



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

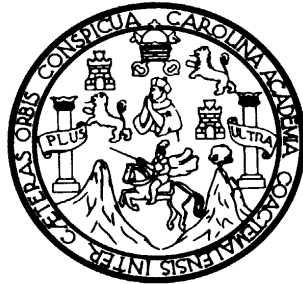
COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE
ESENCIAL CRUDO DE LA CITRONELA (*CYMBOPOGON WINTERIANUS*),
VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD
APLICANDO EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR
A NIVEL LABORATORIO

Werner Leonel Pineda Muñoz
Asesorado por Ingeniera Telma Maricela Cano

Guatemala, febrero de 2005

A

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE
ESENCIAL CRUDO DE LA CITRONELA (*CYMBOPOGON WINTERIANUS*),
VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD
APLICANDO EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR
A NIVEL LABORATORIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

WERNER LEONEL PINEDA MUÑOZ

ASESORADO POR INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
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:

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL CRUDO DE LA CITRONELA (*CYMBOPOGON WINTERIANUS*), VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD APLICANDO EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A NIVEL LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 28 de junio del 2004.

Werner Leonel Pineda Muñoz

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** El ser omnipotente.
- A MIS PADRES:** Dr. Elmer Pineda Díaz y Sandra Muñoz López de Pineda. Por todo el apoyo, amor y comprensión que me han brindado a lo largo de toda mi vida.
- A MI ESPOSA:** Tannia Magaly De León Morán. Por su amor, amistad, paciencia y empuje que me ha brindado durante todo el tiempo que llevo de conocerla.
- A MI HIJITA:** Melany Sofía, que con su sonrisa de todos los días me impulsa a ser una mejor persona y dar mi mayor esfuerzo para su bienestar.
- A MIS HERMANOS:** Elmer Daniel y Lesbia Carolina, por todos los momentos que compartimos en nuestra infancia y adolescencia y que nunca termine la confianza que hemos cultivado.

A MIS SUEGROS: Lic. Cesar De León Contreras y Licda. Gloria Rebeca Morán Mérida, por todo el apoyo brindado a mi persona y a mi familia.

A MIS CUÑADOS: Douglas, Vera, Dennis, Damaris, Sheyla y Emilio por brindarme su amistad.

A MI PRIMO: José Pablo Tortola Muñoz, por su ayuda.

A LA MEMORIA

DE MIS ABUELAS: Flora Esther López Porres y
Elba Francisca Díaz Paíz.

**A MIS FAMILIARES, AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO
PRESENTES**

AGRADECIMIENTO

A la Ingeniera Telma Maricela Cano Morales

Por su asesoría y ayuda brindada durante la realización del presente trabajo.

Al Ingeniero José Eduardo Calderón García

Por su amable atención en la revisión del presente trabajo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	VIII
RESUMEN.....	X
OBJETIVOS.....	XII
HIPÓTESIS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Definición y origen de los aceites esenciales naturales.....	5
2.2. Composición química de los aceites esenciales.....	6
2.3. Función de los aceites esenciales en las plantas.....	7
2.4. La citronela.....	8
2.4.1. Clasificación botánica.....	8
2.4.2. Aspectos botánicos.....	9
2.4.3. Aspectos farmacológicos.....	10
2.4.4. Composición fisicoquímica del aceite.....	12
2.4.5. Producción mundial.....	13
2.5. Métodos de obtención de aceites esenciales.....	14
2.5.1. Extracción de arrastre con vapor.....	15

2.5.2.	Enflorado.....	16
2.5.3.	Extracción por solventes.....	16
2.5.4.	Maceración.....	17
2.5.5.	Expresión.....	17
2.6.	Materia prima.....	18
2.6.1.	Reducción de la materia prima.....	18
2.6.2.	Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales.....	19
2.6.3.	Tratamiento de los aceites esenciales.....	20
2.7.	Análisis del aceite esencial.....	21
2.7.1.	Cromatografía de gas.....	21
3.	METODOLOGÍA.....	23
3.1.	Ubicación.....	23
3.2.	Recursos humanos.....	24
3.3.	Recursos materiales.....	24
3.4.	Equipo y cristalería.....	24
3.5.	Procedimiento.....	25
3.6.	Diseño del estudio.....	26
3.7.	Manejo del estudio.....	27
3.8.	Diseño experimental.....	27
3.8.1.	Unidad experimental.....	27
3.8.2.	Variables independientes.....	27
3.8.3.	Variable respuesta.....	27
3.8.4.	Tratamientos.....	28
3.9.	Análisis estadístico.....	28

4.	RESULTADOS.....	33
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES.....	44
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	APÉNDICE A	
	Datos originales.....	48
	APÉNDICE B	
	Datos calculados.....	49
	APÉNDICE C	
	Muestra de cálculo.....	50
	APÉNDICE D	
	Análisis de error.....	52
	APÉNDICE E	
	Equipo <i>Neoclavenger</i> para extracción de aceite esenciales.....	57
	APÉNDICE F	
	Cromatograma de aceite esencial.....	58

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Rendimiento (%) de aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>)	34
2	Composición química de los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>)	36
3	Detalle del aparato <i>Neoclavenger</i>	57
4	Cromatograma del aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>), con el contenido de humedad fresca	58
5	Cromatograma del aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>), con el contenido de humedad seca	59

TABLAS

I	Datos del diseño estadístico	28
II	Análisis de varianza	31
III	Rendimiento (%) de aceite esencial de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>), a tres tamaños de muestra y dos contenidos de humedad	33
IV	Propiedades sensoriales del aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>)	35
V	Índice de refracción a 22°C, del aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) fresca	35
VI	Índice de refracción a 22°C, del aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) seca	36
VII	Masa de aceite esencial de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) con el contenido de humedad fresca	48
VIII	Masa de aceite esencial de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) con el contenido de humedad seca (al 10 %)	48

IX	Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial crudo de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) con el contenido de humedad fresca	49
X	Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial de citronela (<i>Cymbopogon winterianus</i>) con el contenido de humedad seco	49
XI	Sumatoria entre muestras y repeticiones	52
XII	Sumatoria entre muestras y métodos	53
XIII	Análisis de varianza	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Sumatoria
SST	Suma de cuadrados totales
SSE	Suma de cuadrados para el error
SSA	Suma de cuadrados para el factor A
SSB	Suma de cuadrados para el factor B
SS(AB)	Suma de cuadrados de la interacción de A y B
S^2	Cuadrado medio del error
<i>f</i>	Razón de varianza
Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alterna
a	Cantidades de muestra
b	Contenido humedad
n	Corridas
F	Fresco
S	Seco
Y_{ijk}	Variable de respuesta de ij-ésima
μ	Efecto de la media general
T	Sumatoria total de las muestras

GLOSARIO

- Astringente** Relativo a una sustancia que tiene la calidad de sujetar y constreñir.
- Cromatografía** Técnica que tiene suficiente poder de separación para la detección de los compuestos presentes en un aceite esencial.
- Diurético** Se dice del fármaco u otra sustancia que tienden a promover la formación y excreción de la orina.
- Espasmolítico** Relativo a una sustancia que combate la flatulencias y la distensión abdominal.
- Gramíneas** Familias de plantas monocotiledóneas en la que se encuentran los cereales.
- Micela** Tejido confinado dentro del aceite esencial de las plantas.
- Monocotiledóneas** Dícese de las plantas angiospermas de un solo cotiledón.

Oxidante	Dícese de lo que tiene la propiedad de transformar un cuerpo por la acción del oxígeno.
Petroquímica	Que utiliza el petróleo como materia prima para obtener productos químicos.
Polimerización	Unión de varias moléculas idénticas para formar otra mayor.
Terpenos	Que se encuentran en los aceites volátiles obtenidos de ciertas plantas.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la extracción del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) utilizando el método de extracción de arrastre con vapor a nivel laboratorio, variando los tamaños de muestra (10, 20 y 30 g) y el contenido de humedad (fresca y seca, al 10 % de humedad), esto con el objetivo de evaluar la influencia de estos factores sobre el rendimiento del aceite esencial.

Se utilizó un arreglo combinatorio factorial (3 x 2) completamente al azar, donde se dejó constante el tiempo de extracción (2 hrs).

Para la evaluación de las hipótesis se utilizó un análisis de varianza en el cual se aplicaron tres repeticiones. Con dicho análisis se llegó a determinar lo siguiente: existe variación significativa en el porcentaje de rendimiento respecto a los diferentes tamaños de muestra; no existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento respecto a los diferentes contenidos de humedad de la muestra; no existe diferencia significativa en la interacción tamaño de muestra–contenido de humedad en las condiciones que se realiza cada experimento; con un índice de confiabilidad del 95%.

Finalmente se realizó pruebas fisicoquímicas y la cromatografía de gases al aceite esencial crudo y se determinó que coinciden los datos fisicoquímicos y los componentes mayoritarios con lo presentado en la bibliografía, ya que los valores de densidad absoluta a 15°C están en un rango de 0.887–0.895 g/mL, el índice de refracción está entre 1.4685–1.4728, el porcentaje de geraniol total está entre 82.3–89.4% y los aldehídos como citronellal se encuentran en un rango de 28.8 – 43.9%. El rendimiento del aceite de citronela, según la bibliografía es de 0.3 a 0.5 % y se obtuvo un promedio de 1.23%.

OBJETIVOS

- **General**

Comparar y caracterizar el aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*), variando el tamaño de muestra y el contenido de humedad, aplicando el método de extracción por arrastre con vapor a nivel laboratorio.

- **Específicos**

1. Determinar el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*), variando el tamaño de la muestra por el método de extracción por arrastre con vapor, a nivel laboratorio.
2. Comparar el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*), variando el contenido de humedad de la muestra (fresco y seco).

HIPÓTESIS

El rendimiento del aceite esencial crudo de la hoja de citronela (*Cymbopogon winterianus*) depende del tamaño de muestra y de su contenido de humedad.

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Para la variable respuesta % de rendimiento.

1. Hipótesis

Nula

Ho: No existe variación significativa en la variable respuesta sometida a los diferentes tamaños de muestra.

$$\mu_{M1} = \mu_{M2} = \mu_{M3}$$

Donde

μ_{M1} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 10 gramos de material.

μ_{M2} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 20 gramos de material.

μ_{M3} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 30 gramos de material.

Alternativa

H_a : Existe variación significativa en la variable respuesta sometida a los diferentes tamaños de muestra.

$$\mu_{M1} \neq \mu_{M2} \neq \mu_{M3}$$

Donde

μ_{M1} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 10 gramos de material.

μ_{M2} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 20 gramos de material.

μ_{M3} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con la muestra de 30 gramos de material.

2. Hipótesis

Nula

H_0 : No existe diferencia significativa en la variable respuesta sometida a los diferentes contenidos de humedad de la muestra.

$$\mu_{HS} = \mu_{HF}$$

Donde:

μ_{HS} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con bajo contenido de humedad (material seco).

μ_{HF} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con alto contenido de humedad (material fresco).

Alternativa

H_a : Existe diferencia significativa en la variable respuesta sometida a los diferentes contenidos de humedad de la muestra.

$$\mu_{HS} \neq \mu_{HF}$$

Donde:

μ_{HS} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con bajo contenido de humedad (material seco).

μ_{HF} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con alto contenido de humedad (material fresco).

3. Hipótesis

Nula

Ho: No existe diferencia significativa en la interacción tamaño de muestra–contenido de humedad en las condiciones que se realiza cada experimento.

$$\mu_{MiHi} = \mu_{MjHj}$$

Donde:

μ_{MiHi} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de la interacción del i-ésimo experimento muestra–contenido de humedad.

μ_{MjHj} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de la interacción del j-ésimo experimento muestra–contenido de humedad.

Alternativa

Ha: Existe diferencia significativa en la interacción tamaño de muestra–contenido de humedad en las condiciones que se realiza cada experimento.

$$\mu_{MiHi} \neq \mu_{MjHj}$$

Donde:

μ_{MiHi} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de la interacción del i-ésimo experimento muestra–contenido de humedad.

μ_{MjHj} : Es el rendimiento del aceite esencial crudo de la interacción del j-ésimo experimento muestra–contenido de humedad.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo comparar el rendimiento de la extracción del aceite esencial crudo de la citronela (*Cymbopogon winterianus*) a nivel laboratorio, por el método de extracción por arrastre con vapor variando el tamaño de la muestra así como su contenido de humedad.

Actualmente, la citronela es una planta utilizada para elaborar perfumes, así como repelente de insectos, es a su vez un estimulante de los tejidos, astringente, estimulante de la circulación sanguínea. Diurético, antifebril y un sedante nervioso, es indicado en resfríos, catarros y neuralgias, alivia dolores reumáticos y artríticos. Por lo que un estudio como el presente, reviste especial interés, ya que en Guatemala, las plantaciones de citronela ocupan una gran faja a lo largo de la costa sur, haciendo en total unas 500 caballerías; que incluyen grandes y pequeñas propiedades.

La especie de citronela (*Cymbopogon winterianus*), estudiada es una planta herbácea, vivaz, rizomatosa, perteneciente a la familia botánica de las gramíneas, con numerosos macollos. Puede alcanzar una altura de hasta dos metros. Las hojas son largas, anchas y lisas.

De los procesos utilizados para la extracción de aceites esenciales, el de arrastre con vapor es uno de los más utilizados, el cual consiste en utilizar un aparato de nombre *Neoclavenger*, en el cual se coloca la materia vegetal dentro de un balón, y se le agrega una cantidad de agua equivalente a diez veces la masa de la materia utilizada. La materia vegetal se calienta hasta el punto de ebullición del agua (94°C en la ciudad de Guatemala), y de esa manera el aceite se empieza a desprender del tejido vegetal o células aceitosas, y así es arrastrado el aceite esencial crudo y luego el vapor que contiene al aceite con agua se condensa para quedarse atrapado en una fase de hexano, para posteriormente separar el aceite del hexano por medio de un rotaevaporador, que es un evaporador al vacío, para obtener solamente el aceite esencial crudo.

Se tomó como materia prima la hoja de citronela (*Cymbopogon winterianus*) cultivada en el municipio de Patulul, departamento de Suchitepéquez.

1 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 antiguo conocido de los aceites esenciales. 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, Hoffman 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 primera vez Kekulé, y la coronación de las investigaciones sobre estas sustancias fue obra de O. Wallach. Desde entonces, los conocimientos tomaron rápidamente incremento y se hallan ligados estrechamente con los nombres de O. Aschan, E. Gildemesiter, H. Walbaum, P. Barbier, J. L. Simonsen Guenther, etc.

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 *Cymbopogon Winterianus*, el *Cymbopogon Citratus* (Decandolle), y al *Cymbopogon Flexuosus* Stapf. El aceite esencial se encuentra en las hojas, su extracción se hace con arrastre de vapor en alambiques de hierro y actualmente en acero inoxidable.

La citronela es una planta originaria del lejano oriente, en donde ha sido explotada desde hace mucho tiempo, posee hojas ricas en esencia. Su introducción en Guatemala se debe a los señores Samayoa, como se había mencionado anteriormente. La citronela fue traída de Java.

En la actualidad existen dentro del Centro de Investigaciones de Ingeniería y la escuela de Ingeniería Química, de la Universidad de San Carlos de Guatemala varios estudios sobre la extracción de aceites esenciales tanto a nivel laboratorio como a nivel planta piloto de diversas especies; pero ninguno de ellos se ocupa de la extracción de aceite esencial de citronela.

Entre estos estudios importantes y completos se encuentran: La producción de aceites esenciales en Guatemala y sus posibilidades de ensanchamiento, realizada por el Ing. Agr. Sergio Ortiz, en 1959, en el cual se presenta un estudio completo sobre la producción de aceites esenciales en esa época y sus posibilidades en un futuro.

También se encuentra, La 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, realizada por el Ing. Químico Ramón Benjamín Piedrasanta, en 1997, en el cual determina que en la medida que la temperatura de condensación es menor, se va a obtener una mayor cantidad de aceite esencial y de mayor calidad.

Y cabe mencionar para finalizar, La comparación del rendimiento y caracterización del aceite esencial del té de limón (N. Científico *Cymbopogon citratus*), aplicando el método de hidrodestilación, realizada por el Ing. Químico Manuel Eduardo Mendoza Castellanos, en 2002, en el cual determina que se obtiene mayor porcentaje de aceite esencial cuando el material posee el menor contenido de humedad.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Definición y origen de los aceites esenciales naturales

Los aceites esenciales o esencias vegetales, son mezclas de un número variable de sustancias orgánicas aromáticas. Por lo general, se obtienen por arrastre con vapor, algunos se extraen por diversos métodos, como extrusión, extracción con solvente.

Los aceites esenciales tienen un amplio uso en la industria y, por estar altamente concentrados, son productos de reducido volumen y elevado valor cuya producción, en muchos casos, no presenta dificultades técnicas y cuyo transporte a los puntos de destino de ultramar es invariablemente barato.

El término “aceite esencial” se utiliza, en general, para designar a las sustancias volátiles obtenidas por extracción de arrastre con vapor de las plantas. El término popular más común es el de “esencias”, también se conoce por el nombre de “aceites volátiles o etéreos”.

Los aceites esenciales son los responsables del olor característicos de las plantas. Muchos de los compuestos orgánicos son producidos por las plantas en sus procesos vitales, tomando materiales externos, absorbiéndolos y transformándolos en fragmentos del sistema de la planta, como parte de la estructura celular, con una consistencia rígida.

El aceite esencial dentro de la planta se encuentra confinado en un tejido al cual se le denomina micela.

Los aceites esenciales son compuestos odoríferos naturales que se encuentran 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.

Por otra parte, solamente existen hipótesis para explicar el origen de los aceites esenciales en las plantas. a) Está la teoría que los terpenos (constituyentes principales de los aceites esenciales) están formados por la adición del beta-amino ácido butírico normal a 1-leucina con la eliminación de amoníaco y agua, o por la adición α -amino ácido isocaproico a la alanina para dar cimeno. Cimeno más leucina de 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 β -metil-crotónico de acetona y acetaldehído. Dos moléculas de aldehído metil-crónico 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.

2.2 Composición química de los aceites esenciales

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

- a) **Esteres:** principalmente de ácido benzoico, acético salicílico y cinámico.
- b) **Alcoholes:** linalol, geraniol, citronelol, terpinol, mentol, borneol.
- c) **Aldehídos:** citral, citronelal, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainilla.
- d) **Ácidos:** benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico todos en estado libre.
- e) **Fenoles:** eugenol, timol, carvacrol.
- f) **Cetonas:** carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil cetona, metil heptenona.
- g) **Esteres:** cineol, éter interno (eucalptol), anetol, safrol.
- h) **Lactonas:** cumarina.
- i) **Terpenos:** canfeno, pineno, limoneno, felandreno, cedreno.
- j) **Hidrocarburos:** cimeno, estireno (feniletileno).

Si bien la composición química de los aceites es muy variada, todos ellos poseen varias propiedades físicas en común, por ejemplo: tienen alto índice de refracción, son ópticamente activos, etc.

2.3 Función de los aceites esenciales en las plantas

Hasta la 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:

- a) Los aceites esenciales penetran en los espacios intercelulares disminuyendo la transpiración de la planta.

- b) Incrementan la velocidad de circulación de sustancias 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 producción.
- 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.

2.4 La citronela

2.4.1. Clasificación botánica

Tipo	Espermatofitas
Subtipo	Angiospermas
Clase	Monocotiledóneas
Subclase	Apétalas
Orden	Gramínidas
Familia	Gramináceas
Género	Cymbopogon
Especie	<u>Cymbopogon winterianus</u>
Nombre común	Citronela

2.4.2 Aspectos botánicos

Descripción

Especie herbácea, vivaz, rizomatosa, perteneciente a la familia botánica de las gramíneas, con numerosos macollos. Puede alcanzar una altura de hasta dos metros. Las hojas son largas, anchas y lisas.

Parte útil

Las hojas, cuyo principal componente, y al que debe sus aplicaciones, es un aceite esencial, líquido amarillo o amarillo parduzco que en contacto con el aire toma una coloración verdosa. El olor recuerda al del limón. Los principales componentes son el citronelal y el geraniol, l-limoneno, canfeno, dipenteno, citronelol, borneol, nerol, metileugenol, etc.

Suelo y clima

Los suelos que resultan adecuados para la citronela son los lugares con clima tropical o sub tropical, con lluvias superiores a los 1.500 mm anuales.

Cultivo

Con respecto al cultivo y labores culturales, para esta especie se debe aumentar las distancias de plantación: 1,20-1,50 m entre filas y 0,80-1 m entre plantas.

Cosecha

El corte de las hojas se realiza con machete u hoces. En el primer año es posible realizar un solo corte, pero en los años sucesivos se pueden hacer dos, uno en primavera y el otro en verano, dejando transcurrir, entre corte y corte, como mínimo cuatro meses.

En países situados en zonas tropicales, sin estaciones diferenciales, es posible realizar cuatro cortes. Como signo exterior indicativo para el momento de la cosecha puede tomarse el color amarillo marrón que adquieren las puntas de las hojas. El período de cosecha se extiende desde septiembre hasta marzo.

Poscosecha

Rendimiento:

Hojas: 20,000-35,000 kg de material fresco, por hectárea.

Esencia: 0,3-0,5 % sobre material oreado; 90-140 kg por hectárea, en dos cortes.

2.4.3 Aspectos farmacológicos

Descripción olfática:	Limón fresco, leñoso húmedo.
Apariencia:	Líquido amarillo.
Nota de perfume:	Alta.
Perfume:	Fresco con aroma a limón .

Este aceite esencial es extraído por arrastre con vapor de sus hojas. El aceite es usado hoy en día por la medicina tradicional china (TCM) para curar el reumatismo. Es un aceite estimulante que sirve eficazmente en un vaporizador como repelente de insectos. Unas pocas gotas en agua, en velas o quemadores es suficiente. Mezclado con un aceite vegetal aplicado en la piel ahuyentará a los mosquitos. El aceite es de un color amarillento con un olor peculiar, dulce, cálido, fresco, herbóreo y húmedo.

Usos generales:

Inhalaciones, vaporizaciones, fricciones y masajes.

Propiedades:

El aceite es desodorante, antiséptico y purificador. Muy conocido como repelente de insectos. Es a su vez un estimulante de los tejidos, astringente, estimulante de la circulación sanguínea, diurético, antifebril y un sedante nervioso. Es indicado en resfríos, catarros y neuralgias. Alivia dolores reumáticos y artríticos.

Beneficios aromaterapéuticos:

Purificador, revitalizante y excelente tónico. Alivia la melancolía y estimula. Es un buen acondicionador para la piel y la calma.

Sinergías:

Aceites esenciales de hierba limón, bergamota, geranio, madera de cedro, naranja, pino, limón, romero, y orégano combinan muy bien con el aceite esencial de citronela.

Precauciones:

Sólo uso externo. Evítelo si su piel es sensible o está dañada.

Contraindicaciones:

No hay conocidas.

2.4.4 Composición fisicoquímica del aceite

El aceite esencial crudo de citronela presenta las siguientes características fisicoquímicas:

Gravedad específica a 15°C	0.887 – 0.895
Rotación óptica	- 0°35´ a - 5°6´
Índice de refracción	1.4685 – 1.4728
Geraniol total	82.3 – 89.4 %
Aldehídos como citronellal	28.8 – 43.9 %
Solubilidad	Soluble claro en todas las diluciones entre 1-2 vols de 80% de alcohol

El aceite de citronela contiene citronellal (32 a 45%), geraniol (12-18%), citronellol (11-15%), acetato de geranil (3-8%), acetato de citrone-Ilil (2-4%), limoneno (2-5%), elemol y otros alcoholes sesquiterpenos (2-5%), β – elemeno y Υ -cadineno (2-5%) y trazos de cubebeno, calameneno, bourboneno, bisaboleno, eugenol, metil eugenol, isopulegol, nerol, linalol, geraniol, metil heptenone, myrceno y α -pineno. La alta calidad de aceite de citronela contiene más del 38% de citronellal, 16% de geraniol y 12% de citronellol.

2.4.5 Producción mundial

El aceite esencial crudo de citronela es uno de los aceites esenciales naturales de más amplia utilización; el consumo mundial alcanzó varios miles de toneladas anuales hasta que hace unos años comenzó un fuerte descenso. Aunque el volumen de producción mundial continua siendo elevado, su importancia ha disminuido y es posible que continúe disminuyendo.

El aceite de citronela se obtiene principalmente en Indonesia, China, la provincia de Taiwán (China), India y Guatemala. Viet Nam y Brasil destacan entre los productores menores, que se hallan principalmente en Centroamérica, Sudamérica, Asia y Africa Meridional. China, Sri Lanka, India y posiblemente Indonesia y la provincia de Taiwán (China) tienen importantes mercados internos; los otros países exportan la mayor parte de su producción.

Debido a la importante demanda interna en algunos de los principales países productores, se desconoce el volumen de la producción mundial, pero el comercio internacional alcanza actualmente la cifra de 1.600 a 1.750 toneladas anuales, a las que Indonesia y China contribuyen cada una con una proporción entre el 40 y el 45 por ciento, la provincia de Taiwán (China) y Guatemala con un poco menos del 3 por ciento, Sri Lanka con el 7 por ciento aproximadamente y Brasil con un 2 por ciento. Los suministros son en general más que suficientes para la demanda actual.

La principal región consumidora es América del Norte, que absorbe unas 640 toneladas anuales, seguida por Europa Occidental, predominantemente la CEE y Suiza, con 550 a 650 toneladas anuales. Japón absorbe alrededor de 50 toneladas anuales, México de 120 a 130 toneladas y Europa Oriental (incluida la Unión Soviética), 80 toneladas. Otros países absorben 150 toneladas anuales.

2.5 Métodos de obtención de aceites esenciales

Los métodos utilizados para obtener el aceite esencial de las plantas son: extracción por arrastre con vapor, enflorado, extracción por solventes, maceración y expresión.

2.5.1 Extracción por arrastre con vapor

Este método es uno de los más utilizados para la extracción de aceites esenciales crudos. Para extraerlos, se debe contar con un equipo de extracción de pequeñas dimensiones si se trata de una determinación experimental en laboratorio, y de mayor tamaño si es una tarea a nivel industrial.

Los extractores constan de las siguientes partes: una fuente de calor que genera vapor, un recipiente para alojar la hierba con agua, un colector del aceite esencial separado y un refrigerante para los vapores.

En los laboratorios se utilizan balones de 1 y 5 litros, mientras que los equipos industriales pueden llegar a tener una capacidad de hasta 8,000 ó 10,000 litros en el recipiente para colocar la hierba.

El vapor de agua atraviesa la hierba colocada en el recipiente, extrae y arrastra el aceite esencial que tiene bajo punto de volatilización y lo lleva hasta el refrigerante, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por densidad.

Si el aceite es menos denso queda en la superficie y si es más denso que el agua, va al fondo. De esta manera es fácil separarlo.

2.5.2 Enflorado

Este método consiste en colocar las flores en contacto con grasas dentro de pequeñas cámaras formadas por los chasis al colocarse uno sobre otro, al desprenderse el perfume de las flores se fija en la grasa debido a su gran afinidad, y después de cambiar varias veces las flores se obtiene la pomada, que consiste en la misma grasa saturada de perfume. La esencia se obtiene por lavajes de la pomada en alcohol etílico, de la cual se separa posteriormente por destilación al vacío; también puede efectuarse el enflorado sobre carbón, no se diferencia nada el procedimiento. Otro sistema de enflorado consiste en usar paños de tela muy absorbentes, de algodón impregnados de aceite; después se exprimen los paños y se obtiene un aceite perfumado, tanto el aceite como la grasa que se usan, deben ser previamente purificados y desodorizados.

2.5.3 Extracción por solventes

En este método el aceite esencial que sea sensible al calor o que contenga un constituyente esencial no volátil se extrae con disolvente. Consiste en poner en contacto el material con una corriente de solvente, hasta que éste se apodera de toda la esencia, que luego se separa por arrastre de vapor; las esencias obtenidas por este sistema conservan mejor la delicadeza de los perfumes de ciertas flores que la extraídas por arrastre de vapor.

2.5.4 Maceración

La maceración fue un proceso importante antes de la introducción de los métodos moderno 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.

2.5.5 Expresión

En este método la finalidad es exprimir por máquinas o a mano el fruto o la planta, produciendo la misma calidad y cantidad del aceite y es el método aplicado en forma comercial. De los proceso 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 gramos de aceite de limón por día siguiendo este método, aún se práctica, especialmente en Silicia.

Cabe mencionar que este método de extracción de aceite esencial es usado casi solo en extracciones de las esencias de frutos cítricos.

2.6 Materia prima

2.6.1 Reducción de la materia prima

La adecuada preparación del material vegetal es de gran importancia en la producción de los aceites esenciales crudos. La materia prima que se emplea con más frecuencia se presenta en forma de sólidos.

Para aumentar la superficie de contacto y obtener la forma más apta de extracción, la operación preliminar a la misma es generalmente la trituración. La trituración expone más glándulas de aceite esencial crudo y reduce el grueso del material; esto permite una extracción más rápida, mayor rendimiento y mejor calidad del aceite esencial crudo, al mismo tiempo que menor consumo de solvente.

El grado de trituración para cada planta se debe aprender por experiencia. Es claro que el material desmenuzado debe ser extraído lo más pronto posible para reducir al mínimo la pérdida de aceite esencial crudo por evaporación.

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

La mayor parte del aceite esencial crudo fácilmente extraíble proviene de las células que se rompen durante los procesos de trituración, cocción, presión, y laminado, el cual es obtenido por disolución; la fracción más difícil de extraer proviene de las células enteras o parcialmente rotas y es el obtenido por difusión.

2.6.2 Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales

Entre los factores que intervienen directamente en el rendimiento de la producción de aceites esenciales crudos se pueden enumerar los siguientes:

A. Tipo de materia prima: se refiere a las características genéticas de la planta, ya que existe diferencia aún dentro de las diferentes familias; además la materia prima también está influida por el lugar y la época de producción, por la maduración o edad de la planta, de las hojas y por la limpieza en el corte, enfermedades de la planta, etc.

B. Tiempo de secado: dependiendo de este tiempo de secado, la planta tendrá más o menos cantidad de agua por lo que el rendimiento se ve influido.

C. Tamaño de partícula: el área de transferencia y la cantidad de compartimientos abiertos depende de ese factor, así como el flujo de vapor en los métodos de arrastre con vapor.

D. Tiempo de extracción: se refiere al tiempo del proceso de extracción, en el cual el aceite de la planta es extraído gradualmente.

E. Método de extracción: se refiere al tipo de método utilizado.

F. Características del equipo de extracción: tamaño del equipo, material de construcción.

G. Características de los flujos: se refiere a la cantidad de materia prima utilizada, el volumen y la pureza del solvente utilizado, la cantidad de agua o vapor utilizado, su temperatura y presión.

2.6.3 Tratamiento de los aceites esenciales crudos

Los aceites esenciales crudos se obtiene en forma cruda conteniendo impurezas suspendidas y apreciables contenido de mezclas, las cuales degradan su calidad.

La presencia de impurezas afecta el almacenamiento, calidad del aceite y acelera la polimerización. Para la eliminación de humedad se deben adicionar agentes secantes como el sulfato de sodio, permaneciendo el aceite por varias horas, pasando luego por filtración. Los aceites esenciales crudos son frecuentemente rectificadas para remover los constituyentes indeseables. Para evitar la degradación del aceite esencial crudo se destila al vacío.

Los tres principales peligros a que están sometidos los aceites esenciales crudos son: el aire, la luz y el calor. El oxígeno del aire tiene un efecto oxidante sobre los aceites almacenados, mientras que la luz también afecta el color y la fragancia de los aceites, debido, según la mayoría de los autores, probablemente a la polimerización. El calor actúa como catalítico acelerando estos procesos indeseables. Es pues de mayor importancia que cuando se almacenan aceites esenciales estos tres factores sean excluidos al máximo. Los recipientes deberán estar completamente llenos y herméticamente cerrados.

2.7 Análisis del aceite esencial

El análisis químico de los extractos de plantas es muy importante en el control de la calidad. Después de que la identidad del material inicial ha sido establecido, la investigación cuantitativa y cualitativa puede empezarse.

Este análisis debe envolver preferiblemente alguna clase de método cromatográfico. La calidad del extracto de la planta puede ser dada como una huella digital en el cromatograma (aceites esenciales crudos) en el caso de que los componentes principales no sean conocidos o demasiados complejos.

2.7.1 Cromatografía de gas

Cuando un extracto de una planta contiene compuestos volátiles que sean de interés, la cromatografía de gas debe ser el método seleccionado para llevar a cabo.

La cromatografía de gas, la cual fue inicialmente desarrollada como una herramienta de análisis para la industria petroquímica, se ha vuelto indispensable para el trabajo con aceites esenciales crudos y productos naturales en la industria de perfumes.

Los aceites esenciales crudos contienen un largo número de compuestos y la cromatografía de gases es la única técnica que tiene suficiente poder de separación para dar una aceptable huella digital de tales mezclas.

El poder de separación de la cromatografía de gases en mezclas volátiles es tan amplia, que uno sólo necesita dos columnas capilares para toda la separación, una polar y una apolar.

Los compuestos volátiles tienen tiempos específicos de retención en las dos columnas y tentativamente puede ser posible una identificación.

Los constituyentes no volátiles puede también ser analizados por la cromatografía de gases, pero estos compuestos necesitan ser transformados en derivados volátiles. Esta transformación no puede ser cuantitativa y así causar problemas en un análisis cuantitativo. De cualquier forma, como en un análisis clínico, cuando la detección limitada por otras técnicas es muy alta, no tenemos otra opción que usar los derivados.

3 METODOLOGÍA

3.1 Ubicación

- Municipio de Patulul, departamento de Suchitepéquez, en donde se siembra 815 manzanas de citronela (*Cymbopogon winterianus*).
- Laboratorio de la planta piloto de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

En este laboratorio se realizará la parte experimental de la investigación y el secado de la planta.

- Unidad de Análisis Instrumental, facultad de Ciencias Químicas y farmacia, USAC.

En esta unidad se realizará el análisis cromatográfico de gases al aceite esencial crudo de la citronela (*Cymbopogon winterianus*).

- Laboratorio de Análisis Físicoquímico de la Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

En este laboratorio se realizará el control fisicoquímico de los aceites esenciales crudos obtenidos: gravedad específica, índice de refracción y rotación óptica.

3.2 Recursos humanos

- Autor de trabajo de investigación Werner Leonel Pineda Muñoz
- Asesora Ing. Q. Telma Maricela Cano Morales

3.3 Recursos materiales

Para el experimento, utilizando el método de extracción por arrastre con vapor se necesita:

- 10, 20 y 30 gramos de citronela (*Cymbopogon winterianus*)
- 550 mililitros de agua
- 8 mililitros de hexano
- Agua de circulación y baño maría

3.4 Equipo y cristalería

- Equipo para extracción de aceites esenciales crudos *neoclavenger*
- Rotavaporador
- Manto de calentamiento
- Balanza
- Balanza analítica

- Bomba hidráulica
- Balón de 1,000 mililitros para el *neoclavenger*
- Balón de 125 mililitros para el rota evaporador
- Vaso de precipitados de 50 mililitros
- Micropipetas
- Bulbos
- Viales de 4 mililitros
- Pizeta
- Manguera de caucho
- Cronómetro
- Cinta adhesiva

3.5 Procedimiento

- Armar el equipo de extracción de aceites esenciales crudos.
- Pesar 10, 20 ó 30 gramos de *Cymbopogon winterianus*.
- Colocar 10, 20 ó 30 gramos de *Cymbopogon winterianus* en el balón de 1,000 mililitros.
- Agregar al balón 550 mililitros de agua.
- Agitar al balón de forma que todo el material vegetal quede húmedo.
- Colocar agua en las secciones de descarga del equipo de extracción de aceites entre el balón que contiene el material vegetal y la sección de recolección de aceite y condensado.
- Colocar 4 mililitros de hexano sobre el nivel del agua en la sección de recolección de aceite y condensado, como trampa para recuperar el aceite.

- Encender el manto de calentamiento, hasta su máxima capacidad (No. 12 en el manto).
- Luego de iniciada la ebullición, encender la bomba hidráulica para la recirculación del agua de enfriamiento, la cual debe mantenerse a una temperatura de 0 – 10°C.
- Reducir el calor (No. 6 en el manto).
- Extraer durante dos horas.
- Apagar el manto de calentamiento.
- Vaciar el agua de las secciones de descarga con cuidado de no vaciar la fase hexano-aceite.
- Recolectar la fase hexano-aceite de la sección de recolección de aceite en el balón de 125 mililitros y agregar a esta sección hexano para lavar y evitar que se quede el aceite adherido a las paredes.
- Colocar el balón en el rotavaporador.
- Encender el rotavaporador a 100 revoluciones y calentar el baño maría a 70°C, para eliminar el hexano del aceite esencial crudo a un vacío de 350 mm Hg, hasta que se observe la recolección del pentano en el recolector del rota evaporador.
- Pesar un vial de 4 mililitros.
- Con una micropipeta y su respectivo bulbo trasladar el aceite esencial crudo al vial.

3.6 Diseño del estudio

El porcentaje de rendimiento de la citronela (*Cymbopogon winterianus*), se obtendrá a partir del método de extracción por arrastre con vapor, con tres tamaños de muestra y con el contenido de humedad del material, fresco y seco.

3.7 Manejo del estudio

Primero se realizará la recolección de la materia prima, se cortará con tijeras para reducirla a un tamaño aproximado de 1 x 1 cm. Se pondrá a secar hasta un 10 por ciento de contenido de humedad en el caso del material seco. Luego, se procederá a la extracción.

3.8 Diseño experimental

3.8.1 Unidad experimental

Cada unidad experimental consta de 10, 20 y 30 gramos de material fresco y seco de la citronela (*Cymbopogon winterianus*).

3.8.2 Variables independientes

Las variables independientes constan del tamaño de muestra y el material fresco o seco, es decir, su contenido de humedad.

3.8.3 Variable respuesta

La variable respuesta corresponde al porcentaje de rendimiento de aceite esencial crudo obtenido de la extracción por arrastre con vapor del material fresco y seco, para los tres tamaños de muestra, según su contenido de humedad.

3.8.4 Tratamientos

1 especie de materia, citronela (*Cymbopogon winterianus*)

3 tamaños de muestra, 10, 20 y 30 gramos

2 contenido de humedad, fresco y seco

tratamientos = $1 \times 3 \times 2 = 6$ tratamientos

A cada tratamiento se le practicarán 3 corridas

corridas = 6 tratamientos x 3 corridas = 18 corridas

3.9 Análisis estadístico

En este análisis se tomará un diseño factorial de dos factores.

Cada tratamiento fue seleccionado específicamente para realizarse en el laboratorio, por lo que el diseño fue efectos fijos.

Datos para el diseño

Tabla I. Datos del diseño estadístico

		CONTENIDO			HUMEDAD		
		F			S		
MUESTRA	1	Y _{1F1}	Y _{1F2}	Y _{1F3}	Y _{1S1}	Y _{1S2}	Y _{1S3}
	2	Y _{2F1}	Y _{2F2}	Y _{2F3}	Y _{2S1}	Y _{2S2}	Y _{2S3}
	3	Y _{3F1}	Y _{3F2}	Y _{3F3}	Y _{3S1}	Y _{3S2}	Y _{3S3}

Donde:

Contenido de humedad

F = Fresco

S = Seco

Muestra

1 = 10 gramos

2 = 20 gramos

3 = 30 gramos

Al obtener el porcentaje de rendimiento de cada repetición, es decir el valor en cada repetición de la variable respuesta, se procederá a realizar el análisis de varianza.

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2$$

$$j = 1, 2$$

$$k = 1, 2, 3$$

Donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta de ij-ésima

μ = efecto de la media general

τ_i = efecto del i-ésima cantidad de muestra

β_j = efecto de la j-ésimo contenido de humedad

$(\tau\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción cantidad de muestra–contenido de humedad

ε_{ijk} = efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

Debido a que la cantidad de muestra y contenido de humedad son de efectos fijos, es decir, cada experimento seleccionado específicamente, se toman los efectos, $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Entonces:

$$\sum_{i=1}^2 \alpha_i = 0, \quad \sum_{j=1}^2 \beta_j = 0, \quad \sum_{i=1}^2 (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^2 (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

Entonces el modelo estadístico se resume a :

$$Y_{ijk} = \mu + \varepsilon_{ijk}$$

Para comprobar cada una de las hipótesis planteadas, se obtienen los datos que se presentan en la siguiente tabla para el análisis de varianza.

Tabla II. **Análisis de varianza**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo
Cantidad muestra	SSA	a - 1	$S_1^2 = SSA / a - 1$	$F_1 = S_1^2 / S^2$
Contenido humedad	SSB	b - 1	$S_2^2 = SSB / b - 1$	$F_2 = S_2^2 / S^2$
Interacción	SS(AB)	(a-1)(b-1)	$S_3^2 = SSAB / (a - 1)(b - 1)$	$F_3 = S_3^2 / S^2$
Error	SSE	ab(n-1)	$S^2 = SSE / ab(n - 1)$	
Total	SST	abn - 1		

Donde:

a = 3 cantidades de muestra

b = 2 contenido humedad

n = 18 corridas

$$SSA = \sum_{i=1}^a \frac{Y^2_{i..}}{bn} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SSB = \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{j..}}{an} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SS(AB) = SS_{\text{subtotales}} - SSA - SSB$$

$$SS_{\text{subtotales}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{ij..}}{n} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SSE = SST - SS_{\text{subtotales}}$$

Según los resultados que se obtendrán de la tabla anterior, para rechazar o no cada una de las hipótesis planteadas, se sigue una distribución F con los grados de libertad del numerador iguales al número de grados de libertad para el cuadrado medio del numerador y $abn(n-1)$ grados de libertad para el denominador, según los datos que a continuación se presentan.

Para:

$$H_0, F_o < F_{\alpha} (v_1, v_2)$$

$$H_a, F_o > F_{\alpha} (v_1, v_2)$$

Con un nivel de significación del 5 %.

F valor localizado en tablas de probabilidad.

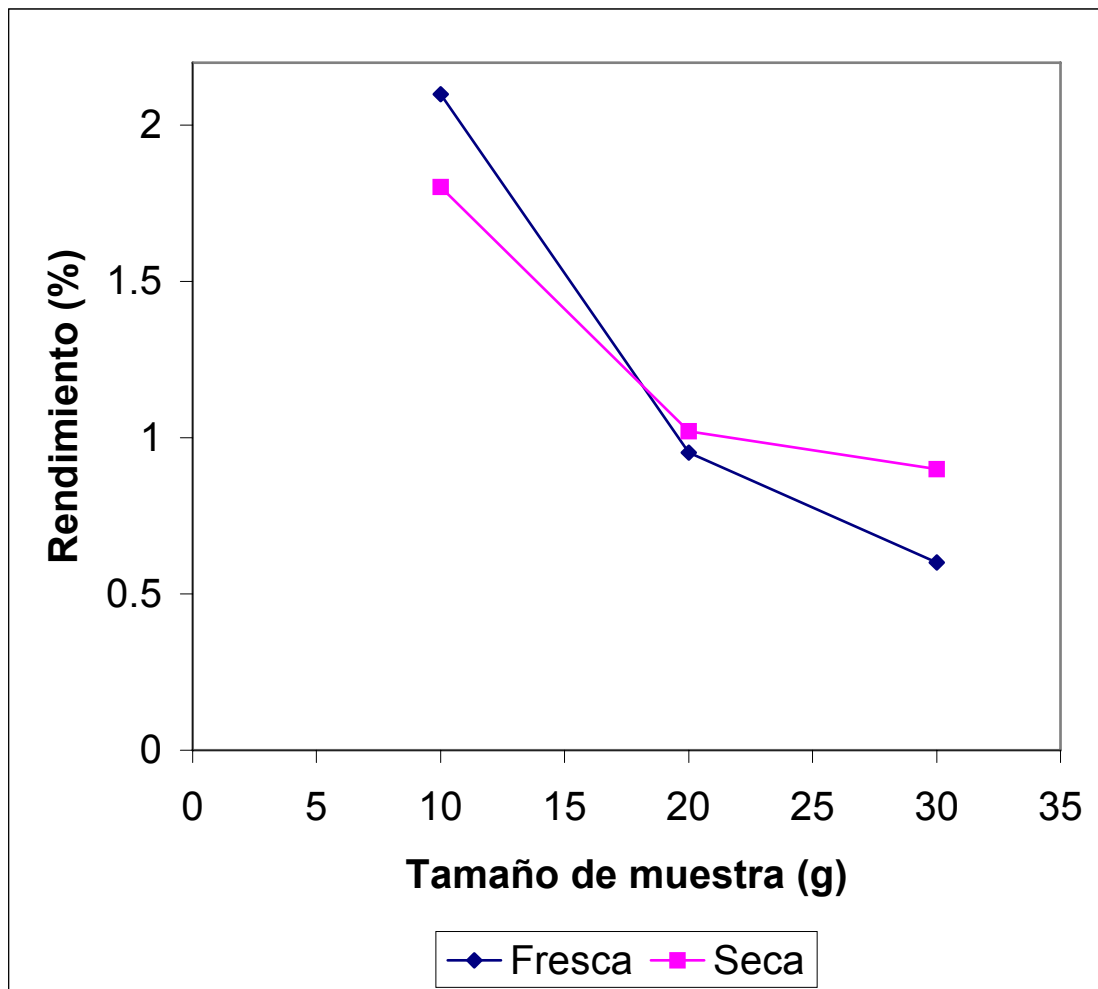
4 RESULTADOS

Se estableció que se obtiene mayor porcentaje de aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*), cuando la planta está con su contenido de humedad fresca. En cuanto al tamaño de lote utilizado el porcentaje de aceite, aumenta cuando se utiliza 10 g. se tiene entonces que cuando se utiliza el material recolectado fresco y un tamaño de lote de 10 g se obtiene el mayor porcentaje de rendimiento de aceite. Los resultados se presentan en la tabla III y en la figura 1 (pp. 32).

Tabla III. **Rendimiento (%) de aceite esencial de Citronela (*Cymbopogon winterianus*), a tres tamaños de muestra y dos contenidos de humedad**

Tamaño de muestra (g)	Fresca	Seca
10	1.860	1.720
	2.100	2.060
	2.350	1.630
20	0.895	1.285
	0.955	0.755
	1.010	1.020
30	0.596	0.923
	0.580	1.086
	0.626	0.690

Figura 1. Rendimiento (%) de aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) que se obtuvo de los tres tamaños de muestra y los dos contenidos de humedad



Se estableció también, que tanto las pruebas sensoriales como fisicoquímicas realizadas al aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) corresponden con las encontradas en las referencias utilizadas para esta investigación. Las tablas IV, V y VI (p.p. 33 y 34) muestran los resultados obtenidos. También se muestran los resultados de la cromatografía de gases realizada para los dos contenidos de humedad, fresca y seca, de los componentes mayoritarios. Figura 2 (p.p. 34).

Tabla IV. **Propiedades sensoriales del aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*)**

Propiedad	Característica
Color	Amarillo pálido.
Olor	Fresco con aroma a limón.
Aspecto	Líquido puro y limpio.

Tabla V. **Índice de refracción a 22°C, del aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) fresca**

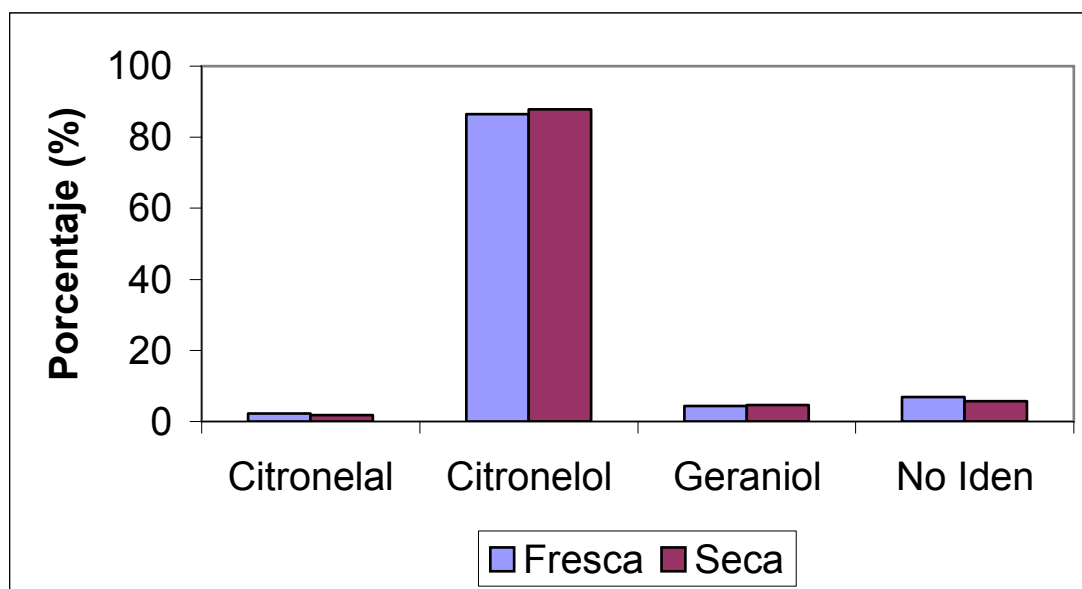
Tamaño de muestra (g)	Repetición No. 1	Repetición No. 2	Repetición No. 3	Promedio
10	1.478	1.485	1.479	1.481
20	1.484	1.481	1.472	1.479
30	1.485	1.484	1.474	1.481

Tabla VI. Índice de refracción a 22°C, del aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) seca

Tamaño de muestra (g)	Repetición No. 1	Repetición No. 2	Repetición No. 3	Promedio
10	1.473	1.467	1.477	1.472
20	1.473	1.471	1.468	1.471
30	1.477	1.468	1.471	1.474

Densidad del aceite esencial = 0.866 g / mL.

Figura 2. Porcentajes de los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*)



5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo se evaluó el rendimiento en la extracción de aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) utilizando el método de extracción de arrastre con vapor, variando el contenido de humedad y el tamaño de muestra, teniendo como objetivo principal la determinación de cual de las condiciones anteriores puede proporcionar el mayor rendimiento.

Según los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se determinó mediante el análisis de varianza con un índice de confiabilidad de un 95% que dichos resultados se vieron afectados únicamente por la variación en el tamaño de muestra, no así por la variación del contenido de humedad, a pesar de que se puede observar en la figura 1 (p.p. 32), que el contenido de humedad presenta un comportamiento similar en el rango de tamaño de muestra utilizado, teniéndose para el tamaño de muestra de 10 gramos un mayor rendimiento con el contenido de humedad fresca

Es de esperarse que al ir aumentando el tamaño de muestra no se obtengan rendimientos que continúen la tendencia de la figura 1, debido a que al aumentar el tamaño de la muestra, será necesario utilizar una mayor cantidad de agua para que todo el material esté en contacto con ella, con lo cual se tendría que modificar el tiempo de extracción para poder evaporar una cantidad de agua proporcional a la de la muestra.

Para el contenido de humedad fresca se logró un mayor rendimiento para un tamaño de muestra de 10 gramos y para el contenido de humedad seca se tuvo un máximo de rendimiento en el tamaño de muestra de 10 gramos para el rango evaluado.

Los rendimientos obtenidos tanto para el contenido de humedad fresca como para el contenido de humedad seca, estuvieron en lo esperado, ya que según la literatura se puede obtener hasta un 1.2 %.

Esto se debió a que el tiempo utilizado en la extracción fue de dos horas, constante para todos los experimentos, en el cual se llegó al agotamiento del aceite esencial de las muestras utilizadas, lo que se verificó cualitativamente, el período de agotamiento no se determinó ya que no estaba contemplado en este trabajo.

Es necesario aclarar que los resultados obtenidos en este trabajo no se pueden esperar en extracciones a nivel industrial, para la cual sería necesario realizar primero un escalonamiento a nivel planta piloto.

También sería necesario hacer un análisis de otras variables, como lo son: mejoras en el equipo a utilizar, optimización del tiempo de extracción, mejoras en el cultivo de la planta, optimización en el tiempo de secado, el tamaño de partícula; los cuales van atados al aspecto económico, para hacer viable la realización de dichas extracciones.

En este trabajo se dejaron constantes todos los factores antes mencionados, entre ellos el tiempo de extracción mencionado anteriormente.

Toda la planta utilizada fue silvestre que se recolectó del mismo lugar, del municipio de Patulúl, departamento de Suchitepéquez y se recolectó toda a la vez, con lo cual se evitó utilizar plantas que tuvieran una composición distinta o un mayor o menor porcentaje de aceite esencial, ya que como se menciona, esto puede variar según la región donde crezca la planta, así mismo las hojas fueron escogidas al azar para aleatorizar el posible error que pueda causar la edad de las mismas.

El equipo y el procedimiento utilizados para cada método se dejó sin ninguna alteración para todas las corridas realizadas.

El tiempo de secado fue el mismo, de 10 horas dentro del secador eléctrico, ya que toda la planta se secó a la vez. Es importante mencionar que el secado es un factor muy importante en la extracción de aceites esenciales crudos, puesto que al llevarse a cabo, se pierde aceite esencial por evaporación, razón por la cual es necesario optimizar dicho tiempo.

Otro factor que influye en los rendimientos obtenidos es que en la cristalería queda adherida una cantidad de aceite al terminarse la extracción, dicho factor es aleatorio dándole el mismo manejo a la recolección del aceite esencial crudo de cada muestra.

El tamaño de partícula que se utilizó fue constante y se trabajó alrededor del valor de tamaño de la muestra de 2 mm, ya que según la bibliografía, a este tamaño de muestra se obtiene los mayores rendimientos.

La optimización del tamaño de partícula a emplear, es de gran importancia en la extracción de aceites esenciales crudos, ya que al hacerla se rompen los compartimientos que contienen el aceite esencial crudo y de esa manera es extraído más fácilmente por el vapor, mientras que el aceite retenido dentro de los compartimientos que han quedado intactos es lentamente extraído por difusión hasta la superficie de la partícula.

Sin embargo, contar con material muy fino tiene la desventaja de que se da el fenómeno de la compactación del material, con la consecuencia de no ser alcanzado en su totalidad por el vapor.

Luego de extraído el aceite esencial crudo se caracterizó, primero sensorialmente; se determinó que posee un olor característico al de la citronela, es decir, con olor intenso a limón. El aspecto que se observa, a temperatura ambiente es líquido limpio, sin presencia de algún tipo de agua separada. De color amarillo pálido.

También se caracterizó fisicoquímicamente. Entre las propiedades físicas medidas está la densidad promedio que corresponde a 0.866 gramos por centímetro cúbico, medida a 23°C. Los resultados bibliográficos encontrados son de que se tiene una densidad de 0.887–0.895 a 15°C. Por lo tanto, los resultados obtenidos son adecuados de acuerdo a lo investigado.

A 22°C también se midió el índice de refracción que corresponde a 1.475. Los valores de comparación son de 1.4685–1.4728 a 22°C.

La propiedad química que se determinó fue la composición del aceite. Se realizó por medio de una cromatografía de gases. Del análisis se observa que el componente mayoritario es el citronelol seguido del geraniol y del citronelal. No se excluye la posibilidad de otros componentes en cada uno de los picos identificados. En la figura 2 (p.p. 34) se observa los resultados de la cromatografía de gases con los dos contenidos de humedad. Los resultados muestran que la cantidad de citronelol aumenta cuando el contenido de humedad de la planta es seca, dicha cantidad es de 87.88% seca y de 86.42% fresca, pero no hay mucha diferencia significativa, del mismo modo con el componente de geraniol va de un 4.62% a un 4.42% y el citronelal de 2.27% a 1.75%, esto se debe a que en estas plantas varía la cantidad y composición de su aceite esencial crudo debido a que son susceptibles a la exposición al sol. Lo anterior refleja la influencia de las condiciones climáticas sobre el aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*).

Para el estudio de los dos factores a evaluar se utilizó un arreglo combinatorio aleatorio de los dos factores (factor A tamaño de muestra y factor B contenido de humedad) de tal manera que los dos factores tengan la misma importancia. Se realizaron tres repeticiones, para obtener un total de 18 unidades experimentales.

Las hipótesis se evaluaron por medio de un análisis estadístico, en el cual se rechazó la primera hipótesis nula y se aceptaron las otras dos hipótesis alternas. Estos resultados se muestran en el resumen del análisis de varianza del apéndice B (p.p. 47). En dicho resumen se observa que se imponen dos valores de f observados sobre el valor crítico de $f_{5\%}$. De lo que se concluye que el factor de tamaño de muestra afecta en el rendimiento de aceite esencial crudo y que el contenido de humedad y la interacción de estos dos factores no influyen en dicho rendimiento.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se tiene que el rendimiento de aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) depende del tamaño de muestra a ser procesado, no así del contenido de humedad de las muestras, a la vez no existe una interacción entre los factores tamaño de muestra y contenido de humedad.

En la figura 1 (p.p. 32) se observa que se obtiene mayores rendimientos de aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) cuando se utilizan 10 g. De muestra y que el porcentaje aumenta cuando se utiliza además el material fresco. La media utilizando los factores anteriores es de 1.228% de rendimiento de aceite esencial. Mientras que el dato de referencias bibliográficas es de 0.3 a 0.5%, comparado estos datos se tiene una diferencia significativa de 0.728% más de rendimiento. Los porcentajes de rendimiento; tanto de material fresco como de material seco y utilizando las cantidades de 30 g, que en este caso fueron las mayores cantidades utilizadas, siempre superaron o se mantuvieron a los datos de las referencias bibliográficas.

CONCLUSIONES

1. Existe variación significativa en el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) cuando ha sido extraído de diferentes tamaños de muestra.
2. No existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) cuando ha sido extraído de muestras con diferentes contenidos de humedad.
3. No existe diferencia significativa en la interacción tamaño de muestra menos contenido de humedad en el rendimiento del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) bajo las condiciones que se realizó cada experimento.
4. Los valores obtenidos en las mediciones de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winterianus*) corresponden adecuadamente con los datos que presentan las referencias bibliográficas.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el estudio de extracción de aceites esenciales dándole especial atención a la variación de los factores (temperatura, tiempo de extracción, presión), que en el presente trabajo se han mantenido constantes.
2. Evaluar los rendimientos y la composición química del aceite esencial crudo de la citronela (*Cymbopogon winterianus*) utilizando otros métodos de extracción.
3. Hacer estudios económicos que contemplen la factibilidad del procesamiento industrial de la citronela (*Cymbopogon winterianus*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Centro de Comercio Internacional. **Estudio de mercado, aceites esenciales y oleorresinas.** (Suiza: UNCTAD/GATT, 1986). Págs. 19 – 20.
2. E. Guenther. **The Essential Oils.** (New York: Editorial Van Nostrand Co. Inc. Vol I., 1956). Págs. 55 – 56.
3. M. Puhlow. **El Gran libro de las plantas medicinales.** (6ta. Edición. España: Editorial Everest. 1958). Págs. 95.
4. Manuel Mendoza C. Comparación del rendimiento y caracterización del aceite esencial del té de limón (*N. Científico Cymbopogon citratus*), aplicando el método de hidrodestilación. Tesis de Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos. 2002. Págs. 17 – 24.
5. Ronald Monzón C. Determinación del rendimiento de aceite esencial de la hoja de naranja agria (*Citrus Aurantium*) en función del tamaño de partícula y el tamaño de muestra obtenido por medio del proceso de arrastre con vapor. Tesis de Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos. 1998. Págs. 40 – 47.
6. Humberto Ortiz. La producción de aceites esenciales en Guatemala y sus posibilidades de ensanchamiento. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Universidad de San Carlos. 1959. Págs. 20 – 22, 41.
7. P. Ques, Font. **Plantas Medicinales.** (9va. Edición. España: Editorial Alson. 1985). Págs. 5 – 10.

8. Piedrasanta B. Benjamín. 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 de Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos. 1997. Págs. 9 – 11.

9. Retamar Juan Alberto. **Aceites esenciales de especies vegetales diversas. Sus propiedades químicas.** (Argentina: IPNAYS CONICET-UNL-FIQ. 1982). Págs. 25 – 34.

BIBLIOGRAFÍA

1. H. Küster. **Importancia de los aceites esenciales naturales y sus perspectivas para el futuro**. New York: Editorial Dragoco, Report, 1971.
2. Hiscox, G. D., Hopkins A. A. **Gran enciclopedia de recetas industriales y fórmulas domésticas**. (Tomo V). México: Editorial Gustavo Gili S. A. De CV. 1992.
3. Pernilla D. María de los Angeles. Extracción y determinación del rendimiento de aceite esencial de *Ocimum basilicum* (Albahaca) en función de la estación de recolección y del tamaño de lote obtenidos por medio de arrastre con vapor a nivel laboratorio. Tesis de ingeniera Química. Guatemala, Universidad de Guatemala. 2002.
4. Sandoval A. Jonathan. **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**. Tesis de Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos. 1999.
5. Walpole Ronald, Myers Raymond. **Probabilidad y Estadística**. 4ta. ed. México: Editorial McGraw-Hill. 1992.
6. www.aromaterapia-qi.com/hierbalimon.html
7. www.aceitesesenciales.com.arg
8. www.google.com/citronela.html

APÉNDICE

A. Datos originales

Tabla VII. **Masa de aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con el contenido de humedad fresca**

Tamaño de muestra (g)	Masa de aceite obtenido (g)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
10	0.186	0.210	0.235
20	0.179	0.191	0.202
30	0.179	0.174	0.188

Tabla VIII. **Masa de aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con el contenido de humedad seca (al 10 %)**

Tamaño de muestra (g)	Masa de aceite obtenido (g)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
10	0.172	0.206	0.163
20	0.257	0.151	0.204
30	0.277	0.326	0.207

B. Datos calculados

Tabla IX. Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con el contenido de humedad fresca

Tamaño de muestra (g)	Total (g)	Promedio (g)	Rendimiento
10	0.631	0.210	2.10 %
20	0.572	0.191	0.95 %
30	0.541	0.180	0.60 %

Tabla X. Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) con el contenido de humedad seco

Tamaño de muestra (g)	Total (g)	Promedio (g)	Rendimiento
10	0.541	0.180	1.80 %
20	0.612	0.204	1.02 %
30	0.810	0.270	0.90 %

C. Muestra de cálculo

a) Promedio de la masa de las muestras

Para la muestra de 10 g con el contenido de humedad fresca.

$$\begin{aligned}\text{Promedio} &= \frac{\Sigma \text{ masa de las repeticiones}}{\text{Número de repeticiones}} \\ &= \frac{(0.186 + 0.210 + 0.235) \text{ g}}{3} \\ &= \mathbf{0.210 \text{ g}}\end{aligned}$$

b) Total de masa obtenida

Para la muestra de 10 g con el contenido de humedad fresca.

$$\begin{aligned}\text{Total} &= \Sigma \text{ masa de las repeticiones} \\ &= (0.186 + 0.210 + 0.235) \text{ g} \\ &= \mathbf{0.631 \text{ g}}\end{aligned}$$

c) Rendimiento de la muestra

Para la primera muestra de 10 g con el contenido de humedad fresca.

$$\begin{aligned}\text{Rendimiento} &= \frac{\text{masa de la muestra} * 100}{\text{masa de la citronela}} \\ &= \frac{0.186 \text{ g} * 100}{10 \text{ g}} \\ &= \mathbf{1.86 \%}\end{aligned}$$

d) Rendimiento de la muestra promedio

Para la muestra de 10 g con el contenido de humedad fresca.

$$\begin{aligned}\text{Rendimiento} &= \frac{\text{promedio} * 100}{\text{masa de la citronela}} \\ &= \frac{0.210 \text{ g} * 100}{10 \text{ g}} \\ &= \mathbf{2.10 \%}\end{aligned}$$

D. Análisis de error

Para verificar la confiabilidad del experimento se realizó el siguiente análisis de varianza para un experimento de dos factores con repetición.

Tabla XI. Sumatoria entre muestras y repeticiones

Tamaño de muestra (g)	Contenido de humedad	Repeticiones (%)			Total (%)
10	Fresca	1.860	2.100	2.350	6.310
	Seca	1.720	2.060	1.630	5.410
20	Fresca	0.895	0.955	1.010	2.860
	Seca	1.285	0.755	1.020	3.060
30	Fresca	0.596	0.580	0.626	1.802
	Seca	0.923	1.086	0.690	2.699
Total		7.279	7.536	7.326	22.41

Suma total de cuadrados (SST)

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - T^2 \dots / abn$$

$$SST = (1.86)^2 + (2.1)^2 + (2.35)^2 + \dots + (0.69)^2 - (22.141)^2/18$$

$$SST = 32.8367 - 27.2347$$

$$SST = 5.6020$$

Suma de cuadrados para el error (SSE)

$$SSE = SST - SS_{\text{subtotales}}$$

$$SS_{\text{subtotales}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij..}^2}{n} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SS_{\text{subtotales}} = (6.31)^2 + (5.41)^2 + (2.86)^2 + (3.06)^2 + (1.802)^2 + (2.699)^2 / 6$$

$$SS_{\text{subtotales}} = 32.3864$$

$$SSE = 32.8367 - 32.3864$$

$$SSE = 0.4503$$

Tabla XII. **Sumatoria entre muestras y métodos**

Tamaño de muestra (g)	Σ Fresca (%)	Σ Seca (%)	Total
10	6.310	5.410	11.720
20	2.860	3.060	5.920
30	1.802	2.699	4.501
Total	10.972	11.169	22.141

Suma de cuadrados para el factor A (SSA)

$$SSA = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SSA = (11.72)^2 + (5.92)^2 + (4.501)^2 / 6 - 27.2347$$

$$SSA = 32.1106 - 27.2347$$

$$SSA = 4.8759$$

Suma de cuadrados para el factor B (SSB)

$$SSB = \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{j..}}{an} - \frac{Y^2 \dots}{abn}$$

$$SSB = (10.972)^2 + (11.169)^2 / 9 - 27.2347$$

$$SSB = 27.2368 - 27.2347$$

$$SSB = .0021$$

Suma de cuadrados de la interacción de A y B (SS(AB))

$$SS(AB) = SST - SSE - SSA - SSB$$

$$SS(AB) = 5.6020 - 0.4503 - 4.8759 - 0.0021$$

$$SS(AB) = 0.2737$$

Cuadrado medio del error (S^2)

$$S^2 = SSE / ab(n - 1)$$

$$S^2 = 0.4503 / 12$$

$$S^2 = 0.0375$$

Cuadrado medio del factor A (S_1^2)

$$S_1^2 = SSA / a - 1$$

$$S_1^2 = 4.8759 / 2$$

$$S_1^2 = 2.4380$$

Cuadrado medio del factor B (S_2^2)

$$S_2^2 = 0.0021 / 1$$

$$S_2^2 = 0.0021$$

Cuadrado medio de la interacción (S_3^2)

$$S_3^2 = SS(AB) / (a - 1)(b - 1)$$

$$S_3^2 = 0.2737 / 2$$

$$S_3^2 = 0.1369$$

2.d. Valores de Fo observada

Para el factor A (F_1)

$$F_1 = S_1^2 / S^2$$

$$F_1 = 2.4380 / 0.0375$$

$$F_1 = 65.01$$

Para el factor B (F_2)

$$F_2 = S_2^2 / S^2$$

$$F_2 = 0.0021 / 0.0375$$

$$F_2 = 0.056$$

Para la interacción de A y B (F_3)

$$F_3 = S_3^2 / S^2$$

$$F_3 = 0.1369 / 0.0375$$

$$F_3 = 3.65$$

F para 1 y 12 grados de libertad = 3.89

F para 2 y 12 grados de libertad = 4.75

Tabla XIII. Análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	<i>f</i> calculada
Tamaño de muestra	4.8759	2	2.4380	65.01
Contenido de humedad	0.0021	1	0.0021	0.056
Interacción de los dos factores	0.2737	2	0.1369	3.650
Error	0.4503	12	0.0375	
Total	5.6020	17		

F. Cromatografías de gases

Figura 4. Resultado del análisis por cromatografía gaseosa del aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) fresca

Figura 5. **Resultado del análisis por cromatografía gaseosa del aceite esencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*) seca**