



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

**ANÁLISIS DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS DE DOS ESPECIES DE
EUCALIPTO TRABAJADOS EN SECO A NIVEL LABORATORIO Y A NIVEL
PLANTA PILOTO EN LA EXTRACCIÓN DE SU ACEITE ESENCIAL**

Sergio Ivan Lima Aguirre
Asesorado por Inga. Telma Maricela Cano Morales

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS DE DOS ESPECIES DE
EUCALIPTO TRABAJADOS EN SECO A NIVEL LABORATORIO Y A NIVEL
PLANTA PILOTO EN LA EXTRACCIÓN DE SU ACEITE ESENCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

SERGIO IVAN LIMA AGUIRRE

ASESORADO POR INGA. Q. TELMA MARICELA CANO MORALES

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO 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 Álvarez
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
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
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:

ANÁLISIS DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS DE DOS ESPECIES DE EUCALIPTO TRABAJADOS EN SECO A NIVEL LABORATORIO Y A NIVEL PLANTA PILOTO EN LA EXTRACCIÓN DE SU ACEITE ESENCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 22 de noviembre de 2002.

Br. Sergio Ivan Lima Aguirre

ACTO QUE DEDICO

A MI CREADOR

Dios todopoderoso, por darme las fuerzas necesarias para salir adelante en la vida.

A MI MADRE

Rosario de María Aguirre Berganza, quien es una madre ejemplar por el enorme apoyo que me ha brindado durante toda mi vida.

A MIS HERMANOS

Erwin Lima Aguirre por darme el ejemplo de llegar al fin de las metas propuestas en la vida.

Erick Lima Aguirre por brindarme la confianza no solo como un hermano sino que como un gran amigo.

A MI SOBRINO

Erick Fernando Lima Peralta que ha llenado de felicidad a toda mi familia y me ha hecho recordar momentos especiales de mi infancia.

A ALGUIEN MUY ESPECIAL

Ingrid, quien me ha dado su apoyo incondicional tanto en lo emocional como en lo espiritual para alcanzar las metas trazadas en la vida, durante tres años de mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

A JESUS

Por ser un gran ejemplo para toda la humanidad, ya que nos enseñaste que con amor y esfuerzo se consigue el triunfo en la vida.

A MI HERMANO ERICK

Gracias por ser mi apoyo en aquellos momentos de flaqueza, en los cuales me brindaste tu confianza y tus sabios consejos para que siguiera adelante.

MI HERMANO ERWIN

Gracias por sus sabios consejos y regaños, por los cuales hoy está el fruto de la cosecha.

A MIS FAMILIARES EN GENERAL

Abuela, tíos, cuñada y sobrino, gracias porque cada uno de ustedes han tenido la confianza en mi persona para que llegara a este día triunfal.

INGENIERA TELMA MARICELA CANO MORALES

Gracias por brindarme su amistad, su confianza y por dedicarme parte de su tiempo para la culminación de mi carrera.

A MIS AMIGOS

Juan Pablo Reyes, Ing. Otto de León, Ing. Mischael Hernandez, Inga. Paula Chávez, Ana Lucía Flores, Susana, Mauricio, Inga. Rosalinda Tobar, Inga. Dalia Córdón. Ing. Diego Hernández.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIOS

Con cada una de aquellas personas que compartimos alegrías, tristezas, desvelos, enojos y todas las demás situaciones que se presentaron en nuestra etapa de estudiantes; éxitos a todos.

A MIS MAESTROS Y CATEDRÁTICOS

Gracias por sus sabios consejos y por compartir conmigo sus conocimientos teóricos y prácticos.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VI
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	IX
HIPÓTESIS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1. 1. Aceites esenciales.....	
1	
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Usos de los aceites esenciales.....	2
1.1.3. Características de los aceites esenciales de buena calidad.....	3
1.1.4. Composición química.....	4
1.1.5. Deterioro a que están expuestos los aceites.....	5
1.1.6. Análisis de los aceites esenciales.....	5
1.2. Extracción de aceite esencial.....	6
1.2.1. Destilación.....	7
1.2.1.1. Destilación por arrastre de vapor.....	8
1.2.1.2. Hidrodestilación.....	8
1.2.1.3. Destilación mixta.....	9
1.2.2. Lixiviación.....	10
1.2.3. Expresión.....	10

1.2.4. Enfloración.....	10
1.2.5. Maceración.....	11
1.2.6. Extracción con solventes volátiles.....	11
1.2.7. Parámetros manejados para el mejoramiento en la extracción de aceite.....	12
1.2.7.1. Reducción de la partícula.....	12
1.2.7.2. Técnica de recolección, secado y conservación..	13
1.3. Eucalipto.....	15
1.3.1. Clasificación sistemática.....	15
1.3.2. Características Morfológicas.....	15
1.3.2.1. Porte.....	15
1.3.2.2. Hojas.....	16
1.3.2.3. Flores.....	17
1.3.2.4. Fruto.....	17
1.3.2.5. Descripción botánica.....	17
1.3.3. Origen.....	18
1.3.3.1 Etimología.....	19
1.3.4. Ecología.....	19
1.3.5. Principales aprovechamientos del eucalipto.....	19
1.3.6. Perfil del mercado.....	21
1.3.7. Ciertas especies importantes de eucalipto.....	22
1.3.7.1. Eucaliptus Globulus.....	22
1.3.7.1.1 Descripción.....	22
1.3.7.1.2 Clima	23
1.3.7.1.3 Aceite esencial	25
1.3.7.4. Aceite del Eucalipto Citriadora	27
1.3.7.5 Aceite esencial del Eucalipto Polybractea.....	27
1.3.7.6. Aceite esencial del Eucaliptus Radiata.....	27
1.3.8. Datos relevantes respecto de los aceites esenciales de eucalipto.....	28

1.3.9. Institución que se encarga del estudio del eucalipto.....	32
2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	
2.1. Localización.....	33
2.2. Recurso humano.....	33
2.3. Metodología experimental.....	34
2.3.1. Diseño de tratamientos.....	34
2.3.2. Manejo del experimento.....	34
2.3.3. Métodos para extraer el aceite esencial.....	35
2.3.3.1. A nivel planta piloto (Arrastre con vapor directo).....	35
2.3.3.2. A nivel laboratorio (por el método de Hidrodestilación).....	36
2.3.4. Propiedades físicas del aceite.....	36
2.3.4.1. Determinación de la densidad.....	36
2.3.4.2. Determinación del índice de refracción.....	36
2.3.4.3. Análisis cromatográfico.....	37
2.3.5. Diseño del estudio.....	37
2.3.6. Análisis estadístico.....	37
3. RESULTADOS.....	43
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
APÉNDICE.....	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

No.	TÍTULO	PÁGINA
I	Arreglo de datos para el diseño estadístico	38
II	Análisis de varianza	40
III	Rendimiento de aceite esencial de dos especies de eucalipto a nivel laboratorio	43
IV	Rendimiento de aceite esencial de dos especies de eucalipto a nivel planta piloto	43
V	Análisis económico de acuerdo al rendimiento y tiempo de extracción para las dos especies de eucalipto	44
VI	Tiempo óptimo de extracción de aceite esencial para cada una de las especies de eucalipto	44
VII	Propiedades físicas de las dos especies de eucalipto	45

FIGURAS

No.	TÍTULO	PÁGINA
I	Análisis cromatográfico del aceite esencial de cada especie del eucalipto Globulus	55
II	Análisis cromatográfico del aceite esencial de cada especie del eucalipto Cinerea	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción
Y_{ij}	variable de respuesta ij-ésima
μ	efecto de la media general
τ_i	efecto del i-ésimo especie de eucalipto.
β_j	efecto del j-ésimo tiempo de extracción
$(\tau \beta)_{ij}$	efecto de la interacción especie – tiempo
ε_{ijk}	efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

GLOSARIO

Aceite esencial	Constituyente volátil presente en diversas plantas que se caracteriza por estar constituido por mezclas de terpenos, sesquiterpenos y sus derivados oxigenados y a veces por compuestos aromáticos, que se volatiliza a temperatura ambiente y tiene aspecto aceitoso.
Condensador	Instrumento utilizado para pasar una sustancia del estado gaseoso al estado líquido.
Destilación	Procedimiento de separación de los componentes líquidos de una disolución, que se basa en los diferentes puntos de ebullición.
Hidrodestilación	Método de extracción de aceite esencial, el cual consiste en poner en contacto directo el material vegetal con agua hirviendo y por medio del vapor se arrastra el aceite a un condensador para así obtener dicho producto.
Lixiviación	Método de extracción de aceite esencial mediante el uso de un solvente produciendo así la difusión del aceite hacia el solvente que luego se separará mediante destilación al vacío.
Solvente	Componente físico de una solución, que se caracteriza por ser la sustancia de mayor cantidad.

RESUMEN

Se realizó la extracción de aceite esencial de dos especies medicinales de eucalipto, las cuales fueron *Eucaliptus Globulus* y *Eucaliptus Cinerea*; la materia prima utilizada fueron hojas previamente secas, mientras que los métodos de extracción fueron dos, uno por arrastre con vapor directo a nivel planta piloto y el otro fue el de hidrodestilación a nivel laboratorio. Para dicho análisis a nivel planta piloto se variaron tiempos de extracción con tamaños de lote constante a una temperatura constante; mientras que a nivel laboratorio se mantuvieron constantes estas variables, ya que se analizaría cual de las dos especies tendría un mayor rendimiento.

La especie que generó un mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial fue la *Eucaliptus Cinerea*, el cual fue de 2.95%, mientras que el *Eucaliptus Globulus* tuvo un rendimiento fue de 0.63%; estos datos fueron obtenidos sin variar tiempos de extracción ni tamaños de lote.

A nivel planta piloto se determinó que a mayor tiempo de extracción fue incrementando el porcentaje de rendimiento para ambas especies, se llegó a determinar que el tiempo óptimo de extracción para el mayor rendimiento de aceite para cada una de estas especies es de 1.88 horas para el *Eucaliptus Cinerea* con un rendimiento del 2.36%, mientras que para el *Eucaliptus Globulus* es de 1.70 horas con un rendimiento de 0.57%. Además se comprobó que la especie que presenta mayor rentabilidad económica con fines de proyección industrial es el aceite esencial del *Eucaliptus Cinerea*, debido a su precio de venta y al porcentaje de rendimiento.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Analizar la rentabilidad de la extracción de aceite esencial de dos diferentes especies de eucalipto por medio de la planta piloto utilizando el método de arrastre con vapor directo, variando el tiempo de extracción.

- **ESPECÍFICOS**

1. Determinar los rendimientos de aceite esencial de las dos diferentes especies de eucalipto a nivel de laboratorio con el aparato denominado Neoclavenger (hidrodestilación) con materia seca.
2. Determinar los rendimientos de aceite esencial a nivel planta piloto con el método de extracción por arrastre con vapor en contacto directo con la materia vegetal seca variando el tiempo de extracción.
3. Determinar el tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de eucalipto para cada una de las especies analizadas en la planta piloto.

HIPÓTESIS

El porcentaje de rendimiento de aceite esencial de eucalipto será mayor para el eucalipto cinerea en comparación con el eucalipto globulus y dependiendo del tiempo de extracción.

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

NULA

Ho: No existe diferencia significativa en el rendimiento de aceite esencial de eucalipto, utilizando para la extracción cualquiera de las dos especies de eucalipto y variando sus tiempos de extracción.

$$\mu_{R_i t_i} = \mu_{R_j t_j}$$

donde

$\mu_{R_i t_i}$: rendimiento de eucalipto de la interacción del i-ésimo experimento especie-tiempo de extracción.

$\mu_{R_j t_j}$: rendimiento de aceite esencial de eucalipto de la interacción del j-ésimo experimento especie-tiempo de extracción.

ALTERNA

Ha: Existe diferencia significativa en el rendimiento de aceite esencial de eucalipto, al utilizar cada una de las dos especies de eucalipto y variando sus tiempos de extracción.

$$\mu_{R_i t_i} \neq \mu_{R_j t_j}$$

donde

μR_{iti} : rendimiento de eucalipto de la interacción del i-ésimo experimento especie-tiempo de extracción.

μR_{jtj} : rendimiento de aceite esencial de eucalipto de la interacción del j-ésimo experimento especie-tiempo de extracción.

INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales se han usado desde la antigüedad para tratar enfermedades, en productos de belleza, adoración a varios dioses y hasta en el proceso de momificación. Estos maravillosos aceites poseen muchas propiedades beneficiosas. Cada aceite tiene una identidad, un aroma y unas características propias.

El presente estudio trata sobre la extracción de aceite esencial de dos especies de eucalipto en seco, analizándolo tanto a nivel de laboratorio con el aparato de extracción denominado Neoclavenger, que consiste en un método de destilación con agua, como también a nivel planta piloto utilizando el método de arrastre con vapor directo para determinar la factibilidad de extracción industrial de dicho aceite, ya que Guatemala cuenta con las condiciones climáticas para la posible propagación de muchas especies de plantas medicinales que, procesadas a nivel industrial, pueden proporcionar productos con un valor agregado mayor. Las dos especies de eucalipto a trabajar tienen carácter medicinal, ya que existen aproximadamente unas ochocientas especies de eucalipto a nivel mundial, pero no todas poseen aceite esencial medicinal, sino que la mayor aplicación de la mayoría de las especies es la de obtener madera para diferentes usos industriales.

Actualmente, existe un gran interés por parte de diversas entidades privadas y gubernamentales como lo son FARMAYA, AGEXPRONT, CONAPLAMED, CONCYT, ICTA y la USAC en la siembra, explotación

industrial y la posterior exportación de extractos de plantas como productos no tradicionales.

Con este estudio realizado en la planta piloto de extracción y destilación del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en los laboratorios de la Facultad de Farmacia, se ampliará el área de conocimiento con el que se cuenta en nuestro país acerca del tema de la extracción de los aceites esenciales, y en especial, los de eucaliptos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aceites esenciales

1.1.1. Definición

Son los compuestos odoríferos naturales que ocurren en las plantas y que son aislados de las mismas; generalmente líquidos (en algunas ocasiones semisólidos y muy raras veces sólidos); poco solubles en agua, pero sí volatilizables con vapor, se evaporan a diferentes velocidades bajo presión atmosférica.

El término aceite esencial es utilizado en general para designar sustancias volátiles obtenidas por destilación, a base de vapor, o por otros métodos de extracción. Con esta definición, se quiere hacer una distinción entre los aceites grasos y los que son fácilmente volátiles. Su volatilidad y origen vegetal son las propiedades básicas que caracterizan a estos aceites. El término popular más común con el que se conocen estas sustancias es el de esencias, también se conocen por el nombre de aceites volátiles o etéreos.

Los aceites esenciales de las plantas son las sustancias responsables del olor formado en la planta, tomando materiales exteriores, absorbiéndolos y transformándolos en fragmentos del sistema de la planta como parte de la estructura celular, con una consistencia rígida. Aún no se conoce la utilidad que obtiene la planta de estos compuestos, pero se le atribuyen algunos de los siguientes beneficios: para regular su temperatura, liberándolos como vapores,

como atractivo para los insectos colaboradores de la polinización, o como repelente para que los insectos dañinos no se aproximen. Otra opinión indica que los aceites esenciales son desechos del proceso metabólico de las plantas, los cuales no pueden desechar al exterior.

El aceite esencial dentro de la planta se encuentra confinado en un tejido al cual se le denomina micela. De lo contrario, podría tener influencia en la transpiración de la planta, e inhibir la formación de clorofila; esto es perjudicial o beneficioso, dependiendo del tipo de planta, si es clorofila o no. De lo contrario, se puede concluir que los aceites esenciales generados por la planta, son de diferentes utilidades, según su género, especie o variedad.

Cuando los aceites se mezclan unos con otros también se están mezclando sus beneficios. Algunas veces al mezclar aceites con propiedades diferentes estamos causando reacciones químicas en ellos. Las mezclas de aceites pueden enriquecer algunas propiedades o producir nuevas características.

En la antigüedad, se llamaban la quinta esencia de las plantas y los alquimistas los usaban en medicinas. Los aceites son altamente concentrados y literalmente representan la vida de la planta, la energía esencial de la planta. Son muy volátiles, no grasosos y pueden ser afectados fácilmente por la luz y la temperatura.

1.1.2. Usos 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.

Los aceites esenciales tienen propiedades extraordinarias. Con la creciente popularidad de la aromaterapia es más fácil encontrar aceites de buena calidad en casi todas las ciudades. La calidad de los aceites es muy importante en la aromaterapia. Los aceites de baja calidad no dan los resultados esperados.

1.1.3. Características que deben de tener los aceites esenciales de buena calidad.

- a) **Olor:** el aceite debe oler igual que la planta que lo produce. Cuando se inhala tiene que producir la misma sensación que produce la planta al olerla. Si no huele igual no proviene de esa planta, lo que significa que es adulterado, proviene de una destilación secundaria o peor aún, de una mezcla de químicos.
- b) **Empaquetado:** los aceites necesitan estar protegidos de la luz por lo que la botella debe ser oscura y de vidrio. Si la botella es clara significa que la empresa productora no está entregando buena calidad.
- c) **Consistencia:** los aceites son claros y no se sienten pesados. Los aceites esenciales se evaporan.
- d) **Lugar de venta:** en las tiendas de productos procesados o tiendas que se especializan en bajos precios es muy difícil encontrar aceites de buena calidad. Prefiera tiendas naturales, pero no crea que solo porque la tienda es natural los aceites son de buena calidad.

1.1.4. Composición química de los aceites esenciales

La composición química de los aceites esenciales es variada, en una misma especie la composición cambia. Se pueden encontrar más de cincuenta compuestos químicos en una planta en proporciones considerables para ser tomados en cuenta como componentes importantes del aceite. Hay componentes químicos, cuya cantidad presente en el aceite esencial no es considerable cuantitativamente, pero influyen cualitativamente.

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

- Éteres: cíñelo, éter interno (eucapliptol), anteol, safrol.
- Lactonas: cumarina
- Terpenos: canfeno, pineneo, limoneno, felandreno, cedreno.
- Hidrocarburos: cimeno, estireno (fenil etileno).
- Ésteres: principalmente ácido benzoico, acético, salicílico y cinámico.
- Alcoholes: linalol, geraniol, citronelol, terpinol, mentol, borneol.
- Ácidos: benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico; todos en estado libre.
- Fenoles: eugenol, timol, carvacrol.
- Cetonas: carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metil nonil cetona, metil heptanona.
- Aldehídos: citral, citronela, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainilla.

1.1.5. Deterioro a que están expuestos los aceites esenciales naturales.

Generalmente, el deterioro es atribuido a reacciones generales como oxidación, resinificación, polimerización, hidrólisis de ésteres 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 protegidos 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.

1.1.6. Análisis de los aceites esenciales

Los fines principales del análisis de los aceites volátiles son el descubrimiento de adulteración y la evaluación de la calidad de un aceite no adulterado. Rara vez se realiza un análisis para identificación.

Se hace un examen preliminar y organoléptico, en el cual se coloca una muestra del aceite en un frasco o probeta graduada. Se observa el color, la claridad, la viscosidad, la presencia o ausencia de sedimento, las ceras separadas y el agua. A continuación se caracteriza la muestra por medio de cromatografía gaseosa para identificar los principales componentes, y de ser posible, cuantificarlos. Finalmente, se evalúan sus propiedades fisicoquímicas como densidad, solubilidad e índice de refracción.

También se ejecutan pruebas especiales según el aceite que se está ensayando (contenido de ésteres, contenido total de alcoholes, punto de congelación, residuo de evaporación, contenido de aldehídos, etc.) El análisis para determinar componentes se realiza a través de comparación con estándares, en cromatografía de gases o en cromatografía de capa fina, lo cual indica qué componentes posee un aceite esencial. (Según Kirk y Othmer, 1961)

1.2. Extracción 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:

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

- a) Semillas y frutos
- b) Hierbas y hojas
- c) Flores y pétalos
- d) 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 período 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. A ciertas materias vegetales se les debe reducir el tamaño para favorecer la obtención del aceite siendo necesario la existencia de molinos y cortadoras.

Los aceites esenciales se pueden extraer del material vegetal, a través de cinco métodos: destilación, lixiviación, enfloración, maceración y expresión. Las variaciones de estos métodos son consideradas algunas veces independientes, pero solo son modificaciones como: condiciones del extracto, combinación de dos de ellos, como extracción con lixiviación, etc. La destilación posee variaciones, entre ellas se tiene el de arrastre por vapor, la hidrodestilación, la combinación entre ambas, etc.

1.2.1. Destilación

La destilación puede ser definida como “la separación de los componentes de una mezcla de dos o más líquidos en virtud de sus presiones de vapor”. La destilación consiste en extraer los aceites esenciales mediante vapor de agua, el cual pasa a través del material vegetal arrastrando las partículas de aceite esencial.

Las destilaciones por arrastre de vapor duran entre 3, 4 o más horas, según la hierba que se trate, obteniéndose muy poca cantidad de esencia. Esto se debe a que el contenido en aceites de las plantas es bajo, y por ello hace falta destilar abundante cantidad de hierbas para obtener un volumen que justifique el gasto de destilación. Los rendimientos suelen ser menores al 1%,

es decir, destilando 100 Kg de hierba fresca, obtendremos menos de 1 Kg de aceite esencial. Esto no sólo obliga a optimizar la destilación, sino a contar con muchas toneladas de hierba a destilar, inclusive con muchas personas que provean de la hierba.

Del vapor condensado se debe separar la fase de agua y la fase de aceite por diferencia de densidad, utilizando el método de la decantación. Las variaciones de este método son:

1.2.1.1. Arrastre con vapor directo

Consiste en poner en contacto vapor seco, generado en una caldera, con el material vegetal preparado para posteriormente condensar el vapor. En algunos casos, se introduce vapor recalentado a presión ligeramente superior a la atmosférica. Este método ofrece la ventaja que el vapor de agua se introduce en el material vegetal a mayor presión, pudiendo, de esta manera, romper con facilidad las micelas donde se encuentra confinado el aceite esencial. Tiene la desventaja de no poder reducir de tamaño las partículas a tamices muy pequeños, ya que el vapor arrastraría el material vegetal contaminando el condensado.

1.2.1.2. Hidrodestilación

En este método, el material vegetal está en contacto directo con agua hirviendo. Se coloca el material vegetal en un recipiente y se inunda con agua. Se suministra calor, para generar vapor, el cual está en íntimo contacto con el material vegetal, conduciéndolo después al condensador. En este método el tamaño de la partícula puede ser de un tamiz muy pequeño sin que exista

riesgo de que el vapor lo arrastre, ya que al ser generado el vapor en el mismo recipiente, su presión es menor que la del vapor generado en una caldera. La desventaja de baja presión se compensa al reducir el tamaño de las partículas del material vegetal a un tamiz menor que el utilizado en el método anterior, exponiendo de esta manera una mayor cantidad de micelas que contiene el aceite esencial.

1.2.1.3. Destilación mixta

Cuando este método de destilación es utilizado, el material es soportado sobre una red perforada o una reja insertada a una distancia sobre el fondo del destilador. La parte baja del destilador es llenada con agua a un nivel un poco debajo de la red y el agua puede ser calentada por alguno de los métodos previamente mencionados. Las características típicas de este método son:

- El vapor está siempre saturado, húmedo y nunca sobrecalentado.
- El material está en contacto solamente con el vapor y no con el agua hirviendo.

Si se comparan los principios fundamentales de la destilación de los líquidos inmiscibles, poca diferencia puede haber en estos tres métodos de destilación con agua, pero en la práctica intervienen factores importantes. El aceite esencial no está distribuido por igual en el material de la planta, sino que se haya en muchas pequeñas glándulas de aceite, sacos odoríferos o pelos glandulares. Para que el vapor esté en contacto con el aceite, hay que desgarrar los tejidos y romper las membranas de las glándulas o hacer que el aceite se difunda a través de esas membranas. Este proceso complejo de difusión y ósmosis recibe el nombre de hidrodifusión. La destilación con vapor recalentado tiende a impedir la hidrodifusión; la destilación en agua la facilita.

1.2.2. Lixiviación

Consiste en la extracción del aceite esencial, mediante solvente, se coloca el material vegetal en un recipiente y se inunda con el solvente produciéndose la difusión del aceite hacia el solvente, luego de un tiempo se separa el solvente del material vegetal, por medio de una filtración. Después el aceite esencial se separa del solvente mediante destilación al vacío. Este método se basa en la afinidad que poseen los componentes del aceite esencial, hacia los solventes apolares.

1.2.3. Expresión

Consiste en extraer el aceite esencial al prensar el material vegetal, mediante un proceso mecánico, obteniéndose aceite esencial de alta calidad. Este método también se utiliza para obtener el aceite graso de la semilla del algodón y de la nuez de macadamia. Comercialmente se utiliza poco en la obtención de aceite esencial por el bajo rendimiento y alto costo; incluso para extraer el aceite graso del algodón se combina con la lixiviación para obtener un buen rendimiento.

1.2.4. Enfloración

Este método es llevado a la práctica sólo en países de Europa, es restringido a estas flores: jazmín, tuberosa y algunas otras que después de cortadas continúan con su actividad fisiológica formando y emitiendo perfume. El método de extracción con grasa fría es sencillo y consiste en poner en contacto las flores con una capa delgada de grasa dentro de cámaras pequeñas. Al desprenderse el perfume de las flores, se fija en la grasa debido a su gran afinidad, y después de renovar varias veces las flores se dejan los

pétalos 24 horas sobre la grasa (cuerpo). Pasados 60 días aproximadamente, al final del período de recolección, la grasa (que no ha sido renovada) llega a estar saturada con el aceite de la flor.

La extracción alcohólica de la grasa olorosa, llamada pomada, da una solución llamada extracto; eliminando el alcohol por destilación, se produce el absoluto de enfloración.

En este caso, la producción de aceite esencial de flor es mayor que con otros métodos; no obstante, este método últimamente ha sido reemplazado por extracción con solventes volátiles, porque el método de enfloración es muy delicado y un proceso muy largo que requiere mucha experiencia y tiempo.

1.2.5. Maceración

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

1.2.6. Extracción con solventes volátiles

Consiste en poner en contacto el material con una corriente de disolvente, hasta que 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 cual debe:

- a) Ser selectivo, esto es disolver rápida y totalmente los componentes odoríferos, con sólo una parte mínima de materia inerte.
- b) Tener un bajo punto de ebullición
- c) Ser químicamente inerte al aceite.
- d) Evaporarse completamente sin dejar cualquier residuo odorífero.
- e) 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 que es el que le sigue. (Según Revista Colombiana de Química, 1999)

1.2.7. Parámetros manejados para el mejoramiento en la extracción de aceite esencial respecto de la materia prima utilizada

1.2.7.1 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.

1.2.7.2. 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, de 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, trasportando 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 las sustancias activas contenidas en la planta.

El secado de las plantas en general como las medicinales 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 que se requemen al marchitarse. Normalmente, no se aconseja 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 inmediatamente, 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 riesgo 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 periódico como soporte, sino papel blanco de envolver que esté bien limpio. (S. Urctander, 1980)

1.3. Eucalipto

1.3.1 Clasificación sistemática

El género *Eucalyptus*, que agrupa en torno a las 600 especies, pertenece a la familia Myrtaceae, subfamilia Leptospermoidae. Se trata de un género botánico muy rico y diverso que presenta una asombrosa frecuencia de aparición de híbridos fértiles.

Aunque perteneciente a un grupo antiguo, el género presenta caracteres bastantes evolucionados como el opérculo de la flor, habiéndose diversificado recientemente debido a la sequía y al empobrecimiento de suelos a finales del Pleistoceno y la posterior reconquista bajo un clima tendiente al actual.

1.3.2. Características morfológicas

1.3.2.1 El porte

El porte del eucalipto es muy variable, existiendo eucaliptos de porte arbóreo y otros de porte arbustivo (denominados "mallee"). Los pies más altos se han medido en la especie *Eucalyptus regnans* (en 1878 se cortó un pie de 132 m.).

El tronco de los eucaliptos arbóreos puede ser recto o flexuoso, alcanzando hasta 10-11 metros de diámetro en su base. El sistema radical es fuerte y bien desarrollado, con predominio de la red superficial. Muchas especies presentan una cepa fuertemente engrosada, formando un tubérculo leñoso de gran importancia en la regeneración y como reserva de nutrientes. La corteza del tronco adulto, es un elemento importante de identificación. Puede ser persistente o caduca, y de diverso color, textura, grosor y constitución. La forma de la copa depende de las condiciones ambientales en que se encuentren los ejemplares, aunque, en general, es poco densa, con predominio de las ramas erectas o erecto-patentes.

1.3.2.2. Hojas jóvenes

Las hojas, simples y persistentes, suelen presentar un heteromorfismo de gran importancia sistemática. Las jóvenes suelen ser opuestas por más o menos pares, y sentadas, con más frecuencia que pecioladas, incluso abrasadoras o trabadas, y con el limbo perpendicular al plano definido por el tallo y su nervio medio. Su coloración suele diferenciarse de la de las hojas adultas debido a recubrimientos glauco-céreos o distinta coloración. Su consistencia es más tenue. Las hojas adultas presentan gran variabilidad, aunque generalmente son alternas, pecioladas, falciformes, de bordes enteros, péndulas, con limbos en planos verticales, sin diferenciación entre el haz y el envés, más o menos coriáceas y de recubrimiento y coloración muy variable. Las hojas suelen contener gran cantidad de cámaras con aceites característicos.

1.3.2.3. Flores

El género *Eucalyptus* se caracteriza por la falta de diferenciación de cáliz y corola, estando sus piezas soldadas y formando un receptáculo con opérculo caedizo en la floración. A la protección que el opérculo presta a las piezas sexuales hace alusión el nombre del género, que significa "bien cubierto". La caída del opérculo permite la expansión de los estambres que, inicialmente, se encuentran doblados hacia adentro. Las flores aparecen generalmente en racimos o cimas umbeliformes axilares, rara vez aisladas o en pequeños grupos.

1.3.2.4. Fruto

El fruto, por fin, es también muy variable tanto en forma y tamaño de la cápsula, como en la forma de abrirse, posición de las valvas y del disco circundante. La producción de semillas es abundante, tanto fértiles como abortadas. Las primeras suelen ser poliédricas, más gruesas y de diferente coloración, aunque a veces adquieren formas redondeadas o aladas.

1.3.2.5. Descripción botánica

El eucalipto blanco o albar (*Eucalyptus globulus*, Labill, en adelante *E. Globulus*) es la especie más frecuente de este género en nuestra región. Su descripción se debe a J. S. Labillardiere a partir de un espécimen recolectado en el sudeste de Tasmania en 1792. Aparece en forma natural en el sur de Australia (Victoria), Tasmania y las islas del estrecho de Bass. Se extiende entre las latitudes 38° 26' a 43° 30' Sur. Crece en gran variedad de substratos si bien es muy común en zonas graníticas y arenosas. En general, no se presenta en suelos calcáreos o fuertemente alcalinos ni en zonas mal drenadas. Es una

especie muy sensible a la competencia de otras plantas, tanto por los nutrientes como por la luz.

Como carácter diferencial es la única especie de eucalipto que presenta flores y frutos aislados. No obstante, en ocasiones se encuentran especímenes con dos o tres frutos. Su corteza es muy variable pudiendo ser desde plateado a pardo anaranjado. Cuando es adulto, la corteza se desprende en tiras. Su madera presenta cualidades de especial interés para su aprovechamiento industrial.

Además de *E. glóbulos*, se introducen otras especies de eucalipto gracias a la iniciativa de particulares y de agentes forestales, dotados de una encomiable inquietud por temas selvícolas. Dichas especies se hallan principalmente en zonas de frío o heladas frecuentes (zonas altas, rasas expuestas y zonas de valle) donde *E. globulus* no crece adecuadamente e incluso no sobrevive.

1.3.3. Origen

Los eucaliptos se extienden naturalmente por Australia, Tasmania y diversas islas de la zona: Nueva Guinea, Timor, Solor, Flores, Nueva Bretaña, Molucas y Mindanao. Aunque bien representados en Tasmania, la mayor diversidad se da en Australia. De sus lugares de origen ha sido distribuido artificialmente por todo el mundo, especialmente en zonas de clima mediterráneo, subtropical y tropical.

1.3.3.1. Etimología

Etimológicamente, su nombre, Eucalyptus, proviene del griego eu= bien y kalipto= cubrir; éste último refiriéndose a sus flores, cuyos sépalos y pétalos, que se encuentran fusionados, las protegen, al abrirse, cayendo sobre ellas como la tapa de una caja.

1.3.4. Ecología

Los eucaliptos se presentan naturalmente sobre gran variedad de sustratos, aunque predominan los suelos pobres, desprovistos de arcillas y bases por un lavado antiguo, con escasa retención de agua. Viven en climas variados, algunos en zonas de humedad y calor constante, más numerosos en áreas templadas con lluvias invernales y sequía estival.

Generalmente, son especies de luz, cuyas plántulas toleran mal la cubierta. Las masas de eucalipto son luminosas debido a la disposición colgante de las hojas. Los eucaliptos aguantan mal la vecindad de árboles que les disputen el suelo y la luz. Se regeneran fácilmente por semilla aunque, en condiciones naturales. Según las especies, pueden brotar muy bien de cepa.

1.3.5. Principales aprovechamientos del eucalipto

A. Celulosa: el Eucalyptus globulus es el más adecuado para la fabricación de celulosa, tanto por tamaño y calidad de la fibra, como por su color más claro. Se trata de la especie más rentable en Europa para este tipo de aprovechamiento, superando a los abedules y otras frondosas.

En cuanto al *Eucalyptus camaldulensis*, comparada con la de la especie anterior, su madera es de fibra más corta, de color más rojizo y el rendimiento del aprovechamiento es mucho menor, por lo que cada vez se emplea menos para la producción de celulosa.

B. Otros aprovechamientos de la madera: muchas especies de eucalipto suministran maderas de construcción, apeas, postes y traviesas. Su dureza, especialmente en el caso del *Eucalyptus camaldulensis*, así como su buen pulimento, la hacen una madera muy útil para fabricación de suelos de parquet, alcanzando elevados precios. Es destacable también su aprovechamiento como madera para la producción de leñas. La del *Eucalyptus globulus* supera en densidad a la de "la encina". También se emplea la madera del eucalipto para la fabricación de tableros de partículas.

C. Otros usos: el kino puede obtenerse por destilación, como producto pardo-oscuro, opaco, astringente y amargo. Las especies más ricas en kino son las del grupo "ironbark".

El follaje de muchas especies se destila para la obtención de aceites (especialmente los eucaliptos del grupo "peppermint"), que se aplican en medicina (extracción de la rutina, sustancia de gran importancia terapéutica), perfumería y varias industrias.

Considerado el árbol como tal, y no los productos que de él se obtienen, hay muchas especies que se plantan con finalidad ornamental, en pies aislados, en grupos, alineaciones, o masas. Algunas especies se emplean con finalidades protectoras: fijación de dunas, estabilización de zonas erosionadas, desecación de zonas pantanosas, formación de cortavientos, etc.... También se emplean como elementos proveedores de sombra y abrigo del ganado en

zonas pastorales de muchos países áridos o semiáridos. En los desiertos australianos, algunos eucaliptos con tubérculos leñosos constituyen una importante fuente de agua para los aborígenes. Asimismo, determinados eucaliptos presentan semillas comestibles o excrecencias azucaradas producidas por ciertas cochinillas. El koala (*Phascolarctos cinereus*) se alimenta exclusivamente de las hojas de determinadas especies de eucalipto.

1.3.6. Perfil de mercado

El comercio mundial de productos forestales es de alrededor de 100.000 millones de dólares. Los grandes rubros derivados del mayor o menor grado de industrialización son: papeles, celulosa, madera aserrada, madera en bruto, tableros y otros. Los papeles, cartones y celulosa son los productos de mayor valor agregado y dominan el comercio internacional. El grueso del comercio de productos forestales se concentra en tres regiones: Europa Occidental, Asia y Norteamérica. Europa Occidental es el mayor mercado, representando el 50% del valor del comercio mundial. El sudeste Asiático le sigue como región importadora por la influencia de Japón y China. Norteamérica es la principal región productora y exportadora. Canadá y EE.UU., son respectivamente el primero y el segundo exportador mundial. En lo que respecta a eucalipto, a pesar de la difusión mundial del cultivo de sus diversas especies, solo en las últimas décadas toma relevancia su comercio internacional. Brasil posee la mayor superficie plantada con eucalipto del mundo y, a su vez, es el principal productor mundial de pastas de este árbol. Europa es la principal área demandante en el comercio mundial. En este continente, España y Portugal lideran la producción, destinándose en un 85% para celulosa. En Sudamérica, Chile tiene una importante política de plantación de eucalipto, lo que se ha

traducido en crecientes exportaciones que abarcan desde rollizos hasta pasta celulósica.

1.3.7. Especies importantes de eucalipto y sus aceites esenciales:

1.3.7.1. Eucaliptus globulus

1.3.7.1.1 Descripción

Árbol magnífico, espectacular y de elevada talla, llega a alcanzar los 70 m de altura y los 2 m de diámetro en nuestro país, aunque normalmente supera los 50 m de altura y los 1,50 m de diámetro medido a 1,30 m de altura sobre el suelo (denominada "altura normal" o "altura del pecho"). El mayor ejemplar que se cita en España es el eucalipto de Charia (Vivero, Lugo) con 80 m de altura y más de 6 m de circunferencia en la base del tronco. Estas enormes dimensiones se alcanzan en árboles de avanzada edad, aislados o en alineaciones, pero nunca en cultivos forestales, pues en éstos se cortan para su aprovechamiento maderero cuando todavía tienen dimensiones bastantes menores.

Se caracteriza y reconoce fácilmente por su corteza, que se desprende en tiras que, tras permanecer colgado del árbol durante un cierto tiempo, acaban por caer al suelo tras las ventoleras, dejando ver al exterior una nueva corteza de color blanco-plateado o azulado-pruinoso.

Una de sus características más llamativas es su "heterofilia", es decir el hecho de presentar en el mismo árbol distintos y diferentes sus hojas jóvenes (opuestas, dentadas y acorazonadas) respecto de las adultas (alternas, pecioladas, falciformes y acuminadas). Las hojas que se agrupan agolpadas en los extremos de las ramillas, producen una copa de aspecto poco frondoso.

Contienen abundantes aceites esenciales, usados en la industria química y farmacéutica y en confitería, por lo que suelen destilarse tras los cortes cuando este aprovechamiento económico resulta rentable. Tienen cualidades medicinales, usándose en las enfermedades de las vías respiratorias.

Es muy utilizado en jardinería especialmente a costa de su fácil cultivo, rápido crecimiento y espectacularidad de su floración, así como por la magnificencia de sus grandes pies adultos aislados. Es planta muy melífera, con flores blanquecinas, que son productos de abundante miel de elevada calidad y que se transforman finalmente en un fruto grueso y abotonado, portador de las semillas.

Tiene una raíz muy poderosa y apresiva (aunque menos que la del *Eucalyptus Cameldulensis*), que cuida muy bien al árbol frente a los agentes atmosféricos. No obstante, el árbol puede resultar poco resistente frente al viento si la planta de la que procede se ha repicado deficientemente en vivero, de aquí la conveniencia de utilizar siempre en sus plantaciones la planta adecuada, y también la necesidad de cultivarla en los envases más apropiados.

La conservación de su capacidad natural para rehacer el eje central pivotante de la raíz principal resulta en este sentido fundamental. Puede vivir más de 100 años.

1.3.7.1.2 Clima

Prefiere los climas húmedos y sin heladas. Se ha implantado, erróneamente, en zonas de menores precipitaciones, en los que sufre fuertes ataques de *Phoracantha* cuando aparecen años de veranos muy secos. Se presentan frecuentemente daños por heladas por debajo de unos -3°C (especialmente si las heladas se producen cuando el árbol está brotando) y

siempre si las temperaturas descienden de -5°C . Si bajan de -6°C a -8°C es posible que el arbolado llegue incluso a morir, especialmente si son prolongados (no suele soportar más de 10 días de heladas por año). Si se producen en tiempo de sequía o en periodo de actividad vegetativa (heladas primaverales tardías). Son muy sensibles a las heladas las plantas más jóvenes. La resistencia a las heladas aumenta al alcanzar los dos o tres años de edad.

Puede soportar máximas estivales de hasta 40°C . Sus limitaciones térmicas estivales le obligan a una distribución más bien costera, en la que además disfruta de mejor humedad relativa en el aire.

Las acciones dirigidas al mantenimiento de los pastos, como abonados, laboreos, etc. son o pueden ser además útiles para el crecimiento de los árboles.

El eucalipto es uno de los árboles que menos agua consume por unidad de materia seca producida, pero que sus errores de crecimientos le llevan a consumos finalmente muy elevados. Este mismo elevado consumo y su capacidad de resistir encharcamientos temporales le permiten ser utilizado en la depuración de aguas residuales domésticas o en la finalización de la depresión de otras aguas. En estos filtros verdes puede combinarse una elevada producción de madera con una intensa depuración, a causa de la elevada actividad microbiológica de los suelos regados con esta agua fecal.

1.3.7.1.3. Aceite esencial

Partes empleadas: las hojas.

Indicaciones: es antiséptico, balsámico y sudorífico. Se recomienda en todas las afecciones de las vías respiratorias y del aparato urinario.

Dosis: infusión, una cucharada por taza, 3 o 4 al día.

Otra gran aplicación es "el baño de vapor de cabeza y pecho", que como saben, se trata de hacer hervir en una olla un par de litros de agua con un puñado de hojas, y cuando hierva, se apaga el fuego y se coloca encima de la olla y se hacen inspiraciones del vapor, cubiertos por una sabana o prenda parecida. Con este tipo de baño, aparte de aprovechar todos los beneficios del eucalipto, también se consigue una derivación de las toxinas, y por tanto, una rápida descongestión del aparato respiratorio.

En general, se emplea para curar afecciones pulmonares y enfermedades afines, como los catarros y los ataques de asma. Existen dos modalidades básicas para aprovechar las propiedades curativas de esta planta: en infusión o en inhalaciones. Para la primera se utilizan las hojas en una proporción de dos por taza y se toma tres veces por día; para la segunda, se coloca un puñado de hojas dentro de una olla grande con agua hirviendo, se pone la olla en un banco, con la olla tapada. El enfermo se sienta con el torzo desnudo en otro banco cercano al primero. Se coloca una cobija sobre el enfermo de tal manera que se tape él y la olla, después se descubre el recipiente para que el vapor curativo pueda ser aspirado por éste. Se debe descubrir lentamente el recipiente de agua caliente, pero no debe dejarse escapar el vapor. El agua vaporizada debe bañar completamente el pecho y la cabeza del enfermo. Este procedimiento debe prolongarse entre 10 y 30 minutos y se recomienda utilizar alguna especie de hornilla o algo que caliente

la olla para que el calor sea constante hasta que se volatilice el líquido. Después se seca el sudor con un trapo humedecido con agua fría.

La sustancia que se encuentra especialmente en esta planta es el eucaliptol, que tiene propiedades expectorantes y antiinflamatorias, también contiene taninos, resina y ácidos grasos. El aceite extraído de esta variedad posee un efecto refrescante. Esta variedad se utiliza en muchas especialidades farmacéuticas por sus virtudes sobre el sistema respiratorio. Facilita la disolución y eliminación de mucosidades de los bronquios (Balsámico, mucofluidificante y expectorante), anti-infecciosos contra las bacterias y los virus. Antireumatisal. Estimulante y tonificante. Es muy utilizado para purificar el aire en casos de epidemia y como repelente de insectos.

Composición química: para la mayoría de las especies del género, las principales investigaciones han sido dirigidas al estudio del aceite esencial de sus hojas. Su contenido oscila entre el 0,5 y el 3,5%. El 1,8-cineol (=eucaliptol) es el que se encuentra en mayor proporción (70% como mínimo), va acompañado de aproximadamente una centena de otros componentes terpénicos: hidrocarburos y alcoholes monoterpénicos, sesquiterpenos, cetona, ésteres, hidrocarburos. En el aceite esencial no rectificado se encuentran aldehídos alifáticos. Parte destilada: hojas y tallos

Precio de venta: 10 ml (1/3 oz.) a US\$ 2.28

30 ml (1 oz) a US\$ 3.89

1.3.7.4 Aceite esencial del eucalipto Citriadora

Tiene acciones anti-inflamatorias, anti-infecciosas. Es antiespasmódico y antidiabético. Se utiliza en los tratamientos de la artritis inflamatorias y ciertos tipos de diabetes. La utilización del eucalipto es también recomendada en casos de fiebre, tos, heridas y picaduras de insectos. Parte destilada: hojas y tallos.

Precio de venta: 10 ml (1/3 oz.) a US\$ 2.82

30 ml (1 oz) a US\$ 6.04

1.3.7.5. Aceite esencial del eucalipto Polibractea

Sobretudo, indicado en los problemas respiratorios. Su acción disolvente sobre las mucosas bronquiales justifican su empleo en los problemas de catarros, obstrucción bronquial, bronquitis y sinusitis crónicas. Asma (para limpiar los bronquios entre los períodos de crisis). Anti-inflamatorio, antálgico y anti-infeccioso en las artritis infecciosas, las poli-artritis crónicas evolutivas, las infecciones digestivas (toxi-infecciones bacterianas o virales), las neurálgicas.

1.3.7.6. Aceite esencial del eucalipto Radiata

Esta variedad es más suave y dulce que las otras. Muy indicada para los niños por su flexibilidad de uso frecuente. Especialmente recomendado en afecciones respiratorias agudas o crónicas; en las personas con falta de energía (fatiga crónica) y en casos de deficiencia inmunitaria.

Propiedades : perfectamente tolerado, eucalipto radiata se usa para niños o personas alérgicas.

Antitós y antiséptico, este aceite facilita la respiración y permite la lucha contra catarro, gripes y sinusitis.

Antibacteriano, está recomendado para el tratamiento de la piel y del acné.

Precio de venta: 10 ml (1/3 oz.) a US\$ 3.89

30 ml (1 oz.) a US\$ 7.79

1.3.8. Datos relevantes respecto de los aceites esenciales de eucalipto

Las hojas de los eucaliptos poseen, sin excepción, una infinidad de menudísimas glándulas semitransparentes ricas en aceites vegetales, cuyo contenido varía en forma notable, no sólo en cuanto a sus componentes, sino a rendimiento.

Los eucaliptos se caracterizan por tener, cada especie, un aceite diferente al de las otras, siendo además, una mezcla compleja de constituyentes.

Sin embargo, cabe destacar que dentro de una misma especie suelen ocurrir casos de composiciones distintas que hacen dudar sobre la verdadera identidad botánica de la planta que lo produce. Tal es lo que acontece con *Eucalyptus dives* “tipo” y sus variedades “A”, “B” y “C”, que difieren notablemente en la composición de sus aceites esenciales.

Su rendimiento está determinado por la edad del árbol y las condiciones ecológicas del lugar donde crece, observándose diferencia entre los mismos individuos cultivados en distintas regiones. El empleo del aceite del eucalipto tiene gran importancia en la industria farmacológica y en la perfumería.

En México, únicamente se industrializa el aceite de *Eucalyptus globulus*, por no existir otras especies que puedan reemplazarlo en la obtención de cíñelo. Su extracción se hace aprovechando los árboles que se hallan formando viejas

cortinas forestales o macizos de abrigo que se cortan para la producción de la leña. Los aparatos de destilación se hallan instalados en las cercanías de las zonas donde voltean dichos árboles.

En Australia, no se utilizan *Eucalyptus globulus* para la obtención de cíñelo (que es uno de los componentes del aceite de esta especie) sino *E. fruticetorum* y *E. radiata* var. australiana que tiene un rendimiento superior a aquél.

En México, sólo se utilizan hojas de *E. globulus*, cuyo aceite rinde un buen porcentaje de cíñelo (65 %); pero con las especies recientemente introducidas al país, de rendimientos superiores en ese componente y otros de mejor calidad, se aumentan las posibilidades para los diversos usos industriales.

E. fruticetorum (*E. polybractea*). Se trata de los más interesantes eucaliptos del grupo "Mallee". De tamaño reducido, se le conoce con el nombre de "Blue mallee", por la tonalidad glauca de su follaje, cultivándose en Australia y África del Sur para destilar sus hojas.

La mejor producción de aceite de eucalipto de Australia es obtenida de esta especie, cuyo contenido de cíñelo es muy elevado, del que se prepara el cíñelo comercial puro de 99 %, conocido con el nombre de "Eucaliptol"

E. radiata. Esta especie conocida también con el nombre de *E. phalandra* o *E. australiana* var. "B", se caracteriza por su contenido de felandreno y ausencia de cineol, teniendo empleo en las metalúrgicas para separar, por flotación, los metales de los minerales que los contienen.

E. dives. Este eucalipto produce de un 30 a un 45 % de piperitone, aceite que constituye la base de la fabricación sintética del timol y mentol. Se le emplea para la separación de los metales y farmacología, y para la preparación de jabones, pastas dentífricas, pastillas, etc.

E. dives var "A". Contiene de 60 a 80 % de falandreno utilizado en la industria para la separación de metales por flotación y en la composición de desinfectantes. El piperitone contenido en este aceite en una proporción de 5 a 15 % no resulta de interés para la fabricación de timol.

E. dives var "C". Produce un aceite de composición muy similar al de *E. radiata* var. australiana (antes *E. australiana*) y que no tiene ningún "tipo", pues contiene un alto porcentaje de cíñelo, 68-75 %, terpinol y geraniol. Se caracteriza por un aroma refrescante, debido a la presencia de citrol, por lo que se lo usa en farmacología.

E. macrthuri. Produce aceite esencial en cantidad muy reducida en comparación con otras especies, pero, económicamente, explotable. Su aceite contiene alrededor de 60 % de acetato de geranilo, 15 % de geraniol, eudesmol y otros componentes, siendo requerido este último como fijador en la manufactura de perfumes. En la corteza existe un aceite de composición similar al de las hojas, en un 0,15 %. En nuestro país, se han iniciado plantaciones de esta especie.

E. citriodora. Se ha intentado cultivarlo en el norte de nuestro país por ser la región más indicada. Su aceite tiene como constituyente principal, el citronelal, que es utilizado en perfumería para la fabricación de jabones, perfumes y en la obtención de citronelol, hidrocitroneal y mentol.

E. citriodora var. "A" Esta forma se diferencia de *E. citriodora* "tipo", por el hecho de que el citronelal es reemplazado por su equivalente en citronelol y sus ésteres. Esta variedad tiene mucha importancia y ha sido objeto de estudios en plantaciones experimentales en el museo de Ciencias Naturales y Artes de Sydney (Australia).

E. elaeophora, *E. sideroxylon* y *E. leucoxylon*. Estos eucaliptos se destilan conjuntamente. La mezcla de sus aceites se denomina comercialmente en Australia como "APPLE JACK" ó "ORON BARK" y constituye casi el 20 % de la producción total.

E. smithii. Esta especie contiene el 1 % aceite con el 0,66 % de cineol, también pineno, eudesmol, etc. Introducida a Argentina en 1948, es de regular resistencia a las bajas temperaturas y de crecimiento lento, tiene mucha semejanza con *E. viminalis*.

E. cneorifolia. El aceite de esta especie contiene el 70 % de cineol y otros constituyentes de escasas importancias. Se introdujo en Argentina país en 1950.

1.3.9. Institución que se encarga del estudio del eucalipto

El CIDEU es el primer Centro de Investigación y Documentación del Eucalipto en Europa. Sus objetivos se centran en el apoyo a la investigación del eucalipto y otros temas forestales relacionados con él, y en la gestión de la información documental existente relacionada directa o indirectamente con el eucalipto.

El CIDEU, además, nace con el propósito de apoyar los estudios forestales que se imparten en la Universidad de Huelva, y de contribuir a informar a la sociedad de temas de interés relacionados con el eucalipto y el medio forestal.

El CIDEU es el resultado de un convenio específico firmado por el [Grupo ENCE](#) y la [Universidad de Huelva](#), al amparo del convenio marco firmado en julio de 1997 entre las dos instituciones. Una comisión de seguimiento vela por el correcto funcionamiento del Centro y la consecución de los objetivos del mismo.

El CIDEU es un Centro abierto a toda la sociedad, independientemente de su formación y de su actividad profesional.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.1. Localización

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala en las siguientes instalaciones:

Laboratorios de Facultad de Farmacia para la extracción a nivel de laboratorio.

Planta piloto de Extracción-destilación de aceites esenciales de la Sección de Química Industrial, del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Laboratorio ensayo físico químico de la sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

2.2. Recursos humanos

- Desarrollo del proyecto Sergio Iván Lima Aguirre
- Asesora Inga. Química Telma Maricela Cano Morales

2.3. Metodología experimental

2.3.1. Diseño de tratamientos

Para la obtención del aceite esencial de las dos especies de eucalipto se trabajó a nivel de laboratorio con un método muy eficiente como lo es el de hidrodestilación para lo cual se utilizó el equipo denominado Neoclavenger; mientras que a nivel planta piloto el método que se utilizó el arrastre con vapor directo.

Se escogieron tres tiempos de extracción los cuales son:

- Para la especie de eucalipto globulus: 40 min., 80 min. y 120 min.
- Para la especie de eucalipto cinerea: 60 min., 90 min. Y 120 min.

Para la evaluación estadística se utilizará un diseño completamente al azar con un arreglo combinatorio, por lo que se evaluarán 6 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, para la especie en estudio haciendo un total de 18 determinaciones.

2.3.2. Manejo del experimento

La materia vegetal se obtuvo de la flora existente en la Ciudad Universitaria, San Carlos de Guatemala zona 12.

La materia vegetal se limpió y se seleccionaron las partes que fueron el objeto de estudio (hojas); luego se secaron para su almacenaje y para tener la materia prima disponible, la cual hubo necesidad de reducir el tamaño de las hojas para mejorar el proceso de extracción de aceite esencial.

La materia prima después de su reducción de tamaño fue pesada para luego hacer su correspondiente extracción tanto a nivel laboratorio como a nivel planta piloto.

Respecto del nivel de laboratorio no existieron variantes en lo que respecta masa ni a tiempo de extracción sino que la única variante trabajada fueron las dos especies de eucalipto para comparar rendimientos.

Respecto del nivel planta piloto se varió el tiempo de extracción y las dos especies y se trabajó con el método con arrastre de vapor directo. La materia prima fue pesada para cada tratamiento, la cual se colocó dentro del extractor con su respectiva canasta. Se utilizó una masa constante de materia prima de 5 libras, para obtener el aceite esencial de la materia vegetal, desalojando el aceite esencial de la materia vegetal y mezclándose con el vapor. La mezcla vapor-aceite esencial pasó a través de un condensador, y se recolectó en un vaso florentino, se separó el aceite esencial del hidrolato y se colocó dentro de viales color ámbar para su almacenamiento.

2.3.3. Métodos para extraer aceite esencial

2.3.3.1. A nivel planta piloto: Arrastre con vapor directo

En este método se introdujo la materia vegetal seca dentro del extractor, distribuyendo la misma en platos, luego se inyectó vapor por la parte del fondo, hasta formar el equilibrio entre la materia vegetal y el vapor. El aceite esencial junto con el vapor se pasa a través de un condensador, obteniendo el aceite esencial en el vaso florentino, luego se separó por medio de decantación.

2.3.3.2. A nivel laboratorio: Hidrodestilación

En este método se depositó la materia vegetal en el equipo de extracción de aceite esencial según la Farmacopea Brasileña. La materia seca se deposita en un balón, luego se le debe humedecer y se debe armar el equipo de Neoclavenger. La extracción de aceite esencial se realiza por destilación con agua, se recoge el destilado en un tubo graduado donde la fase acuosa es automáticamente separada de la fase oleosa y es devuelta al balón de destilación; cuando el aceite esencial tiene densidad próxima a la densidad del agua se debe adicionar en el tubo graduado una cantidad previamente medida de solvente de baja densidad y punto de ebullición adecuado (por ejemplo: xileno), lo que permite disolver el aceite esencial y facilitar la separación. Para la separación del aceite del solvente utilizado se debe rotaevaporar para eliminar el solvente.

2.3.4. Propiedades físicas del aceite de eucalipto

2.3.4.1. Determinación de la densidad

La determinación de la densidad se realizó por medio de un picnómetro.

2.3.4.2 Determinación del índice de Refracción

Se utilizó un refractómetro Abbe.

2.3.4.3. Análisis cromatográfico

Las muestras obtenidas de aceite esencial de eucalipto fueron almacenadas en viales de color ámbar, de 8 ml de capacidad. Posteriormente fueron llevadas a la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, donde se les realizó el análisis químico por medio de cromatografía de gases.

2.4. Diseño del estudio

Los porcentajes de rendimiento de extracción de aceite esencial de las dos especies de eucalipto se evaluaron tanto a nivel laboratorio por el método de hidrodestilación como a nivel planta piloto por el método de arrastre por vapor directo.

2.5. Análisis estadístico

Para este análisis se aplicó un diseño factorial de dos factores de efectos fijos, por lo que cada tratamiento fue seleccionado específicamente para realizarse en la planta piloto. La tabla 1 muestra el arreglo de los datos para este diseño

Tabla I Arreglo de datos para el diseño estadístico.

		Tiempo de extracción								
		A			B			C		
Especie	1	Y ₁ A ₁	Y ₁ A ₂	Y ₁ A ₃	Y ₁ B ₁	Y ₁ B ₂	Y ₁ B ₃	Y ₁ C ₁	Y ₁ C ₂	Y ₁ C ₃
	2	Y ₂ A ₁	Y ₂ A ₂	Y ₂ A ₃	Y ₂ B ₁	Y ₂ B ₂	Y ₂ B ₃	Y ₂ C ₁	Y ₂ C ₂	Y ₂ C ₃

En donde:

Tiempo de extracción

A1 = 0.70 horas

A2 = 1.00 horas

B1 = 1.30 horas

B2 = 1.50 horas

C1 = 2.00 horas

C2 = 2.00 horas

Especie

1 = Eucalipto A = Eucalipto Globulus

2 = Eucalipto B = Eucalipto Cinerea

Con el valor en cada repetición de la variable respuesta se procederá a realizar el siguiente análisis de varianza:

Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \alpha^i + \beta^j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

i = 1, 2

j = 1, 2, 3

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta ij-ésima

μ = efecto de la media general

τ_i = efecto del i-ésimo especie de eucalipto.

β_j = efecto del j-ésimo tiempo de extracción

$(\tau \beta)_{ij}$ = efecto de la interacción especie – tiempo

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

Por ser tanto la especie como el tiempo de extracción fijo, es decir, cada experimento seleccionado específicamente, se toman los efectos τ_i , β_j y $(\tau \beta)_{ij}$ como desviaciones de la media por no llevar una selección aleatoria.

Entonces:

$$\sum_{i=1}^2 \tau_i = 0, \quad \sum_{j=1}^3 \beta_j = 0, \quad \sum_{i=1}^3 (\tau \beta)_{ij} = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^3 (\tau \beta)_{ij} = 0$$

Entonces el modelo estadístico se reduce a:

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

A fin de comprobar las hipótesis planteadas, se presentan los datos tabulados en la tabla 2 para el análisis de varianza.

Tabla II Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Fo
Especie	SS_{especie}	$a-1$	$MS_{\text{especie}} = \frac{SS_{\text{especie}}}{a-1}$	$Fo = \frac{MS_{\text{especie}}}{MS_E}$
Tiempo de extracción	$SS_{\text{ tiempo de ext.}}$	$b-1$	$MS_{\text{tiempo}} = \frac{SS_{\text{ tiempo}}}{b-1}$	$Fo = \frac{MS_{\text{ tiempo}}}{MS_E}$
Interacción	$SS_{\text{especie-tiempo}}$	$(a-1)(b-1)$	$MS_{\text{ esp-tiemp}} = \frac{SS_{\text{esp-tiempo}}}{(a-1)(b-1)}$	$Fo = \frac{MS_{\text{ esp-tiemp.}}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	$ab(n-1)$		

Donde:

$a=2$ especies

$b=3$ tiempos de extracción

$n=18$ experimentos

$$SS_{\text{especies}} = \sum_{i=1}^a \frac{Y^2_{.i.}}{bn} - \frac{Y^2_{...}}{abn}$$

$$SS_{\text{ tiempo de extracción}} = \sum_{j=1}^b \frac{Y^2_{.j.}}{an} - \frac{Y^2_{...}}{abn}$$

$$SS_{\text{especie-tamaño de extracción}} = SS_{\text{subtotales}} - SS_{\text{especies}} - SS_{\text{ tiempo de extracción}}$$

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

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{subtotales}}$$

Según los resultados de la tabla anterior, para evaluar el rechazo de cada una de las hipótesis planteadas se seguirá 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.

Para:

$$H_0, F_0 < F_\alpha(V_1, V_2)$$

$$H_a, F_0 > F_\alpha(V_1, V_2)$$

Con un nivel de significación del 5%.

F valor localizado en tablas de probabilidad.

3. RESULTADOS

Tabla III

Rendimiento de aceite esencial de las dos diferentes especies de eucalipto a nivel laboratorio por medio del método de hidrodestilación utilizando materia seca.

Especie	% Rendimiento de aceite
Globulus	0.63
Cinerea	2.95

Tabla IV

Rendimiento de aceite esencial de dos especies de eucalipto a nivel planta piloto con el método de extracción por arrastre de vapor en contacto directo con la materia vegetal seca variando el tiempo de extracción.

Especie	Tiempo de extracción (horas)	% Rendimiento del aceite esencial
E. Globulus	0.7	0.27
E. Globulus	1.3	0.52
E. Globulus	2.0	0.54
E. Cinerea	1.0	1.02
E. Cinerea	1.5	2.11
E. Cinerea	2.0	2.34

Tabla V

Análisis económico respecto de cada una de las dos especies de eucalipto variando el tiempo de extracción en la planta piloto utilizando 5 libras de materia prima seca

Especie	Tiempo de extracción (hrs.)	Vol. aceite esencial (mL)	Ganancia por producto obtenido (Q)
E. Globulus	0.7	6.71	-6.26
E. Globulus	1.3	13.00	-13.10
E. Globulus	2.0	13.50	-29.09
E. Cinerea	1.0	26.60	30.15
E. Cinerea	1.5	54.80	76.00
E. Cinerea	2.0	61.09	76.46

Tabla VI

Tiempos óptimos para obtener el mayor porcentaje de rendimiento de aceite esencial respecto de la especie de eucalipto utilizada

Especie	Tiempo óptimo (hrs)	%Rendimiento	Ganancia por producto obtenido (Q)
E. Globulus	1.697	0.569	-20.52
E. Cinerea	1.884	2.363	80.56

Tabla VII

Propiedades físicas obtenidas de las dos especies de eucalipto

Especie	Densidad (g/mL)	Índice de refracción
Globulus	0.912	1.463
Cinerea	0.871	1.455

Tabla VIII

Componentes químicos presentes en cada uno de los aceites obtenidos por medio de la cromatografía de gases

Especie	Componente químico	%
Globulus	Limoneno	1.4424
	Cineol	3.6999
	B-Cariofileno	19.4922
	Felandreno	14.5516
Cinerea	A-pineno	9.676
	Limoneno	7.6823
	Cineol	64.1596
	B-Cariofileno	2.8918

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la naturaleza existen aproximadamente unas 800 especies de eucalipto, cada una de ellas tiene cualidades específicas que las hacen distinguirse como la forma de sus hojas, frutos, tamaño del árbol, etc.; y por ende, tendrán diferentes utilidades en la industria. En nuestro estudio se escogieron dos especies de eucaliptos los cuales tienen la característica de proporcionar aceite esencial de carácter medicinal, las cuales son *Eucaliptus Globulus* y *Eucaliptus Cinerea*.

El aceite esencial obtenido de cada una de estas especies analizadas tienen diferencias físicas y químicas, pero lo más evidente que se pudo detectar es el porcentaje de rendimiento en relación con la cantidad de aceite esencial obtenido en función de la cantidad de materia prima utilizada, ya que el rendimiento del *Eucaliptus Cinerea* es 4.68 veces mayor al rendimiento del *Eucaliptus Globulus*; tal como se había planteado en la hipótesis de nuestro tema de estudio, la cual dice "el porcentaje de rendimiento de aceite esencial del eucalipto *Cinerea* será mayor en comparación al del eucalipto *Globulus*". Estas diferencias de rendimientos se pueden apreciar a nivel laboratorio como a nivel planta piloto.

Debido a estas diferencias de rendimientos entre las dos especies de eucaliptos, en el momento de realizar el análisis a nivel planta piloto se le implementó una variable que fue el tiempo, para determinar el tiempo óptimo de extracción de aceite esencial para cada una de estas especies; tal como se aprecia en las tablas IV y VI, para ambas especies de eucalipto el comportamiento del rendimiento en función del tiempo es que a mayor tiempo

de extracción mayor será el rendimiento obtenido, aunque llega un punto en el cual se agotará el aceite esencial y aunque siga creciendo el tiempo no podrá seguir creciendo el rendimiento, a este comportamiento se le conoce matemáticamente con el nombre de parabólico; por medio de este análisis se determinó el tiempo óptimo de extracción (tiempo en el cual se puede llegar a extraer la mayor cantidad de aceite esencial de la materia prima), luego de este tiempo será mínimo o nulo lo que se podrá seguir obteniendo de aceite mientras que lo único que resultará es un incremento económico innecesario en el proceso de extracción por el método de arrastre con vapor directo; el rango de tiempo óptimo para ambas especies osciló entre 1.70 a 1.88 horas.

De acuerdo con las tablas V y VII, se aprecia que la obtención de aceite esencial de *Eucalyptus Globulus* no presenta ninguna rentabilidad por el método de arrastre con vapor directo por diversas situaciones, tales como el rendimiento y precio bajo comparado con el aceite del *Eucalyptus Cinerea*; mientras que la opción de la extracción de aceite de *Eucalyptus Cinerea* es muy atractiva a nivel económico y sería una muy buena opción a nivel industrial la extracción de este aceite. Además, se muestra que el tiempo óptimo de extracción de aceite esencial de *Eucalyptus Cinerea* genera el máximo margen de ganancia, ya que luego de este tiempo se incrementa el costo de combustible para obtener el resto de aceite que todavía pudiera tener la materia prima.

Químicamente, los aceites de estas dos especies de eucalipto difieren ya que de acuerdo con el análisis cromatográfico se detectaron que en la muestra del aceite esencial del *E. Globulus* existe la presencia de limoneno, cineol, B-Cariofileno y Felandreno mientras que en el aceite esencial del *E. Cinerea* existía A-pineno, limoneno, cineol y B-cariofileno; es peculiar que ciertos componentes químicos existen en ambos aceites, tal es el caso del cineol,

limoneno y β -cariofileno, pero en diferentes proporciones; debido a su composición química se pueden utilizar para diversas molestias respiratorias, facilitan la disolución y eliminación de mucosidades de los bronquios, anti-infecciosos contra las bacterias y los virus.

CONCLUSIONES

1. El Eucaliptus Cinerea posee un mayor porcentaje de rendimiento para la extracción de aceite esencial en comparación al del Eucaliptus Globulus.
2. El tiempo de extracción de aceite tanto para el E. Cinerea como para el E. Globulus influye en forma proporcional en la cantidad de aceite extraído de la materia prima hasta el punto de agotamiento del aceite.
3. El tiempo óptimo de extracción de aceite esencial de E. Cinerea nos brindará el mayor margen de ganancias.
4. La extracción de aceite esencial de E. Globulus por medio del método de arrastre por vapor directo no genera ningún tipo de rentabilidad.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el margen de ganancia para una extracción de aceite esencial se debería reducir el tiempo de operación con el fin de disminuir el consumo de recursos, como combustible y vapor; esto se podría conseguir con el aumento de presión y de temperatura en el proceso de extracción en el método de arrastre con vapor directo.
2. En plantas naturales, en donde el porcentaje de rendimiento sea menor del 1% y su precio de venta no sea elevado se deberá realizar la extracción por un método diferente al del arrastre de vapor directo, ya que tiene un precio elevado de proceso.
3. Realizar estudios de extracción de aceite esencial de *E. Globulus* en fresco para evitar pérdidas de aceite en el proceso de secado.
4. Realizar pruebas de combinación de métodos de extracción para eficientizar porcentajes de rendimiento y tiempos de extracción, como el caso de la implementación del método de maceración en el método de arrastre con vapor directo.
5. Analizar la cantidad de materia prima óptima en la extracción de su aceite esencial con el fin de obtener una mayor cantidad de aceite en un tiempo determinado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anariba, Herbert. "Aceites esenciales, técnicas de extracción, rendimiento y composición química" 05 marzo, 2002. <http://members.tripod.com/aromaticas/Aceites.htm>. (18 julio 2002).
2. Cáceres, Armando. Plantas de uso medicinal en Guatemala. (Guatemala:Editorial Universitaria, 1996) Pp.170-172.
3. Chanquín Jocol, Nelson Emilio. Comparación del rendimiento de aceite esencial de Lippia Alba extraído en el laboratorio con el extraído en la planta piloto y propuesta de escalonamiento a nivel industrial. (Tesis ingeniero químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999) Pp. 6-10.
4. "El eucalipto" 08 septiembre, 2001. www2.uhu.es/CIDEU/texto2.htm. (28 julio 2002).
5. Fitoterapia, Plantas medicinales. Tercera edición. Editorial MASSON. Impreso en España en 1998. Pp. 209.
6. Plantas medicinales aromáticas y culinarias. SERVILIBRO. Ediciones LSI. Impreso en España, Madrid. Pp. 132-133.

7. Ulrich, G. Procesos de Ingeniería Química, Editorial Mc-Graw Hill, Segunda edición, México 1991. Pp 180-183.

8. Urctander, S. Perfume and flavor materials of natural origin (New Jersey: Editorial Elizabeth, 1980) Pp 115-124.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cáceres, Armando. Plantas de uso medicinal en Guatemala. (Guatemala:Editorial Universitaria, 1996) Pp.170-172
2. Geilfus, Frans. Manual de agroforestería para el desarrollo rural. Guía de especies. Editorial enda-caribe.
3. Kirk, Raymond E. y Donald F. Othmer. Enciclopedia de Tecnología Química. Unión Tipográfica, Editorial Hispanoamericana. México, 1961. Tomo 1 P 61-81.
4. Manual técnico de Selvicultura del Eucalipto. (2 febrero, 2000). <http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/indice.html>. (3 julio 2002).
5. Sharapin, Nikolai. Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos. Editorial CYTED, Santafé de Bogotá, D.C. Colombia, 2000. Pp.150-151.

APÉNDICE

Figura I

Análisis cromatográfico del aceite esencial del Eucaliptus Globulus

Figura II

Análisis cromatográfico del aceite esencial del Eucaliptus Cinerea