



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO CON LA APLICACIÓN DEL  
MÉTODO DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS  
TAMAÑOS DE BATCH A PARTIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y  
PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO.**

TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
POR

RAMÓN BENJAMÍN PIEDRASANTA BATZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,997.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

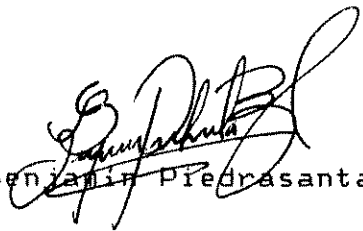
T(4205)  
C.A

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 tesis titulado:

EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO, CON LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS TAMAÑOS DE BATCH A PARTIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química, con fecha 3 de octubre de 1,996.

  
Ramón Benjamín Piedrasanta Batz

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Victor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5o.	Br. Wagner Gustavo López Cácares
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Julio Chávez Montúfar
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



Guatemala, 27 de Octubre de 1,997

Señor Director  
Julio E. Chavez Montúfar  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Señor Director

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que ha sido concluído satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: "EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO, APLICANDO EL METODO DE DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS TAMANOS DE BATCH A PARTIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO", desarrollado por el estudiante Ramón Benjamín Piedrasanta Batz, tema para el cual fuí asignada como asesora.

Considero que se ha cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo por lo cual recomiendo se apruebe en el entendido de que el autor y su servidora son los responsables de lo tratado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,

Inga Telma Maricela Cano Morales  
Jefe del Departamento de Química Industrial  
Asesora de Tesis  
Colegiado No. 433

Guatemala, 30 de Octubre de 1997.

ING. JULIO CHAVEZ M.  
DIRECTOR DE ESCUELA DE ING. QUIMICA.  
Fac. de Ingeniería. USAC.

Estimado Ingeniero, después de saludarlo muy atentamente, deseo hacer de su conocimiento que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del Sr. RAMON BENJAMIN PIEDRASANTA BATZ, titulado: "EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO, APLICANDO EL METODO DE DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS TAMAÑOS DE BATCH A PARATIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO."

Habiendo encontrado satisfactorio el trabajo, le pido proceda con los trámites subsiguientes.

Muy Atentamente:

  
Ing. Otto Raul de León de Paz  
Revisor del Informe Final.



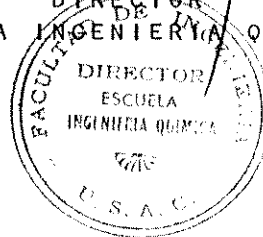
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante Ramón Benjamín Piedrasanta Batz titulado: **EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO CON LA APLICACION DEL METODO DE DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS TAMAÑOS DE BATCH A PARTIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO** procede a la autorización del mismo.

Ing. ~~JULIO~~ Chávez Montúfar  
DIRECTOR  
DE LA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 20 de noviembre de 1,997.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

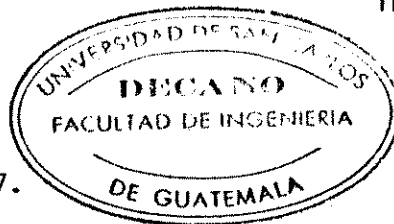
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: **EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO CON LA APLICACION DEL METODO DE DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR, VARIANDO LOS TAMAÑOS DE BATCH A PARTIR DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO Y PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO**, del estudiante **Ramón Benjamín Piedrasanta Batz**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

**IMPRIMASE:**

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, 20 de noviembre de 1,997.

## DEDICATORIA

### A DIOS:

"Si tomaré las alas del alba y habitaré en lo más remoto del mar, aún allí me guiará tu mano y me asirá tu diestra" (Salmo 139).

### A MIS PADRES:

Ismael Piedrasanta Camas y Alba Leticia Batz Pérez; por el constante e incansable apoyo que fue una base para poder alcanzar la cima y que hoy ven el fruto de su esfuerzo.

### A MI HERMANO:

Dr. Josué Ismael Piedrasanta Batz, por su apoyo, amistad y confianza y por sus invaluable consejos oportunos.

### A MIS ABUELOS:

Ramón Batz y en especial a Delfina Pérez de Batz, por sus sabios consejos y cariño, y por enseñarme el camino de la rectitud, la honestidad y la honradez.

### A MI FAMILIA:

Por sus múltiples muestras de cariño y aprecio, en especial a mis tías Yolanda Pérez de Villatoro y Elizabeth Vásquez de Ixcaquic.

### A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN:

Renato, Byron, Miriam, Oscar, Guisela, Lilian, Paulo, Erick, Ray, Abel, Karina, Juan Carlos, Carlos Fernández, Hayro, Ingrid, Claudia, Maco, Velveth, Ivonne, Amparo y en especial a Melvin, Julio, Violeta, Edgar, Alma, Khrysta, Luis Antonio, Luis Felipe y Claudia. por la amistad sincera y lealtad brindada en todos los años que convivimos juntos y por todos los momentos inolvidables que perecerán en mi memoria y en lo más profundo de mi corazón.



## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios:**

Bastión de nuestra existencia, fuente viva de inagotable poder y sabiduría, que gracias a su bendición puedo cosechar éxitos y anhelos en mi vida.

### **A mis padres:**

Por su sacrificio y esfuerzo para ayudarme en todo momento a salir adelante.

### **A la Inga. Telma Maricela Cano:**

Quien como asesora me ayudo enormemente, y por el gran esfuerzo y tiempo empleado en brindarme sus conocimientos, experiencias y consejos como persona y como profesional de la Ingeniería Química, existen pocas palabras que expresen mi agradecimiento.

### **Al Ing. Otto de León:**

Por su apoyo y colaboración en la revisión de la tesis, y quien por su excelencia académica y por ser digno representante del gremio de Ingenieros Químicos, es ejemplo a seguir, mereciendo todo mi respeto y admiración.

### **Al laboratorio de Química Industrial:**

Por su valiosa ayuda y colaboración, en la realización de las pruebas experimentales de la investigación.

### **Al laboratorio de Investigación de Química de Productos Naturales:**

En especial a los Licenciados Mynor Hernández y William Tally, por su colaboración y dirección en la realización de las pruebas a nivel de laboratorio y análisis fisicoquímico.

### **Al Ing. Byron Baldizón:**

Por su asesoría profesional que me permitió concluir en forma adecuada este trabajo; gracias por su disposición, comprensión y paciencia brindada en todo momento.

### **Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA):**

En especial al Ing. Rolando López por haberme proporcionado el material para la realización de dicha investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	VIII
OBJETIVOS	1
HIPÓTESIS	2
HIPÓTESIS ESTADÍSTICA	3
1. Marco Teórico y antecedentes	4
1.1 Definición y origen de los aceites esenciales naturales	6
1.2 Composición química de los aceites esenciales naturales	7
1.3 Función de los aceites esenciales en las plantas	8
1.4 Métodos de obtención de aceites esenciales	9
1.4.1 Expresión	9
1.4.2 Destilación	9
1.4.3 Extracción con disolventes volátiles	10
1.4.4 Enfluraje	11
1.4.5 Maceración	11
1.5 Rectificación de los aceites esenciales naturales	11
1.6 Preliminares para un estudio de obtención de aceites esenciales	12
1.6.1 Naturaleza del material vegetal	12
1.6.2 Reducción de la partícula	13
1.6.3 Técnicas de la recolección, secado y conservación de las plantas que contienen aceites esenciales	13
1.7 Identificación y cuantificación de sus constituyentes mayoritarios	16
	I

1.8 Deterioro a que estan expuestos los aceites esenciales naturales	17
1.9 Uso y aplicaciones de los aceites esenciales	17
Justificación	19
Método de investigación	21
2. Localización	21
3. Recursos humanos	22
4. Recursos materiales	22
5. Equipos	22
6. Metodología experimental	23
6.1 Diseño de tratamientos	23
6.2 Diseño experimental	23
6.3 Unidad experimental	23
6.4 Manejo de experimentos	24
7. Descripción del método	24
7.1 Destilación por arrastre de vapor a nivel de planta piloto	25
7.2 Destilacion por arrastre de vapor de agua a nivel de laboratorio	25
8. Análisis de la información	26
8.1 Modelo estadístico	26
8.2 Análisis estadístico	26
9. Resultados	27
10. Discusión de resultados	36
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
BIBLIOGRAFÍA	44
Apendice A: Clasificación botánica del romero	45
Apendice B: Análisis de varianza	49
Apendice C: Diagrama de flujo a nivel de laboratorio	51
Apendice D: Diagrama de flujo a nivel de planta piloto	53
	II

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

No.1	Aparato para llevar a cabo las pruebas a nivel de laboratorio	52
No.2	Diagrama de la planta piloto	54

### GRÁFICAS

No.1	Representación de los compuestos mayoritarios de la cromatografía de gases del aceite obtenido a nivel de laboratorio	30
No.2	Representación de los compuestos mayoritarios de la cromatografía de gases del aceite obtenido a nivel de planta piloto	32
No.3	Representación del rendimiento obtenido a nivel de laboratorio	33
No.4	Representación del rendimiento obtenido a nivel de planta piloto	34
No.5	Granulometría de la muestra de 15 libras, usada en la planta piloto	35

### TABLAS

No.1	Condiciones del proceso y resultados obtenidos a nivel de planta piloto	27
No.2	Condiciones del proceso y resultados obtenidos a nivel de laboratorio	28
No.3	Tiempos de retención de la cromatografía de gases del aceite obtenido a nivel de laboratorio	29
No.4	Tiempos de retención de la cromatografía de gases	III

	del aceite obtenido a nivel de planta piloto	31
<b>No.5</b>	Datos obtenidos del rendimiento a nivel de laboratorio	49
<b>No.6</b>	Resultados del análisis de varianza del rendimiento obtenido a nivel de laboratorio	50

## GLOSARIO

**Aceite Esencial:** son compuestos odoríferos naturales que ocurren en las plantas y que son aislados de las mismas.

**Arrastre con Vapor:** método de separación de algún material dentro de una mezcla, la cual se pone en contacto con vapor, oxígeno o hidrógeno.

**Condensador:** aparato que emplea dos fluidos con el propósito de que uno de ellos cambie de fase, para su posterior uso.

**Cosolubilidad:** reagrupación de las partículas de un material.

**Cromatografía de gases:** es un medio para la separación, caracterización y análisis cuantitativo de los aceites esenciales, esta es una técnica que funciona por medio de difusión.

**Destilación:** separación de los componentes de una solución por diferencia de volatilidades.

**Extracción:** separación de los componentes de cualquier sustancia por el contacto con un líquido.

**Extracción por arrastre de vapor:** salida de solutos volátiles ubicados en materias vegetales utilizando, como solventes, vapor de agua.

**Fase:** una parte de un material que se caracteriza por tener propiedades homogéneas a través de ella, y que se separa de otra por la interface.

**Hidrolato:** solución constituida de agua mas aceite esencial.

**Inmiscible:** sustancia que no se puede mezclar en otra dada.

**Mezcla:** proceso en donde se reparte un componente dentro de las partículas de otros componentes.

**Muestra:** pequeña porción de un sistema que sirve para evaluar propiedades o características del mismo.

**Muestra seca:** pequeña porción de un sistema que dentro de sus cavidades no contiene agua.

**Proceso:** secuencia de actividades cuya finalidad es la obtención de un producto.

**Secado:** separación de pequeñas cantidades de agua contenidas en un sólido por medios mecánicos.

**Solubilidad:** capacidad que tiene un compuesto de difundirse en otro, por tener similitud estructural en sus moléculas.

## RESUMEN

En el estudio que a continuación se presenta, se realizó la extracción de aceite esencial de Romero, a partir de las hojas secas y molidas del mismo. Este estudio se realizó a nivel de planta piloto y a nivel de laboratorio, variando los tamaños de Batch con el objetivo de determinar la influencia que tiene la cantidad de material con respecto al rendimiento y la calidad que se obtiene del aceite esencial.

Para tal efecto, se realizó un análisis de varianza para ver el efecto que tiene la cantidad de material, llegando a confirmar, mediante pruebas en el laboratorio y planta piloto que a medida que se aumenta la cantidad de materia, se obtiene un mayor rendimiento, solamente que el rendimiento a nivel de laboratorio es mayor que el obtenido a nivel de planta piloto.

Por medio de las pruebas de cromatografía de gases, se determinó que el aceite esencial obtenido a nivel de laboratorio tiene como componente mayoritario el Mirceno con un 22.05%, el  $\alpha$ -Terpineol con un 17.99%, en la planta piloto se obtuvo como componente mayoritario el  $\beta$ -Pineno con un 43.43%, el Limoneno con un 23.03%.



## INTRODUCCIÓN

La terapéutica popular que hace uso de especies vegetales medicinales, representa una manifestación sociocultural y científica que fundamenta su acción en el empirismo de personas interesadas en el proceso de salud-enfermedad, mediante la observación; el estudio de casos y la experiencia ancestral, lo cual ha permitido el aprovechamiento de los recursos fitoterapéuticos que existen en los ecosistemas de esta entidad geográfica y étnica de culturas antiguas como la nuestra.

El estudio que a continuación se presenta trata sobre la extracción de aceite esencial de romero. Para un país predominantemente agrícola como el nuestro, en el cual existen un conjunto de condiciones climatológicas que al interaccionar permiten que se de un desarrollo de una diversidad de flora, que procesados ya a nivel industrial se puede obtener productos con un mayor valor agregado. Un estudio como el presente reviste especial interés, ya que el romero es una planta que es considerada como medicinal y con un olor aromatizante que puede ser utilizado tanto en la industria de alimentos, perfumería como en cosméticos, se podría obtener a niveles industriales, teniendo las condiciones necesarias para la obtención de dicho aceite. Actualmente, el romero es cultivado para que se realicen una serie de estudios, para su posible desarrollo agrícola e industrial, se ha visto que se da en todas las épocas del año. Además, se ha encontrado que tiene un porcentaje de rendimiento aceptable, lo cual da como resultado que sea una planta con un alto potencial de rentabilidad.

El proyecto de investigación sobre la extracción de aceite esencial del romero, tiene como finalidad la evaluación del comportamiento de la variable rendimiento y la calidad del mismo, en la

operación de destilación por arrastre de vapor a la cual es sometida únicamente las hojas. La evaluación de las características físicas, químicas y la cromatografía, es realizada por el laboratorio de Productos Naturales, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Para evaluar el rendimiento y la calidad del aceite esencial que se obtiene de la destilación del romero, se evalúa el método de arrastre con vapor de agua. De este método se va a tener como variables la condición de la planta (material seco y molido).

Con esta investigación se espera contribuir a la divulgación o la elaboración de futuras investigaciones sobre la obtención de aceites esenciales, ya que con estudios como éste se establecen parámetros para dar un seguimiento a investigaciones para el desarrollo industrial en Guatemala.

## OBJETIVOS

### 1. GENERALES:

Obtener aceite esencial del romero, aplicando el método de destilación por arrastre de vapor de agua.

### 2. ESPECÍFICOS:

2.1 Establecer el rendimiento que se obtiene en cada una de las operaciones de destilación del romero, realizando las destilaciones a nivel de planta piloto y a nivel de laboratorio.

2.2 Determinar cual es el tamaño de Batch, con el cual se pueda obtener una mayor optimización del proceso, tanto en la planta piloto como en el laboratorio.

2.3 Comparar los rendimientos y la calidad del aceite esencial obtenido, al hacer destilaciones a nivel de laboratorio y a nivel de la planta piloto.

2.4 Contribuir al desarrollo científico y tecnológico de Guatemala, en el campo de la extracción de aceites esenciales.

## HIPÓTESIS

Es factible obtener aceite esencial de romero, aplicando el método de destilación por arrastre de vapor y destilación por arrastre de vapor de agua, realizando las extracciones tanto a nivel de planta piloto, como a nivel de laboratorio.

## HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Ho: no existe variación significativa en los porcentajes de rendimiento del aceite esencial obtenido del romero, sometidos a distintos tamaños de batch, usando el método de destilación por arrastre de vapor haciendo pruebas a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto.

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_3$$

Donde  $\mu$  es la media del porcentaje de rendimiento, de tres repeticiones, y el subíndice indica el número del tratamiento.

Ha: Existe variación significativa:

al menos  $\mu_i \neq \mu_j$

donde  $i, j$  puede tener un valor entre 1 y 9

## 1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Fue en oriente en donde por primera vez se produjeron y usaron los aceites esenciales, principalmente en Egipto, Persia y la India; posteriormente, fueron conocidos en occidente, y es así como en la antigua Grecia (485 A.J.) ya se conocía el aceite de trementina, que parece ser el más antiguamente conocido de los aceites esenciales (11). Hasta la Edad Media la destilación se utilizaba con la finalidad de obtener aguas de flores. Los aceites odoríficos se obtenían a partir de su contacto con flores, raíces, etc., y sabemos de su existencia en Oriente Medio, Grecia y Roma.

Parece ser que el famoso médico y filósofo español Arnaldo de Vilanova describió por vez primera la destilación de aceites esenciales (1235-1311) con fines terapéuticos. Philippus Aureolus Bombastus Paracelsus Von Hohenheim (1493-1541), célebre Médico Suizo, desarrolló su teoría acerca de la "Quinta Esencia", o sea la parte más sutil o sublime de una sustancia, considerada como portadora de efectos terapéuticos.

Por varias publicaciones del siglo XVI sobre el arte de la destilación, sabemos que el aceite esencial de espliego procedía de Provenza (Francia), y tenemos noticia de la manera de separar el aceite del agua.

Existían de 15 a 20 aceites distintos que podían adquirirse en las farmacias, tres esencias "Officinalis" (aceites de trementina, de espliego y de bayas de enebro) del *Dispensatorium Pharmacopolarum* (1546) y, además, 61 aceites esenciales del *Dispensatorium Valeri Cordi* (1592). En los siglos XVII y XVIII, los farmacéuticos, de quienes cabe citar a Baumé, Rovellet, Bindheim, Hoffmann y Glauber, se interesaron más profundamente por la naturaleza de los aceites

esenciales.

El desenvolvimiento de la industria de los aceites esenciales empieza con el siglo XIX a consecuencia de los trabajos experimentales de Lavoisier.

El primer estudio concienzudo sobre el aceite de trementina lo publicó J. Jo Houston de la Billardiere, que encontró una proporción de Carbono e Hidrógeno de 5:8, la cual se estableció más adelante para todos los hemiterpenos, terpenos, sesquiterpenos y politerpenos. El término "Terpeno" lo empleó por vez primera Kekulé, y la coronación de las investigaciones sobre estas substancias fue obra de O. Wallach. Desde entonces, los conocimientos tomaron rápidamente incremento y se hallan ligados estrechamente con los nombres de O. Aschan, E. Gildemeister, H. Walbaum, S. Bertran, A. Heisse, C. Kleber, E. Kremers, P. Barbier, L. Bouveault, E. Charabot y los contemporáneos L. Ruzicka, J. L. Simonsen Guenther, etc. (4).

La iniciación del cultivo de plantas productoras de aceites esenciales en Guatemala, se debe al Sr. Julio Samayoa en su finca Cerritos, durante la primera guerra mundial; luego siguieron René Keilhauer y más tarde su hijo Minor Keilhauer. Estas plantaciones aromáticas corresponden al Cimbopogon Nardus Rendle, el Cimbopogon Citratus (Decandolle), y al Cimbopogon flexuosus Stapt. Estas dos últimas crecen muy bien a una altura de 400 a 2,000 pies sobre el nivel del mar, en clima tropical, abundante sol y donde no falte la lluvia. El aceite esencial se encuentra en las hojas, su extracción se hace con arrastre de vapor en alambiques de hierro.(6).

Actualmente, se encuentra muy poca información con respecto a la extracción de aceite esencial de romero, únicamente se encuentra información acerca de las propiedades físicas y agrícolas de

dicha planta sin embargo, se han realizado estudios de tesis realizadas en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se han extraído aceites esenciales en la planta piloto de Extracción-destilación de Aceites Esenciales de la Escuela de Ingeniería Química. Entre éstos se encuentra el realizado por Miguel Arnoldo Lemus Gudiel, en el cual se hace una propuesta de un escalonamiento a nivel Industrial de la obtención de aceites esenciales de la cáscara de naranja a partir de la optimización de la extracción a nivel de planta piloto; el realizado por Juan José Rodríguez Coronado, donde se determina una combinación de variables apropiadas en la extracción del aceite de la hoja de eucalipto a partir de la evaluación de métodos de extracción convencionales; también el realizado por Leo Amado Merida Noriega, donde hace una determinación del conjunto de variables, apropiadas para el proceso de extracción de aceite de pulpa de aguacate con solventes, a partir de pruebas a nivel de planta piloto. Se han realizado otros estudios donde se ha investigado la parte farmacológica de extractos tanto alcohólicos como acuosos de diversas plantas medicinales; también esta la tesis de Gabriel Solís, su estudio es acerca de los manuales de seguridad, operación y mantenimiento del equipo de la planta piloto.

### **1.1 Definición y origen de los aceites esenciales naturales**

Resulta un poco difícil dar una definición precisa y concisa de lo que son aceites esenciales, para propósitos prácticos pueden ser descritos como compuestos odoríferos naturales que ocurren en las plantas y que son aislados de las mismas; generalmente líquidos (en algunas ocasiones semisólidos y muy rara vez sólidos); poco solubles en agua pero sí volatilizables con vapor, se evaporan a diferentes velocidades bajo presión atmosférica ordinaria y temperatura



ambiente, de acá viene el término alternativo de aceites volátiles o etéreos.(8).

Por otra parte, solamente existen hipótesis para explicar el origen de los aceites esenciales en las plantas. a) Hay la teoría que los terpenos (Constituyentes principales de los aceites esenciales) están formados por la adición del beta-amino ácido butírico normal a l-leucina con la eliminación de amoníaco y agua, o por la adición  $\alpha$ -amino ácido isocaproico a la alanina para dar cimeno. Cimeno más leucina da ácido cinámico, uno de los principales constituyentes de la corteza de canela. Ácido cinámico y cimeno se isomerizan produciendo terpenos. b) Existe también la opinión que los terpenos son originados de carbohidratos; la primera etapa es la formación del aldehído  $\beta$ -metil-crotónico de acetona y acetaldehído. Dos moléculas de aldehído metil-crotónico se polimerizan para obtener geraniol, el cual se isomeriza muy fácilmente a terpenos. c) Otra hipótesis admite la formación de terpenos a partir de carbohidratos y proteínas. (15).

## 1.2 Composición química de los aceites esenciales naturales

Se ha encontrado que los aceites esenciales contienen principalmente compuesto orgánicos líquidos, más o menos volátiles. La gran variedad de compuestos disueltos contenidos en los aceites esenciales se pueden clasificar de la siguiente manera: (3)

- 1) **Esteres:** principalmente de ácido benzoico, acético, salicílico y cinámico.
- 2) **Alcoholes:** linalol, geraniol, citronelol, terpinol, mentol, borneol.
- 3) **Aldehídos:** citral, citronelal, benzaldehído, cinamalaldehído, aldehído cumínico, vainilla.
- 4) **Acidos:** benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico todos en

estado libre.

- 5) **Fenoles:** eugenol, timol, carvacrol.
- 6) **Cetonas:** carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil cetona, metil heptenona.
- 7) **Esteres:** cineol, éter interno (eucaliptol), anetol, safrol.
- 8) **Lactonas:** cumarina.
- 9) **Terpenos:** canfeno, pineno, limoneno, felandreno, cedreno.
- 10) **Hidrocarburos:** cimeno, estireno (feniletileno).

### 1.3 Función de los aceites esenciales en las plantas

Hasta la presente fecha, no hay una teoría universalmente aceptada con respecto a la formación de los aceites esenciales y el papel que juegan en la vida de las plantas sólo se cuenta con numerosas hipótesis que se describen a continuación:(12)

- a) Los aceites esenciales penetran en los espacios intercelulares disminuyendo la transpiración de la planta.
- b) Incrementan la velocidad de circulación de substancias nutritivas en la planta, la cual regula su metabolismo.
- c) Son compuestos aromáticos que sirven para proteger contra los insectos y el crecimiento de hongos a las plantas.
- d) El aroma de las flores atrae a los insectos, promoviendo de esta manera su reproducción.
- e) Los aceites esenciales degradan a los glucósidos, en otras palabras actúan como agentes enzimáticos.
- f) Pueden proporcionar un medio de preservación a las plantas.

## 1.4 Métodos de obtención de aceites esenciales

Los aceites esenciales son producto del protoplasma celular de plantas y representan los productos del metabolismo celular. Los aceites esenciales se encuentran en brotes, flores, corteza, hojas, tallos, frutos, semillas, madera y rizomas, y en algunos árboles en exudados oleorresinosos. Para liberar los aceites esenciales de una planta se emplean los métodos siguientes: 1) Por el acto de exprimir, 2) por destilación, 3) por extracción con disolventes volátiles, 4) por enflurage y 5) por maceración. La mayor parte de los aceites se obtiene por destilación, generalmente con vapor, pero ciertos aceites se pueden dañar con altas temperaturas.

### 1.4.1 Expresión

Al exprimir por máquinas puede producirse un aceite casi idéntico al producto exprimido a mano y es el método aplicado en forma comercial. De los procesos de exprimir a mano, el proceso de esponja es el más importante, ya que produce el aceite de mayor calidad. Aquí la fruta se parte, y la piel se monda y se sumerge por varias horas; cada cáscara se prensa contra una esponja y el aceite se absorbe en ella, que se exprime periódicamente. Una persona puede preparar sólo 680 g de aceite de limón por día siguiendo este método, aún se practica, especialmente en Silicia.(9)

### 1.4.2 Destilación

Se coloca la planta, o parte que contenga el principio aromático, en la caldera de un alambique de hierro, cobre o vidrio, y se cubre con agua. Al calentar la caldera se evapora el agua y el aceite volátil, que se condensa en el refrigerante, recogiéndose con el agua en el colector, de la cual se separa al cabo de cierto tiempo por diferencia de densidades, y finalmente se aísla con un embudo provisto de un grifo en la parte mas estrecha.

De este modo se obtienen casi todos los aceites volátiles. En algunos casos se cubre la planta o partes de la misma con alcohol, en vez de agua; así se obtiene la esencia disuelta en el alcohol; este sistema se emplea hoy muy poco, pues es mucho mejor obtener la esencia con el agua, y después disolverla en alcohol. La temperatura tan baja a que hierve el alcohol, en comparación con la ebullición del agua, da lugar a una gran pérdida de esencia, por no ser suficiente el calor para desprenderla por completo de la planta, sobre todo tratándose de semillas, por otro lado la destilación con arrastre de vapor es la que tiene mayor aplicación para obtener el aceite crudo, consiste en aplicar la corriente de vapor directamente sobre el material a destilar, a una presión adecuada, lo cual se efectúa en alambiques provistos de su entrada de vapor el cual se distribuye en el interior por medio de pichachas o de tubos perforados.(9)

#### 1.4.3 Extracción con disolventes volátiles

Consiste en poner en contacto el material con una corriente de disolvente, hasta que éste se apodera de toda la esencia, que luego es separada por destilación.

El factor más importante para lograr el éxito en este método es la selección del disolvente. El disolvente debe (1) ser selectivo esto es disolver rápida y totalmente los componentes odoríferos, con sólo una parte mínima de materia inerte. (2) tener un bajo punto de ebullición. (3) ser químicamente inerte al aceite, (4) evaporarse completamente sin dejar cualquier residuo odorífero, (5) ser de bajo precio y, de ser posible, no inflamable. Se han empleado muchos disolventes pero el mejor es el éter de petróleo altamente purificado y el benceno es el que le sigue.(3)

#### **1.4.4 Enflurage**

El proceso de enflurage es un proceso de extracción de grasas en frío que se aplica sólo en algunos tipos de flores delicadas (jazmín, tuberosa, violeta, etc.) y que produce aceites que de ninguna forma se podrían obtener por destilación. En el caso de jazmín y tuberosa, las flores cortadas continúan produciendo perfume mientras siguen vivas (cerca de 24h). La grasa o base consiste en una mezcla altamente purificada de una parte de sebo y dos partes de manteca, con 0.6% de bazoína como conservador. Este método ya no se emplea de modo comercial.(3)

#### **1.4.5 Maceración**

La maceración fue un proceso importante antes de la introducción de los métodos modernos de extracción con disolventes volátiles.

La maceración se asemeja a la extracción por disolventes, la diferencia es que el material permanece varios días sumergido; en este sistema se usa aceite, grasa fundida, y aún alcohol etílico.(6)

### **1.5 Rectificación de los aceites esenciales naturales**

La palabra rectificación literalmente significa una corrección o un proceso de limpieza. Una destilación con arrastre de vapor, una destilación al vacío o cualquier otro tipo donde se aplique una segunda destilación a un aceite esencial, puede ser considerada como una rectificación.(1) La destilación fraccionada a presión reducida presenta muchas ventajas como lograr que los puntos de ebullición desciendan considerablemente, suprime la acción oxidante del aire sobre los productos calientes. Para llevar a cabo la destilación fraccionada de compuestos orgánicos de peso molecular medio o alto,

la cantidad de calor necesaria, aún a presión reducida, es tal que provoca la destrucción de la molécula.

Dada la necesidad de destilar y separar estos productos, se empieza a emplear la técnica de destilación molecular, que está basada en la evaporación y no en la ebullición de los diferentes componentes.

## **1.6 Preliminares para un estudio de obtención de aceites esenciales**

Como consecuencia de que no todos los aceites esenciales se obtienen de la misma manera, es necesario conocer las características de las materias primas, así como la forma en que se obtendrán los aceites esenciales. Para satisfacer las condiciones de multifuncionalidad, economía, fiabilidad, resistencia a la temperatura, calidad de los aceites esenciales, es necesario el conocimiento de los factores siguientes:

### **1.6.1 Naturaleza del material vegetal**

La materia prima empleada en la extracción de los aceites esenciales se clasifica de la siguiente manera:

- 1.- : Semillas y frutos
- 2.- Hierbas y hojas
- 3.- Flores y pétalos
- 4.- Racimos y Rizomas

Generalmente, las semillas, frutos, racimos y rizomas no se degradan pasado el almacenamiento.

Las hierbas, hojas y flores para el corte no prevenido entre el almacenamiento y conservación se degradan y es necesario un periodo corto en la recolección. Para la mejor extracción del aceite esencial es necesario que el intervalo de tiempo entre el proceso de recolección y el proceso de obtención del aceite sea de diez a treinta horas. Ciertas materias vegetales se les debe reducir el tamaño y así favorecer la obtención del aceite siendo necesario la existencia de molinos y cortadoras.

### **1.6.2 Reducción de la Partícula**

La materia prima que se emplea con más frecuencia en la extracción del aceite se presenta bajo la forma de sólidos.

Para aumentar la superficie de contacto y obtener la forma más apta de reacción, la operación preliminar a la extracción es generalmente la trituración.

Se debe emplear el seccionamiento que consiste en la división de los sólidos por medio de cortadoras y luego empleando una banda de cuchillas.

También se debe emplear el proceso de percusión cuyo efecto de rompimiento se realiza por golpes bruscos de martillos.

### **1.6.3 Técnicas de la recolección, secado y conservación de las plantas que contienen aceites esenciales**

El hecho de separar, cortando o partiendo, una sección del cuerpo vegetal, a ser posible por medio de una navaja bien afilada o,

en el caso de un vegetal leñoso, con unas tijeras de jardinero, produce un cierto número de transformaciones biológicas en la parte separada. Las células vegetales empiezan a marchitarse. Al separar la parte aérea de su raíz se provoca ante todo la interrupción del flujo alimenticio y de transpiración: ascensión del agua hasta las células, transportando los nutrimentos que lleva disueltos. Si la planta no es inmediatamente extendida al aire en finas capas, corre el peligro de estropearse. Las enzimas que contiene, y que antes favorecían la formación de materias activas, empiezan ahora a descomponerla. En el organismo vegetal las anteriores reacciones de síntesis orgánica comienzan a ser suplantadas por reacciones de degradación, y el producto se transforma desde el punto de vista químico. Una incorrecta forma de secado aumenta aún más la cantidad de productos de degradación sin valor terapéutico, perdiendo así el principio activo su calidad.

Las materias primas vegetales, en función de su naturaleza y de su aplicación terapéutica, deben sufrir ciertos tratamientos químicos o mecánicos. Estos tratamientos comprenden: la forma de recolección o de recogida, el secado, el descortezado, el picado, la eliminación de algunas partes, la molienda, el tamizado, la trituración, el tueste y hasta la fermentación. Cada uno de dichos procedimientos busca la obtención de una cierta estabilización de la substancias activas contenidas en la planta.

El secado de las plantas en general como las medicinales, las especias y las plantas de uso técnico-industrial, debe ser realizado por el productor o por el propio recolector. Se determina la época de la recolección, tanto de las plantas silvestres como de las cultivadas, en función del contenido de materias activas a lo largo de su ciclo vegetativo. En general deberán ponerse a secar las plantas lo más rápidamente posible tras su recogida, para evitar así que se



requemen al marchitarse. Normalmente, se desaconseja el secado a pleno sol, pues los rayos solares producen una pérdida de materias activas, un amarilleo con un rápido oscurecimiento de los vegetales y una alteración de su valor medicinal o aromático. Las plantas recogidas por sus aceites esenciales pierden así hasta un tercio de sus materias activas. Sin embargo se recomienda, en algunos casos excepcionales, practicar un corto secado previo al sol, para a continuación situar la cosecha en el interior, con una buena corriente de aire, incluso en ocasiones poniendo las plantas ante un ventilador.

En realidad secar una planta no es más que retirarle progresivamente su humedad. A menudo será necesario, antes de practicar el secado, regar la cosecha con agua, para eliminar de esa forma el polvo y las impurezas, las partículas de tierra, etc. También puede efectuarse la última fase en un secadero, junto a una fuente de calor artificial. El secado debe durar hasta la obtención de una consistencia perfectamente fiable: hasta las partes relativamente duras deben ser fáciles de partir al curvarlas. Una excesiva desecación provoca sin embargo la pulverización de las plantas y acarrea la pérdida de sus materias activas. Por el contrario, si su humedad residual permanece alta, se corre siempre el peligro de verlas pudrirse o enmohecerse durante su conservación. En verano, en lugares cerrados, con el calor natural, las flores se secan en 3-8 días, las hojas en 4-6 días por término medio; en otoño y primavera hay que prever bastante más tiempo. No es recomendable secar las plantas colocándolas encima de un radiador; es preferible valerse de un pequeño secador eléctrico con termostato.

No es aceptable extender los productos directamente sobre el suelo para su secado; no se utilizará nunca papel de periódico como soporte, sino papel blanco de envolver que esté bien limpio.(17)

## 1.7 Identificación y cuantificación de los constituyentes mayoritarios del romero

La cromatografía en fase gaseosa es un medio excelente para la separación, caracterización y análisis cuantitativo de los aceites esenciales. Cuando está acoplada con otras técnicas, tales como I.R., R.M.N. espectrometría de masas, se puede hacer una identificación u cuantificación de los picos casi completa. Antes de la cromatografía, muchos aceites esenciales son separados en grupos funcionales, tales como: Hidrocarburos terpénicos y derivados oxigenados, etc. Son estas fracciones las que se pasan a cromatografía.

El aceite esencial se inyecta a menudo completo sin ninguna separación preliminar. Esto tiene varias desventajas; la separación de los componentes no es completa. El uso del aceite completo tiene sus ventajas, si se tienen en mente las limitaciones del procedimiento. Primero, es un método muy rápido puesto que no hay una separación preliminar. Segundo, se pueden obtener cromatogramas característicos, "Huellas digitales" de un aceite esencial si no hay constituyentes mayores presentes que enmascaran los otros componentes. Este tipo de cromatograma es útil para control de calidad cuando la identificación de los componentes no es tan importante como el cromatograma característico del aceite. (7)

Una identificación rápida de los compuestos que constituyen el aceite esencial, puede hacerse mediante el olfateo de los componentes a la salida del divisor de flujo de un cromatógrafo con detector de conductividad térmica. es posible, a veces, detectar dos componentes que salen en el mismo pico. Será necesario conocer muy bien el aroma de los diferentes componentes y tomar en consideración que a la elevada temperatura de salida el olor varía un poco. Otra

forma de auxiliarse en la identificación es efectuar reacciones específicas para grupos funcionales en los aceites esenciales; un cambio de retención en un pico indica un grupo funcional sensible al reactivo aplicado (7)

### **1.8 Deterioro a que están expuestos los aceites esenciales naturales**

Generalmente el deterioro es atribuido a reacciones generales como: oxidación, resinificación, polimerización, hidrólisis de esteres y a la interacción de grupos funcionales. Estos procesos parecen estar activados por calor, aire (oxígeno, humedad, luz y en algunos casos posiblemente por metales.

Como regla general, cualquier aceite esencial será tratado antes de almacenarlo, removiéndole impurezas metálicas, humedad y materia suspendida. Los envases deben quedar completamente llenos, colocándose en un lugar fresco y protegido de la luz. Antes de sellar los recipientes es conveniente burbujear nitrógeno o anhídrido carbónico para desalojar del envase la cámara de aire que pudiera haber quedado dentro del aceite.(10)

### **1.9 Usos y aplicaciones de los aceites esenciales**

Si bien es cierto que los aceites esenciales tienen una gran variedad de aplicaciones, sus propiedades más apreciadas son sus olores. Una ilustración la encontramos en el jabón, el cual perdería muchos de sus atractivos si no tuviera olor. Este concepto es aplicable también a muchos artículos de consumo, como todo tipo de lociones y otros cosméticos, desodorantes de ambiente, etc. Como

saborizantes el citral de alta pureza procedente del aceite esencial de *Cymbopogon flexuosus* tiene amplia aplicación en bebidas y alimentos. Por otra parte el aceite esencial de cardamomo ha encontrado una gran aceptación entre los árabes, los cuales lo emplean principalmente en productos alimenticios.(2,3)

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los aceites esenciales tienen una gran demanda para la preparación de productos farmacéuticos, cosméticos y de alimentos, y se sabe que Guatemala es un país que posee una extensa flora que lastimosamente no se ha podido explotar al máximo y esto es debido al bajo nivel de tecnología que existe en el país y la forma correcta de transformación a nivel industrial de estos en productos de mayor valor agregado y utilidad para las personas.

Por tal razón se considera de importancia sentar las bases para que se establezcan procedimientos apropiados para lograr óptimos resultados en la utilización de estos recursos naturales.

Con este proyecto de investigación, se inicia un ciclo muy importante para la Facultad de Ingeniería, y especialmente para la escuela de Ingeniería Química, ya que conjuntamente con el Centro de Investigaciones de Ingeniería Sección de Química Industrial y el Laboratorio de Investigaciones de Química de Productos Naturales de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, se pueden realizar estudios de nuevas plantas que son consideradas como medicinales o aromáticas y que nunca antes han sido estudiadas.

A principio de este siglo, el desarrollo de la química y el descubrimiento de complejos procesos de síntesis orgánica desembocaron en la puesta en marcha, por parte de la industria farmacéutica, de una nueva producción de medicamentos. Para la fabricación de muchos de ellos utilizaron los principios activos de determinadas plantas medicinales, creyendo que las acciones imputables a dichas sustancias, se verían incrementadas, al poder realizar terapias donde la cantidad de principio activo es superior al que posee la planta. No debemos olvidar que los medicamentos a base

de plantas medicinales presentan una inmensa ventaja con respecto a los tratamientos químicos. En las plantas los principios activos se hallan siempre biológicamente equilibrados por la presencia de sustancias complementarias, que van a potenciarse entre si, de forma que en general no se acumulan en el organismo, y sus efectos indeseables están limitados. Sin embargo, a pesar de que han aumentado las investigaciones y estudios científicos de las plantas medicinales, todavía no se conocen muchos de los principios activos a los que deben las plantas sus extraordinarias cualidades.

## MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 2. LOCALIZACIÓN

La parte experimental de la investigación se lleva a cabo en los siguientes lugares:

2.1 Planta piloto, ésta se encuentra localizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química. En este lugar se llevará a cabo las extracciones del aceite esencial.

2.2 Laboratorio de Investigaciones de Química de Productos Naturales, de la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En este lugar se llevará a cabo la extracción del aceite esencial del romero a nivel de laboratorio, donde se hará el análisis de las características fisicoquímicas y análisis cromatográficos del aceite esencial, así como la identificación de sus componentes químicos.

2.3 Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). Este lugar se localiza en Chimaltengango, allí se llevará a cabo la recolección del material, para luego ser sometido al secado.

### 3. RECURSOS HUMANOS

- 3.1 Autor de la investigación: Br. Benjamín Riedrasanta Batz
- 3.2 Asesora: Inga. Telma Cano
- 3.3 Asesoramiento de la utilización de la planta piloto: Ing. Byrón Baldizón.
- 3.4 Asesoramiento de los análisis físicos y químicos del aceite esencial: Lic. Mynor Hernández

### 4. RECURSOS MATERIALES

- 4.1 Especies vegetales, consistentes de hojas del romero, recolectadas en su hábitat natural, y donadas por el Instituto Centroamericano de Tecnología Agrícola (ICTA), por el Ingeniero Agrónomo Rolando López.
- 4.2 Solvente: agua
- 4.3 Diesel

### 5. EQUIPOS

Los equipos que se utilizan en las extracciones del aceite esencial a nivel de planta piloto son los siguientes:

- 1. caldera de alimentación de vapor
- 2. extractor
- 3. molino
- 4. condensador del extractor
- 5. vaso florentino



## **6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **6.1 Diseño de tratamientos**

El rendimiento y la calidad de la extracción de aceite esencial del romero, se evaluó al someter la planta a un método de obtención del aceite, se tomaron tres distintas cantidades de material y de esa manera se tuvo tres tamaños de batch para la planta piloto, y tres tamaños de batch para el laboratorio, con lo cual se tienen seis tratamientos, con dos repeticiones cada uno dando como resultado doce experimentos.

### **6.2 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar, en el cual se aplicó un experimento factorial, o sea con un solo factor con dos niveles: 3 tamaños de batch para la planta piloto, y 3 tamaños de batch para pruebas en el laboratorio, lo cual dio como resultado seis tratamientos, aplicando a los resultados un análisis de varianza.

### **6.3 Unidad experimental**

Se utilizaron unidades experimentales de tamaño de Batch de 5, 10 y 15 libras para pruebas a nivel de planta piloto, y de 30, 40, 50 gramos para cada una de las corridas en el laboratorio.

#### **6.4 Manejo del experimento**

La materia vegetal se obtuvo de su habitat natural, que estuvo a cargo del Ing. Rolando López y Br. Benjamín Piedrasanta, luego la materia vegetal fue llevada al secador que se encuentra localizado en las instalaciones del ICTA, para de esa manera ser secado el material utilizado en los tratamientos que lo requirieron, esta materia fué puesta en bolsas plásticas, siendo amarradas perfectamente. Luego esta materia vegetal fué reducida de tamaño para el tratamiento que lo requirió por medio de un molino de disco, y luego fueron pesadas las cantidades que se requirieron para cada tratamiento.

Las cantidades de agua, fueron medidas con la mayor exactitud posible. Luego de que se obtuvo el aceite esencial, se midió la cantidad de aceite obtenido. Después fue almacenado el aceite esencial en frascos limpios y herméticamente sellados, y así de esa manera se llevó a cabo la evaluación del rendimiento en cada uno de los tratamientos realizados, y luego fueron hechas las distintas pruebas fisicoquímicas, y cromatográficas, como también la caracterización del aceite esencial.

#### **7. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO**

El método propuesto para la obtención del aceite esencial a partir de las hojas secas y molidas del romero, es el siguiente:

## **7.1 Destilación por arrastre con vapor a nivel de planta piloto**

Para la operación de arrastre con vapor de agua que se aplica en la planta piloto de extracción de aceites esenciales, se hace uso de la metodología siguiente: El vapor de agua se introduce al extractor por la parte inferior de éste; y una vez establecido el equilibrio, el vapor vivo forma en el aceite esencial contenido en la planta vegetal un sistema no miscible. El aceite esencial se calienta por medio del vapor de agua proveniente de la caldera y es desalojado del tejido vegetal mezclándose con el vapor de agua. Después la mezcla de vapor aceite esencial se hace pasar por una superficie fría donde se condensa obteniéndose en forma líquida, las fases se separan en el vaso florentino o el vaso decantador, almacenando el aceite esencial obtenido dentro de un frasco, midiendo el peso y volúmen total del aceite.

## **7.2 Destilación por arrastre de vapor de agua a nivel de laboratorio**

Se arma el equipo tal como se muestra en la figura No. 1 del apendice B, y luego se procede a destilar la materia vegetal durante un cierto tiempo, teniendo el control de la temperatura. Después de finalizada la destilación, se procede a separar el aceite esencial del condensado, haciendo uso de sulfato sodio anhidrido usado para secar el agua, y luego introducir la mezcla que se obtiene dentro de un rotavapor, que es un evaporador al vacío para de esa manera obtener solamente el aceite.

## **8. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **8.1 Modelo Estadístico**

El modelo es el siguiente:

$$Z_{(i,j,k)} = X_i + \epsilon_{ijk}$$

donde:

$Z_{(i,k)}$  = Variable respuesta de la  $i, j, k$  -ésima unidad muestreada experimental.

$X_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tamaño de batch

$\epsilon_{i,k}$  = Efecto del error experimental

### **8.2 Análisis estadístico**

A los porcentajes de rendimiento de destilación del aceite esencial que se obtenga, se les va a realizar un análisis de varianza, con el objeto de determinar si existe diferencia entre el rendimiento que se obtenga en cada uno de los tratamientos que se utiliza.

## 9. RESULTADOS

Los análisis realizados al aceite esencial fueron los siguientes:

- Cromatografía de gases
- Análisis fisicoquímicos

A continuación, se presenta una tabla donde se describe las condiciones del proceso y los resultados obtenidos tanto a nivel de laboratorio así como a nivel de planta piloto.

Tabla No. 1

Condiciones del proceso y resultados obtenidos a nivel de planta piloto.

Batch	5 lbs	10 lbs	15 lbs
Arrastre con vapor	si	si	si
tiempo de destilación	30 minutos	1 hora	1 hora
% de rendimiento	0.2304	0.60	0.8063
Aspecto del aceite	verde claro	verde claro	verde claro
olor del aceite	olor a planta fresca	olor a planta fresca	olor a planta fresca
aceite recuperado	6 ml	35 ml	63 ml
Temp. del extractor	92°C	92°C	92°C
Temp. del Condensador	27°C	37°C	26°C
Densidad	---	0.862 (23°C)	0.8716 (28.5°C)
Indice de refracción	1.46	1.4585	1.461
Rotación óptica	---	2.98°	2.96°

Tabla No. 2

Condiciones del proceso y resultados obtenidos a nivel de laboratorio

BATCH	30 grs.	40 grs.	50 grs.
arrastre con vapor de agua	si	si	si
tiempo de destilación	2 horas	2 horas	2 horas
% de rendimiento promedio	1.5180	1.5556	1.6429
Aspecto del aceite	verde claro	verde claro	verde claro
olor del aceite	hoja seca	hoja seca	hoja seca
aceite recuperado	---	---	---
índice de refracción	1.458	1.462	1.456

**CROMATOGRAFÍA DE GASES:**

Nivel de laboratorio

tiempo de retención	Area	Porcentaje	Compuesto
2.76	2525.11	28.33%	Hexáno
10.61	1930.51	21.65%	Mirceno
11.90	1648.96	18.49%	Terpineol
15.24	2199.89	24.67%	?

Nivel de planta piloto

tiempo de retención	Área	Porcentaje	Compuesto
8.88	866.91	6.61%	?
10.71	5301.34	40.46%	$\beta$ -Pino
11.92	3055.27	23.31%	Limoneno
15.11	2477.47	18.90%	Analol
23.10	634.17	4.84%	$\beta$ -Cariofileno

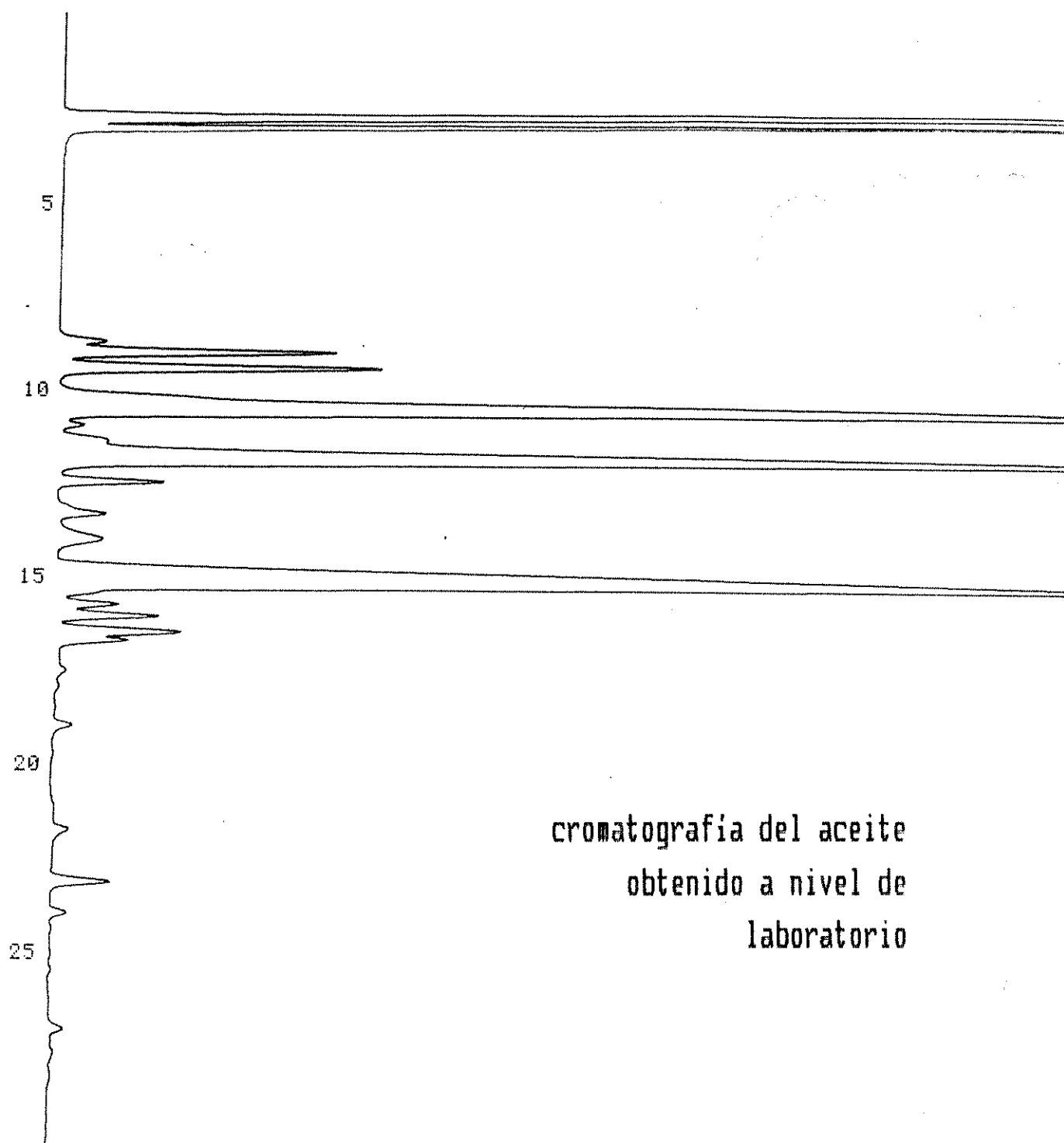
METHOD 4 AC.-ESENCIAL CALCUL

RT	AREA	BC	AREA %
1.85	0.0378	T	0.0003
2.28	0.0190	U	0.0001
2.64	45.7280	T	0.4371
2.76	2525.1156	T	24.1396
3.02	505.9099		4.8354
4.77	0.1165	T	0.0011
4.93	0.2954	U	0.0028
5.42	0.1453	T	0.0013
5.59	0.6184	T	0.0059
6.42	0.0382	U	0.0003
7.06	0.5239	T	0.0050
7.43	0.3269	U	0.0031
8.14	0.1447	T	0.0013
8.68	43.9411	T	0.4200
8.98	251.9691	T	2.4087
9.40	293.1928	T	2.8028
10.61	1930.5174	T	18.4553
10.94	22.3169	T	0.2133
11.34	53.9691	T	0.5159
11.90	1648.9665	T	15.7638
12.44	89.2170	T	0.8528
13.29	60.4683	T	0.5780
13.97	88.1600	T	0.8427
15.24	2199.8992	T	21.0306
15.73	60.1875	T	0.5753
16.04	98.7143	T	0.9436
16.45	132.3113	T	1.2648
16.68	66.3328	T	0.6341
17.48	29.4498	T	0.2815
17.88	9.9464	T	0.0950
18.48	7.3785	T	0.0705
18.95	23.6375	T	0.2259
19.70	3.7625	T	0.0359
20.00	0.6400	T	0.0061
20.17	1.0037	T	0.0095
21.11	12.6197	T	0.1206
21.72	43.3222	T	0.4141
23.10	65.9039	T	0.6300
23.56	2.3442	T	0.0224
23.94	20.6136	T	0.1970
24.35	6.1506	T	0.0587
25.02	10.4278	T	0.0996
25.43	6.6112	T	0.0632
26.19	8.7127	T	0.0832
26.56	3.6300	T	0.0347
27.00	24.1674	T	0.2310
27.31	6.0578	T	0.0579
27.60	15.9201	T	0.1521
28.20	15.3414	T	0.1466
28.84	2.9397	T	0.0281
29.32	7.2500	T	0.0693
29.70	6.0943	T	0.0582
30.14	6.7634	T	0.0646
31.73	0.5787		0.0055

54 PEAKS > AREA/HT REJECT

METHOD 4 AC.-ESENCIAL

A 512



cromatografía del aceite  
obtenido a nivel de  
laboratorio



RUN 3 3:07 97/08/27

METHOD 4 AC.-ESENCIAL CALCULATION: %

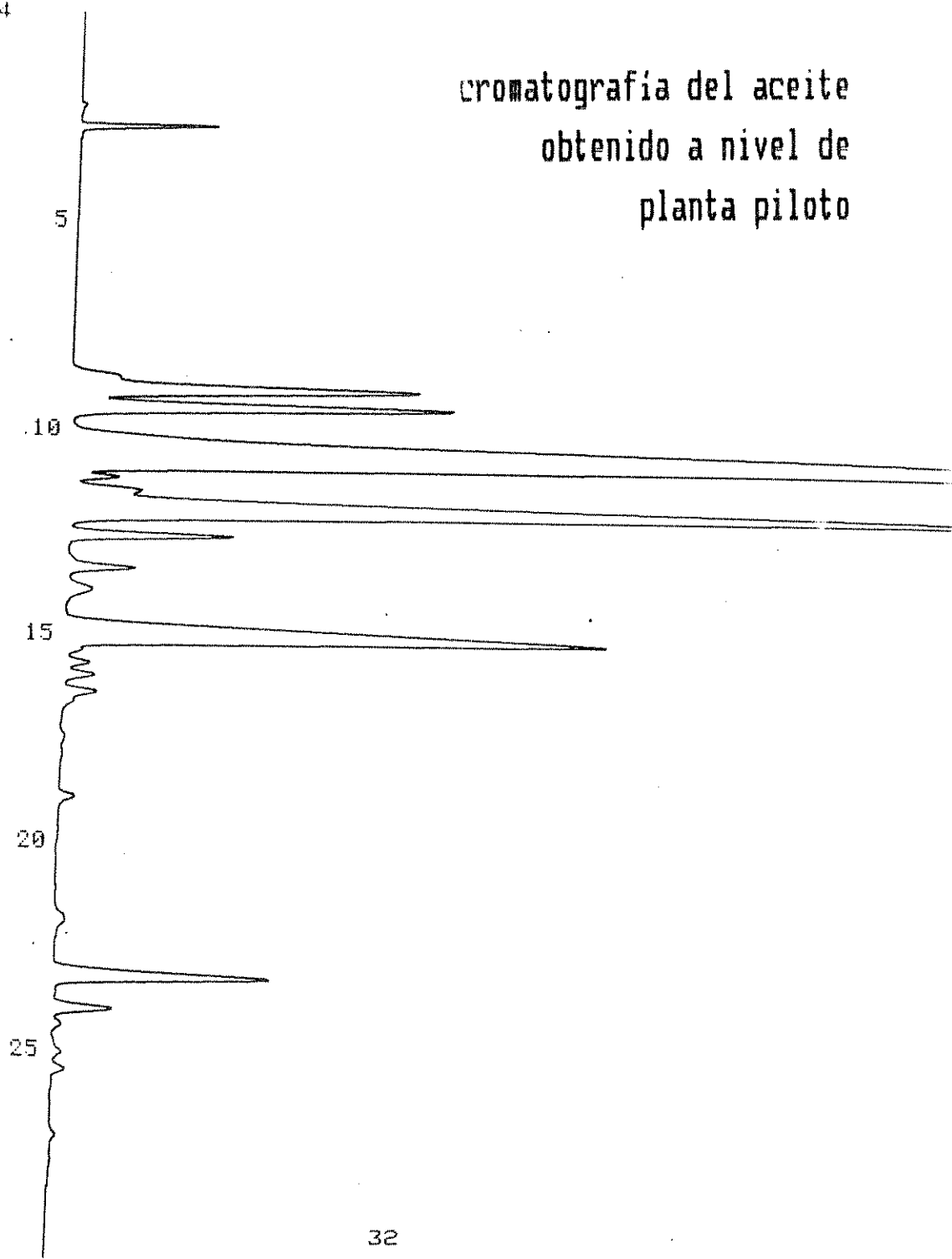
RT	AREA	BC	AREA %
1.82	0.0192	U	0.0001
2.22	8.1189	T	0.0619
2.75	108.1868	T	0.8254
3.00	1.4462	T	0.0110
3.23	1.3498	T	0.0102
3.64	1.3283		0.0101
4.74	0.2899	U	0.0022
5.32	0.1810	T	0.0013
5.61	0.1609	U	0.0012
6.38	0.0852	T	0.0006
6.68	0.0235	U	0.0001
7.22	0.2398	T	0.0018
7.45	0.3802	U	0.0029
8.17	0.4884	T	0.0037
8.73	80.0756	T	0.6109
9.06	757.6847	T	5.7810
9.50	728.3157	T	5.5569
10.91	5396.2976	T	41.1730
11.14	65.4949	T	0.4997
11.47	140.8927	T	1.0749
12.08	2645.5825	T	20.1854
12.59	252.3017	T	1.9250
13.38	123.7356	T	0.9440
13.91	79.9618	T	0.6100
15.18	1645.3817	T	12.5540
15.38	24.8856	T	0.1898
15.71	46.1108	T	0.3518
16.01	57.3374	T	0.4374
16.42	64.4610	T	0.4918
16.63	22.0680	T	0.1683
17.48	13.0799	T	0.0997
17.94	8.8231	T	0.0673
18.46	4.7663	T	0.0363
18.93	32.2612	T	0.2461
19.71	3.7150	T	0.0283
19.94	0.4915	U	0.0037
20.63	2.9266	T	0.0223
21.10	3.0882	T	0.0235
21.86	47.1864	T	0.3600
22.73	3.2947	T	0.0251
23.25	454.2753	T	3.4660
23.61	7.9721	T	0.0608
24.00	111.0045	T	0.8469
24.37	21.7976	T	0.1663
25.05	33.9704	T	0.2591
25.45	32.2193	T	0.2458
25.82	6.0297	T	0.0460
26.31	5.0980	T	0.0388
26.50	4.6521	T	0.0354
27.00	22.0855	T	0.1685
27.29	6.9151	T	0.0527
27.59	13.4992	T	0.1029
28.12	7.6662	T	0.0584
29.23	1.6229	T	0.0123
29.64	2.5566	U	0.0195
31.00	2.2146	U	0.0168
31.84	0.2853		0.0021

RUN 3 3:07 97/08/27

METHOD 4 AC.-ESENCIAL

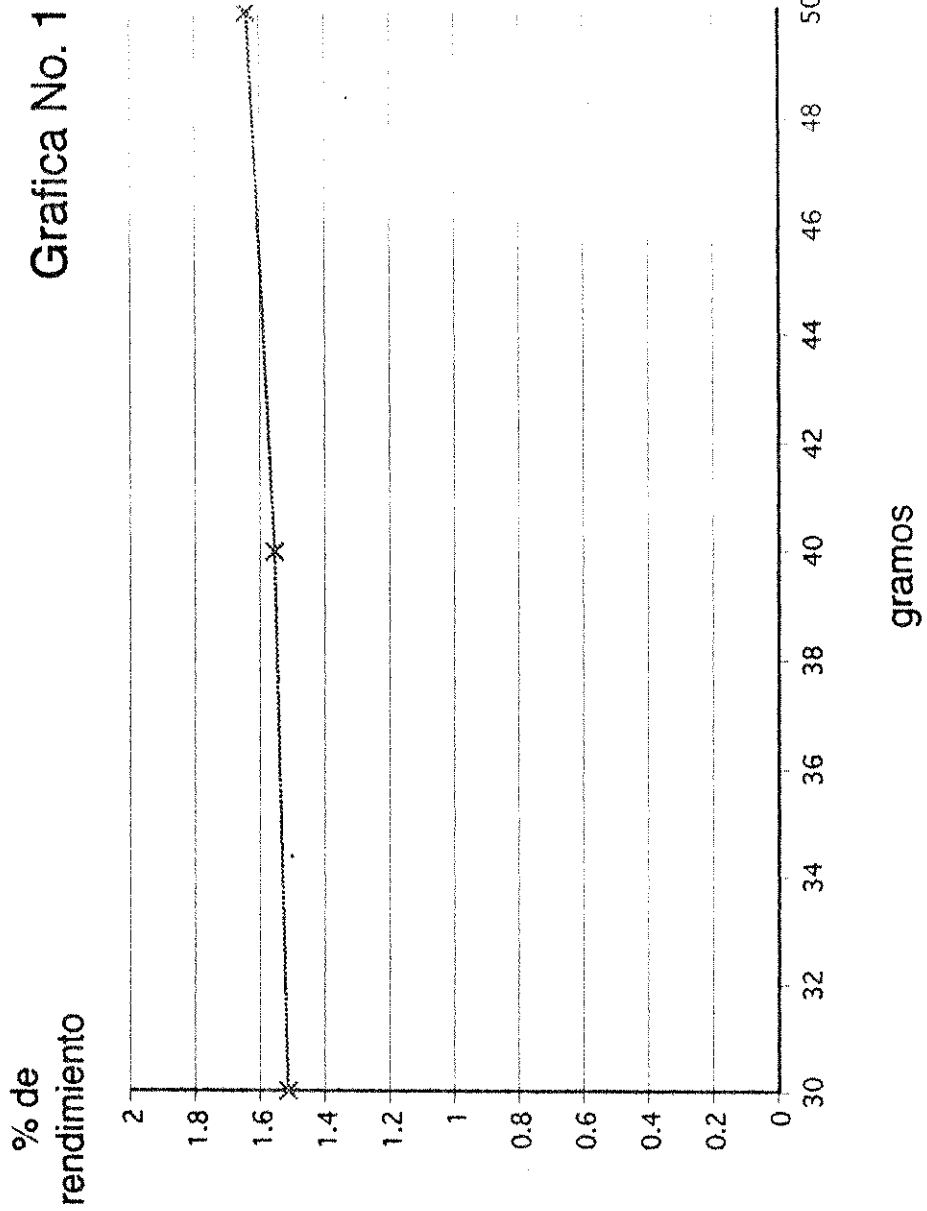
A 1024

cromatografía del aceite  
obtenido a nivel de  
planta piloto



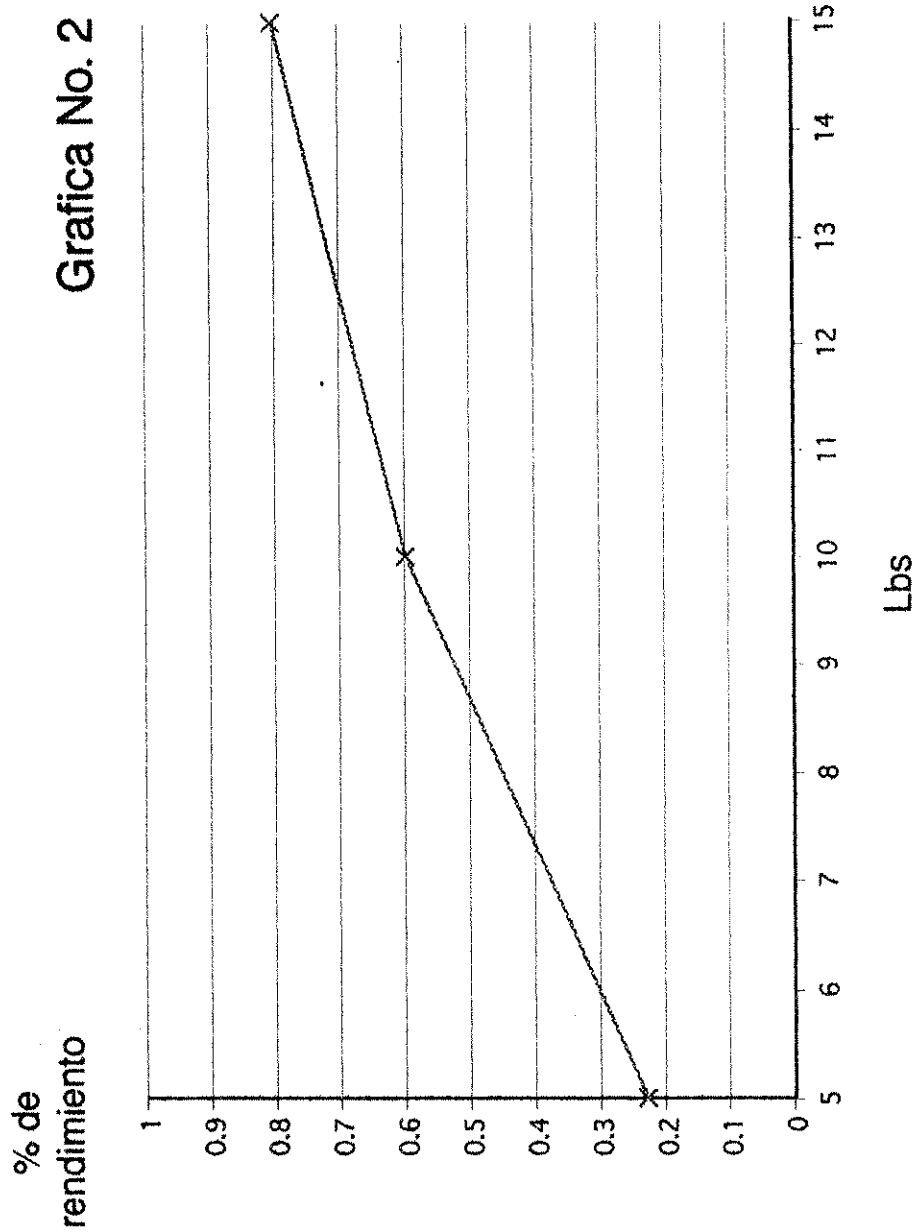
# EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO

## Pruebas a nivel de laboratorio



# EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO

## Pruebas a nivel de planta piloto

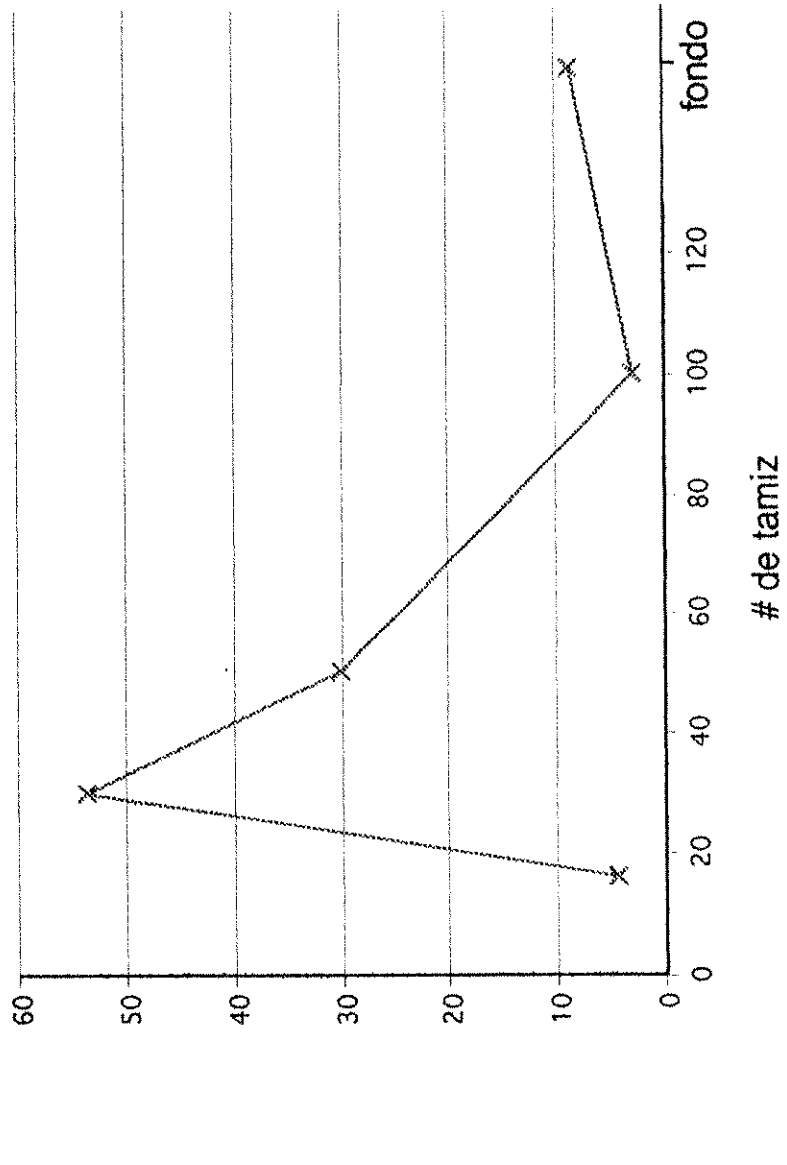


# GRANULOMETRÍA

## Aceite esencial de romero

### muestra de 15 lbs

Grafica No. 3



## 10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la extracción de aceite esencial de romero, se usaron dos métodos distintos: en el laboratorio y la planta piloto. En la parte experimental de laboratorio se utilizó un aparato de nombre Neoclevenger; el método de extracción es arrastre de vapor con agua, en dicho aparato se colocó la materia vegetal dentro del balón, y se le agregó una cantidad de agua equivalente a diez veces el peso de la materia utilizada. La materia vegetal se calentó hasta el punto de ebullición, y de esa manera el aceite se empieza a desprender del tejido vegetal o células aceitosas, y así ser arrastrado el aceite esencial y quedarse atrapado en una trampa de hexano para posteriormente ser separado el aceite del hexano, y esto se hizo por medio de una evaporación aplicando vacío a la mezcla que se obtuvo de aceite y hexano.

Como se mencionó anteriormente, el método utilizado a nivel de planta piloto era diferente al método usado en el laboratorio; la extracción del aceite esencial se hace por medio de arrastre de vapor, la materia vegetal es distribuida a través de los cinco platos de acero del extractor, inyectando por debajo el vapor que hace que el aceite se separe del tejo vegetal y sea condensado por medio del condensador del extractor, y se recibe el aceite y condensado que recibe el nombre de hidrálato a través del vaso florentino para que la separación sea fácil de realizar.

El objetivo principal de este estudio, fue obtener el aceite esencial de romero a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto, variando la cantidad de batch utilizada en cada una de las operaciones y así poder evaluar el rendimiento y la calidad del mismo, determinando si la cantidad del material afecta el rendimiento y la calidad del aceite.

Al analizar los resultados que se obtuvieron tanto a nivel de laboratorio como de planta piloto se puede observar que los rendimientos obtenidos son mayores a medida que el tamaño de batch es mayor. Al realizar un análisis de varianza de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, indica que el promedio de los rendimientos son significativamente diferente en al menos uno de los batch utilizados. El comportamiento de estos resultados se da por un fenómeno conocido como cosolubilidad, que consiste en una reagrupación del material, ya que dicho peso produce tal presión que hace que se produzca dicho fenómeno, para que sea factible la extracción del aceite, en cambio cuando se tiene una menor cantidad de material, el mismo sufre una compactación que imposibilita el desprendimiento del aceite.

Como se podrá ver en los resultados, el rendimiento de las extracciones tanto a nivel de laboratorio como a nivel de planta piloto son diferentes; a nivel de laboratorio se tiene un poco más del doble que el rendimiento obtenido en la planta piloto; o sea que se tiene una pérdida de aproximadamente 40 % del aceite; esto es debido a que todas las condiciones del proceso estan dadas por medio de una función cuya descripción matemática viene dada por una serie de números adimensionales, cuyas variables son la fuerza  $F$ , la longitud  $L$ , la velocidad  $V$ , densidad  $\rho$ , viscosidad dinámica  $\mu$ , aceleración gravitacional  $g$ , velocidad del sonido  $c$  y la tensión superficial  $\sigma$ ; combinando estas variables se pueden formar un conjunto de números adimensionales. Para las pruebas a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto, las funciones matemáticas son distintas ya que las condiciones de cada uno de los procesos no son iguales, por tanto la función cambia también, y la eficiencia del proceso no va ser la misma, según datos reportados en otros estudios sobre extracciones de aceites esenciales, al cambiar los escalonamientos el rendimientos disminuye. Otro factor muy importante que afecta el rendimiento a

nivel de planta piloto es el sistema de condensación, a nivel de laboratorio el sistema de condensación es más eficiente, aquí se hace uso de una bomba de agua que recircula agua a una temperatura aproximadamente a 5°C, lo cual facilita que se condensen todos los componentes del aceite; en la sección de resultados se puede ver las gráficas de cromatografía de gases y se ve claramente que a nivel de laboratorio el aceite contiene un porcentaje mayor de ciertos componentes en comparación al aceite extraído a nivel de planta piloto.

En la tercera corrida realizada a nivel de laboratorio, a cada uno de los batch se le agregó una solución salina, pudiendo observar que el rendimiento aumenta, y esto es debido a que al agregar esta solución se rompen los espacios intracelulares del tejido vegetal, exponiendo las células aceitosas y facilitando su desprendimiento. Este procedimiento a nivel de planta piloto se tendría que modificar, ya que la materia vegetal habría que aplicarle maceración que consiste en dejar el material vegetal durante un cierto periodo de tiempo, remojándolo en la solución salina, o si no la solución salina afectaría al equipo provocando incrustaciones.

A nivel de planta piloto, el sistema de condensación no es muy eficiente ya que el aceite y el vapor se condensan a una temperatura de 30°C que es bastante elevada en comparación a la trabajada a nivel de laboratorio, y es por eso que el tamaño de batch más grande se le agregó hielo en el vaso florentino, obteniéndose una mayor cantidad de aceite y una mejor calidad.

Las cantidades que se obtuvieron de aceite esencial de romero a nivel de laboratorio usando el método de extracción por arrastre de vapor de agua fueron significativas, ya que se obtuvo un rendimiento promedio de 1.5721% y a nivel de planta piloto usando el método de





arrastre de vapor se obtuvo un rendimiento promedio de 0.55% lo cual indica que hay que mejorar en cierta medida el sistema de condensación de la planta piloto y el tratamiento previo a la extracción al material vegetal.

Con respecto a los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial obtenidos tanto a nivel de laboratorio así como a nivel de planta piloto, casi no difieren y además los resultados son muy similares a los reportados en la bibliografía.

Con respecto a la cromatografía de gases realizada en el laboratorio de análisis de la Facultad de Farmacia, se pudo comprobar que el aceite esencial obtenido en el laboratorio tiene un porcentaje mayor de componentes que el aceite extraído en la planta piloto, y comparando las cromatografías de cada una de las muestras, no hay diferencia entre los distintos tamaños de batch realizados en el laboratorio, ni tampoco los realizado a nivel de planta piloto, se dan los mismos picos para ambos casos, unicamente que la extracción de 20 lbs, los componentes del aceite tienen un porcentaje relativamente mayor que la extracción de 10 lbs y de 5 lbs.

## CONCLUSIONES

1. El promedio de rendimiento es significativamente diferente en al menos uno de los batch utilizados.
2. En la medida que la temperatura de condensación es menor, se va a obtener una mayor cantidad de aceite esencial y de mayor calidad.
3. El rendimiento del aceite esencial es directamente proporcional al tamaño de batch usado.
4. A medida que se cambia de condiciones de proceso, de laboratorio a planta piloto, y de planta piloto a nivel industrial, el rendimiento va a disminuir.

## RECOMENDACIONES

1. Instalar un sistema de refrigeración en la planta piloto, que vaya conectado al condensador tanto del extractor como el de la torre empacada.
2. La extracción del material debe realizarse inmediatamente después de la molienda del mismo.
3. Controlar el tamaño de la partícula molida, por medio de una granulometría para que de esa manera no sea arrastrado las partículas más pequeñas del material vegetal.
4. Después de transcurrir la media hora de extracción del aceite esencial, hay que realizar una reacomodación del material vegetal.
5. Realizar estudios conjuntos con la Facultad de Agronomía y de Farmacia, de nuevas plantas consideradas como medicinales o de uso industrial.
6. Para los próximos estudios por realizar en la planta piloto, es necesario que se cuente con las condiciones óptimas de trabajo, o sea con todo el equipo funcionando al 100% y con un laboratorio para hacer los análisis fisicoquímicos y de cromatografía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Armando Cáceres, *Plantas de Uso Medicinal en Guatemala*, (Guatemala: Editorial universitaria dirección general de extensión, 1996), pp. 319-321.
2. De Rafols, W., *Aprovechamiento industrial de los productos agrícolas*, (1era ed. Barcelona: Editorial SALVAT S.A, 1981). pp. 46-58
3. E. Guenther, *The Essential Oils*, (New York: Editorial Van Nostrand Co. Inc. Vol I, II. I, 1956), pp. 225-260
4. Ibid., pp. 675-684.
5. EOA. *Book Of Standars and Specifications*. (USA: Essential Oil Association of USA, Inc. bulletin No. 155 and 192), p. 18
6. Gabriel Martir Solis Xicara, *"Elaboración de los manuales de seguridad, operación y mantenimiento del equipo de la planta piloto de extracción destilación de aceites esenciales de plantas medicinales instalado en la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala"*. (Guatemala: Tesis de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991), pp. 18-75.
7. H. Küster, *Importancia de los aceites esenciales naturales y sus perspectivas para el futuro*, (Editorial Dragoco Report, año 18, diciembre 1971), pp. 10-17.
8. Hiscox, G. D., Hopkins A. A. *Gran Enciclopedia de recetas industriales y formulas domesticas*, (2da ed. México: Editorial Gustavo Gili S.A. de CV, tomo 5, 1992). p. 16
9. Joint Symposium, *Scaling-Up of Chemical Plant and Processes*, (London: Editorial Church House, 1957), pp. 115-127.
10. L. H. Guzmán, *El análisis de los aceites cítricos por cromatografía en fase vapor*, (Guatemala: Editorial perfumería moderna, #45 y #47, año IV, 1973), p.80.

11. Leo Amado Mérida Noriega *"Determinación del Conjunto de Variables, apropiadas para el proceso de Extracción de aceite de pulpa de aguacate con solventes, a partir de pruebas a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto"*. (Guatemala: Tesis de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994), pp. 8-17
12. M. Puhlow, *El gran libro de las plantas medicinales*, (6ta ed. España: Editorial Everest, 1985), p.95
13. Mario Muñoz, *Destilación por Arrastre con Vapor de Agua*. (Guatemala : Práctica No. 10, Experimento No. 1, 1992), pp. 15-18.
14. Miguel Arnoldo Lemus Gudiel, *"Propuesta de un escalonamiento a nivel industrial de la obtención de aceites esenciales de la cascara de naranja a partir de la optimización de la extracción a nivel de planta piloto"*. (Guatemala: Tesis de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993), pp. 9-12.
15. P. Ques, Font, *Plantas Medicinales*, (9va ed. España: Editorial Alson, 1985), pp.5-10
16. Revista de La Gremial de Exportadores de Guatemala, Agosto de 1997.
17. S. Urctander, *Perfume and flavor materials of natural origin* (New Jersey: Editorial Elizabeth, 1980), pp 115-124.
18. Sergio Ortiz, H., *La producción de Aceites Esenciales en Guatemala y sus posibilidades de ensanchamiento*, (Guatemala: Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Agronomía, 1959) pp. 7-19.
19. *The domestic production of essential oils from aromatic plants*, (Ohio: Bulletin, National Farm Chemurgic Council, , 1968), pp. 55-70.

## BIBLIOGRAFIA

1. ***Asociación de Productores de Aceites Esenciales***, cuadragesima y quincuagesima memoria, Guatemala C. A. 1958-1978, pp. 12-14.
2. George T. Austin, ***Manual de Procesos Químicos en la Industria***, (Quinta edición en inglés, primera en español, editorial Mc-Graw Hill, Tomo II, México, 1988. pp. 625-640
3. Hampel, C. y Hawley G. ***The encyclopedia of Chemistry***, Third edition, Van Nostrand, Reinhold Co. New York, 1973. p. 325
4. ***Progress in essential oils research***, Editor F. J. Bunke, Editorial Walter de Gruyter, Federal Republic of Germany, Septiembre, 1985. pp. 105-130
5. Perry & Chilton (1991) ***Manual del Ingeniero Químico***, México, Editorial Mc Graw-Hill, Sexta edición, tomo IV pp. 13.56-13.61
6. Ulrich, G. ***Procesos de Ingeniería Química***, Editorial Mc-Graw Hill, Segunda edición, México 1991. pp. 180-183

## APENDICE A

### Descripción botánica

Arbusto aromático, siempre verde, hasta 1.2 m de alto, tallo erecto, ramas numerosas, corteza exfoliante, finamente puberulenta. Hojas sesiles, opuestas, verdes, numerosas, lanosas, obtusas, glandulares, 1-3 cm de largo, casi cilíndricas, dobladas hacia adentro. Flores fragantes de 10-12 mm de largo en pequeños grupos terminales; cáliz bilabiado, color violeta, estilo largo. Fruto ovalado dividido en 4 secciones.

### Hábitat:

Nativo de la cuenca mediterránea del sur de Europa, hasta 1,500 msnm en lugares abrigados, se cultiva comercialmente en Europa y Norte América en clima templado y templado-cálido. Introducido en toda América en clima templado y seco en alturas variables. En Guatemala se cultiva en varios departamentos, particularmente en el Altiplano central y Norte del país.

### Agriculturas:

La zona de vida para romero es de 9-28°C, precipitación anual 0.3-2.7 m, pH del suelo 4.5-8.7. Es una planta tolerante a la sequía, puede crecer en suelos rocosos y arenosos, bien drenado, poco profundo. Se propaga por semilla (1,000 semillas pesan 1.038 g) que tienen un poder germinativo de 40 % o cortes. Comercialmente, se propaga por cortes de 10-15 cm de brotes maduros, se siembran en

viveros al aire libre, se riegan constantemente y se logran enraizar en 2-3 meses. Los cortes enraizados se tranplantan a los campos de cultivo a distancia de 1.0-1.5 m entre filas y 0.5 m entre plantas; es un cultivo poco exigente pero requiere fertilización orgánica; es atacada por nemátodos y coleópteros (*Chrisolina americana*). Se cosecha dos veces al año; las hojas se secan a la sombra; para obtener aceite esencial u oleoresina se prefieren los brotes florales. Se esperan rendimientos de 1.5-2 ton/ha de hojas secas o 10-15 kg/ha de aceite esencial.

#### **Usos medicinales atribuidos**

La infusión de hojas se utiliza para tratamiento oral de amigdalitis, anemia, bronquitis, cefalea, cólicos, debilidad, depresión, desórdenes circulatorios, diarrea, dispepsia, dolores diversos, edema, hipotensión, indigestión, influenza, náusea, neuralgia, parasitismo, reumatismo, tos y vértigo, la decocción en vino se usa para combatir afecciones respiratorias y nerviosas.

Las hojas maceradas en alcohol se usan tópicamente para fricciones y evitar la caída del pelo.

Se le atribuye propiedad antioxidante, antiséptica, aperitiva, astringente, carminativa, colerética, colagoga, diaforética, digestiva, diurética, emenagoga, espasmolítica, estomáquica, febrífuga, insecticida, secretolítica, sedante, sudorífica, tónica y vulneraria.

#### **Otros usos populares**

Las ramas frescas y secas son aromáticas, se usan ampliamente para aromatizar diversos platillos, bouquets, arreglos florales, etc; se acostumbra sembrar como ornamento y para colorear de verde-



amarillento la lana. Los productos industriales a base del aceite se usan en perfumería, jabonería, cosmética, aromatizante de ambiente, detergentes e insecticidas.

### Composición química

Las hojas contienen aceite esencial, polifenoles, pigmentos flavónicos, glucósidos (apignina, luteolina), ácidos orgánicos (caféico, clorogénico, fenólico, neoclorogénico, rosmarínico), alcaloides diterpénmicos (isorosmaricina, metilrosmaricina, rosmaricina), flavonas (repitrina), diterpenoides (picrosalvina, rosmadiol, rosmanol, rosmarinol, rosmariquinona), ácido ursólico (3.9%), taninos, salvigenina, hispidulina, genkwareno, nepetina.

### Farmacognosia

Se usan como materia médica las hojas y ramitas tiernas, macroscopicamente son hojas de 1-4 cm de largo, superficie superior verde oscuro, inferior verde-grisáceo; raras veces son flores azules, olor característico, sabor alcanforado. Microscopicamente es un polvo verde-grisáceo, células de epidermis de paredes rectas, epidermis inferior con estoma diáctico, tricomas de cobertura multicelulares, tricomas glandulares unicelulares o bicelulares. No debe contener más de 7% de ceniza y 1.5% de ceniza insoluble en ácido.

Contiene aceite esencial (1-2%) de densidad 0.894-0.913, índice de refracción 1.466-1.468, rotación óptica +0°43' a +13°10', ésteres como acetoato de bornilo 1-7 %, alcoholes totales como borneol 8.4-14.3%. Los principales componentes son:  $\alpha$ -pineno (7-25%), camfeno (2-

9%), 1-8,cineol (14-32%), alcanfor (10-15%), borneol (18%), acetato de bornilo, mirceno,  $\alpha$ -felandreno, limoneno,  $\gamma$ -terpineno, p-cimeno, linalool (14-17%), cariofileno y  $\alpha$ -terpineol. Tópicamente se le atribuye propiedad antiséptica, antiparasitaria, antirreumática, analgésica, cicatrizante y estimulante del cuero cabellado.

Los ácidos orgánicos le confieren propiedad colerética, colagoga y diurética, acción reforzada por la presencia de flavonoides, que además son espasmolíticos. Los diterpenoides amargos (carnosol o picrosalvina, rosmanol, rosmodial) contribuyen a las propiedades biológicas.

El ácido rosmarínico tiene actividad antibacteriana, antiviral, antiinflamatoria y antioxidante; inhibe la quemoluminiscencia por superóxido y mieloperoxidasa, lo que es la base de su actividad antiinflamatoria.

La autenticación química se hace por TLC con cloroformo+metanol (97+3), revelado con cloruro férrico 10% y vainilla 1%. Es de uso oficial por lo que se encuentra en la mayoría de farmacopeas; se comercializan preparados como infusión, tintura, elixir, aceite, enjuague, macerado, nebulizado y extracto seco.

## APENDICE B

### ANALISIS DE VARIANZA

Tabla No. 5

Datos obtenidos del rendimiento a nivel de laboratorio

muestra	30grs	40grs	50grs
1	1.2494	1.3428	1.4618
2	1.5493	1.6123	1.6324
3	1.7553	1.7118	1.8345
sumatoria	4.5540	4.6669	4.9287
promedio	1.5180	1.5556	1.6429

Formulas a usar:

$$SST = \sum Y^2 - t^2/nk$$

$$SSA = \sum T^2/n - T^2/nk$$

$$SSE = SST - SSA$$

$$SST = 0.2966$$

$$SSA = -19.7717$$

$$SST = 20.068$$

$$S1^2 = SSA/k-1 = -19.7714/2 = 9.8857$$

$$S2^2 = SSE/k(n-1) = 20.008/6 = 3.3446$$

**Tabla No. 6**

Resultados del análisis de varianza del rendimiento obtenido a nivel de laboratorio.

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	CALCULADA
Tratamient	-19.7714	$(k-1)=2$	9.8857	2.9557
Erro	20.068	$k(n-1)=6$	3.3446	
TOTAL	0.2966	$nk-1=8$		

$F_0=5.14$

$F 2.9557 < 5.14$

por lo tanto se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$ , y se concluye que el promedio de rendimiento es significativamente diferente en al menos uno de los batch utilizados.

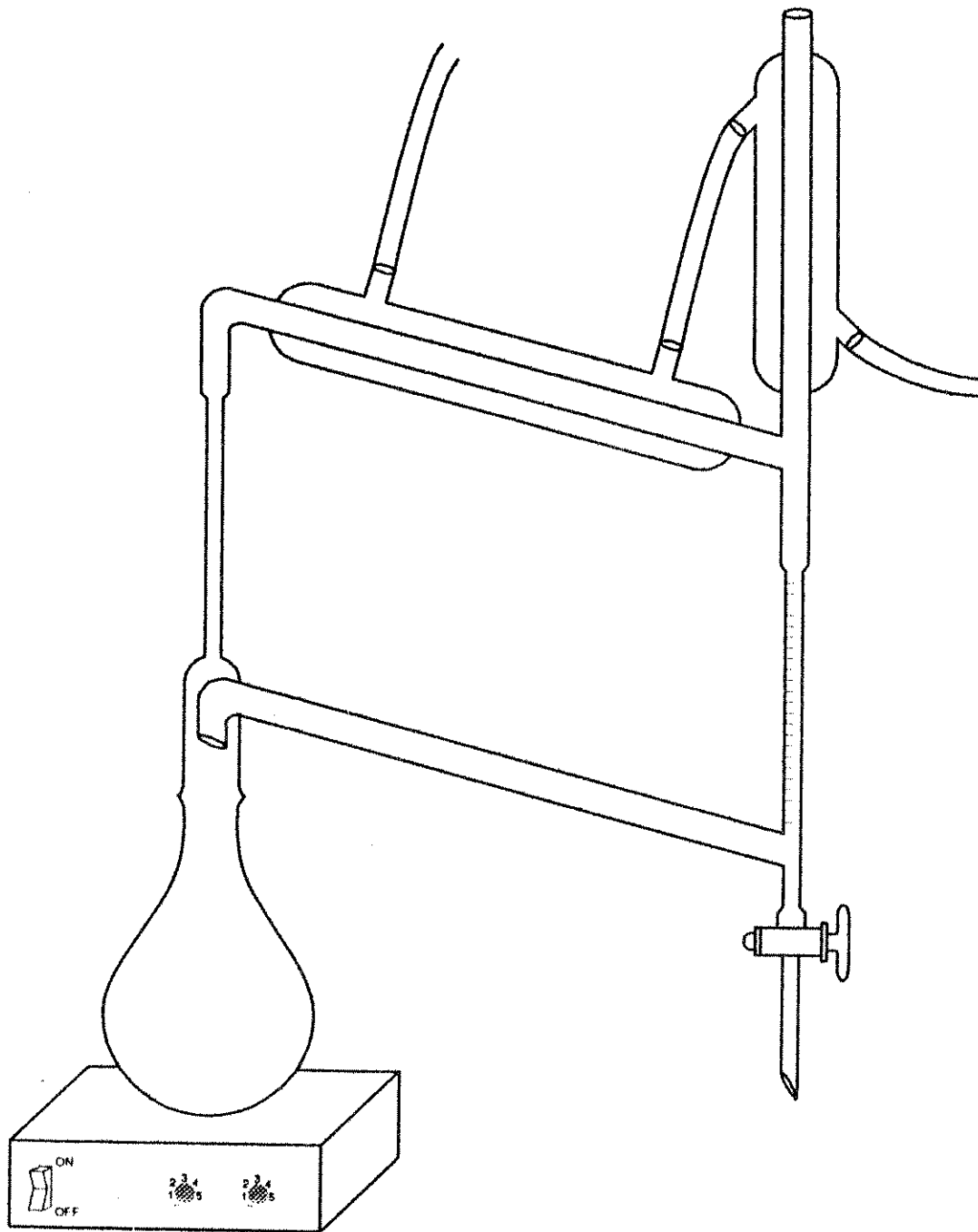
## APENDICE C

Esquema del equipo utilizado, a nivel de laboratorio, para la obtención del aceite esencial de romero.

1. balón aforado
2. aparato de destilación (Neoclavenger)
3. plancha de calentamiento
4. bomba de agua
5. soportes
6. mangueras
7. probetas
8. núcleos de ebullición
9. centrífuga
10. balanza analítica
11. erlenmeyer

# NEOCLAVENGER

Figura No. 1



## APENDICE D

### Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo del proceso se realizó, mediante el método de destilación por arrastre de vapor, con el objeto de llegar a obtener como producto final, el aceite esencial de romero.

Para tal caso se utilizó cuatro operaciones básicas, las cuales son:

1. Área de preparación de la materia prima: en donde se preparó la materia prima, aquí se determinó su peso y se realizó la molienda.
2. Área de extracción: aquí se dio la extracción sin el uso de agitación.
3. Área de separación: en donde se separó la fase acuosa del extracto el cual es el aceite esencial, siendo el aceite esencial el producto final a obtener.
4. Área de producción de vapor: en donde se generó el vapor mediante la utilización de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, lo cual lo distribuyó al equipo de la planta piloto por medio de tuberías y válvulas.

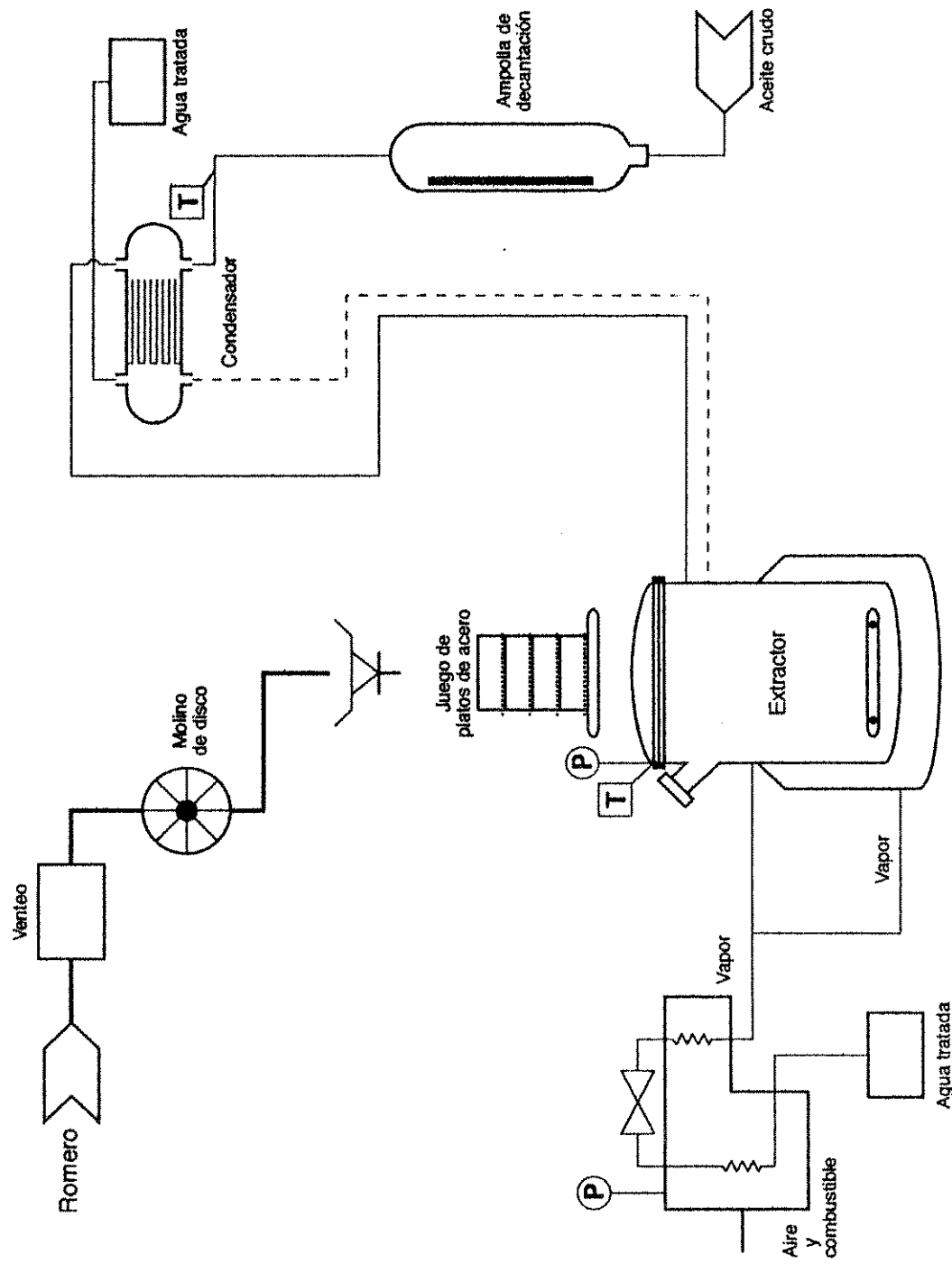


Diagrama de flujo de la planta piloto

Figura No. 2