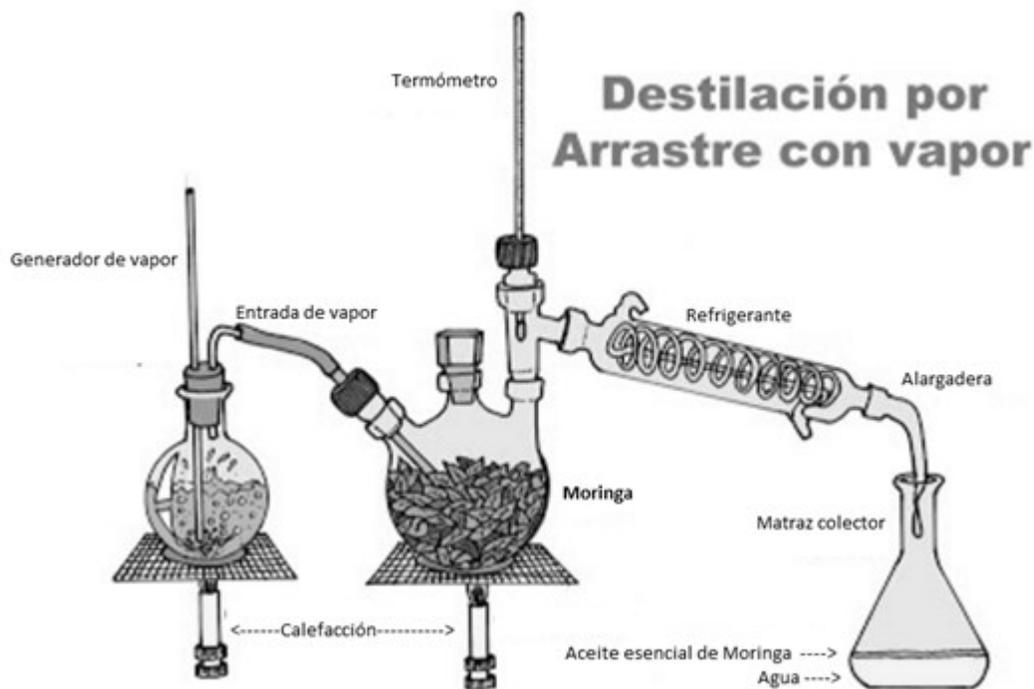


Figura 3. Equipo de laboratorio para destilación por arrastre de vapor. (Aguilar, 2012).

## 2.27 Ley de Dalton

El vapor saturado de los líquidos inmiscibles sigue la Ley de Dalton sobre las presiones parciales, que dice que: cuando dos o más gases o vapores, que no reaccionan entre sí, se mezclan a temperatura constante, cada gas ejerce la misma presión que si estuviera solo y la suma de las presiones de cada uno, es igual a la presión total del sistema.

Al destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles, su punto de ebullición será la temperatura a la cual la suma de las presiones de vapor es igual a la atmosférica. Esta temperatura será inferior

al punto de ebullición del componente más volátil. Si uno de los líquidos es agua (destilación por arrastre con vapor de agua) y si se trabaja a la presión atmosférica, se podrá separar un componente de mayor punto de ebullición que el agua a una temperatura inferior a 100°C. Esto es muy importante cuando el compuesto se descompone a su temperatura de ebullición o cerca de ella. En general, esta técnica se utiliza cuando los compuestos cumplen con las condiciones de ser volátiles, inmiscibles en agua, tener presión de vapor baja y punto de ebullición alto.

## **2.28 Presión de vapor**

La presión del vapor de un líquido es literalmente la presión del gas (o del vapor) que recoge sobre el líquido en un envase cerrado a una temperatura dada.

La presión del vapor de agua en un envase cerrado en el equilibrio se llama la presión del vapor. La teoría molecular cinética sugiere que la presión del vapor de un líquido depende de su temperatura. Consecuentemente, la presión del vapor de un líquido también aumenta con la temperatura. (Villalobos, 2012).

## **2.29 Extracción por prensa o extrusión**

La técnica del prensado se usa para obtener los aceites esenciales de cáscaras, cortezas o materiales duros como las semillas, nuestro caso.

Transforman la energía mecánica en energía térmica y obligan al material a moverse a lo largo del tubo mediante el uso de un tornillo. Tras descargar las semillas, estas se calientan y se preparan para entrar en el expulsor, el cual extraerá el aceite. (McCabe, 2007).

Al seleccionar las semillas que se utilizarán y luego de haber sido molidas, se las somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas o discontinuas y continuas. La actual extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas. En recipientes calentadores de doble fondo se calienta la harina (semillas molidas) a temperaturas que oscilan entre 90 °C y 95 °C, dependiendo del material con que se trabaje. El calentamiento busca eliminar el exceso de humedad de la harina, con lo cual se aumenta el rendimiento al lograrse mayores presiones y facilitarse la fluidez del material trabajado.

Luego el material pasa a una cuba de acero, que posee en su interior un tornillo sinfín, en el cual, el número de espiras y el diámetro aumenta de un extremo al otro, viéndose el material obligado a pasar por espacios cada vez más reducidos, aumentando de esa manera la compresión se logra extraer el aceite. El aceite obtenido se vierte a tanques de sedimentación, quedando como subproducto el expeler, el cual generalmente se somete a una segunda presión. El expeler final posee entre el 6-7% de aceite. Posteriormente por un proceso de filtración se elimina del aceite todo lo no sea materia grasa, (resto de expeler, harina de molienda, materias 29 mucilaginosas). Se obtiene de esta manera el aceite crudo, el cual se almacena en tanque o depósitos de hierro. Los aceites industriales pueden usarse luego de esta operación, los aceites comestibles deben ser sometidos a una posterior refinación.

**2.29.1 Filtro prensa.** Es una máquina herramienta que pertenece al grupo de aparatos de movimiento rectilíneo alternativo, tiene como finalidad lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material mediante la aplicación de una carga. Son conocidas desde la antigüedad, empleadas prácticamente en todas las industrias, y utilizadas para actuar sobre distintos materiales ya sea en frío o en caliente, en cualquier operación que se requiera una fuerte presión, por ejemplo: embalar, forjar, extruir, estampar, laminar, estirar, etc. (Méndez, 2012). La funcionalidad de la prensadora se basa en su fuente de potencia, bancada, ariete y bastidor presente en la Figura 4.

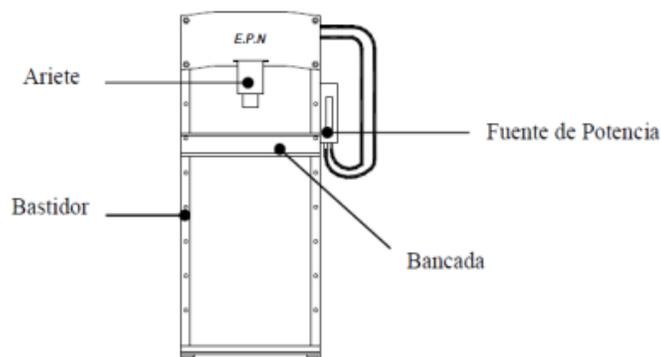


Figura 4. Prensa hidráulica. (Méndez, 2012)

### **2.30 Solvente**

Chang (1999), describe el solvente como una sustancia que forma parte en mayor cantidad de una solución. La solución es compuesta por la combinación y tratamiento de un soluto (en menor cantidad, por lo general sólido o líquido, pero con mayor concentración) y un solvente (líquido con propiedades propicias para que ese soluto se disuelva correctamente). El soluto universal es el agua, por su neutralidad en el proceso y su fácil adaptación a la transformación de nuevas moléculas de otros elementos.

El solvente es también conocido como disolvente, ya que el soluto al entrar en contacto con el solvente, este se esparce por todo el espacio del solvente y por ser este último de mayor cantidad, envuelve y nutre a las moléculas del soluto formando un compuesto con propiedades combinadas del sólido y líquido, este proceso es conocido en la preparación de soluciones como solvatación.

Un punto importante es la concentración de la solución, si bien es cierto que el solvente por lo define el estado físico de la solución, la cantidad de soluto representa por lo tanto la concentración, el dominio del compuesto que se establece que a menor cantidad de solvente y mayor de soluto, esta será más concentrada y en algunos casos, hasta otro tipo de condición física, como por ejemplo el estado acuoso, un estado físico de la materia a medio camino entre el líquido y el sólido.

### **2.31 Solventes a utilizar**

Una norma o técnica obviamente que el solvente estará indicado. Pero con frecuencia, particularmente en los laboratorios de investigación, se suelen realizar extracciones no normalizadas. Por eso es conveniente saber el rango de estas sustancias que se pueden utilizar en el extractor Soxhlet. (Núñez, 2008).

La experiencia que se posee es que hay una temperatura máxima y mínima de ebullición en la que el equipo funciona adecuadamente. En el extremo inferior se encuentra el diclorometano (cloruro de metilo) que se utiliza para la extracción de grasas y resinas de manera selectiva. Este solvente tiene un punto de ebullición de 40° muy cercano a la temperatura ambiente particularmente en los climas cálidos. Cuando se efectúa una extracción con el agua de refrigeración a 26°C, se pierde más de la mitad del solvente. (Núñez, 2008).

Con respecto al extremo superior hay que decir que para la cantidad de energía limitada que generan los calentadores eléctricos comunes, a medida que aumenta el punto de ebullición disminuye significativamente el caudal de solvente que se evapora y por ende la velocidad de extracción. Sin embargo, hay que hacer notar que además del punto de ebullición es importante el calor latente de evaporación. Así se puede por ejemplo trabajar con esencia de trementina con cierta facilidad, aunque se evapore a 145°C, y no obstante las extracciones con agua se hacen demasiado lentas casi al punto de que no sean factibles. (Núñez, 2008).

El disolvente a utilizar en una operación de lixiviación debe tener las siguientes características:

- Elevado límite de saturación y selectividad para con el soluto a ser extraído.
- Estabilidad química bajo las condiciones del proceso.
- Viscosidad, presión de vapor, toxicidad, inflamabilidad, densidad y tensión superficial bajas.
- La Recuperación del extracto debe ser favorable.

**2.31.1 Éter etílico.** Es un líquido incoloro con un olor característico. Es menos denso que el agua e insoluble en ella. Sus vapores son más densos que el aire. Tiende a generar peróxidos en presencia de luz y aire, por lo que puede encontrarse estabilizado con limadura de hierro, naftoles, polifenoles, aminas aromáticas y amino fenoles, para disminuir el riesgo de explosiones. Es obtenido como subproducto en la producción de etanol a través de la hidratación en fase vapor de etileno, utilizando ácido fosfórico como catalizador. Otra forma de obtenerlo es mediante la deshidratación de etanol con ácido sulfúrico a 140 °C. (UNAM, 2011).

Tiene un amplio uso como disolvente de grasas, aceites, ceras, resinas, gomas, perfumes, alcaloides, acetato de celulosa, nitrato de celulosa, hidrocarburos y colorantes, principalmente. Es muy utilizado en la extracción de principios activos de tejidos de plantas y animales debido a que es fácilmente eliminado. (UNAM, 2011).

**2.31.2 Composición química de los aceites esenciales naturales** (Piedrasanta, 1997). Los aceites esenciales contienen principalmente compuestos orgánicos líquidos, los cuales son más o menos volátiles. Su composición química es:

a) Ésteres: principalmente de ácido benzoico, acético, salicílico y cinámico.

b) Alcoholes: linalool, geraniol, citronelol, terpinol, mentol, borneol.

c) Aldehídos: citral, citronelal, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainilla.

d) Ácidos: benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico; los que se encuentran en estado libre.

e) Fenoles: eugenol, timol, carvacrol.

f) Cetonas: carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil cetona, metil heptenona.

g) Éteres: cineol, éter internoo eucaliptol, anetol, safrol.

h) Lactonas: cumarina.

i) Terpenos: canfeno, pineno, limoneno, felandreno y credeno.

j) Hidrocarburos: cimeno, estireno o feniletileno.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

El cultivo de moringa en Guatemala aún es poco conocido, por lo tanto, la población guatemalteca no está consciente de las propiedades nutritivas y usos industriales a los cuales puede someter el cultivo y sus derivados.

La actividad de extracción de aceite de moringa en Guatemala aun es una práctica no investigada y desarrollada, no existe un método estandarizado para su extracción por lo que es necesario buscar un método eficaz y eficiente para la extracción del aceite esencial para que pueda ser incluido a nivel nacional en la dieta de los guatemaltecos con el fin de poder aprovechar sus componentes nutricionales para complementar las dietas alimenticias deficientes en energía proteína, vitaminas y otros nutrientes que se encuentran en menor cantidad, con el fin de poder disminuir poco a poco la desnutrición en nuestro país.

Tomando en cuenta que el cultivo de moringa es de rápido crecimiento y adaptabilidad a diversas condiciones edafoclimáticas, al determinar las propiedades benéficas y el buen uso que se le puede dar al aceite esencial extraído de la semilla podrá promoverse su cultivo a nivel nacional lo que permitirá la introducción en el mercado guatemalteco para sus múltiples usos industriales.

Podrá ser implementado en la dieta de los guatemaltecos debido a su contenido de vitaminas, proteínas y aminoácidos, elementos necesarios para una dieta nutricional básica.

Conociendo que el mejor y más efectivo método para la extracción de aceite fue la extracción Soxhlet, considero necesario el establecimiento del cultivo en las principales regiones con problemas de desnutrición severa del país, y también la implementación e industrialización del proceso para su aprovechamiento incluyéndolo como un suplemento alimenticio.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

- Evaluar el rendimiento de diferentes métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de *Moringa oleífera Lam* para encontrar un nivel eficiente para la extracción en laboratorio para poder utilizarse a nivel industrial.

### 4.2 Específicos

- Identificar cuál de los tres métodos propuestos para la extracción del aceite esencial de la semilla del cultivo de *Moringa oleífera Lam* tiene mejor rendimiento en porcentaje de cantidad, de las muestras obtenidas.
- Determinar la densidad del aceite obtenido.
- Obtener un perfil de ácidos grasos de las muestras obtenidas en laboratorio.
- Documentar un método más efectivo para la extracción del aceite esencial de la semilla del cultivo de *Moringa oleífera Lam* para poder estandarizarlo.

## 5. HIPÓTESIS

### 5.1 Hipótesis Alternativa

- Al menos un método de extracción tendrá diferencia significativa en el rendimiento de extracción de aceite esencial de la semilla de *Moringa oleífera Lam*.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Localización del trabajo

Laboratorios de Universidad Rafael Landívar, Zona 16, Ciudad de Guatemala.

Laboratorios de Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12, Ciudad de Guatemala.

Laboratorios de Universidad del Valle de Guatemala, Zona 15, Ciudad de Guatemala

### 6.2 Material Experimental

Se utilizan las semillas del cultivo de *Moringa oleifera Lam*, variedad PKM1. La cubierta externa posee una cáscara color café bastante oscuro con tres alas. Al romper la cáscara se obtiene el endospermo que es color blanco y blando, muy oleaginoso y muy carnoso.

### 6.3 Factores a estudiar

Se estudió el rendimiento de los métodos de extracción de aceite de moringa. Considerando aspectos como:

- a) Rendimiento de cada método evaluando el porcentaje en cada extracción.
- b) Densidad.
- c) Perfil de ácidos grasos.

### 6.4 Descripción teórica de los tratamientos

Se evaluarán la extracción del aceite con tres métodos, extracción Soxhlet, arrastre de vapor y prensa y se detalla su procedimiento en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción del procedimiento de cada método utilizado para la extracción del aceite esencial de la semilla de *Moringa oleifera Lam*.

Tratamiento	Descripción del tratamiento
Tratamiento no. 1 Arrastre por vapor	<p>Los aceites esenciales están almacenados en reservorios dentro de la planta, por lo que es conveniente separar el material para exponer esos reservorios a la acción del vapor de agua. Para la destilación por arrastre de vapor de agua se logrará por medio de la introducción de vapor de agua directamente en la mezcla el cual denominaremos “vapor de arrastre”.</p> <p>Se ponen en un recipiente el agua y el material a extraer, se calientan a ebullición y el aceite extraído es arrastrado junto con el vapor de agua hacia un condensador que enfría la mezcla, la cual es separada posteriormente para obtener el producto deseado.</p>

---

Este método es usado de preferencia cuando el material a extraer es líquido. El vapor de agua condensado acompañante del aceite esencial es llamado “agua floral” y posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al del aceite obtenido.

Consistirá en la utilización de la prensa en laboratorio, sin necesidad de utilizar solventes que contaminen al mismo.

Tratamiento no. 2  
Extracción por presión

Las semillas son expuestas a la prensadora obteniendo así un líquido compuesto de agua y aceite, de la cual el agua no necesitaremos, una vez se ha exprimido, lo que procederá será dejar reposar el contenido para posteriormente se pueda obtener el aceite esencial que quedará en la superficie.

Tratamiento no. 3  
Extracción Soxhlet

Se fundamenta en las siguientes etapas: 1) colocación del solvente en un balón. 2) ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo. 3) el condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior. 4) ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón. 5) Se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada. Lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

## 6.5 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar (DCA) con diez repeticiones en tiempo. Este diseño consiste en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales, ideal para experimentación en laboratorios.

## 6.6 Modelo estadístico

Diseño completamente al azar

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable de respuesta (porcentaje)

$\mu$  = efecto de la media general

$\tau_i$  = efecto de la  $i$ -ésimo experimental (tratamientos)

$\varepsilon_{ij}$  = efecto (error experimental)

## 6.7 Unidad experimental

- Método de Arrastre de vapor: Matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Método de Soxhlet: Extractor Soxhlet.
- Método prensa: Prensa mecánica.
- Muestras obtenidas: Recipientes de vidrio.

## 6.8 Croquis

La distribución de la figura 5 de las unidades experimentales fue al azar, no se estableció orden para determinar el rendimiento de cada uno de los tratamientos.

T1RI	T3RI	T1RVIII	T2RVII	T1RVI	T2RV
T3RIII	T2RIII	T3RII	T3RIX	T2RX	T3RIV
T1RII	T3RVII	T2RVIII	T1RIII	T3RVI	T1RIV
T2RIV	T3RVIII	T1RIX	T2RII	T3RX	T2RI
T1RVII	T2RIX	T3RV	T1RV	T2RVI	T1RX

Figura 5. Distribución de unidades experimentales diseño experimental completamente al azar.

## 6.9 Variables de respuesta

Para la obtención del rendimiento en cada método se realizó:

- Extracción Soxhlet: Secado en horno para la eliminación del éter etílico, solvente, utilizado para la extracción.
- Extracción arrastre por vapor: Secado en horno para la eliminación de agua presente en la muestra después del proceso de extracción.
- Extracción prensa: No se realizó ningún procedimiento ya que se obtuvo de una forma pura sin intervención de agua o solventes.

## 6.10 Análisis de la información

**6.10.1 Análisis estadístico.** A cada variable de respuesta obtenida se le someterá al análisis de varianza. No se realizó la comparación con una discriminación de medias de Tukey ya que los resultados obtenidos se evidenció el rendimiento perfectamente marcado.

## 6.11 Manejo del experimento

### 6.11.1 Extracción por método Soxhlet

- Se selecciona la semilla para su separación de la cáscara con el endospermo suave.
- Se licúa ligeramente para triturar la semilla.
- Se utiliza la cantidad sugerida por el Manual Internacional de Métodos Oficiales de Análisis AOAC, 50 gramos por cada corrida.

- d) Se arma el aparato Soxhlet y se conecta a una fuente de calor permanente con una temperatura controlada y fija, 30° C.
- e) Se coloca la cantidad de semilla triturada en la recámara de Soxhlet.
- f) Se agrega el solvente éter a través del condensador hacia la recámara Soxhlet y luego cae en el balón aforado, con el fin de empezar la destilación.
- g) El éter sube como vapor por el ascensor de vapores hasta el condensador.
- h) El éter cae nuevamente a la recámara Soxhlet y se mezcla con la semilla.
- i) Al llegar la solución a nivel, regresa nuevamente el solvente más el aceite extraído al balón aforado para comenzar nuevamente la destilación.
- j) Transcurridas 16 a 18 horas se retira la solución obtenida de aparato de Soxhlet.
- k) Se transporta la solución a una ampolla de decantación.
- l) Se le agregan 10 ml de éter para la extracción pura de aceite y se agita para liberar presión.
- m) Obtenemos, aceite, agua y éter (quien atrapa el aceite para ayudar a la separación en una fase oleosa del agua). Se decanta de tres a ocho veces.
- n) Se agrega Sulfato de Sodio Anhidrido y se decanta en el beaker utilizando papel filtro.
- o) Se traslada a los recipientes para someterlos a calor y evaporar el éter que retiene el aceite.
- p) La muestra con un porcentaje de éter, el cual debe ser extraído y se introducido al horno a 74 ° C para evaporarlo en su totalidad y así obtener una muestra libre de solvente. Ver anexos

### **6.11.2 Extracción por método arrastre de vapor**

- a) Se selecciona la semilla para su separación de la cáscara con el endospermo suave.
- b) Se licúa ligeramente para triturar la semilla.
- c) Se utiliza la cantidad sugerida por el Manual Internacional de Métodos Oficiales de Análisis AOAC, 50 gramos por cada corrida.
- d) Se arma el aparato de arrastre de vapor y se conecta a una fuente permanente de calor y dos fuentes de agua.
- e) El sistema de arrastre por vapor lo constituye dos balones aforados.

- f) El primer balón se coloca directamente con agua a una fuente de calor permanente de éste modo se obtiene la presión de vapor necesaria en equilibrio para su traslado al balón aforado siguiente.
- g) En el segundo balón se encuentra la semilla triturada la cual se mezcla con el vapor proveniente del balón número uno, la presión de vapor rompe las moléculas de la semilla y separa el aceite del endospermo.
- h) El aceite mezclado con vapor se sublima por el condensador el cual está expuesto a una fuente de agua para su enfriamiento.
- i) Una mezcla de agua y aceite se recibe en un último recipiente al final del sistema de arrastre de vapor.
- j) Transcurridas las 8 a 10 horas necesarias para su extracción, se obtiene una muestra de agua y aceite.
- k) Se traslada a los recipientes previamente identificados para someterlos a calor (horno a 74 ° C) y evaporar el agua contenida en la solución y obtener el aceite.  
Ver anexos

### **6.11.3 Extracción por método de prensa**

- a) Se selecciona la semilla para su separación de la cáscara con el endospermo suave.
- b) Se licúa ligeramente para triturar la semilla.
- c) Se utiliza la cantidad sugerida por el Manual Internacional de Métodos Oficiales de Análisis AOAC, 50 gramos por cada corrida.
- d) Se coloca la semilla en una manga filtrante.
- e) Se carga el cilindro o contenedor primario con la semilla dentro de la manga.
- f) Se coloca la tapadera y se alinea el émbolo.
- g) Se ejerce una fuerza de 80 libras de presión y poco a poco el aceite sale por los orificios del cilindro hacia una posadera receptora bajo el cilindro.
- h) Se decanta el aceite obtenido sobre papel filtro directo al embudo el cual transfiere el aceite a un recipiente para su resguardo y posterior análisis.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte del proceso de análisis, se realizaron 60 extracciones en total para los tres diferentes métodos en estudio, los cuáles se dividieron en 10 extracciones para cada uno y se describen a continuación en cada cuadro.

### 7.1 Extracción Soxhlet

La extracción por el método Soxhlet tiene una duración de aproximadamente 16 a 18 horas, se cumplió con el tiempo que se establece teóricamente para cada una de las extracciones dando como resultado el mejor rendimiento en porcentaje, visible en la tabla 4.

Tabla 4. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción Soxhlet

No. de extracción	Cantidad de semilla (gramos)	Peso de muestra (gramos)
1	50.0	62.5
2	50.0	39.5
3	50.0	48.0
4	50.0	56.0
5	50.0	54.0
6	50.0	61.5
7	50.0	55.0
8	50.0	55.0
9	50.0	61.0
10	50.0	58.5

### 7.2 Extracción arrastre por vapor

La extracción por medio de arrastre por vapor se basa en el equilibrio de líquidos inmiscibles y tiene una duración aproximada de 7 a 9 horas, la tensión de vapor de cada uno de ellos no estaría afectada por la presencia del otro. La presión de vapor ejercida sobre la semilla triturada rompe las moléculas de la semilla y extrae el aceite. En rendimiento se puede concluir que tuvo menor desempeño que el anterior reflejado en la tabla 5.

Tabla 5. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción de arrastre de vapor

No. de extracción	Cantidad de semilla en gramos	Peso de muestra (gramos)
1	50.0	25.0
2	50.0	35.0
3	50.0	37.5
4	50.0	21.5
5	50.0	30.5
6	50.0	25.0
7	50.0	35.0
8	50.0	37.5
9	50.0	29.5
10	50.0	24.5

### 7.3 Extracción prensa

La extracción de aceite en prensa procedente de semillas oleaginosas sin utilizar solventes conserva todos los nutrientes presentes en las semillas. Presentando en tabla 6 su menor rendimiento comparado con los dos métodos anteriores.

Tabla 6. Rendimiento de la semilla en gramos por el método de extracción de prensa

No. de extracción	Cantidad de semilla en gramos	Peso de muestra (gramos)
1	50.0	17.5
2	50.0	11.5
3	50.0	11.3
4	50.0	15.5
5	50.0	10.0
6	50.0	9.5
7	50.0	18.0
8	50.0	17.9
9	50.0	11.9
10	50.0	10.5

## 7.4 Rendimientos de las extracciones

La comparación de los tres métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de Moringa presenta grandes diferencias en base a sus rendimientos como se muestra en figura 6.

Se debe considerar varios factores para analizar los resultados obtenidos.

- a) La edad del cultivo.
- b) La fecha en la que se cortó la vaina.
- c) Tamaño de la semilla.
- d) Tamaño de la semilla triturada.
- e) Tiempos iguales y exactos para la extracción.

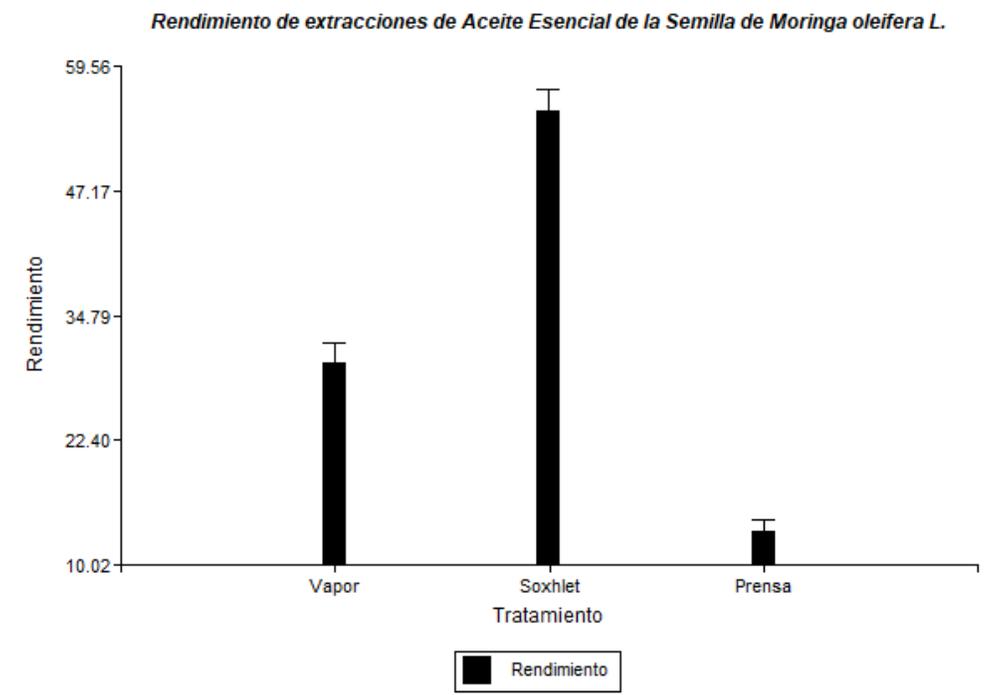


Figura 6. Diagrama de rendimientos porcentual de las extracciones de aceite esencial proveniente de la semilla *Moringa oleifera* Lam.

Como complemento, se determinó la densidad de las tres muestras del aceite y se describe en una forma concreta en la tabla 7, así como se elaboró un cuadro con el perfil ácidos grasos en la tabla 8.

Tabla 7. Descripción de variables de respuesta, rendimiento promedio y densidad.

Variable	Soxhlet	Arrastre por vapor	Prensa
Rendimiento promedio	55.10 %	30.10 %	13.36 %
Densidad	0.89 gramos/ml	0.90 gramos/ml	0.90 gramos/ml

Tabla 8. Perfil de ácidos grasos presentes en el informe de laboratorio, derivado de las tres extracciones del aceite esencial de la semilla de *Moringa oleífera Lam.*

Variable	Soxhlet	Arrastre por vapor	Prensa
Ácido hexadecanoico	97%	97%	96%
Ácido Tridecanoico	95%	5.96%	95%
Ácido pentadecanoico		97%	96%
Ácido heptadecanoio	91%	89%	95%
Ácido octadecanoico	87%	97%	86%

## 7.5 Densidad

Se utilizó un picnómetro para su determinación. Se pudo observar que el promedio de las tres muestras es de 0.90 g/ml el cual corresponde al dato obtenido por aceites esenciales.

## 7.6 Resultado de perfil de ácidos grasos

Para poder obtener un perfil de ácidos grasos, se prepararon tres muestras en los laboratorios físico químico biológico especializado de la Universidad Rafael Landívar.

Para poder conocer el perfil ácido graso de las muestras, éstas se enviaron al Centro de Ingeniería Bioquímica, CIB Instituto de Investigaciones, de la Universidad del Valle de Guatemala. En los anexos podemos verificar y encontrar los resultados obtenidos en tablas identificadas por cada método.

En una forma general el perfil graso de las muestras contiene:

#### **7.6.1 Ácido Hexadecanoico C:16:0**

También conocido como ácido palmítico es muy utilizado en una variedad de aplicaciones, incluidos los productos para el cuidado personal y cosméticos. La Administración de Alimentos y Medicamentos por sus siglas en inglés, (FDA) de EE. UU. clasificó al ácido palmítico como una sustancia generalmente reconocida como segura (Generally Recognized as Safe, GRAS), que clasifica al ácido palmítico seguro como aditivo de alimentos y en la fabricación de componentes de los alimentos. ChemicalSafetyFacts.org, (2018).

#### **7.6.2 Ácido Heptadecanoico C:17:0**

También conocido como ácido margárico, presente para la elaboración de margarina. Es una combinación de ácido palmítico y ácido estéarico. Faro, (1996).

#### **7.6.3 Ácido Pentadecanoico C:15:0**

También conocido como ácido pentadecílico, se utiliza como un marcador para el consumo de lípidos. Smedman, (1999).

#### **7.6.4 Ácido Tridecanoico C:13:0**

También conocido como ácido tridecílico, comúnmente, se lo puede encontrar en los productos lácteos. Es una combinación de ácido palmítico con ácido oleico. Linke, (1940).

#### **7.6.5 Ácido Octadecanoico C:18:0**

También conocido como ácido estéarico, es un ácido graso saturado que está presente en la gran mayoría de aceites y grasas animales y vegetales. Además, lo encontramos acompañado de otros ácidos grasos saturados y de otros ácidos grasos insaturados. Linke, (1940).

## 8. CONCLUSIONES

- a) El método más efectivo para la extracción de aceite esencial de la semilla de *Moringa oleífera Lam* es por el método Soxhlet con un alto rendimiento del 55.1%.
- b) Se determinó la densidad de las muestras obtenidas para análisis y uso en laboratorio. El resultado promedio es de 0.9 g/ml.
- c) La densidad relativa de la mayor parte de los aceites, tanto minerales como vegetales, se encuentra entre 0.840 y 0.960. El dato obtenido en las tres muestras está dentro del rango teórico.
- d) Mientras menos edad tenga la semilla producen una mayor cantidad de aceite que las semillas de mayor edad. Se evidencia en el resultado de las muestras.
- e) Las semillas de mayor edad dan como resultado aceites más oscuros y resinosos.
- f) Los ácidos grasos presentes en las tres muestras son: ácido hexadecanóico, heptadecanóico, tridecanóico, octadecanóico.
- g) Gran parte de los ácidos grasos presentes en las muestras pueden ser utilizados para consumo en la dieta diaria, ácido heptadecanóico presente en la margarina, ácido tridecanóico presente en los lácteos y el octadecanóico presente en la mayoría de las grasas vegetales y carnes. Es seguro de consumirlos.
- h) Dos de los ácidos presentes, el ácido hexadecanóico y ácido pentadecanóico pueden ayudar a utilizar el aceite esencial de semilla de *Moringa oleífera Lam* en aplicaciones cosméticas y farmacológicas.
- i) Se recomienda el método Soxhlet para la extracción efectiva del aceite esencial de la semilla de Moringa.
- j) Se debe considerar la implementación de otro solvente para la extracción Soxhlet para el consumo a nivel alimenticio.

## 9. RECOMENDACIONES

- a) Para trabajar la semilla de moringa debe conocer específicamente la variedad a utilizar ya que puede influenciar en la obtención del aceite en los procesos.
- b) Se recomienda conocer la edad del cultivo con el que se trabajará.
- c) Se debe conocer la fecha en la cual se cortó la vaina con las semillas, esto para establecer parámetros en cuanto a rendimiento y porcentaje de aceite obtenido.
- d) Al momento de triturar la semilla para realizar los procesos, debe tomarse en cuenta poder alcanzar un tamaño bastante pequeño para su utilización, ya que esto influyó en la destilación Soxhlet y arrastre de vapor. Por el tamaño del endospermo triturado fue difícil la interacción con el éter como solvente en la extracción Soxhlet y el agua en la extracción de arrastre de vapor.
- e) En la extracción de arrastre de vapor, considero se debe tomar más tiempo del reglamentario ya que 6 a 8 horas son muy pocas para la obtención de un buen resultado para compararlo con la extracción Soxhlet.
- f) Se recomienda limpiar debidamente la cristalería y equipo para los análisis para evitar contaminación en la muestra.
- g) Se recomienda utilizar el método Soxhlet para una extracción de aceite esencial efectiva.
- h) Se sugiere el uso de un solvente diferente al éter etílico para la extracción Soxhlet para consumo humano.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Villalobos, A. (2012). Laboratorio de Química Orgánica, Práctica no. 3, Destilación por arrastre de vapor. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México. Consultado el 24 de marzo del 2017. Disponible en <http://quimicaorganica1alejandraaguilar.blogspot.com/2012/02/practica-3-destilacion-por-arrastre-de.html>.
- Andrade Leal, R. E. (2014). Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases. Consultado el 19 de julio del 2018. Disponible en <http://www.microlabindustrial.com/blog/perfil-de-acidos-grasos-por-cromatografia-de-gases>
- Cáceres, A., y Saravia Gómez, A. (1993) Actividad antiinflamatoria de plantas medicinales de uso popular en Guatemala. Guatemala: DIGI. Universidad de San Carlos de Guatemala. 61 p.
- Cáceres, A. (1996). Plantas de uso medicinal en Guatemala. Guatemala. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 402.
- Chang, R. (1999). Química. Sexta Edición. Editorial McGraw and Hill. p. 14
- Chemical Safety Facts Org. (2018). Ácido Palmítico. Consultado 17 de agosto del 2018. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/palmítico/#safety-information>.
- CONCYT (2008). Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera Lam*) para la producción de alimentos nutricionales y mejorados. Consultado el 1 de febrero del 2018. Disponible en: [www.sica.int/busqueda/busqueda\\_archivo.aspx?Archivo=libr...3](http://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=libr...3).
- Faby, J.A. y Eleli, A. (1993). Utilización de la semilla de Moringa, ensayos de floculación en el laboratorio y en condiciones naturales.
- Falasca, S., B., M. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera Lam* en Argentina. (2008) Revista Virtual de REDESMA. p. 1. Consultado el 18 de agosto del 2018. Disponible en: <http://revistavirtual.redesma.org/vo3/pdf/investigacion/Moringa.pdf>.

- Faro Cajal, J. C. (1996) Del error científico al sucedaneo económico: Notas sobre el ácido márgárico y la margarina Universidad de Zaragoza, España, p 73-89.
- Flores B. A., y Duarte, F.J. (2004). Producción de biomasa de *Moringa oleífera Lam* sometida a diferentes densidades de siembra y frecuencias de corte, en el trópico seco de Managua, Nicaragua. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Foidl, N., Makkar, H.P.S., y Becker, K. (2001). The Potential of *Moringa Oleífera Lam* for agricultural and industrial uses. In: Fugi, L. (ed) 201 “The Miracle Tree: The multiple attributes of Moringa. CTA Wageningen/CWWS Dakar. p 19.
- Foidl, N., Mayorga, L., y Vásquez W. (1998). Utilización del Marango (*Moringa oleífera Lam*) como forraje fresco para ganado. Consultado el 6 de febrero del 2017. Disponible en: <http://www.moringanews.org/documents/foildspanish.pdf>
- Folkard, G. (1997). The development of the *Moringa oleífera Lam* and *stenopetala* tree to provide valuable products: coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil.
- Godino García, M. (Julio, 2016) *Moringa oleífera Lam*: Árbol multiusos de interés forestal para el Sur de la Península Ibérica, Ficha de Transferencia. Consultado 25 de mayo del 2018. Disponible en: <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/020-moringa-v3-1476963334.pdf>
- González Rivas, V.A., Reyes Sánchez, N., y Membreño, J.J. (Ases.). (2014). Comportamiento de dos poblaciones de *Moringa oleífera Lam* (material acriollado y mejorado PKM1) en sus primeras etapas de crecimiento en condiciones de vivero. Tesis Ingeniero Zootecnista. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Grau Cairo, L. (1982). Organización Dirección y Operaciones Fundamentales en el Laboratorio de Química. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. P 619.
- Gunther, E. (1948). The Essential oils Volume II. Editorial D. Van Nostrand Company, Inc. United States of America. p.46.
- Lamark, J. (1783). Botánica. París, Francia. IPNI. P 56.

- Linke, W. F. (1940). "Solubilities of Inorganic and Organic Compounds". Nueva York, D. Van Nostrand Company.
- Martínez, M. A. (2003). Aceites Esenciales. Universidad de Antioquía, Colombia. Medellín, Colombia.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriott, P. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. México, D.F. p 1054.
- Méndez Hurtarte, L. B. (2012). Diseño e implementación de una prensa hidráulica para la extracción de aceites fijos, en el laboratorio de investigaciones de extractos vegetales (Liexve) del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ingeniero Mecánico. Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. P. 31.
- Núñez, C. E. (2008). Extracciones con Soxhlet, Buenos Aires, Argentina.
- Parrotta, J. (2009). Resedáárbol de rábano, *Moringa oleífera Lam*. Consultado 05 de febrero del 2017. Disponible en: <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Moringaoleifera.pdf>
- Perry, R. y Green, D. (1997) Manual del Ingeniero Químico (7ª. Edición), II tomos, McGraw-Hill. México, D.F.
- Programa electrónico estadístico, Infostat Estudiantil, Versión 2017 actualizado día: 30-04-2018.
- Rahman, M., Islam, M., Akhtar, S., Islam, S., Rahman, A., y Rahman, M. (2009). Composición del aceite de semillas de moringa (*Moringa oleífera Lam*). Consultado 27 de junio del 2018. Disponible en: <https://www.botanical-online.com/moringa-aceite-composicion.htm>
- Smedman, A. E. , Gustafsson, I.B., Berglund, L.G., y Vessby, B.O. (1999). "Pentadecanoic acid in serum as a marker for intake of milk fat: relations between intake of milk fat and metabolic risk factors". The American journal of clinical nutrition. p 69.
- Universidad Autónoma de México. (2011). Hoja de Seguridad no. 11. Éter etílico, México D.F.

## 11. ANEXOS

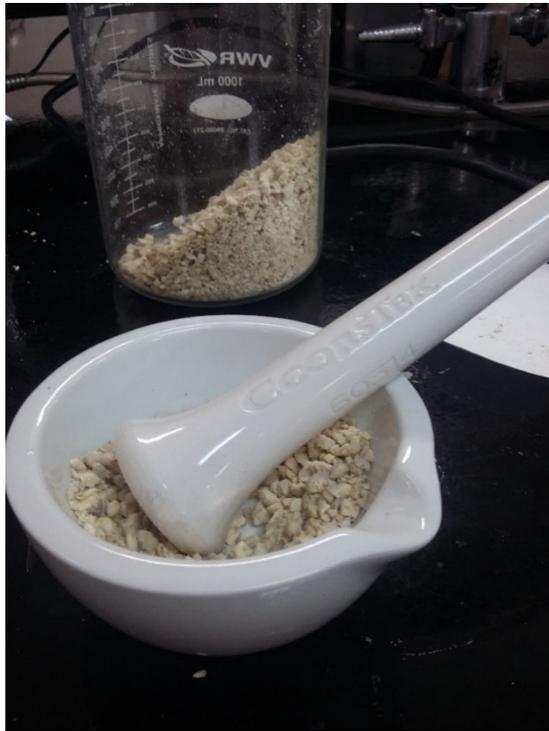
### 11.1 Materia prima



Semilla de *Moringa oleifera* Lam en su estado natural con cáscara.

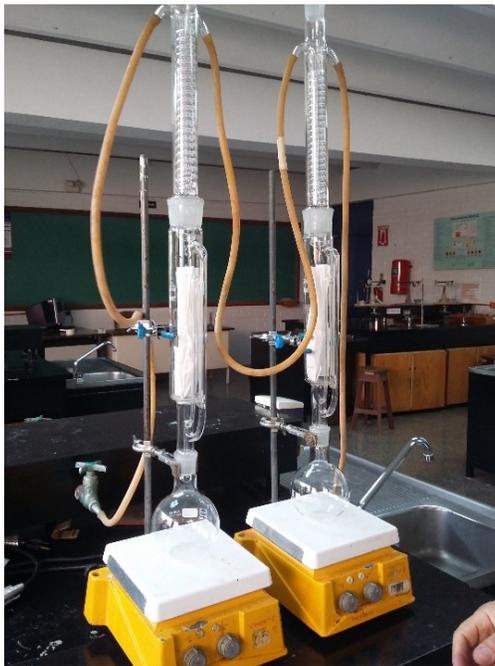


Endospermo de *Moringa oleifera* Lam.

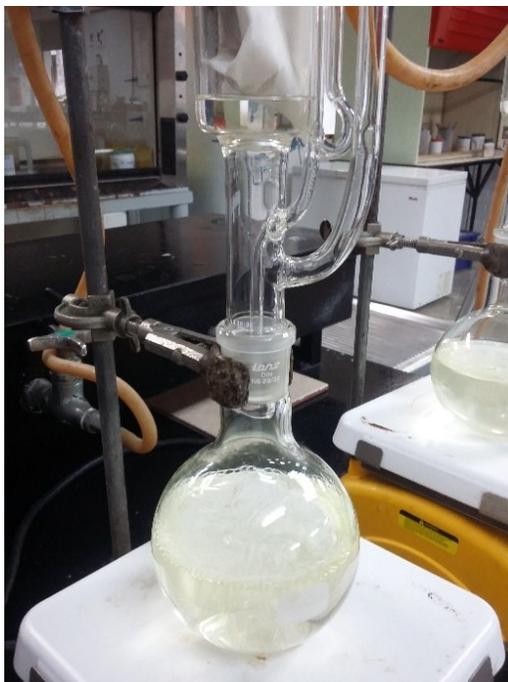


Semilla de *Moringa oleifera* Lam triturada.

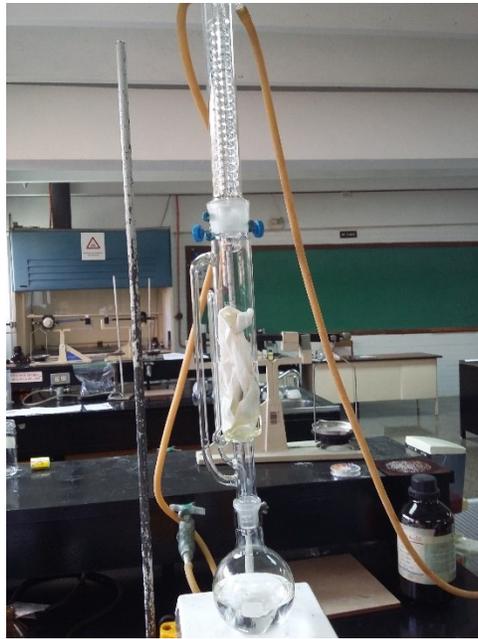
## 11.2 Extracción Soxhlet



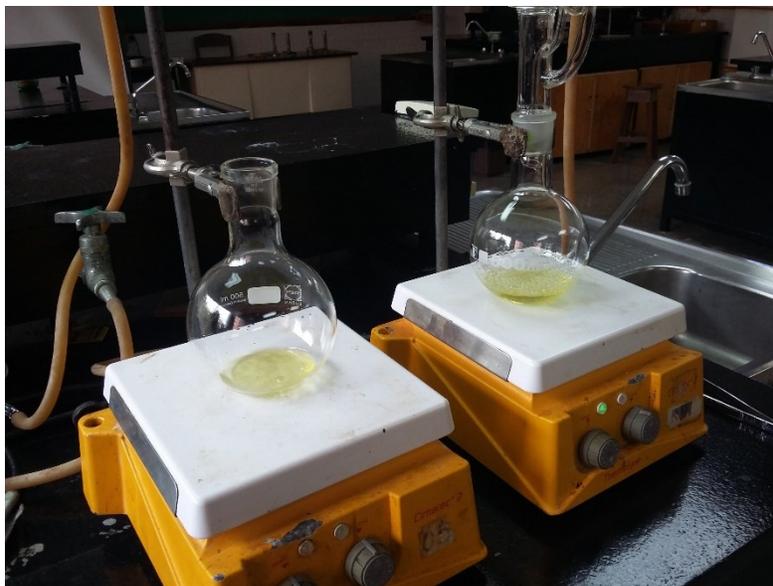
Aparato Soxhlet armado y fijado a una fuente de calor controlada y agua permanente.



Adición de éter etílico como solvente.



Éter subiendo en forma de vapor de agua hasta el condensador.



Solución de éter y aceite obtenida.



Solución de agua, aceite y éter en ampolla de decantación para su separación con sulfato de sodio anhidrido.



Traslado de la solución de éter y aceite a los recipientes.



Recipientes en horno para extracción de éter etílico presente en la solución.

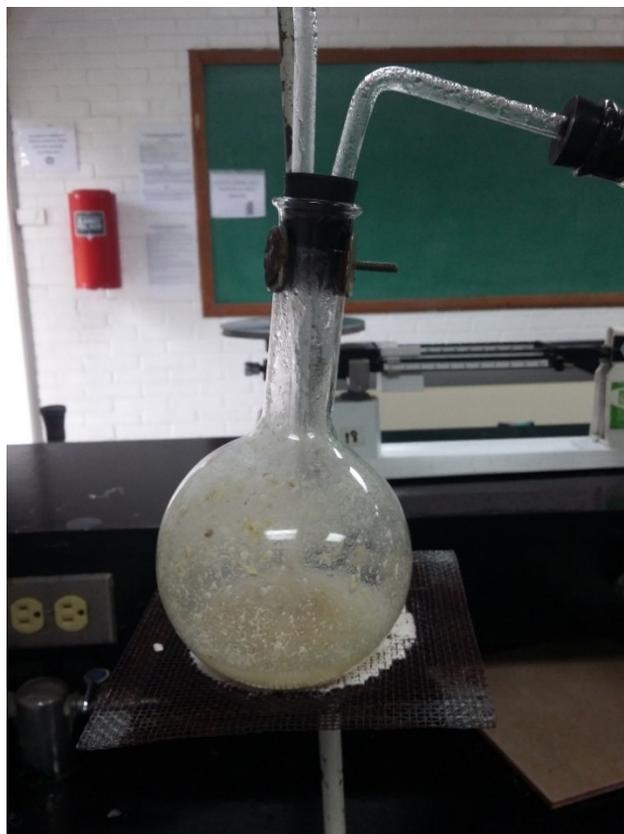
### 11.3 Extracción arrastre por vapor



Equipo de arrastre de vapor armado con una fuente de calor permanente y controlada y conectada a dos fuentes de agua fijas.



Balón aforado #1 de agua expuesta a una fuente permanente de calor.



Balón aforado # 2 con semilla triturada en recepción del vapor de agua.



Condensador del sistema de arrastre de vapor.



Beaker para la recepción de la solución de agua y aceite del sistema de arrastre de vapor.



Traslado de solución obtenida en el sistema de arrastre de vapor hacia recipientes identificados previamente.



Horno para someter las soluciones a calor y extraer el agua presente en la misma.

## 11.4 Extracción prensa

Prensa extractora.



Obtención de aceite.

## 11.5 Resultados estadísticos

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	30	0.91	0.90	17.20

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8822.90	2	4411.45	138.21	<0.0001
Tratamiento	8822.90	2	4411.45	138.21	<0.0001
Error	861.82	27	31.92		
Total	9684.72	29			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.26457

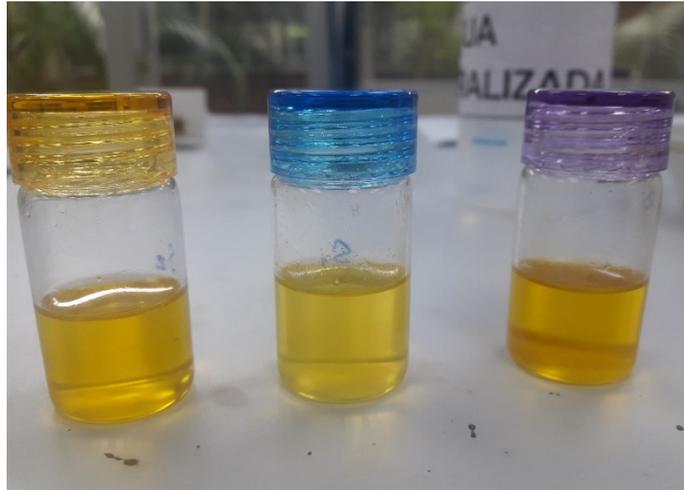
Error: 31.9193 gl: 27

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Prensa	13.37	10	1.79	A
Vapor	30.10	10	1.79	B
Soxhlet	55.10	10	1.79	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Resultados estadísticos obtenidos utilizando el programa Infostat estudiantil.

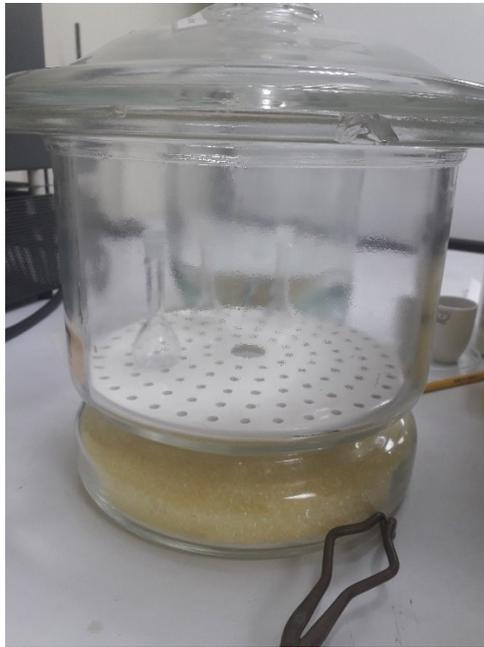
## 11.6 Proceso de cálculo de densidad



Preparación de muestras.



Horno para secado de cristalería.



Enfriador de cristalería.



Pesado de balón con muestra de aceite.

## 11.7 Resultados análisis de ácidos grasos de las muestras

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180720-0003.D						
Title :						
Acq On : 20 Jul 2018 14:20						
Operator : AdeM						
Sample : Soxhlet						
Misc : Aceite de moringa						
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - levadura1.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	32.114	8.59	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77300	001731-88-0	95
2	35.839	6.12	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	123729	005129-61-3	91
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	87
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	87
3	36.135	85.29	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99

Resultados de muestra extracción Soxhlet  
 Análisis en Centro de Ingeniería Bioquímica, CIB Instituto de Investigaciones.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\  
 Data File : 180720-0002.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jul 2018 13:13  
 Operator : AdeM  
 Sample : Prensa  
 Misc : Aceite de moringa  
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	32.113	8.64	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105662	005129-60-2	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77300	001731-88-0	95
2	35.839	6.43	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	123729	005129-61-3	95
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	86
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	84
3	36.130	84.93	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99

Resultados de muestra extracción prensa  
 Análisis en Centro de Ingeniería Bioquímica, CIB Instituto de Investigaciones.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\  
 Data File : 180720-0001.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jul 2018 12:07  
 Operator : AdeM  
 Sample : Vapor  
 Misc : Aceite de moringa  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - levadura1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	32.113	8.49	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105662	005129-60-2	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	94
2	35.839	5.96	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	97
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	96
			Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	123729	005129-61-3	89
3	36.139	85.55	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99

Resultados de muestra extracción arrastre de vapor  
 Análisis en Centro de Ingeniería Bioquímica, CIB Instituto de Investigaciones.

11.8 Recibo de análisis

<b>UVG</b> UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA <small>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA</small> <small>TEL (502) 23690791 (502) 23640336 (502) 23640492, FAX (502) 23698332, GUATEMALA NIT: 1761768-3</small>		<b>RECIBO DE CAJA</b> No. RC-CCE8-000000075369	
<small>DIA</small> 24	<small>MES</small> 7	<small>AÑO</small> 2018	<small>CUENTA No.</small> CCE00001822
RECIBIMOS DE: MAYLIN VALENCIA OSEIDA NIT: 3001656-8			
LA CANTIDAD DE: CIENTO CINCUENTA QUETZALES CON 00/100			
POR CONCEPTO DE			VALOR
PERFIL CROMATOGRAFICO DE MUESTRA DE ACIDOS GRASOS			Q150.00
Documentos Aplicados			
CM-00000000050743			
			Q150.00
FORMA DE PAGO			
EFFECTIVO:	Q150.00		
CHEQUE:	Q0.00		
TARJETA DE CR.:	Q0.00		
		471424	
FIRMA - CAJERO			
EXONERACION DE IMPUESTOS Y CONTRIBUCIONES, ART. 88 DE LA CONSTITUCION POLITICA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA.			
ORIGINAL - ESTUDIANTE (BLANCO)			

Constancia de análisis en Universidad del Valle de Guatemala