



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE  
ESENCIAL CRUDO DE ORÉGANO (*LIPPIA GRAVEOLENS*)  
PROVENIENTE DE DOS ZONAS DE DISTINTA ALTITUD, POR  
MEDIO DEL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR A NIVEL  
PLANTA PILOTO**

**Aldo Enrique Quezada Rodríguez**

Asesorado por el Ing. José Eduardo Calderón García

Guatemala, mayo de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE  
ESENCIAL CRUDO DE ORÉGANO (*LIPPIA GRAVEOLENS*)  
PROVENIENTE DE DOS ZONAS DE DISTINTA ALTITUD, POR  
MEDIO DEL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR A NIVEL  
PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**ALDO ENRIQUE QUEZADA RODRÍGUEZ**  
ASESORADO POR EL ING. QCO. JOSÉ EDUARDO CALDERÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Francisco Espinoza Smith
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL CRUDO DE ORÉGANO (*LIPPIA GRAVEOLENS*) PROVENIENTE DE DOS ZONAS DE DISTINTA ALTITUD, POR MEDIO DEL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR A NIVEL PLANTA PILOTO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 10 de marzo de 2006.

Aldo Enrique Quezada Rodríguez

Guatemala, 16 de noviembre de 2007

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

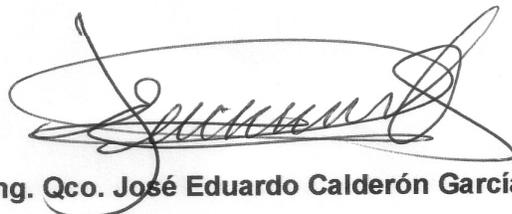
Estimado Ingeniero Williams Álvarez

El Motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el informe final del trabajo de graduación, para optar al título de Ingeniero Químico, del estudiante Aldo Enrique Quezada Rodríguez con número de carné 1999-11287, titulado **“Evaluación del rendimiento de extracción del aceite esencial crudo de orégano (*Lippia graveolens*) proveniente de dos zonas de distinta altitud, por medio del método de arrastre de vapor a nivel planta piloto”**.

Por lo cual, después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para proceder a su posterior trámite y autorizo su publicación.

Sin otro particular me suscribo de usted

Atentamente,



**Ing. Qco. José Eduardo Calderón García**

Asesor de Trabajo de Graduación

Colegiado 244

Profesor Titular IX

No. de Registro de personal 2372



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

---

Guatemala, 18 de abril de 2008  
Ref. EI.Q.112.2008

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-008-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **ALDO ENRIQUE QUEZADA RODRÍGUEZ**, identificado con carné No. **1999-11287**, titulado: **EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCION DEL ACEITE ESENCIAL CRUDO DE ORÉGANO (LIPPIA GRAVEOLENS)** proveniente de dos zonas de distinta altitud por medio del método de arrastre de vapor a nivel planta piloto, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico, José Eduardo Calderón García como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Quezada Rodríguez** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

---

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación del estudiante **Aldo Enrique Quezada Rodríguez** titulado: **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL CRUDO DE ORÉGANO (LIPPIA GRAVEOLENS) PROVENIENTE DE DOS ZONAS DE DISTINTA ALTITUD, POR MEDIO DEL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR A NIVEL PLANTA PILOTO”**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, mayo de 2,008

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios:** por darme vida.

**Padres:** Ada María Rodríguez y Carlos Enrique Quezada

*“No me cabe concebir ninguna necesidad tan importante durante la infancia de una persona, que la necesidad de sentirse protegido por un padre” (Sigmund Freud).*

**Mis hermanos:** Valo, Pepe y Charis, por su cariño y apoyo.

**Mis amigos:** por estar presentes en todo momento.

**María José:** por estar a mi lado y darme tanta motivación y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Ing. Eduardo Calderón

Por su invaluable apoyo para la realización de este trabajo de graduación.

Centro de Investigaciones de Ingeniería

Por permitirme utilizar sus instalaciones para realizar esta investigación.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA)

Por brindarme asesoría, literatura recursos para la presente investigación.

Escuela de Ingeniería Química

Por mi formación y por permitirme el uso de sus laboratorios.

Departamento de Toxicología de la Facultad de CC. QQ. Y Farmacia

Por ayudarme a realizar los análisis de cromatografía.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	III
<b>GLOSARIO</b> .....	V
<b>RESUMEN</b> .....	VII
<b>OBJETIVOS</b> .....	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XI
<b>1. ORÉGANO</b> .....	1
1.1 Descripción de la planta.....	1
1.2 Generalidades.....	1
1.3 Usos y propiedades.....	3
<b>2. ACEITES ESENCIALES</b> .....	5
2.1 Generalidades.....	5
2.2 Extracción de aceites esenciales.....	5
2.2.1 Rendimiento de extracción de aceites esenciales.....	6
2.3 Comercialización.....	7
2.4 Aceite de orégano.....	7
2.4.1 Antecedentes de extracciones de aceite esencial de orégano.....	8
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	11
3.1 Localización.....	11
3.2 Materia prima.....	11
3.3 Descripción del método.....	11
3.3.1 Extracción por arrastre de vapor.....	11

3.3.2 Decantación.....	12
3.3.3 Rotoevaporación .....	12
3.3.4 Caracterización física.....	13
3.3.5 Caracterización química.....	13
3.3.6 Manejo del experimento.....	13
3.4 Recursos utilizados .....	15
3.4.1 Recursos físicos.....	15
3.4.2 Recursos humanos.....	15
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
4.1. Rendimiento de extracción de aceite esencial crudo de orégano (Lippia graveolens) por lote.....	17
4.2. Datos de máxima extracción de aceite esencial crudo de orégano.....	18
4.3. Análisis estadístico.....	19
4.3.1 Diseño de experimento y mejor combinación .....	20
4.3.2 Significancia de los resultados.....	20
4.4. Características fisicoquímicas del aceite esencial crudo de orégano.....	21
4.5 Composición cualitativa y cuantitativa del aceite esencial crudo de orégano.....	22
<b>5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>39</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Proceso de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor.....	10
2. Diagrama de flujo de la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor.....	12
3. Rendimiento de extracción de aceite esencial crudo de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> ) dependiendo del lugar de origen.....	14
4. Cromatografía gaseosa: aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	42
5. Cromatografía gaseosa: aceite esencial crudo de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	45

### TABLAS

I. Lotes utilizados para extracción de aceite esencial de orégano.....	12
II. Rendimiento máximo de extracción de aceite esencial crudo de orégano a nivel planta piloto.....	15
III. Variables de proceso para máxima extracción de aceite esencial crudo de orégano a nivel planta piloto, según matriz de taguchi (y variables de planta estándar).....	15
IV. Matriz de taguchi para diseño de experimento.....	16
V. Características físicas del aceite esencial crudo de orégano.....	18
VI. Composición del aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	19
VII. Composición del aceite esencial crudo de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	20

VIII. Volumen de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	33
IX. Volumen de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	33
X. Densidad de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	34
XI. Densidad de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	34
XII. Índice de refracción de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	34
XIII. Índice de refracción de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	35
XIV. Temperatura de entrada y salida de cada flujo todos los lotes.....	35
XV. Rendimiento de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.....	36
XVI. Rendimiento de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.....	36
XVII. Diseño de experimento y resultado.....	37
XVIII. Matriz de taguchi con $SN_2$ .....	37
XIX. Resultados de análisis estadístico de varianza para variable tamaño de lote.....	40
XX. Resultados de análisis estadístico de varianza para variable uso de trampa de hexano.....	40
XXI. Resultados de análisis estadístico de varianza para variable lugar de procedencia.....	41

## **GLOSARIO**

<b>Aceites esenciales</b>	Son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas, que dan el aroma característico a algunas flores, árboles y semillas. Son intensamente aromáticos, volátiles (se evaporan rápidamente) y livianos (poco densos). Generalmente son insolubles en agua.
<b>Calderas</b>	Son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica.
<b>Contenido de aceite</b>	Porcentaje de aceite esencial que posee una hoja, tallo o parte de una planta en relación a su peso.
<b>Cromatografía</b>	Son un conjunto de técnicas basadas en el principio de adsorción selectiva cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla y en algunos casos identificar estos para determinar su composición.
<b>Densidad</b>	Cantidad de masa contenida en determinado volumen.
<b>Destilación</b>	Es una operación en la cual una mezcla líquida o de vapores de dos o más sustancias es separada en sus fracciones componentes a la pureza deseada mediante la aplicación o remoción de calor.

<b>Índice de refracción</b>	Es una medida para saber cuánto se reduce la velocidad de la luz (o de otras ondas tales como ondas acústicas) dentro del medio.
<b>Intercambiador de calor</b>	Un intercambiador de calor es cualquier dispositivo utilizado para transferir calor de un fluido procesado a otro.
<b>Neoclavenger</b>	Equipo de laboratorio para efectuar extracciones por arrastre de vapor.
<b>Planta piloto</b>	Cualquier planta de escala pequeña, entre 100 y 1000 litros de capacidad, con los mismos parámetros de diseño de una planta industrial.
<b>Proceso</b>	Conjunto de operaciones unitarias que dan lugar a la transformación de materia prima en producto terminado.
<b>Rendimiento</b>	Relación de masa de aceite esencial extraído y masa de materia prima inicial (hojas, tallos, etc).
<b>Rotavapor</b>	Es un aparato que se utiliza para la eliminación de un disolvente orgánico volátil de una mezcla de reacción a nivel de laboratorio. Emplea el concepto de destilación simple, sin embargo es un procedimiento más rápido y cómodo.
<b>Vaso florentino</b>	Es un equipo de decantación utilizado para separar aceites esenciales de otros solventes, obtenidos del proceso de extracción.

## RESUMEN

En este trabajo de investigación se comparó el rendimiento de extracción, las características fisicoquímicas, y la composición cualitativa y cuantitativa del aceite esencial crudo de orégano (*Lippia graveolens*) proveniente de Salamá, Baja Verapaz y la cabecera departamental de Zacapa. La extracción se realizó por medio del método de arrastre con vapor en la Planta Piloto de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se llegó a determinar que el orégano proveniente de Salamá es el que presenta mayor contenido de aceite esencial. Se obtuvo un rendimiento máximo de 1.528%. Las variables utilizadas para obtener un mayor rendimiento de extracción fueron: el tamaño de lote de 1.6 Kg., el tiempo de extracción de 1.5 horas y no se utilizó hexano para atrapar el aceite esencial.

Al aceite esencial crudo se le determinó sus características físicas en los laboratorios de química de la Facultad de Ingeniería y el laboratorio de la Planta Piloto. Además, se realizó un análisis cromatográfico para determinar su composición química (cualitativa y cuantitativa), en el Departamento de Toxicología de la Facultad de CC. QQ. Y Farmacia.

Se obtuvo que el aceite esencial proveniente de las dos regiones presentaron las mismas características físicas, y en el caso de su composición química, ambos aceites tienen en mayor porcentaje los compuestos Timol y p-Cimeno.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Comparar el rendimiento de la extracción de aceite esencial crudo de las hojas de orégano (*Lippia graveolens*) proveniente de la cabecera departamental de Zacapa y de Salamá (Baja Verapaz), por medio del método de extracción por arrastre de vapor.

### **Específicos**

1. Determinar las variables de proceso para la extracción de aceite esencial de orégano.
2. Comparar el rendimiento de extracción de aceite esencial de orégano cultivado en dos diferentes zonas del país.
3. Determinar las características físicas y químicas del aceite esencial crudo de orégano.



## INTRODUCCIÓN

El orégano (*Lippia graveolens*) es una planta que se cultiva en varias regiones de Guatemala, especialmente en el norte, occidente y oriente del país. Tiene mucho potencial para su industrialización, ya sea obteniendo extractos por sus propiedades medicinales o extrayendo su aceite esencial. De este último se conocen sus propiedades antioxidantes, por lo cual puede ser sustituto de los antioxidantes comúnmente utilizados en la industria de alimentos. Además posee un agradable aroma.

El objetivo principal de esta investigación es la de comparar la extracción de aceite esencial crudo de orégano proveniente de dos lugares de distinta altitud, de Salamá (Baja Verapaz) y de Zacapa (Zacapa). La extracción se hizo a nivel planta piloto. Además se obtuvieron las características físicas del aceite, así como su composición química por medio de análisis cromatográficos.

El método que se utilizó para obtener el aceite esencial crudo del orégano, es el de arrastre con vapor. Las variables de proceso que se determinaron son, el uso de agua o de una trampa de hexano para recolectar el aceite, el tiempo de extracción, y el tamaño del lote.

Por medio del experimento se obtuvieron datos técnicos sobre la extracción de aceite esencial crudo de orégano a nivel planta piloto, los cuales servirán como herramienta y base para poder industrializar la extracción de aceite esencial.

Además, se llegó a determinar cuál es la zona donde se cultiva el orégano con mayor contenido de aceite esencial, así como sus similitudes en cuanto a su composición y características fisicoquímicas.

# 1. ORÉGANO

## 1.1 Descripción de la planta

Familia:

Verbenaceae

Nombre científico:

*Lippia graveolens* HBK

Nombre común:

Orégano, Tabay

Origen:

Nativa

Estado:

Silvestre, manejo (Ref. 3)

Hábito y ubicación:

Se encuentra en forma de hierba, en campos abiertos o llanos. Generalmente a más de 500 msnm. Tiene presencia en el sur de EEUU, México y Centroamérica.

## 1.2 Generalidades

El nombre “orégano” proviene del griego: oros (montaña) y ganos (ornamento). La decoración, la belleza de las montañas. Una leyenda griega dice que Afrodita, diosa del amor, fue la primera en cultivar el orégano y le dio a esta planta la fragancia que actualmente posee.

Se puede decir que todavía hay mucha confusión con los nombres dados a las hierbas desecadas y a las plantas vivas. "Orégano" es un término utilizado en el sur de Estados Unidos y México para designar la hierba secada proveniente de las dos especies principales del género *Origanum*: *Origanum vulgare* y *Origanum onites*.

El término "Orégano" también comprende muchas subespecies (se utiliza el diminutivo "ssp") de *Origanum vulgare*, entre ellas la muy común y ampliamente difundida *Origanum Vulgare ssp vulgare* y la mucho menos común *Origanum vulgare ssp viride*. Finalmente, hay una subespecie muy interesante, localizada mayormente en Grecia y Turquía, denominada *Origanum vulgare ssp hirtum*. Es esta subespecie conocida como el "verdadero orégano griego" y tiene muy elevados contenidos de aceites esenciales. El mismo termino, "Orégano", es también usado para designar a un arbusto que se da en mesoamérica que se está usando en forma creciente como un sustituto del orégano, pero que es nombrado como orégano *Lippia graveolens*. No es una especie del genero *Origanum* y ni siquiera pertenece a la misma familia. (El orégano pertenece a la familia de las Labiadas, como el tomillo, el romero y la albahaca).

En cuanto a la identidad, no existen estándares establecidos para determinar la identidad de especies pero si existen descripciones guías suministradas por la American Spice Trade Association: "orégano" son hojas secas de *Origanun vulgare*, *Origanun spp* o *Lippia graveolens*. Las hojas son de color ligeramente verdoso y tienen un fuerte aroma alcanforado al ser presionadas, con sabor amargo. Las características de calidad son medidas por el aceite volátil, la ceniza total y ceniza ácida insoluble y la humedad.

Es una planta herbácea, perenne, de la familia de la labiadas, de 30 a 70 cm de altura, es originaria de Europa central, meridional y Asia Central. Se usan las hojas y extremidades floridas desecadas. Tiene olor aromático, agradable y sabor algo amargo. Según estudios soviéticos recientes, en la hierba de orégano existen habitualmente sustancias curtientes, ácido ascórbico, flavonoides y aceite esencial,

en cuya composición entran fenoles aromáticos (timol, carvacrol), sesquiterpenos, alcoholes libres y geranilacetato.

### **1.3 Usos y propiedades**

El orégano reviste particular importancia como condimento en la cocina italiana y en otras cocinas europeas. En relación a los usos en medicina es una hierba estimulante, carminativa, diaforética, tónico, tranquilizante para el sistema nervioso central. Refuerza las secreciones de las glándulas gástricas y bronquial, incrementa la perístasis del intestino por lo cual se lo recomienda para la atonía del intestino, en la disminución del apetito y como medio descongestionante de los resfríos.

También se demostró una fuerte influencia de su infusión en la diuresis. Se la utiliza como gárgara en enfermedades de la garganta y para baños en enfermedades purulentas de la piel. La infusión se la emplea en resfríos y catarros (expectorante), jaquecas nerviosas e irritabilidad. En pomadas y compresas alivia los dolores reumáticos y la tensión.

En herboristería el orégano es recomendado por sus propiedades aperitivas, estomáticas, calmantes, etc. Se está utilizando las propiedades antioxidantes del orégano para prolongar la vida ciertos alimentos y estabilizar sus colores y pigmentos y reducir la rancidez en los alimentos con elevado contenido en grasas tales como los embutidos.

Posee destacadas cualidades estabilizantes del color y resulta eficaz con pigmentos sensibles a la oxidación.



## **2. ACEITES ESENCIALES**

### **2.1 Generalidades**

Los aceites esenciales son concentrados aceitosos que se extraen de las hojas, flores, semillas, corteza, raíces o frutos de diversas plantas por medio de varios procesos como por ejemplo, el de arrastre por vapor, extracción por solvente, o extracción con fluidos supercríticos. Generalmente estos aceites se evaporan al contacto con el aire, por lo que también son conocidos como aceites volátiles. Los aceites esenciales tienen una enorme cantidad de usos y se obtienen tanto de plantas cultivadas como de plantas silvestres. En 1998, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) estimó que existen alrededor de 3,000 aceites esenciales conocidos a nivel mundial, de los cuales aproximadamente el 10 % tienen importancia comercial. La mayoría de los aceites se usan en cosméticos, masajes, aromaterapia, artesanías o en productos de limpieza; otros son usados como repelentes de insectos tanto para el hombre como para el ganado y en medicina, se aplican en el tratamiento de una amplia diversidad de afecciones.

### **2.2 Extracción de aceites esenciales**

La extracción de los aceites esenciales de las partes vegetales se realiza de diversas formas, en función de la calidad del aceite por extraer y de la estabilidad de sus constituyentes; ya que en la mayoría de los casos éstos tienden a degradarse cuando se someten a altas temperaturas u otro tipo de tratamiento extremo.

La extracción de aceites esenciales se realiza fundamentalmente por el método de extracción por arrastre de vapor, en la cual la parte de la planta que contiene al aceite esencial se pone en contacto directo con vapor. El vapor arrastra el aceite y luego se condensa. El aceite es recolectado en agua, que en la mayoría de los casos por diferencia de densidades se separan. Si el aceite tiene una densidad muy

parecida a la del agua, se puede utilizar una trampa con un solvente que sea volátil como por ejemplo el hexano, para luego separarlos por destilación.

Otro método usado es el de extracción con solventes, donde la parte de la planta que contiene el aceite esencial se pone en contacto con un solvente, que luego deben ser separados por medio de una destilación.

Antes del proceso de extracción la planta o la parte de la planta de interés se seca parcialmente y se tritura, esto ayuda a incrementar la superficie de contacto del solvente y agilizar el proceso de destilación.

En la actualidad existen diferentes técnicas para la extracción de aceites esenciales; muchas de ellas son utilizadas principalmente a nivel industrial, pero tienen el inconveniente de emplear solventes orgánicos muchas veces costosos y tóxicos.

Debido a esto, investigaciones en todo el mundo se han dado a la tarea de encontrar nuevas técnica más baratas y seguras. Una de éstas es conocida como Extracción con Fluidos Supercríticos, EFS, que consiste en utilizar como material de arrastre sustancias químicas en condiciones especiales de temperatura y presión.

El dióxido de carbono es el solvente supercrítico más investigado, debido a que no es un elemento tóxico ni inflamable, no perjudica la naturaleza y no requiere de un equipo sofisticado para cumplir su misión de arrastre de aceites esenciales. Además, el CO<sub>2</sub>, utilizado con fines extractivos, presenta propiedades fisicoquímicas propias de los gases y los líquidos, lo que lo convierte en un solvente muy versátil en procesos de extracción.

### **2.2.1 Rendimiento de extracción de aceites esenciales**

“Rendimiento de extracción” se le conoce a la relación entre el peso del aceite esencial obtenido por algún método de extracción y el peso de la hoja o parte de la planta que contiene dicho aceite, es decir es un porcentaje en peso. Muchas veces se confunde con el término “rendimiento” que comúnmente se utiliza en agronomía,

pero este se refiere a los kilogramos de aceite esencial obtenidos por hectárea sembrada de la planta que contiene al aceite. Cabe mencionar que "Rendimiento de extracción" tampoco se debe confundir con una relación entre el contenido teórico de aceite esencial en las plantas y el aceite esencial obtenido por extracción.

### **2.3 Comercialización**

Los aceites esenciales tienen amplia comercialización en el mercado mundial, aunque la demanda es bastante fija. Los precios son muy variables y dependen en gran medida de la calidad del aceite. Por ejemplo indican (Ref. 5) que el precio de aceite de cedro es alrededor de 46.28 quetzales por kilogramo (US\$6.05 / Kg); mientras que aceites de menor calidad de la misma especie pueden tener precios tan bajos como 28.61 quetzales por kilogramo (US\$3.74 / Kg). En promedio los aceites esenciales pueden tener precio de 58.14 quetzales por kilogramo (US\$7.6 / Kg).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) para el año 2003 el mercado de plantas medicinales era de unos 46,000 millones de quetzales anuales aproximados. Las plantas aromáticas y especias representaban unas 300,000 toneladas al año, unos 11,500 millones de quetzales. De esa cuenta, los aceites esenciales representaron unos 6,120 millones de quetzales. El crecimiento estimado de este sector es de 2 a 4 % (en volumen) anual. Además se reporta que no existe una demanda desabastecida. De los aceites que tienen un mayor mercado mencionan las mentas, orégano, tomillo, manzanilla, mejorana, romero, salvia, laurel.

### **2.4 Aceite de orégano**

El aceite esencial presenta terpenos fenólicos, cercanos al timol, y carvacrol, de propiedades anti-infecciosas y que constituye el elemento común a todas las variedades de "orégano". Además para el orégano *lippia graveolens* se reporta que posee ácido carioptosídico, naringenina, pinocebrina,  $\beta$ -felandreno, carvacrol, 1,8-cineol, r-cimeno, metil timol, timol, etc. (Ref.1) El aceite esencial, producido por

tricomas glandulares, secretores, posee una coloración amarillo limón. El *Origanum vulgare* ssp *vulgare* es pobre en carvacrol y poco usado en destilación. Los aceites esenciales denominados de "orégano" son obtenidos de distintas especies según el país de origen siendo variable su composición en cuanto a los componentes y contenidos.

Se obtiene por extracción por arrastre con vapor de agua, de las plantas frescas o desecadas cortadas en el momento de la floración.

Su aceite esencial es usado como medio de enjuague para las curaciones de los dientes. Tiene conocidas propiedades antioxidantes, asociadas al timol y al carvacrol, además las fungicidas, bactericidas y citotóxicas.

Como uso externo, la loción es beneficiosa para las várices y para la gota, el reumatismo y las articulaciones rígidas. La esencia tiene propiedades desinfectantes y cicatrizantes frente a infecciones dérmicas debido a sus propiedades antifecciosas, antibacterianas y antisépticas. La esencia de orégano entra dentro de la composición de diversos perfumes, en la fabricación de jabones y cosméticos.

Recientemente se ha comprobado que el aceite esencial de orégano frena el crecimiento de los gérmenes que se multiplican con el calor (entre ellos *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Listeria*) en forma eficaz.

Un estudio reciente (Ref. 6) sobre hierbas culinarias y medicinales, identificó al orégano como la hierba con la más alta actividad antioxidante, aun más que la vitamina E.

#### **2.4.1 Antecedentes de extracciones de aceite esencial de orégano**

El ICTA en su proyecto de investigación "Proyecto: Desarrollo agrotecnológico de plantas medicinales con potencial en el mercado interno y de exportación en regiones de la zona paz, informe de resultados" (Ref.3) reporta un rendimiento de extracción a nivel laboratorio desde 0.7 % hasta 1.55 % de aceite

esencial de orégano, de plantas cultivadas en el país. Mientras que a nivel internacional se reporta entre 0.4 y 0.7 %.

En otra investigación, Jonathan Ivan Sandoval Arana en su trabajo de graduación (Ref. 4) logró obtener hasta 1.11% de rendimiento a nivel laboratorio, utilizando orégano cultivado en Guatemala. Su investigación se basó en evaluar el rendimiento de aceite esencial a nivel laboratorio, utilizando el método de arrastre con vapor e hidrodestilación.

En cuanto al contenido teórico de aceite esencial, según tamizajes fitoquímicos, se encuentra en un 1.8% en relación al peso de la hoja de orégano. Esta investigación la realizó Armando Cáceres en su libro (Ref 2). y se refiere a plantas cultivadas en Guatemala.



## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Localización**

La parte experimental de esta investigación se llevó a cabo en la Planta Piloto de Extracción-Destilación de la sección de Química Industrial, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en los laboratorios del Área de Química de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la USAC y el laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de CC. QQ. Y Farmacia.

### **3.2 Materia Prima**

Se utilizó como materia prima las hojas secas de orégano (*Lippia Graveolens*), de plantas cultivadas en el ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola) de dos regiones del país: Zacapa (Zacapa) y Salamá (Baja Verapaz). El cultivo y el proceso de secado del orégano, se realizó bajo las mismas condiciones para las dos regiones.

### **3.3 Descripción del método**

#### **3.3.1 Extracción por arrastre de vapor**

Este proceso se realizó para el orégano proveniente de cada región, sin mezclarse. Primero se prepararon las hojas secadas, separando las partículas distintas de las hojas de orégano, como tallos o raíces. Luego, las hojas se cortaron en pedazos, se colocaron en un extractor con rejillas y se les hizo pasar vapor directo proveniente de una caldera. El vapor de agua conteniendo el aceite volátil pasó por un condensador, y se depositó en un vaso florentino conteniendo agua para la mitad de las corridas o bien una trampa de hexano para la otra mitad de las corridas. De esa forma se obtuvo dos mezclas:

- a. Aceite esencial / agua
- b. (Aceite esencial + hexano) / agua

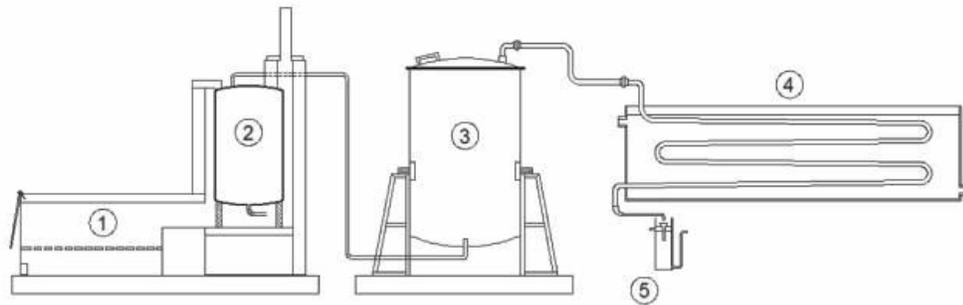
### 3.3.2 Decantación

Por medio de una decantación se separó el aceite esencial del agua, y la solución hexano-aceite esencial también se separó del agua.

### 3.3.3 Rotoevaporación

Se utilizó un rotavapor para que, por diferencia de volatilidades, se separara el aceite del hexano.

**Figura 1.** Proceso de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor



En la figura anterior se observa el proceso de extracción y de decantación. Los números 1 y 2 corresponden a la caldera, donde se genera el vapor que pasa a través de las hojas de orégano, las cuales están contenidas en unas rejillas en el extractor (número 3). Después el vapor conteniendo el aceite arrastrado, se condensa en el intercambiador de calor (número 4), para depositarse en el vaso florentino (número 5) donde se separarán las fases: aceite/agua o aceite+hexano/agua, por medio de decantación. A la mezcla aceite+hexano, se le hizo otro proceso: rotoevaporación, donde se separaron las fases por diferencia de volatilidades.

### **3.3.4 Caracterización física**

Las propiedades físicas que se le determinaron al aceite son: densidad, punto de ebullición, punto de fusión e índice de refracción. Estas se determinaron por medio de equipo de laboratorio

### **3.3.5 Caracterización química**

Por medio de un análisis de cromatografía se determinó la composición cualitativa del aceite esencial.

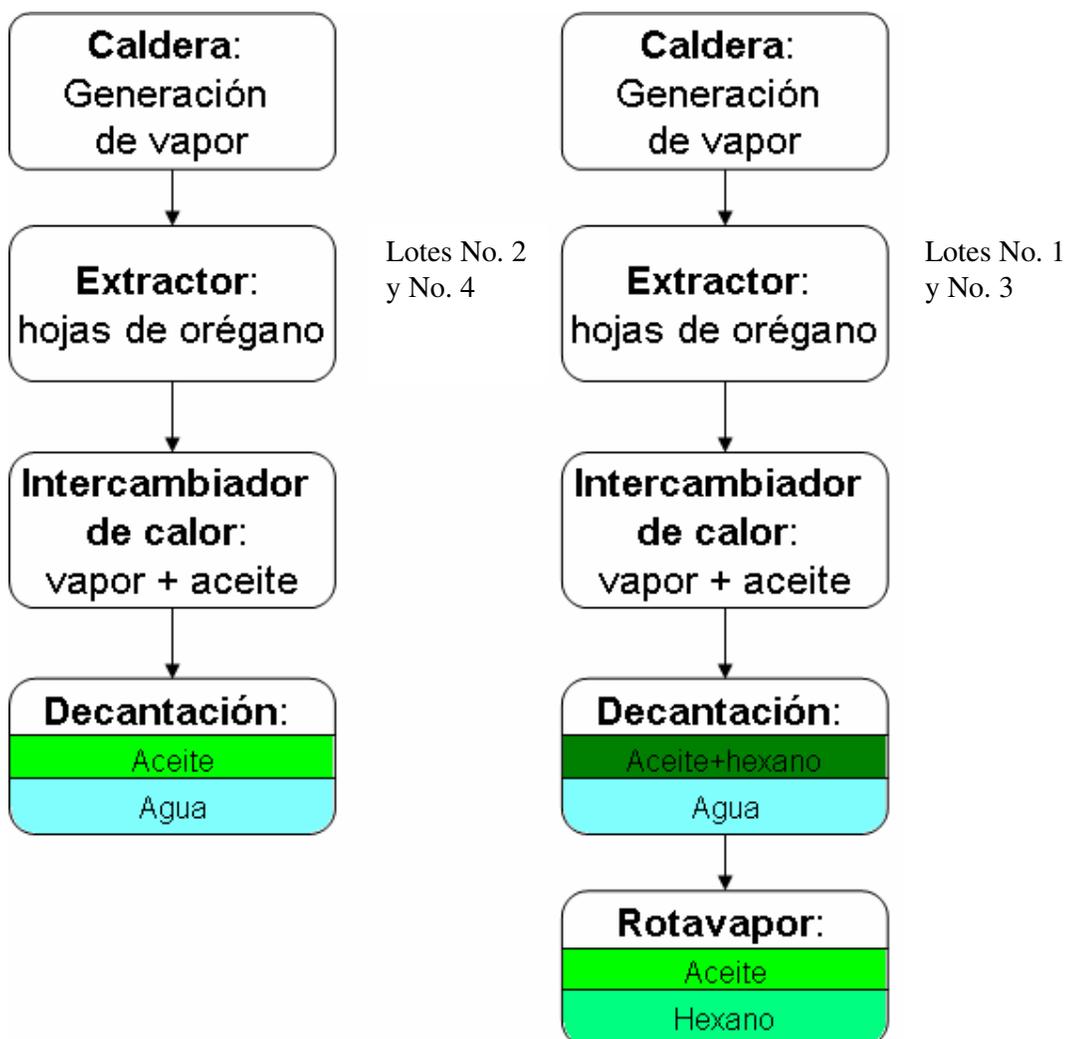
### **3.3.6 Manejo del experimento**

Se manejaron 4 variables: el lugar de procedencia de la materia prima (en base a la altura sobre el nivel del mar donde fue cultivado el orégano), el tamaño de lote (masa utilizada de materia prima: hojas de orégano), el uso o no de un solvente para capturar el aceite y el tiempo de extracción. Se utilizó materia prima de la cabecera departamental de Zacapa (220 msnm) y Salamá, Baja Verapaz (940 msnm). Para el tamaño de lote se utilizaron dos: de 1.6 y 2 kilogramos. Se utilizó en la mitad de las corridas una trampa para capturar el aceite utilizando como solvente hexano, en la otra mitad se utilizó únicamente agua. El tiempo de extracción se determinó cuando ya no se extraía de manera significativa aceite (de manera visual). De esa forma se obtuvo un arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 2$ , dando 8 corridas. La siguiente tabla y los siguientes diagramas explican los lotes utilizados y el proceso de extracción de aceite esencial de orégano proveniente de Salamá y Zacapa:

Tabla I. Lotes utilizados para extracción de aceite esencial de orégano

No. de lote	Tamaño de lote (Kg.)	Trampa de hexano
1	1.6	Si
2	1.6	No
3	2.2	Si
4	2.2	No

Figura 2. Diagrama de flujo de la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor



### **3.4 Recursos utilizados**

#### **3.4.1 Recursos físicos**

- Planta Piloto:
  - marmita
  - condensador
  - chiller (enfriador)
- Caldera de 10 HP
- Vaso florentino
- Neoclavenger
- Rotavapor
- Bomba de vacío
- Balones para decantación
- Beackers
- Pipetas
- Probetas
- Picnómetro
- Refractómetro
- Cromatógrafo
- Erlenmeyer

#### **3.4.2 Recursos humanos**

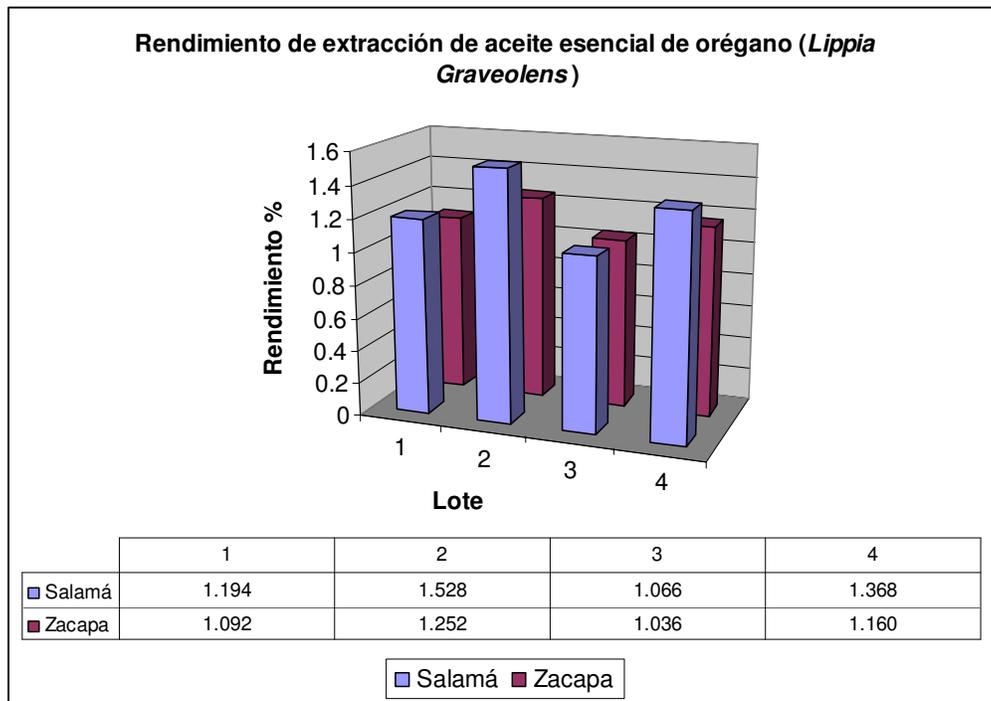
- Auxiliares de investigación de Planta Piloto
- Analistas de laboratorio en laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de CC. QQ. Y Farmacia.
- Auxiliares de laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de la USAC



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Rendimiento de extracción de aceite esencial crudo de orégano (*Lippia graveolens*) por lote

**Figura 3.** Rendimiento de extracción de aceite esencial crudo de orégano (*Lippia graveolens*) dependiendo del lugar de origen



Fuente: Tablas XIII y XIV

#### 4.2. Datos de máxima extracción de aceite esencial crudo de orégano

Tabla II. Rendimiento máximo de extracción de aceite esencial crudo de orégano a nivel planta piloto

<b>Lugar de procedencia</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Salamá, Baja Verapaz	1.528
Zacapa, Zacapa	1.252

Tabla III. Variables de proceso para máxima extracción de aceite esencial crudo de orégano a nivel planta piloto, según matriz de taguchi (ver Tabla No.IV) y variables de planta estándar

<b>Tamaño de lote</b>	1.6 Kg.
<b>Tiempo de extracción</b>	1.50 horas
<b>Trampa de hexano</b>	No
<b>Temperatura de vapor (entrada)</b>	92 °C
<b>Temperatura de vapor (salida)</b>	22 °C
<b>Temperatura de agua de enfriamiento (entrada)</b>	9 °C
<b>Temperatura de agua de enfriamiento (salida)</b>	13 °C

### 4.3. Análisis estadístico

#### 4.3.1 Diseño de experimento y mejor combinación

Para determinar la mejor combinación de variables para máxima extracción, se formó una matriz de taguchi de la siguiente forma:

Tabla No. IV Matriz de taguchi para diseño de experimento

Experimento No.	A	B	C	SN <sub>2</sub>
1	1	1	1	1.54
2	1	2	1	3.68
3	2	1	1	0.56
4	2	2	1	2.72
5	1	1	2	0.76
6	1	2	2	1.95
7	2	1	2	0.31
8	2	2	2	1.29

- Donde A, B y C son las variables a evaluar,  
A: Tamaño de lote  
B: Uso de trampa de hexano  
C: Lugar de procedencia del orégano
- Los números 1 y 2, representan los niveles,  
Para A, 1.6 y 2.2 kgs  
Para B, si y no  
Para C: Salamá y Zacapa
- Y SN<sub>2</sub> representa el factor “señal/ruido”

El mayor valor SN<sub>2</sub> es para el experimento no. 2, con la combinación:

Tamaño de lote: 1.6kgs

Trampa de hexano: no

Lugar de procedencia: Salamá

### 4.3.2 Significancia de los resultados

Para determinar si existía diferencia significativa entre los resultados se utilizó el análisis de varianza y método de prueba F, donde si  $F > 0$  y/o  $\alpha < 0.05$  se acepta que los valores de rendimiento obtenidos para cada nivel tienen diferencias significativas:

- Para determinar si el tamaño de lote incidía significativamente en los resultados, se obtuvo lo siguiente:  
F: 0.8301135  
 $\alpha = 0.397365$
- Para determinar si el uso de trampa de hexano incidía significativamente en los resultados, se obtuvo lo siguiente:  
F = 7.0705  
 $\alpha = 0.03757$
- Para determinar si el lugar de procedencia incidía significativamente en los resultados, se obtuvo lo siguiente:  
F = 1.9218  
 $\alpha = 0.214976$

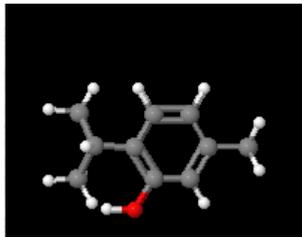
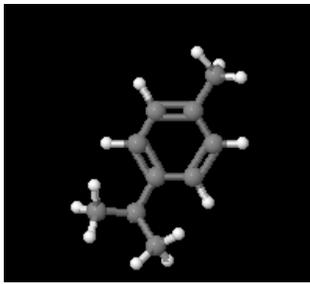
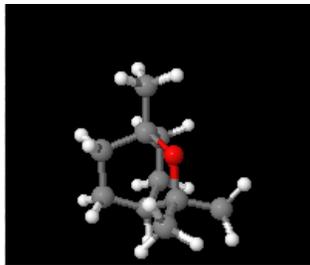
#### 4.4. Características fisicoquímicas del aceite esencial crudo de orégano

Tabla V. Características físicas del aceite esencial crudo de orégano

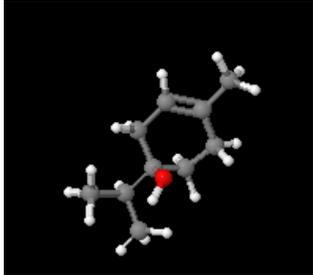
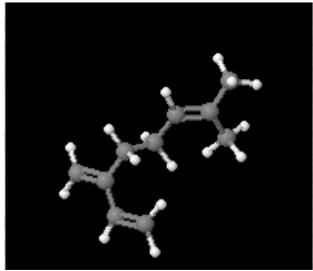
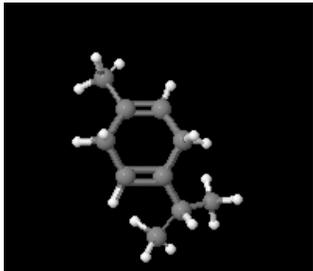
<b>Apariencia</b>	Líquido cristalino
<b>Color</b>	Amarillento
<b>Olor</b>	Fuerte con aroma a orégano
<b>Densidad (proveniente de Salamá) a 25 °C</b>	0.9076 g/ml
<b>Densidad (proveniente de Zacapa) a 25 °C</b>	0.9136 g/mL
<b>Índice de Refracción (proveniente de Salamá)</b>	1.4314
<b>Índice de Refracción (proveniente de Zacapa)</b>	1.4328
<b>Punto de ebullición (proveniente de Salamá)</b>	65 °C
<b>Punto de ebullición (proveniente de Zacapa)</b>	66 °C
<b>Solubilidad en hexano a 25 °C</b>	Infinita

#### 4.5 Composición cualitativa y cuantitativa del aceite esencial crudo de orégano

Tabla VI. Composición del aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz

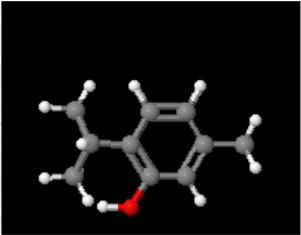
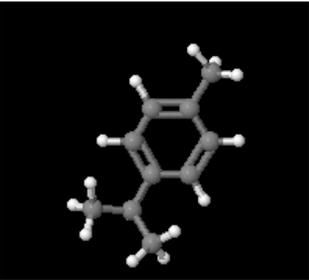
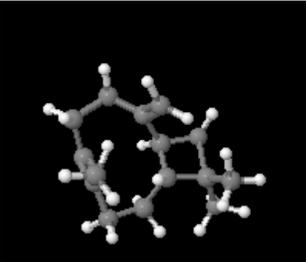
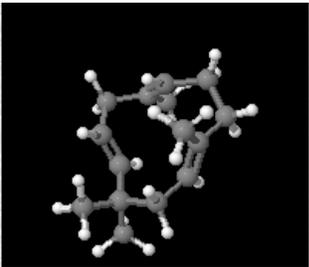
Nombre	Número CAS	Fórmula	Porcentaje
Timol	89-83-8	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O 	27.84 %
p-Cimeno 1 metil, 4 isopropil benceno	99-87-6	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> 	26.43 %
Eucaliptol 1,8-Cineol	470-82-6	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O 	6.39 %

Continúa

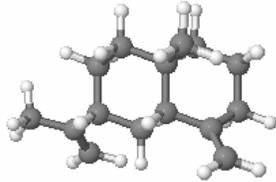
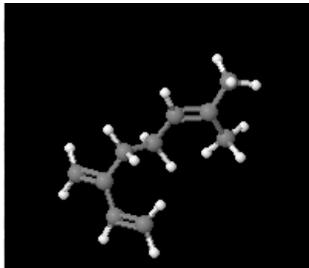
Origanol 4-Terpineol	562-74-3	$C_{10}H_{18}O$ 	5.50 %
Mirceno 3-metilen-7metil, 1-6 octadieno	123-35-3	$C_{10}H_{16}$ 	4.15 %
g-Terpineno 4 iso-propil-4 metil-1, 4- ciclohexadieno	99-85-4	$C_{10}H_{16}$ 	3.69 %
Otros			26 %

- Hidrógeno (H)
- Carbono (C)
- Oxígeno (O)

Tabla VII. Composición del aceite esencial crudo de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.

Nombre	Número, CAS	Fórmula	Porcentaje
Timol y 1,3,5 metil 2 metoxi benceno	89-83-8 59518-10-4	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O 	44.90 %
p-Cimeno 1 metil, 4 isopropil benceno	99-87-6	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> 	24.24 %
b-cariofileno	87-44-5	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> 	6.08 %
Alfa-humileno	6753-98-6	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> 	3.66 %

Continúa

Beta-Selinelo o Aromadendreno	17066-67- 0	$C_{15}H_{24}$ 	3.06 %
Mirceno 3-metilen-7metil, 1-6 octadieno	123-35-3	$C_{10}H_{16}$ 	2.13 %
Otros			15.93 %

- Hidrógeno (H)
- Carbono (C)
- Oxígeno (O)



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal de este trabajo de investigación es el de comparar el rendimiento de extracción de aceite esencial crudo de orégano (*Lippia graveolens*) proveniente de dos regiones del país, Zacapa y Baja Verapaz. Se escogieron estas regiones por ser donde comúnmente se cultiva esta planta, para venderse como condimento alimenticio. Además en estas dos regiones el ICTA ha estado promoviendo su cultivo y realizando investigaciones sobre mejoras en el cultivo y sobre el aceite esencial a nivel laboratorio, así como el Centro de Investigaciones de Ingeniería en su área de Química Industrial.

En cuanto a contenido de aceite esencial fue Salamá, Baja Verapaz, la que presentó el orégano con mayor rendimiento, como se observa en la Tabla No.II (Pág. No. 18). Esto fue evidente en todas las corridas que se realizaron, donde se variaron el tamaño de lote y el uso de trampa de hexano, esto se puede observar en la Figura 3 (Pág. No. 17). Sin embargo, el orégano proveniente de Zacapa, Zacapa, también presentó un buen rendimiento de aceite esencial, y está dentro de los rangos reportados en otras investigaciones. A pesar que en todos los experimentos el orégano de Salamá fue el que presentó mayor rendimiento, aun no se puede afirmar que existe una diferencia significativa entre ambas regiones, esto utilizando el análisis estadístico.

A nivel de laboratorio, el ICTA reportó un rendimiento máximo de extracción de 1.55% en sus investigaciones. Lo que indica que al escalar la extracción de aceite a nivel planta piloto no se reduce el rendimiento de extracción, ya que se obtuvieron valores similares. De igual manera podemos comparar con el rendimiento obtenido a nivel laboratorio en otra investigación (Ref. 4), que llegó a ser hasta de 1.11%.

En relación al contenido teórico de aceite esencial de las hojas de orégano, reportado según tamizajes fitoquímicos, se obtuvo un 84.9%, lo que indica que el método de extracción por arrastre de vapor es un método adecuado, ya que se obtuvo un porcentaje alto. Esto a pesar que el tiempo de extracción se dejó constante y no se terminó de agotar todo el contenido de aceite.

Las variables y las condiciones que se utilizaron para obtener el mayor rendimiento de aceite esencial a nivel planta piloto fueron, que el tamaño del lote debía ser de 1.6 kgs, utilizar únicamente agua para capturar el aceite esencial y no una trampa de hexano como solvente y el tiempo de extracción debía de ser de 1.5 horas. Esta es la combinación adecuada según el análisis estadístico de la matriz de Taguchi empleado.

En cuanto al tamaño del lote se observó que era el que presentaba mayor rendimiento de extracción debido a que las hojas no están tan apelmazadas y permiten que el flujo de vapor pase sin mayor dificultad a través de estas, además se observó una menor condensación del mismo dentro del tanque de extracción (marmita). En todos los experimentos donde se utilizó este tamaño de lote, se presentó el mayor rendimiento, sin embargo según el análisis estadístico de la prueba F, aun no refleja una diferencia significativa en relación con el tamaño de lote de 2.2 kgs.

El tiempo de extracción que se observó que era el mas adecuado fue de 1.5 horas, esto debido que a partir de ahí se ya no se obtenía una mayor cantidad de aceite esencial. Además no se tomó en cuenta la variable humedad de las hojas de orégano, ya que estas fueron cultivadas y secadas en igual condiciones en el ICTA.

En cuanto al uso de hexano en una trampa como solvente para capturar el aceite, se observó que se reduce el rendimiento de extracción debido a que es necesario realizar un proceso extra para obtener el aceite. El aceite esencial de orégano es infinitamente soluble a 25 °C en hexano, pero luego se debe separar por medio de un rotavapor debido a sus diferencias en su punto de ebullición. En

este paso se pierde parte del aceite en el proceso, esto era evidente en el olor que presentaba el hexano al final, en el cual ligeramente se sentía un olor residual de orégano. Además el aceite esencial también presentaba un olor residual de hexano, por lo que al aceite crudo es necesario hacerle otros procesos para aumentar su pureza y disminuir el hexano remanente. En comparación con no utilizar ningún solvente, resulta mejor solo capturar el aceite en agua, ya que después únicamente se necesita un proceso de decantación para separar el aceite del agua, debido a sus diferencias de densidad, como se observa en la Figura 3 (Pág. No. 17). La diferencia en rendimiento al no utilizar trampa versus utilizarla es significativa, según el análisis estadístico.

Las temperaturas que se utilizaron para la extracción fueron de 92 °C para el vapor para arrastre y de 9 °C para el agua de enfriamiento, estas fueron las necesarias para evaporar el aceite y no dañar las hojas de orégano, y para condensar el aceite esencial.

Las características físicas del aceite obtenido de orégano proveniente de Salamá y Zacapa no difieren mucho, la densidad varía en un 0.66 % y el índice de refracción en un 0.10 %. De igual manera su punto de ebullición varía en un grado Celsius, además ambos aceites presentaron la misma apariencia, olor y color. También presentan la misma solubilidad en hexano (infinita). Estas características se muestran en la Tabla 5 (Pág. No.21).

La composición del aceite esencial de orégano cultivado en Salamá y en Zacapa difiere en cuanto a algunos de sus componentes, en el caso del aceite proveniente de orégano de Salamá presenta en una mayor cantidad el compuesto Timol ( $C_{10}H_{14}O$ ) al igual que el aceite proveniente de orégano de Zacapa, pero el primero tiene 27,84 % de este compuesto, mientras el de Zacapa tiene 44.90 %. Ambos aceites presentan p-cimeno ( $C_{10}H_{14}$ ) y mirceno ( $C_{10}H_{14}O$ ) como dos de los compuestos con mayor presencia, y presentan similares porcentajes. En cuanto a los demás componentes del aceite de Salamá y Zacapa, aunque son distintos, la mayoría son compuestos cercanos al timol, carvacrol y algunos isómeros de fórmula

$C_{15}H_{24}$ ,  $C_{10}H_{18}O$  y  $C_{10}H_{16}$ . Los componentes principales, su estructura y su porcentaje se muestran en las Tablas No. VI y VII (Pág. No. 22 y 23)

En la literatura reportan que los compuestos que generalmente se encuentran en el aceite esencial de orégano, específicamente la variedad *Lippia graveolens*, son los cercanos al timol, carvacrol, 1,8 cineol, cimeno y mirceno entre otros, los cuales fueron encontrados en los dos aceites de orégano extraídos de orégano de Salamá y Zacapa.

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un mejor rendimiento de extracción de aceite esencial de orégano de las hojas provenientes de plantas cultivadas en Salamá, Baja Verapaz en comparación de las cultivadas en Zacapa, Zacapa.
2. En el método de arrastre con vapor, al utilizar una trampa de hexano para capturar el aceite esencial de orégano, se reduce significativamente el rendimiento de extracción.
3. El tamaño de lote de hojas de orégano que permite mayor rendimiento de extracción es el de 1.6 kilogramos, en comparación con el de 2.2 kilogramos.
4. No existe diferencia entre las propiedades físicas del aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz y del proveniente de Zacapa, Zacapa.
5. El Timol y el p-cimeno son los dos principales componentes del aceite esencial de las hojas del orégano cultivado en Salamá y Zacapa,



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el método de extracción de fluidos supercríticos (con CO<sub>2</sub>) para comparar el rendimiento de aceite esencial de orégano obtenido con el método de arrastre con vapor.
2. Realizar un estudio de factibilidad económica y de escalamiento industrial, para la extracción de aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*).
3. Hacer un estudio para determinar la cantidad de aceite esencial de orégano que se queda en el hidrolato, después de la extracción por arrastre con vapor.
4. Realizar un estudio para revisar las temperaturas utilizadas para el agua de enfriamiento en el intercambiador de calor de la planta piloto de extracción del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Realizar un estudio para la optimización de la extracción de aceite esencial de orégano a nivel planta piloto.
6. Hacer un estudio que relacione la humedad de las hojas de orégano con el rendimiento de extracción de aceite esencial.
7. Realizar un análisis químico para determinar el contenido real de aceite esencial presente en las hojas de orégano cultivado en Guatemala.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arcila-Lozano Cynthia Cristina, Guadalupe Loarca-Piña, Salvador Lecona-Urbe y Elvira González de Mejía. **“El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes”** PROPAC (Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República), Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Departamento de Ciencia de Alimentos y Nutrición Humana, University of Illinois, Urbana-Champaign. Enero 2004.
2. Cáceres, Armando. **Plantas de uso medicinal en Guatemala.** Editorial Universitaria, USAC. Guatemala. 1996.
3. Orellana Polanco, Alvaro Dionel. **Proyecto: Desarrollo agrotecnológico de plantas medicinales con potencial en el mercado interno y de exportación en regiones de la zona paz, informe de resultados.** Convenio ICTA-AGEXPRONT-IPP-AID. Marzo de 2001
4. Sandoval Arana, Jonathan Ivan. **Tesis: Evaluación del rendimiento en la extracción del aceite esencial de la hoja de orégano (Lippia Graveolens), variando el tamaño de muestra y aplicando los métodos de arrastre con vapor e hidrodestilación a nivel laboratorio.** Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, USAC. Noviembre de 1999.
5. Thomas, M.G. and D.R. Schumann. **Seeing the forest instead of the trees: Income opportunities in special forest products.** Midwest Ressearch Institute, Kansas City, MO, USA. 1992.
6. Zheng, W. Et al. 2002. Journal of Agricultural and Food Chemistry



## BIBLIOGRAFÍA

1. Cynthia Cristina Arcila-Lozano, Guadalupe Loarca-Piña, Salvador Lecona-Urbe y Elvira González de Mejía. **“El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes”** PROPAC (Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República), Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Departamento de Ciencia de Alimentos y Nutrición Humana, University of Illinois, Urbana-Champaign. Enero 2004.
2. Food and Agriculture Organization. 1998. Non wood forest products from conifers. FAO, Rome.  
<http://www.fao.org/docrep/x0453e/x0453e00.htm>
3. Instituto Nacional de Salud Pública. Informe técnico del proyecto: Sistemas de Salud Tradicionales en América Latina y El Caribe, Información de base. Noviembre de 1999. Washington, D.C. EEUU.
4. Orellana Polanco, Alvaro Dionel. Proyecto: Desarrollo agrotecnológico de plantas medicinales con potencial en el mercado interno y de exportación en regiones de la zona paz, informe de resultados. Convenio ICTA-AGEXPRONT-IPP-AID. Marzo de 2001.
5. Pierce A. Practical guide to natural medicines. The American Pharmaceutical Association. A Stonesong Press Book. William Morrow and Company, Inc. New York. 1999; p 728.
6. Thomas, M.G. and D.R. Schumann. 1992. Seeing the forest instead of the trees: Income opportunities in special forest products. Midwest Ressearch Institute, Kansas City, MO, USA

7. Zheng, W. Et al. 2002. Journal of Agricultural and Food Chemistry
8. [http://www.secyt.gov.ar/coopinter\\_archivos/](http://www.secyt.gov.ar/coopinter_archivos/)
9. <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/AceitesEsenciales.html>

# APÉNDICE



**APÉNDICE A**  
**DATOS ORIGINALES**

Tabla VIII. Volumen de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.

<b>No. de lote</b>	<b>Tamaño de lote (Kg.)</b>	<b>Trampa de hexano</b>	<b>Volumen de aceite esencial extraído (mL)</b>
1	1.6	Si	21
2	1.6	No	27
3	2.2	Si	26
4	2.2	No	33

Tabla IX. Volumen de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.

<b>No. de lote</b>	<b>Tamaño de lote (Kg.)</b>	<b>Trampa de hexano</b>	<b>Volumen de aceite esencial extraído (mL)</b>
1	1.6	Si	19
2	1.6	No	22
3	2.2	Si	25
4	2.2	No	28

Tabla X. Densidad de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.

No. de lote	Densidad de aceite esencial extraído (g/mL)
1	0.9102
2	0.9058
3	0.9025
4	0.9120

Tabla XI. Densidad de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.

No. de lote	Densidad de aceite esencial extraído (g/mL)
1	0.9201
2	0.9190
3	0.9114
4	0.9121

Tabla XII. Índice de refracción de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.

No. de lote	Índice de refracción de aceite esencial extraído
1	1.4306
2	1.4318
3	>1.4330*
4	1.4319

\*El rango de medición del refractómetro es de 1.3280 – 1.4330 RI (índice de refracción)

Tabla XIII. Índice de refracción de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.

No. de lote	Índice de refracción de aceite esencial extraído
1	1.4322
2	1.4314
3	1.4320
4	1.4317

Tabla XIV. Temperatura de entrada y salida de cada flujo todos los lotes

Temperatura de agua de enfriamiento (°C)		Temperatura de vapor (°C)	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
9	13	92	22



**APÉNDICE B**  
**DATOS CALCULADOS**

Tabla XV. Rendimiento de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Salamá, Baja Verapaz.

<b>No. de lote</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
1	1.194
2	1.528
3	1.066
4	1.368

Tabla XVI. Rendimiento de aceite esencial obtenido de las hojas de orégano proveniente de Zacapa, Zacapa.

<b>No. de lote</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
1	1.092
2	1.252
3	1.036
4	1.160



## APÉNDICE C

### CÁLCULOS PARA ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 1. Cálculo de matriz de Taguchi

Se parte de la siguiente tabla de experimentos para luego formar una matriz, donde A, B y C son las variables a evaluar, y los números 1 y 2 son los niveles de cada variable:

Tabla XVII. Diseño de experimento y resultado

No. de lote	Tamaño del lote (kg)	Trampa de hexano	Región	Resultado (rendimiento)
1	1.6	Si	Salamá	1.194
2	1.6	No	Salamá	1.528
3	2.2	Si	Salamá	1.066
4	2.2	No	Salamá	1.368
5	1.6	Si	Zacapa	1.092
6	1.6	No	Zacapa	1.252
7	2.2	Si	Zacapa	1.036
8	2.2	No	Zacapa	1.16

Tabla XVIII. Matriz de taguchi con  $SN_2$

Experimento	A	B	C	y	$SN_2$
1	1	1	1	1.194	1.54
2	1	2	1	1.528	3.68
3	2	1	1	1.066	0.56
4	2	2	1	1.368	2.72
5	1	1	2	1.092	0.76
6	1	2	2	1.252	1.95
7	2	1	2	1.036	0.31
8	2	2	2	1.16	1.29

Para calcular el  $SN_2$  se utiliza la siguiente fórmula:

$$SN_2 = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$$

donde  $n$  es el número de experimentos y  $y$  es el resultado de rendimiento

## 2. Cálculos para análisis de varianza

Se utilizan las siguientes fórmulas para llegar a determinar la prueba F y  $\alpha$ ,

Siendo:

$c$  = número de valores nominales

$n$  = total de datos

$n_j$  = total de datos de la  $j$ -ésima columna

$\bar{y}$  = promedio total

$\bar{y}_j$  = promedio de la  $j$ -ésima columna

$y_{ij}$  = dato número  $i$  de la columna  $j$

CM = Corrección de la media

SCC = Suma del cuadrado de los tratamientos

SCT = Suma de los cuadrados totales

SCE = Suma de los cuadrados del error

gl1 = grados de libertad uno

gl2 = grados de libertad dos

CMC = Cuadrado medio de los tratamientos

CME = Cuadrado medio del error

F = Valor para la prueba F

Obtenemos:

$$CM = n\bar{y}^2$$

$$SCC = \sum_{j=1}^c n_j \bar{y}_j^2 - CM$$

$$SCT = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} y_{ij}^2 - CM$$

$$SCE = SCT - SCC$$

$$gl\ 1 = c - 1$$

$$gl\ 2 = n - c$$

$$CMC = \frac{SCC}{gl\ 1}$$

$$CME = \frac{SCE}{gl\ 2}$$

$$F = \frac{CMC}{CME}$$

$$\alpha = \int_F^{\infty} \frac{gl\ 1^{\frac{gl\ 2}{2}} gl\ 2^{\frac{gl\ 2}{2}} x^{\frac{gl\ 2}{2}-1}}{B\left(\frac{gl\ 1}{2}, \frac{gl\ 2}{2}\right) (gl\ 2 + gl\ 1 x)^{\frac{gl\ 1 + gl\ 2}{2}}} dx$$

Para la variable Tamaño de Lote, los resultados fueron los siguientes:

Tabla XIX. Resultados de análisis estadístico de varianza para variable tamaño de lote

<b>Cálculo</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Total</b>
N	4	4	8
Media	1.2665	1.1575	1.2120
Suma de cuadrados	6.5203	5.4267	11.9470
Cuadrado Media	1.6040	1.3398	2.9438

$$F = 0.8301$$

$$\alpha = 0.3973$$

Para la variable trampa de hexano, los resultados fueron los siguientes:

Tabla XX. Resultados de análisis estadístico de varianza para variable uso de trampa de hexano

<b>Cálculo</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Total</b>
N	4	4	8
Media	1.0970	1.3270	1.2120
Suma de cuadrados	4.8277	7.1193	11.9470
Cuadrado Media	1.2034	1.7609	2.9643

$$F = 7.0705$$

$$\alpha = 0.0378$$

Para la variable lugar de procedencia, los resultados fueron los siguientes:

Tabla No. XXI Resultados de análisis estadístico de varianza para variable lugar de procedencia

<b>Cálculo</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Total</b>
N	4	4	8
Media	1.2890	1.1350	1.2120
Suma de cuadrados	6.7682	5.1788	11.9470
Cuadrado Media	1.6615	1.2882	2.9497

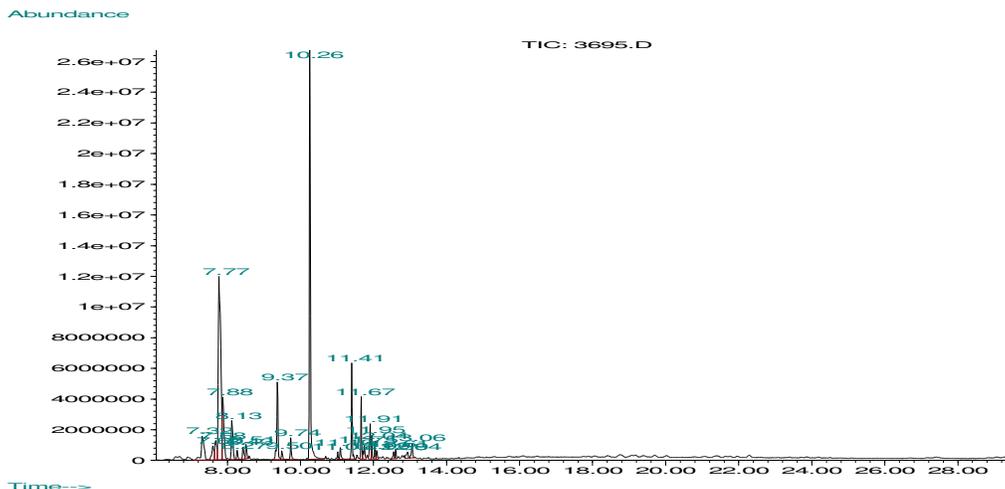
$$F = 1.9218$$

$$\alpha = 0.2149$$



## APÉNDICE D

FIGURA 4. Cromatografía gaseosa: aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja



**Information from Data File:**

File: C:\HPCHEM\1\DATA\3695.D  
 Operator: mca  
 Date Acquired: 13 Sep 07 9:56  
 Method File: RAFAEL  
 Sample Name: 3695 aceite oregano 1  
 Misc Info:  
 Vial Number: 1

Search Libraries: C:\DATABASE\WILEY275.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: Chemstation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.32	4.15	C:\DATABASE\WILEY275.L			
			MYRCENE	25355	000123-35-3	94
			.beta.-Myrcene	24946	000123-35-3	91
			.beta.-Myrcene	24949	000123-35-3	91
2	7.60	1.68	C:\DATABASE\WILEY275.L			
			.gamma.-Terpinene	25038	000099-85-4	94
			.GAMMA.-TERPINENE	25416	000000-00-0	90
			.gamma.-Terpinene	25027	000099-85-4	90

- 3 7.68 2.20 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .ALPHA. TERPINENE \$\$ PARA-MENTHA-1 25364 000099-86-5 96  
 .ALPHA.-TERPINENE 25417 000000-00-0 96  
 .alpha.-Terpinene \$\$ 1,3-Cyclohexa 24978 000099-86-5 96
- 4 7.78 26.43 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 PARA CYMENE 23459 000099-87-6 95  
 P-CYMENE 23479 000000-00-0 94  
 Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl 23306 000099-87-6 94
- 5 7.88 6.39 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 1,8-Cineole \$\$ 2-Oxabicyclo[2.2.2] 40438 000470-82-6 96  
 1,8-Cineole \$\$ 2-Oxabicyclo[2.2.2] 40431 000470-82-6 96  
 1,8-Cineole \$\$ 2-Oxabicyclo[2.2.2] 40436 000470-82-6 86
- 6 8.13 3.69 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25030 000099-85-4 94  
 .gamma.-terpinene 25327 000099-85-4 94  
 .GAMMA.-TERPINENE 25353 000099-85-4 91
- 7 8.27 0.65 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .GAMMA.-TERPINENE 25353 000099-85-4 95  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25031 000099-85-4 95  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25032 000099-85-4 95
- 8 8.44 1.00 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-terpinolene \$\$ Cyclohexene 25090 000586-62-9 97  
 (+)-2-CARENE 25420 000000-00-0 94  
 .alpha.-terpinolene \$\$ Cyclohexene 25088 000586-62-9 94
- 9 8.51 1.13 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Linalool \$\$ 1,6-Octadien-3-ol, 3,7 40052 000078-70-6 89  
 Linalool \$\$ 1,6-Octadien-3-ol, 3,7 40059 000078-70-6 70  
 .DELTA.-3-CARENE 25354 013466-78-9 60
- 10 9.38 5.50 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m 40162 000562-74-3 96  
 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m 40153 000562-74-3 96  
 l-4-Terpineol \$\$ 3-Cyclohexen-1-ol 40164 020126-76-5 94
- 11 9.50 0.64 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., 40180 000098-55-5 95  
 l.alpha.-Terpineol \$\$ 3-Cyclohexe 40191 010482-56-1 95  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25038 000099-85-4 86
- 12 9.74 1.37 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 METHYL THYMYLEETHER \$\$ Benzene, 2-m 49281 001076-56-8 94

1-Isopropyl-2-methoxy-4-methylbenz 49498 000000-00-0 94  
1-ISOPROPYL-2-METHOXY-4-METHYLBENZ 49401 000000-00-0 94

- 13 10.27 27.84 C:\DATABASE\WILEY275.L  
Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35726 000089-83-8 87  
Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35727 000089-83-8 87  
Phenol, 2-methyl-5-(1-methylethyl) 35731 000499-75-2 83
- 14 11.02 0.38 C:\DATABASE\WILEY275.L  
.alpha.-Cubebene \$\$ 1H-Cyclopenta[ 89538 017699-14-8 99  
.alpha.-Copaene \$\$ Tricyclo[4.4.0. 89531 003856-25-5 98  
.alpha.-Cubebene \$\$ 1H-Cyclopenta[ 89540 017699-14-8 98
- 15 11.10 0.74 C:\DATABASE\WILEY275.L  
elemol 108449 000639-99-6 93  
(-).beta.-Elemene \$\$ Cyclohexane, 89179 000515-13-9 90  
2,4-DIISOPROPENYL-1-METHYL-1-VINYL 89188 033880-83-0 78
- 16 11.41 4.59 C:\DATABASE\WILEY275.L  
trans-Caryophyllene \$\$ Bicyclo[7.2 89251 000087-44-5 99  
trans-Caryophyllene \$\$ Bicyclo[7.2 89246 000087-44-5 99  
.BETA.-CARYOPHYLLENE 89657 000087-44-5 99
- 17 11.67 2.96 C:\DATABASE\WILEY275.L  
.ALPHA.-HUMULENE \$\$ ALPHA-HUMULENE 89651 006753-98-6 98  
.alpha.-Humulene \$\$ 1,4,8-Cyclound 89194 006753-98-6 98  
.alpha.-Humulene \$\$ 1,4,8-Cyclound 89202 006753-98-6 98
- 18 11.76 1.20 C:\DATABASE\WILEY275.L  
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct 89408 030021-74-0 90  
.alpha.-Elemene \$\$ Cyclohexene, 6- 89176 005951-67-7 90  
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct 89407 030021-74-0 89
- 19 11.91 2.02 C:\DATABASE\WILEY275.L  
Aromadendrene 89476 000489-39-4 98  
Eremophilene \$\$ Naphthalene, 1,2,3 89361 010219-75-7 98  
VALENCENE 89783 000000-00-0 95
- 20 11.95 1.18 C:\DATABASE\WILEY275.L  
.alpha.-selinene 89597 000473-13-2 99  
.alpha.-selinene 89595 000473-13-2 98  
.alpha.-selinene 89598 000473-13-2 95
- 21 12.04 0.94 C:\DATABASE\WILEY275.L  
.delta.-Cadinene \$\$ Naphthalene, 1 89354 000483-76-1 97  
.delta.-Cadinene \$\$ Naphthalene, 1 89349 000483-76-1 93  
.delta.-Cadinene \$\$ Naphthalene, 1 89359 000483-76-1 93

22 12.10 0.56 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1, 87295 000483-77-2 96  
 Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1, 87297 000483-77-2 93  
 1 S-CIS-CALAMENENE 87320 000483-77-2 91

23 12.56 0.54 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Cyclooctene, 3-(1-methylethenyl)- 36241 061233-78-1 50  
 tricyclo[4.2.2,0(1,5)]decan-2-one 36113 117221-82-6 46  
 tricyclo[4.2.2,0(1,5)]decan-2-one 36112 117221-82-6 46

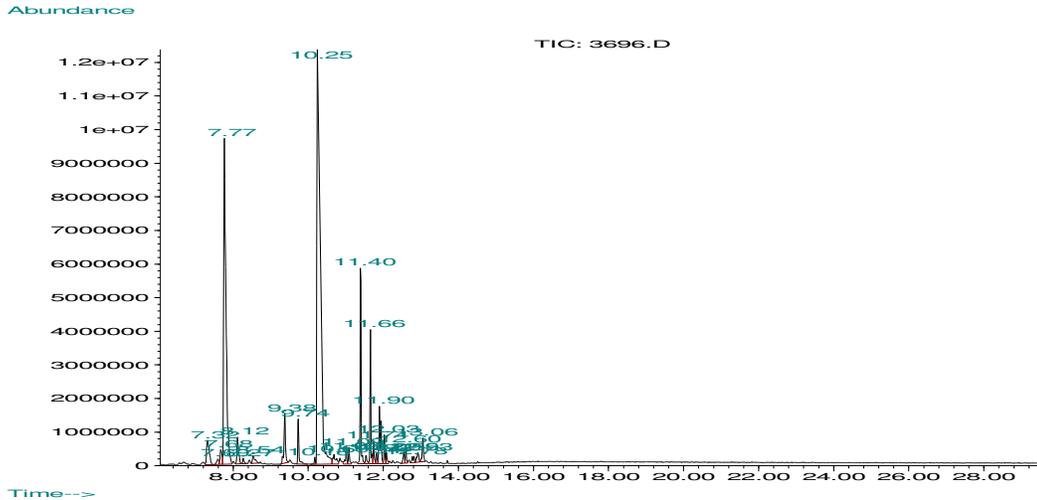
24 12.61 0.48 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 (+)-AROMADENDRENE 89770 000000-00-0 95  
 (+)-Aromadendrene \$\$ 1H-Cycloprop[ 89470 000489-39-4 95  
 (+)-Aromadendrene \$\$ 1H-Cycloprop[ 89473 000489-39-4 93

25 12.94 0.72 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Junipene \$\$ 1,4-Methanoazulene, de 89310 000475-20-7 87  
 Patchoulene (CAS) \$\$ PATCHOULENE ( 89328 001405-16-9 80  
 Ledene \$\$ 1H-Cycloprop[e]azulene, 89483 021747-46-6 78

26 13.06 1.05 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-eudesmol 108453 000473-16-5 90  
 .beta.-Eudesmol \$\$ 2-Naphthaleneme 108340 000473-15-4 89  
 Eudesmol \$\$ 2-Naphthalenemethanol, 108336 051317-08-9 89

Thu Sep 13 13:05:41 2007

FIGURA 5. Cromatografía gaseosa: aceite esencial crudo de orégano proveniente de Salamá, Baja



Information from Data File:

File: C:\HPCHEM\1\DATA\3696.D  
 Operator: mca  
 Date Acquired: 13 Sep 07 11:50  
 Method File: RAFAEL  
 Sample Name: 3696 aceite oregano 2  
 Misc Info:  
 Vial Number: 1

Search Libraries: C:\DATABASE\WILEY275.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: Chemstation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.33	2.13	C:\DATABASE\WILEY275.L			
			MYRCENE	25355	000123-35-3	93
			.beta.-Myrcene	24944	000123-35-3	91
			.beta.-Myrcene	24941	000123-35-3	91
2	7.60	0.37	C:\DATABASE\WILEY275.L			

- .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25031 000099-85-4 91  
 .GAMMA.-TERPINENE 25416 000000-00-0 91  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25027 000099-85-4 91
- 3 7.68 0.83 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-Terpinene \$\$ 1,3-Cyclohexa 24983 000099-86-5 94  
 .alpha.-Terpinene \$\$ 1,3-Cyclohexa 24981 000099-86-5 94  
 .ALPHA. TERPINENE \$\$ PARA-MENTHA-1 25364 000099-86-5 94
- 4 7.77 24.24 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl 23308 000099-87-6 97  
 PARA-CYMENE \$\$ 4-ISOPROPYLTOLUENE 23457 000099-87-6 97  
 Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl 23294 000527-84-4 95
- 5 8.12 1.46 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25035 000099-85-4 95  
 .gamma.-terpinene 25327 000099-85-4 94  
 .gamma.-Terpinene \$\$ 1,4-Cyclohexa 25033 000099-85-4 93
- 6 8.28 0.25 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 CIS-SABINENE HYDRATE 40612 015826-82-1 91  
 trans-sabinene hydrate \$\$ TRANS-TH 40342 017699-16-0 80  
 p-menth-2-en-1-ol 40522 000000-00-0 49
- 7 8.53 0.63 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 LINALOOL 40613 000078-70-6 80  
 L-LINALOOL 40556 000078-70-6 80  
 Cyclofenchene \$\$ Tricyclo[2.2.1.0( 25283 000488-97-1 70
- 8 9.37 2.40 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m 40153 000562-74-3 97  
 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m 40155 000562-74-3 97  
 TERPINEN-4-OL 40552 000562-74-3 97
- 9 9.74 1.73 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 1-ISOPROPYL-2-METHOXY-4-METHYLBENZ 49401 000000-00-0 94  
 METHYL THYMYLEETHER \$\$ Benzene, 2-m 49281 001076-56-8 94  
 1-Isopropyl-2-methoxy-4-methylbenz 49498 000000-00-0 94
- 10 10.18 0.24 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Phenol, 2-methyl-5-(1-methylethyl) 35731 000499-75-2 94  
 Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35723 000089-83-8 93  
 Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35726 000089-83-8 91
- 11 10.24 44.90 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Benzene, 2-methoxy-1,3,5-trimethyl 35801 004028-66-4 78  
 Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35726 000089-83-8 87

- 4-Ethyl-2,6-xyleneol \$\$ Phenol, 4-e 35748 010570-69-1 78
- 12 10.69 0.94 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 (1R,2R,3E,7R,8R)-7,8-epoxycembra-3 190362 101688-26-0 49  
 Benzene, 1-methoxy-4-(1-methylethy 35796 004132-48-3 30  
 Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl) 35721 000089-83-8 30
- 13 11.02 0.59 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-Copaene \$\$ Tricyclo[4.4.0. 89529 003856-25-5 96  
 .ALPHA.-COPAENE 89789 000000-00-0 95  
 .alpha.-Copaene \$\$ Tricyclo[4.4.0. 89527 003856-25-5 95
- 14 11.08 0.56 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 (-).beta.-Elemene \$\$ Cyclohexane, 89182 000515-13-9 96  
 .beta.-elemene 89586 000515-13-9 95  
 Elemene (CAS) 89187 011029-06-4 87
- 15 11.40 6.08 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 trans-Caryophyllene \$\$ Bicyclo[7.2 89240 000087-44-5 99  
 .BETA.-CARYOPHYLLENE 89657 000087-44-5 99  
 .BETA.-CARYOPHYLLENE 89693 000087-44-5 99
- 16 11.54 0.42 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 (+)-Aromadendrene \$\$ 1H-Cycloprop[ 89470 000489-39-4 95  
 (+)-AROMADENDRENE 89770 000000-00-0 95  
 Aromadendrene 89575 000489-39-4 93
- 17 11.67 3.66 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-Humulene \$\$ 1,4,8-Cyclound 89197 006753-98-6 97  
 .ALPHA.-HUMULENE \$\$ .ALPHA.-CARYOP 89766 000000-00-0 96  
 .alpha.-Humulene \$\$ 1,4,8-Cyclound 89201 006753-98-6 96
- 18 11.74 0.79 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .alpha.-amorphene \$\$ .ALPHA. AMORP 89416 023515-88-0 96  
 .alpha.-amorphene \$\$ .ALPHA. AMORP 89412 023515-88-0 93  
 .ALPHA.-COPAENE 89642 003856-25-5 91
- 19 11.82 0.34 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 4-Hydroxyphenylacetic acid, ethyl 173200 000000-00-0 37  
 erythro-1-(p-methylphenyl)-2-pheny 215336 100422-91-1 27  
 Benzofurazan, 5-(dimethylamino)- ( 47867 006124-22-7 25
- 20 11.91 3.06 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .beta.-Selinene \$\$ Naphthalene, de 89371 017066-67-0 98  
 AROMADENDRENE 89682 000489-39-4 97  
 .BETA.-SELINENE 89676 017066-67-0 97

21 12.04 0.82 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 .delta.-cadinene (armoise-Maroc) \$ 89582 000483-76-1 97  
 .delta.-Cadinene \$\$ Naphthalene, 1 89349 000483-76-1 94  
 .delta.-Cadinene \$\$ Naphthalene, 1 89352 000483-76-1 94

22 12.09 0.45 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 1S,CIS-CALAMENENE 87318 000483-77-2 80  
 MIXTURE OF 1-ISOPROPYL-4,6-DIMETHY 87293 000483-77-2 78  
 Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1, 87298 000483-77-2 64

23 12.55 0.47 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 4,4-Dimethyltricyclo[6.3.2.0(2,5)] 106149 000000-00-0 44  
 Benzenemethanol, 4-(1-methylethyl) 35760 000536-60-7 42  
 3-methyl-4,5,6,7-tetrahydroindan-1 36090 018631-68-0 41

24 12.61 0.57 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Ledene \$\$ 1H-Cycloprop[e]azulene, 89482 021747-46-6 95  
 .gamma.-Selinene \$\$ Naphthalene, d 89383 000515-17-3 89  
 EPIZONAREN \$\$ Naphthalene, 1,2,3,7 89389 041702-63-0 64

25 12.78 0.38 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Naphthalene, decahydro- (CAS) \$\$ D 26844 000091-17-8 46  
 3-Methyl-1-cycloheptenecarbaldehyd 26574 097997-05-2 46  
 3-Decyne (CAS) \$\$ 3-C10H18 26652 002384-85-2 45

26 12.93 0.64 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Adamantane \$\$ Tricyclo[3.3.1.1(3,7) 25296 000281-23-2 78  
 .ALPHA.-GUAIENE 89688 003691-12-1 62  
 .beta.-Guaiene \$\$ Azulene, 1,2,3,4 89286 000088-84-6 51

27 13.06 1.04 C:\DATABASE\WILEY275.L  
 Eudesmol \$\$ 2-Naphthalenemethanol, 108336 051317-08-9 94  
 .beta.-Eudesmol \$\$ 2-Naphthaleneme 108340 000473-15-4 94  
 .beta.-Eudesmol 108471 000473-15-4 93

Thu Sep 13 13:16:17 2007