

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. (Pengelly, A, 1996).

Anteriormente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) ubicada en el Campus Universitario de la Juan Misael Saracho, se realizaron la extracción de aceites esenciales a través del método de arrastre con vapor de agua de varios, entre los cuales podemos mencionar:

- Orégano.
- Semillas de molle.

El aceite de hierbabuena se obtiene de las diferentes especies; se utiliza en perfumería, medicina y cosmética.

Además este aceite se utiliza como ambientador por su agradable olor a Menta. Su aroma tiene un efecto relajante en el cerebro, ayudando así a aliviar el estrés y mejorar la concentración; adicionalmente se puede utilizar para tratar dolores de cabeza y otros problemas neurológicos relacionados con el estrés. Se usa para dolores articulares, menstruales y musculares; también es antiséptico.

Gracias a las propiedades que tiene el aceite de hierbabuena, se ha incrementado su uso en los últimos años.

La hierbabuena también es cultivada por su uso en gastronomía para la preparación de cócteles (mojito).

En Tarija no existe actividad agrícola importante para la hierbabuena, pues esta crece sin la necesidad de muchos cuidados en Ciénegas, huertas, casas y terrenos

húmedos; se la puede encontrar en Tarija Cancha (San Lorenzo) en gran cantidad; la hierbabuena (menta sp.) es nativa de Tarija.

Crece en las casas, huertas y terrenos húmedos; la hierbabuena no necesita de muchos cuidados para poder crecer, la luz solar es una de ellas.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los que se presentan a continuación.

OBJETIVO GENERAL

Extraer a escala de laboratorio aceite esencial de hierbabuena por el método de arrastre con vapor de agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición de la materia prima
- Validar el proceso experimental para la obtención del aceite esencial.
- Determinar las variables y condiciones de operación adecuadas para el proceso de extracción del aceite esencial.
- Determinar el rendimiento de extracción del aceite esencial en el tallo, las hojas y al estado verde.
- Determinar la composición y propiedades del aceite esencial de hierbabuena.

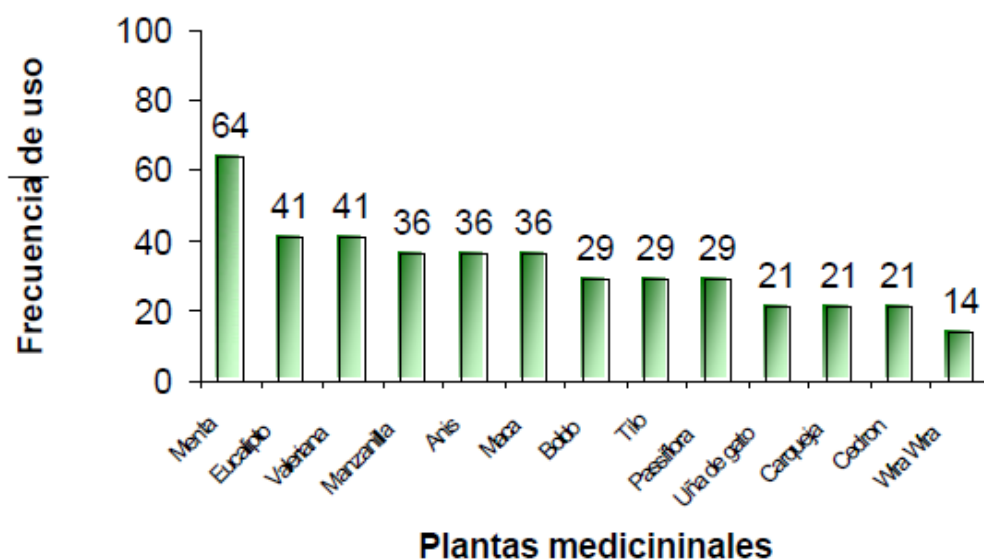
JUSTIFICACIÓN

La hierbabuena de Tarija es recolectada para usos en medicina tradicional, infusiones de té y otros, es por esto que se busca darle un valor agregado a una materia prima local a través de la extracción de su aceite esencial, teniendo en cuenta que contiene del 0.5% al 1% de aceite esencial (Martínez, A, 2003).

Se cuenta con la materia prima necesaria para el presente trabajo; la cual es recolectada de San Lorenzo, específicamente de Tarija Cancha.

En la siguiente figura se muestra las plantas medicinales más usadas en Bolivia en medicina tradicional.

Figura i-1
Plantas medicinales más usadas en Bolivia



Fuente: Terceros P., UMSA.

Una vez que se realice la extracción y se vea los beneficios de esta, se verá el interés de elevar el estudio de la obtención de aceite esencial de hierbabuena experimental a

planta piloto, y con esto los beneficiados también serán los agricultores, ya que se convertirá en una fuente más de trabajo.

La hierbabuena es una planta aromática de interés entre la población no solo por su agradable aroma y sabor, sino también porque se le atribuyen una serie de propiedades medicinales.

Se cuenta con la tecnología necesaria para la extracción de aceite esencial de hierbabuena, con la información necesaria sobre el método y la extracción, como así también con el equipo, el cual se encuentra en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Juan Misael Saracho.

Durante el proceso de obtención del aceite esencial de hierbabuena se aplica tecnología ambientalmente sostenible, ya que los residuos que se generan no son desperdiciados ni tirados al medio ambiente provocando contaminación, más al contrario serán usados para la elaboración de abonos orgánicos.

El aceite esencial de hierbabuena se utiliza en: medicina, perfumería, aromaterapia y cosmética.

En medicina se usa para:

- Trastornos digestivos.
- Alivia las náuseas instantáneamente.
- Por sus propiedades antisépticas es bueno para vómitos, dolor de estómago, indigestión, retorcijones y diarrea.
- Es muy eficiente para tratar resfríos, gripe, bronquitis, amigdalitis y catarros.
- Calma los dolores menstruales
- Para los dolores de cabeza tensionales: Se aplica sobre la frente y las sienes una solución de 10% de aceite de menta en etanol.
- Actúa eficazmente en casos de insomnio y estrés, además de mitigar cualquier problema derivado de la tensión nerviosa.

En aromaterapia:

- Su aroma se impregna en los ambientes mediante un aromatizador; favoreciendo la concentración, imaginación y creatividad.

En perfumería:

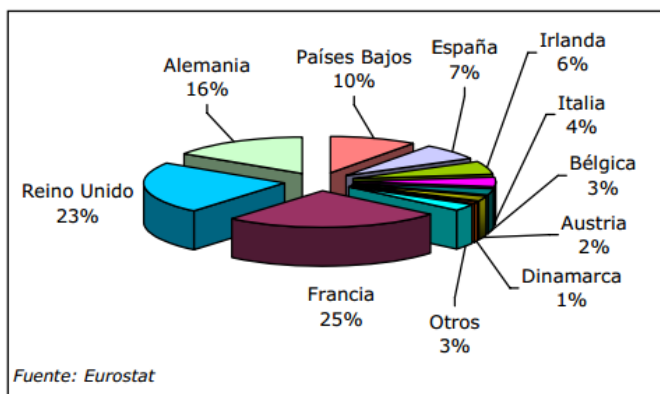
- Se utiliza como fragancia en desodorantes.

En cosmética:

- Se utiliza como una fragancia en los jabones y los cosméticos.

Debido a que los aceites esenciales tienen un amplio campo de aplicación, la demanda de estos también se ha incrementado, los principales países importadores de aceites esenciales son los que se muestran en la siguiente figura:

Figura i-2
Principales países importadores de aceites esenciales



Fuente: Eurostat

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. (Pengelly, A, 1996).

Anteriormente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) ubicada en el Campus Universitario de la Juan Misael Saracho, se realizaron la extracción de aceites esenciales a través del método de arrastre con vapor de agua de varios, entre los cuales podemos mencionar:

- Orégano.
- Semillas de molle.

El aceite de hierbabuena se obtiene de las diferentes especies; se utiliza en perfumería, medicina y cosmética.

Además este aceite se utiliza como ambientador por su agradable olor a Menta. Su aroma tiene un efecto relajante en el cerebro, ayudando así a aliviar el estrés y mejorar la concentración; adicionalmente se puede utilizar para tratar dolores de cabeza y otros problemas neurológicos relacionados con el estrés. Se usa para dolores articulares, menstruales y musculares; también es antiséptico.

Gracias a las propiedades que tiene el aceite de hierbabuena, se ha incrementado su uso en los últimos años.

La hierbabuena también es cultivada por su uso en gastronomía para la preparación de cócteles (mojito).

En Tarija no existe actividad agrícola importante para la hierbabuena, pues esta crece sin la necesidad de muchos cuidados en Ciénegas, huertas, casas y terrenos húmedos; se la puede encontrar en Tarija Cancha (San Lorenzo) en gran cantidad; la

hierbabuena (menta sp.) es nativa de Tarija.

Crece en las casas, huertas y terrenos húmedos; la hierbabuena no necesita de muchos cuidados para poder crecer, la luz solar es una de ellas.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los que se presentan a continuación.

OBJETIVO GENERAL

Extraer a escala de laboratorio aceite esencial de hierbabuena por el método de arrastre con vapor de agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición de la materia prima
- Validar el proceso experimental para la obtención del aceite esencial.
- Determinar las variables y condiciones de operación adecuadas para el proceso de extracción del aceite esencial.
- Determinar el rendimiento de extracción del aceite esencial en el tallo, las hojas y al estado verde.
- Determinar la composición y propiedades del aceite esencial de hierbabuena.

JUSTIFICACIÓN

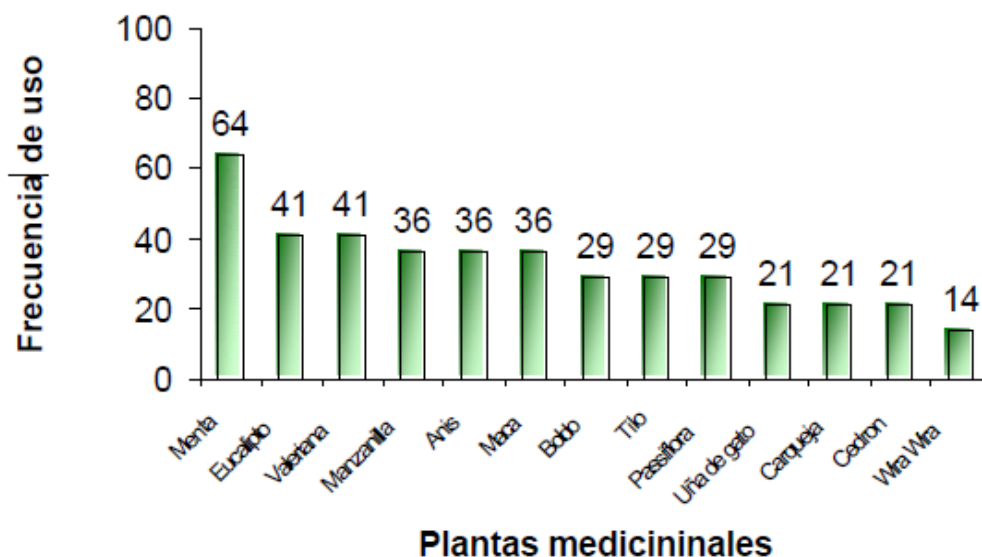
La hierbabuena de Tarija es recolectada para usos en medicina tradicional, infusiones de té y otros, es por esto que se busca darle un valor agregado a una materia prima local a través de la extracción de su aceite esencial, teniendo en cuenta que contiene del 0.5% al 1% de aceite esencial (Martínez, A, 2003).

Se cuenta con la materia prima necesaria para el presente trabajo; la cual es recolectada de San Lorenzo, específicamente de Tarija Cancha.

En la siguiente figura se muestra las plantas medicinales más usadas en Bolivia en medicina tradicional.

Figura i-1

Plantas medicinales más usadas en Bolivia



Fuente: Terceros P., UMSA.

Una vez que se realice la extracción y se vea los beneficios de esta, se verá el interés de elevar el estudio de la obtención de aceite esencial de hierbabuena experimental

a planta piloto, y con esto los beneficiados también serán los agricultores, ya que se convertirá en una fuente más de trabajo.

La hierbabuena es una planta aromática de interés entre la población no solo por su agradable aroma y sabor, sino también porque se le atribuyen una serie de propiedades medicinales.

Se cuenta con la tecnología necesaria para la extracción de aceite esencial de hierbabuena, con la información necesaria sobre el método y la extracción, como así también con el equipo, el cual se encuentra en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Juan Misael Saracho.

Durante el proceso de obtención del aceite esencial de hierbabuena se aplica tecnología ambientalmente sostenible, ya que los residuos que se generan no son desperdiciados ni tirados al medio ambiente provocando contaminación, más al contrario serán usados para la elaboración de abonos orgánicos.

El aceite esencial de hierbabuena se utiliza en: medicina, perfumería, aromaterapia y cosmética.

En medicina se usa para:

- Trastornos digestivos.
- Alivia las náuseas instantáneamente.
- Por sus propiedades antisépticas es bueno para vómitos, dolor de estómago, indigestión, retorcijones y diarrea.
- Es muy eficiente para tratar resfríos, gripe, bronquitis, amigdalitis y catarros.
- Calma los dolores menstruales
- Para los dolores de cabeza tensionales: Se aplica sobre la frente y las sienes una solución de 10% de aceite de menta en etanol.

- Actúa eficazmente en casos de insomnio y estrés, además de mitigar cualquier problema derivado de la tensión nerviosa.

En aromaterapia:

- Su aroma se impregna en los ambientes mediante un aromatizador; favoreciendo la concentración, imaginación y creatividad.

En perfumería:

- Se utiliza como fragancia en desodorantes.

En cosmética:

- Se utiliza como una fragancia en los jabones y los cosméticos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 MATERIA PRIMA: HIERBABUENA

1.1.1 ORIGEN DE LA HIERBABUENA

La hierbabuena es una especie de menta; es una hierba aromática originaria de Europa pero en la actualidad es cultivada en casi todo el mundo. Su nombre proviene de la mitología griega. Mentha era una ninfa hermosa amante de Plutón, a quien la esposa de Plutón la transformó en una planta carente de olor, aunque Plutón no logró deshacer el hechizo pudo dotarla de una gran fragancia (Fajardo G., 2002).

1.1.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA HIERBABUENA

La hierbabuena o menta verde es una hierba aromática; desde la antigüedad se conocen sus propiedades farmacológicas y como especia. Esta hierba es frondosa, vivaz, con tallos de aproximadamente 50 cm de alto, hojas ovaladas, aserradas en los bordes y son muy aromáticas. Toda la planta desprende un agradable y suave olor característico, puede confundirse con la *Mentha piperita* pero esta se caracteriza por tener más mentol, lo que le da un sabor y olor más fuertes (Fajardo G., 2002).

La especie *Mentha* sp. llamada también hierbabuena pertenece a la familia Lamiaceae y al género *Mentha*; la menta es un género polimorfo, es decir de aspecto muy variable según la especie, algunas de las especies más conocidas son: *Mentha piperita*, *Mentha spicata*, *Mentha aquatica*, *Mentha pulegium*, *Mentha requienii*, etc.

La hierbabuena es una planta aromática, que tiene propiedades que son utilizadas para aliviar una serie de problemas de salud como trastornos gástricos, digestivos, afecciones respiratorias, ayuda a calmar el dolor estomacal, acidez, estreñimiento y estimula la eliminación de gases acumulados en el tubo digestivo.

1.1.3 COMPOSICIÓN DE LA HIERBABUENA

La composición es variable y compleja. El tamizaje fitoquímico demuestra alcoholes, ácidos orgánicos, derivados diterpénicos y aceite esencial (León T., 2005).

Composición química de la hierbabuena:

- Mentol 40-60%
- Mentona 10-20%
- Mentofurano 1-2%
- Monoterpenos (como pineno y limoneno) 8%
- Ácidos y taninos, vainillina, carvacrol, betacaroteno, flavonoides 12%

Muchos terpenos como; cinalol, linalol, mentol, bisabolenol, citronelol, timol, mentona, etc. También vitaminas como, niacina, tiamina y riboflavina. Entre los minerales figuran calcio, hierro, fósforo, manganeso, selenio, zinc (en las hojas) (Pindur, A, 2015).

En cuanto al porcentaje de humedad de la hierbabuena es del 80.56% según estudios realizados en Ecuador en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (Tonguino M., 2001) y según la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, la humedad varía entre el 76% y 92% (Pedraza R., 2008).

1.2 ACEITES ESENCIALES

1.2.1 DEFINICIÓN

Los aceites esenciales son fracciones líquidas volátiles; generalmente son mezclas homogéneas de hasta 100 compuestos químicos orgánicos, provenientes de la familia química de los terpenoides. Generan diversos aromas agradables y perceptibles por el ser humano. Bajo condiciones de temperatura ambiental, son líquidos poco densos pero con mayor viscosidad que el agua. Los aceites esenciales son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, producidos al momento de activarse mecanismos de defensa como respuesta a factores ambientales y ecológicos (Rodríguez M., 2012).

1.2.2 CLASIFICACIÓN

Los aceites esenciales se pueden clasificar en base a diferentes criterios tales como: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios (Albarracín G. y Gallo S., 2003).

1.2.2.1 SEGÚN SU CONSISTENCIA

Por su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- Esencias
- Bálsamos
- Resinas

Las **esencias** fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Los **bálsamos** son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Estos son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización.

Resinas, son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja. Pueden ser de origen fisiológico o fisiopatológico. Cabe recalcar que las mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales son llamadas oleorresinas.

1.2.2.2 SEGÚN SU ORIGEN

Por su origen los aceites esenciales se clasifican como:

- Naturales
- Artificiales
- Sintéticos

Los **naturales** se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.

Los **artificiales** se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de

rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, o la esencia de anís enriquecida con anetol (Rodríguez M., 2012).

Los aceites esenciales **sintéticos** como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.).

1.2.2.3 SEGÚN LA NATURALEZA QUÍMICA DE LOS COMPONENTES MAYORITARIOS

Por la naturaleza química de los componentes mayoritarios tenemos los aceites esenciales ricos en monoterpenos denominados aceites esenciales monoterpenoides, los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides, los ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides (Rodríguez M., 2012).

1.2.2.4 OTRA FORMA DE CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ORIGEN Y CALIDAD

Según su origen los aceites esenciales pueden ser naturales, artificiales y sintéticos; y según su calidad pueden ser crudos y refinados tal como se muestra en la tabla I-1.

Tabla I-1 Clasificación según su origen y calidad

Criterio	Clasificación	Definición
Origen	Naturales	Se obtiene directamente de la planta y no se someten posteriormente a ninguna modificación física o química; son esencias de plantas aromáticas y flores.
	Artificiales	Se obtienen a través de los procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno de sus componentes principales, o son mezclas de varias esencias naturales, por ejemplo, esencia de anís enriquecida con anetol.
	Sintéticos	Mezclas de diversos productos químicos obtenidos sintéticamente.
	Crudos	No se les ha agregado mayor valor y se utilizan como materia prima para velas, artículos de aseo y limpieza e incluso insecticidas, papelería o juguetería de plástico.
Calidad	Refinados	Los AE purificados o de alta calidad, tienen mayor valor agregado y son utilizados en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y de perfumes.

Fuente: Robles. A., 2009.

1.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de los aceites esenciales es muy variada, difieren de una familia a otra, los aceites esenciales están formados principalmente por compuestos orgánicos líquidos más o menos volátiles, son de cadena abierta, cíclicos, bicíclicos, tricíclicos así como también sus derivados oxigenados y en algunas ocasiones compuestos sulfurados (Robles. A., 2009).

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser:

- Compuestos alifáticos de bajo peso molecular; alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos.
- Monoterpenos.
- Sexquiterpenos

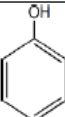
- Fenilpropanos.

Según los grupos funcionales que tengan pueden ser:

- Alcoholes; mentol, bisabolol, y fenoles; timol, carvacrol.
- Aldehídos; geranial, citral, y cetonas; alcanfor, thuyona.
- Ésteres; acetato de bornilo, acetato de linalilo, salicilato de metilo, compuesto antiinflamatorio parecido a la aspirina.
- Éteres; 1,8 – cineol, y peróxidos; ascaridol.
- Hidrocarburos; limoneno, α y β pineno.

En la Tabla I-2 se muestran los grupos funcionales de cada categoría.

Tabla I-2 Grupos funcionales de cada categoría

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	$\begin{array}{c} \\ -C-OH \\ \end{array}$	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico
Aldehído	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-H \end{array}$	Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral
Cetona	$\begin{array}{c} O \\ \\ R_1-C-R_2 \end{array}$	Alcanfor, tuyona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico
Éster	$\begin{array}{c} O \\ \\ R_1-C \\ \\ O-R_2 \end{array}$	Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico
Éteres	$-C-O-C-$	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante
Éter fenólico	Anillo $-O-C$	Safrol, anetol, miristicina	diurético, carminativo, estomacal, expectorante
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano Irritante Estimulante inmunológico
Hidrocarburo	Sólo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante descongestionante antivírico, antitumoral

Fuente: Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales. Tema 7 Aceites esenciales, 2003.

1.2.4 LOCALIZACIÓN

Los aceites esenciales se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta: en las hojas por ejemplo en la albahaca, menta, romero, etc; en las raíces en valeriana, cálamo, etc; en la corteza; canela, sándalo, etc; en las flores en jazmín, rosa, etc; en la cáscara del fruto en el limón, mandarina, naranja, etc; en los frutos en el anís, cardamomo, hinojo, etc (González A., 2004).

1.2.5 USOS

Industria Alimentaria

Los aceites esenciales se emplean para sazonar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son el de Cilantro, Naranja y Menta. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Con respecto a esto podemos citar las esencias extraídas del naranjo, limón, mentas e hinojo. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas (González A., 2004).

Industria Farmacéutica

Se usan en cremas dentales principalmente el aceite de menta e hinojo, analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias el aceite de eucalipto. El eucaliptol es muy empleado en odontología. Son utilizados en la fabricación de neutralizantes de sabor desagradable de muchos medicamentos aceites de naranjas y menta (González A., 2004).

Industria de Cosméticos

Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes y maquillaje. En este campo se pueden citar los aceites de geranio, lavanda, menta y rosas (González A., 2004).

Desodorantes Industriales

Actualmente se ha desarrollado el uso de esencias para disimular el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos y las pinturas. La industria de las pinturas emplea limoneno como disolvente biodegradable. En papelería, para impregnar de fragancias a cuadernos, tarjetas, papel higiénico, toallas faciales (González A., 2004).

Industria tabacalera

Demanda mentol para los cigarrillos mentolados (González A., 2004).

Biocidas e insecticidas

Existen esencias con propiedades bactericidas, como el tomillo, clavo de olor, salvia, mentas, orégano, pino, etc. Otras son insecticidas:

- Contra hormigas: *Mentha spicata* (spearmint), *Tanacetum* y poleo.
- Contra pulgas: lavanda, mentas.
- Contra moscas: ruda, citronela, menta.
- Contra piojos: *Mentha spicata*, albahaca, ruda.
- Contra polilla: mentas, romero, eneldo.
- Contra cucarachas: menta, ajeno, eucalipto, laurel.

1.2.6 PURIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Para obtener un aceite esencial puro y libre de agua residual se realiza una deshidratación por congelación o mediante el uso de químicos higroscópicos como el sulfato de sodio anhidro (Barba, L. 2013).

1.2.7 CONTROL DE CALIDAD

El primer control que se realiza a la cadena productiva de aceites esenciales son los parámetros organolépticos. Esto con la finalidad de saber si el aceite esencial presenta alguna alteración como ser la dilución; otros parámetros usados para el control de calidad de los aceites esenciales son:

- Determinaciones físicas
 - Aroma
 - Peso específico
 - Índice de refracción
 - Desviación óptica poder rotatorio
 - Solubilidad en mezclas alcohol-agua (alcoholes rebajados)
- Determinaciones cromatográficas

Dentro de las técnicas cromatográficas se tiene la Cromatografía de Gases (CG) y la Cromatografía de Capa Fina (CCF).

1.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

1.3.1 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales según la variedad del material vegetal, la parte de la planta a emplear y estabilidad del aceite esencial que se pretenda obtener, se pueden extraer por distintos procedimientos, donde la correcta aplicación del método será lo que determine la calidad del producto final. Pudiendo así clasificarse en métodos directos, destilación y extracción con solventes (SENA., 2000).

Tabla I-3
Métodos de extracción de Aceites Esenciales

Tipo de método	Procedimiento	Productos obtenidos
a) Métodos directos	Extrusión	Aceites esenciales cítricos
	Exudación	Resinas
b) Destilación	Arrastre con vapor de agua	Aceites esenciales
	Destilación - maceración	
c) Extracción con solventes	Solventes volátiles	Aceites esenciales
	Solventes fijos (grasas y aceites)	Aceites esenciales

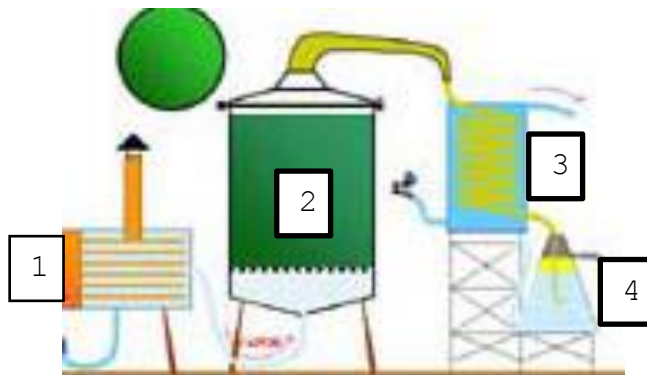
Fuente: Introducción a la industria de los aceites esenciales de plantas medicinales y aromáticas, 2000.

De acuerdo a las referencias bibliográficas consultadas, el método de destilación por arrastre con vapor es el más utilizado, ya que energéticamente es más eficiente, tiene un alto rendimiento, el método satisface mejor las operaciones comerciales a escala y porque no requiere tecnología sofisticada.

1.3.2 DESTILACIÓN

Para realizar la destilación por arrastre con vapor se usan cámaras de extracción de características variables y adaptadas a cada tipo o caso específico. Su disposición general se puede ver a continuación:

Figura 1-1
Equipo de destilación por arrastre con vapor



Fuente: González A., 2004

Donde se muestra:

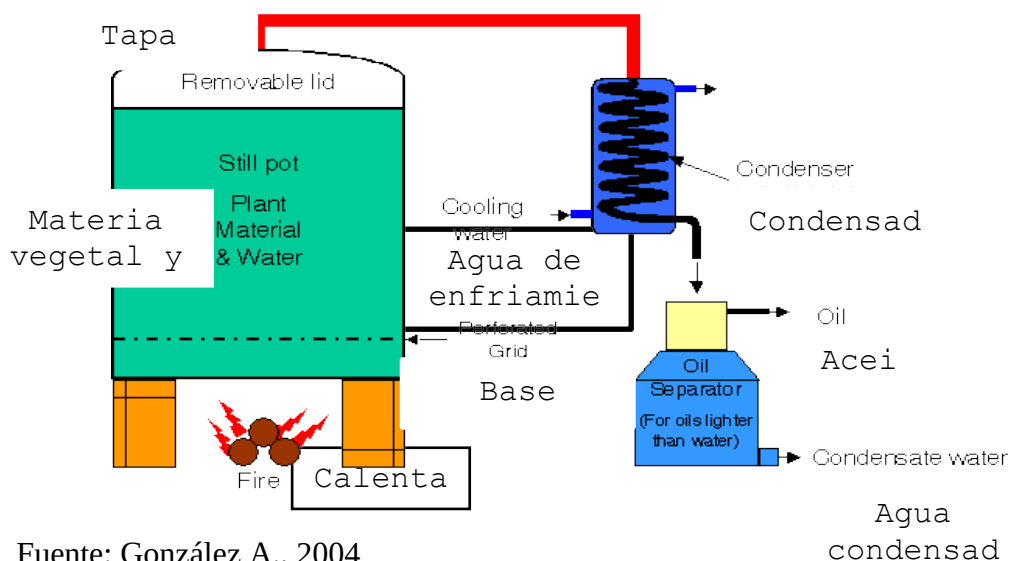
- 1 Caldera.
- 2 Cámara de extracción.
- 3 Condensador.
- 4 Separador de agua y aceite esencial o también llamado florentino.

La destilación por arrastre con vapor puede realizarse de tres formas distintas y son comúnmente conocidas como: hidrodestilación simple o destilación con agua; destilación con vapor saturado o destilación con agua y vapor y destilación con vapor seco o sobrecalentado.

1.3.2.1 LA HIDRODESTILACIÓN SIMPLE O DESTILACIÓN CON AGUA

Consiste en sumergir directamente el material vegetal a tratar en agua, que a continuación se somete a ebullición. En este método es máxima la acción del agua sobre el material, por ello se puede presentar hidrólisis y oxidaciones. Útil para materiales que tienden al apelmazamiento (flores pequeñas). Es aconsejable cargar el agua ya caliente para disminuir la hidrólisis y el tiempo de operación. Los vapores heterogéneos se condensan y el aceite esencial se separa por diferencia de densidad. Ej.: Trementina (González A., 2004).

Figura 1-2
Proceso de hidrodestilación



Fuente: González A., 2004

VENTAJAS

- Configuración simple
- Infraestructura económica
- Es un método ampliamente utilizado en extracción de aceites esenciales.

DESVENTAJAS

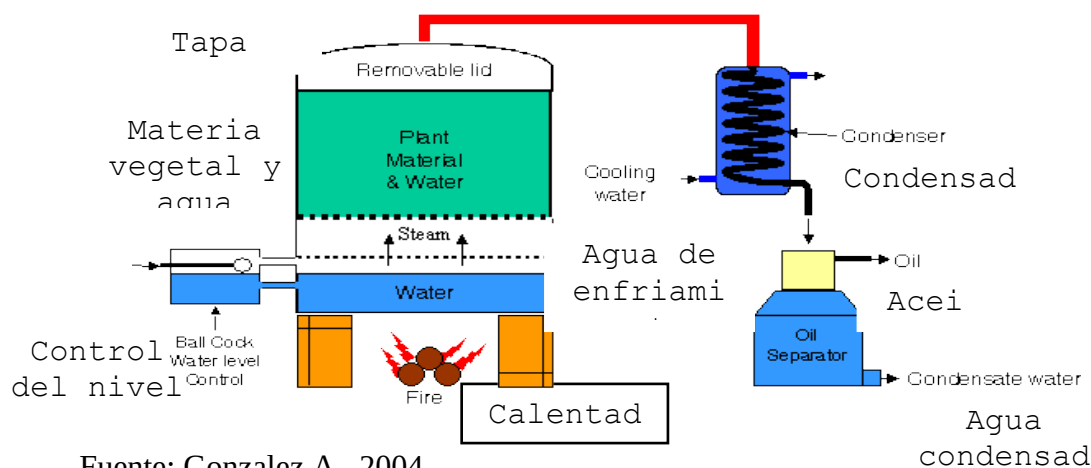
- El sobrecalentamiento puede quemar el material vegetal, produciendo así un aceite esencial de baja calidad.
- Solubilidad parcial de los compuestos más polares.

1.3.2.2 DESTILACIÓN CON VAPOR SATURADO O DESTILACIÓN CON AGUA Y VAPOR

El vegetal no está en contacto con el agua; el vapor de agua se inyecta a través de la masa vegetal dispuesta sobre placas perforadas. El material debe tener tamaño uniforme para favorecer el paso del vapor.

Trabaja cerca de los 100°C cuando lo hace a 1 atm de presión y el rendimiento es bueno siempre que no se presenten apelmazamientos de la materia prima. Por cargarse el material a una temperatura menor a la de trabajo, se producen condensaciones sobre él y esta humedad origina cierta dificultad en la operación, especialmente en el paso y distribución del vapor por la muestra. Por su sencillez, bajo costo y rendimientos, esta técnica es la más usada en la industria de aceites esenciales (González A., 2004).

Figura 1-3
Proceso de destilación agua-vapor



VENTAJAS

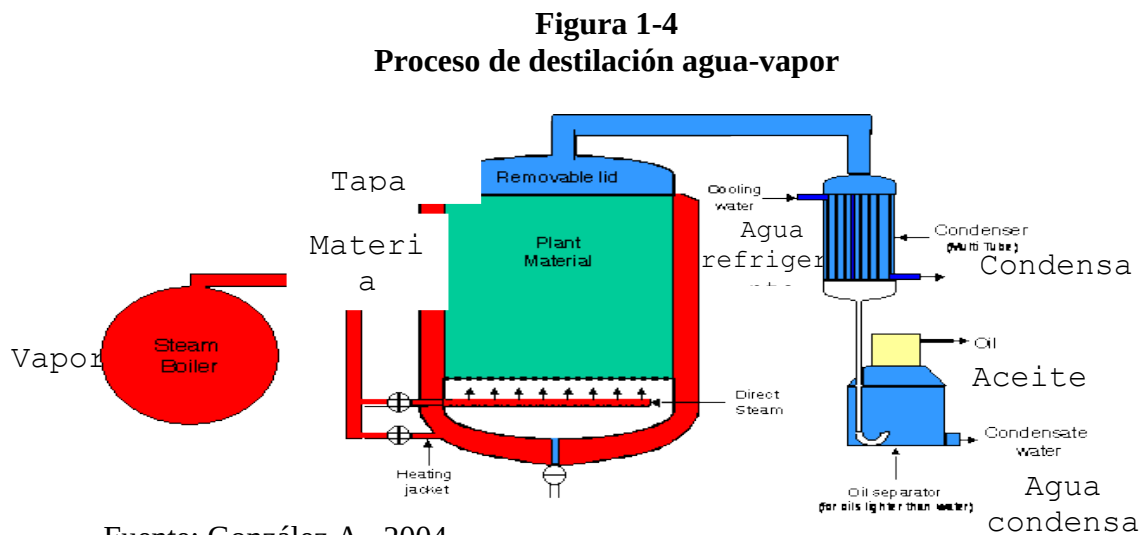
- La muestra no es calentada directamente.
- Su configuración es simple.
- Infraestructura económica.

DESVENTAJAS

- Riesgos que la extracción sea incompleta

1.3.2.3 LA DESTILACIÓN CON VAPOR SECO O SOBRECALENTADO

Consiste en impulsar el vapor a través de la masa vegetal, colocada sobre columnas o cestones. El vapor tiende a recalentarse por la resistencia opuesta a su paso por el material y esto debe evitarse en lo posible, debido a que seca las membranas celulares e impide la salida del aceite. Las instalaciones son más costosas, pero presentan mayores producciones (González A., 2004).



VENTAJAS

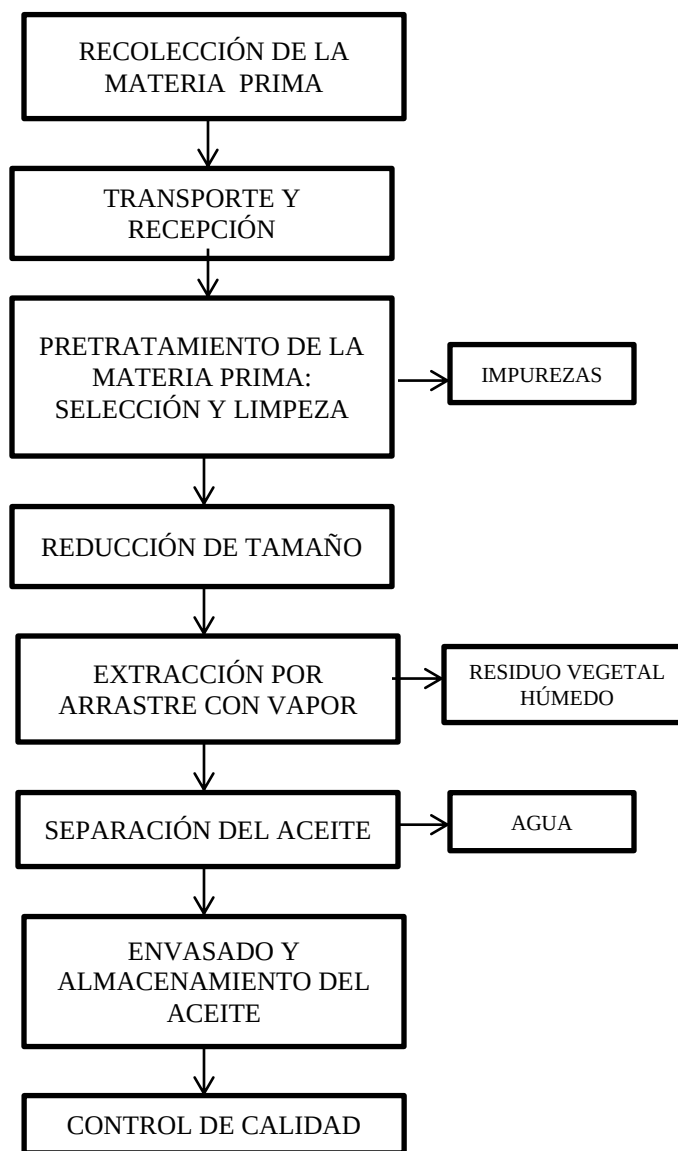
- Aceite esencial puro
- Tiempos de extracción más cortos

DESVENTAJAS

- Las temperaturas altas pueden causar hidrólisis de los ésteres y la polimerización de terpenos presentes en los aceites esenciales.
- Su infraestructura es costosa.

1.3.3 ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL

A continuación en la figura 1-5 para una mejor comprensión del proceso se presenta en forma resumida el proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre con vapor.

Figura 1-5**Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite esencial**

Fuente: Gonzalez, A., 2004

Recolección de la materia prima; se cosecha la materia prima.

Transporte y recepción; se traslada la materia prima al lugar donde se realizará la

extracción de su aceite esencial.

Pretratamiento de la materia prima; se realiza la selección de la materia prima, se rechaza la materia prima en mal estado y las partes que no serán usadas.

Reducción de tamaño

Extracción por arrastre con vapor; se extrae el aceite esencial y se obtiene como residuo el vegetal húmedo.

Separación del aceite; el producto que se obtiene de la extracción por arrastre con vapor es aceite esencial y agua, ambos se separan debido a la diferencia de densidades teniendo como rechazo el agua y así obtener un aceite esencial puro.

Envasado y almacenamiento del aceite esencial; el aceite obtenido se almacena en frascos de vidrio no de plásticos para evitar dañar el aceite con tóxicos químicos. Los frascos de vidrio deben ser oscuros (ámbar) para evitar que la luz altere el aceite esencial.

Control de calidad; para tener en cuenta la calidad del producto obtenido.

1.4 ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

1.4.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

El aceite esencial de hierbabuena obtenido por arrastre con vapor de agua según algunos estudios tiene las características organolépticas siguientes:

Tabla I-4
Características organolépticas del aceite esencial de mentha citrata en Guatemala

Propiedad	Característica
Color	Ligeramente amarillo
Olor	Fuerte y penetrante a menta dulce
Aspecto	Líquido limpio

Fuente: León T., 2005.

1.4.2 RENDIMIENTO

En la tabla I-5 se muestra el rendimiento de distintas especies de menta.

Tabla I-5
Rendimiento del aceite esencial de hierbabuena

Nombre científico del vegetal	Parte del vegetal utilizado	Rendimiento (%) Expresado en ml en 100g
Mentha piperita (EESC)	Planta	0.51
Mentha piperita	Planta	0.3
Mentha spicata (N)	Planta	0.32
Mentha spicata (EESC)	Planta	0.2

Fuente: Paredes D., 2010.

Existen diferentes factores que pueden afectar el rendimiento, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

TIEMPO DE SECADO

Del tiempo de secado al ambiente dependerá el porcentaje de humedad que la planta tendrá.

TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA MATERIA PRIMA

Entre más pequeño sea el tamaño de partícula mejor será la transferencia de calor entre el agua y la especie, en el caso de extracción por arrastre con vapor.

TIEMPO DE EXTRACCIÓN

Se refiere a la duración del proceso de extracción, en el cual el aceite contenido en la planta se extrae gradualmente.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUJOS

Se refiere a la cantidad de materia prima, la cantidad de agua o vapor, su temperatura y presión utilizada.

1.4.3 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas del aceite esencial de hierbabuena que son comúnmente estudiadas además de la densidad relativa son el índice de refracción, ya que son las más importantes y permiten identificar la calidad del aceite.

1.4.3.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción permite detectar adulteraciones y envejecimientos en los aceites esenciales y sus principales ventajas son la rapidez y sencillez con que pueden obtenerse.

A continuación se muestra el índice de refracción de una variedad de mentas en distintas partes del mundo.

Tabla I-6

Índice de refracción de mentas en el Ecuador

Vegetal	Índice de refracción a 20°C
Menta	1.459 a 1.471
Hierbabuena	1.4638

Fuente: Paredes D., 2010

Tabla I-7

Índice de refracción de la Menta citrata de Guatemala

Tamaño de muestra	Repetición N° 1	Repetición N°2	Repetición N°3	Promedio a 20°C
15	1.452	1.458	1.451	1.454
30	1.457	1.451	1.452	1.453
45	1.469	1.460	1.456	1.462
				X= 1.456

Fuente: León T., 2005.

En Argentina, según análisis realizados por el Laboratorio Dr. Gustavo Fester (UNNE), el índice de refracción del aceite esencial de menta pulegium es de 1.4814 a 20°C.

1.4.3.2 DENSIDAD

En la siguiente tabla se muestra la densidad relativa de distintas especies de menta.

Tabla I-8
Densidad relativa de distintas especies de menta de ecuador

Vegetal	Nombre científico	Densidad a 20°C (g/ml)
Menta	<i>Mentha piperita</i> (EESC)	0.908
Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i> (N)	0.8907

Fuente: Paredes D., 2010

En Argentina, según análisis realizados por el Laboratorio Dr. Gustavo Fester (UNNE), la densidad del aceite esencial de *Mentha Pulegium* es de 0.9197g/ml a 20°C. En Guatemala, según el trabajo realizado por Tannia Magaly De León Morán, la densidad del aceite esencial de *Mentha Citrata* es de 0.899 g/ml a 20°C.

1.4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El aceite esencial de hierbabuena tiene una composición compleja y esta varía de acuerdo a las condiciones climáticas, el tratamiento post cosecha y el método de extracción empleado.

Según un estudio realizado en B.R. Nahata college of Pharmacy de la universidad de Mandsaur, India, las principales sustancias que podemos encontrar en el aceite esencial de menta y sus proporciones son (Alankar S., 2009):

- Mentol (30%-55%)
- Mentona (14%-32%)
- Acetato de metilo (2.8%-10%)
- Isomentona (1.5%-10%)
- Mentofurano (1%-9%)
- Cineol (3.5%-14%)
- Limoneno (1%-5%)
- Isopulegona hasta 0.2%
- Carvona hasta 1%

El aceite esencial de hierbabuena está compuesto por mentol (33 – 35%), mentona (9 – 31%), acetato de metilo (10 – 20%), y en menor escala cineol o eucaliptol (5 – 18%), β – felandreno (4-8%), limoneno (3 – 7%), mentofurano (2 – 6%), pulegona (0,5 – 4%) (León A., 2009).

La composición del aceite esencial de *Mentha Pulegium* de acuerdo a la cromatografía en fase gaseosa realizada en el Laboratorio Dr. Gustavo Fester (UNNE) es la siguiente:

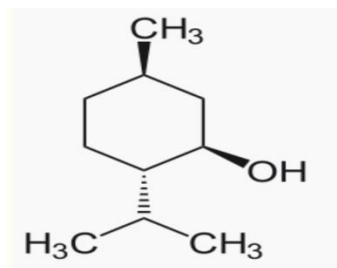
Tabla I-9
Composición química del aceite esencial de Mentha Pulegium

Compuesto	%
a-pineno	0,5
b-pineno	0,5
Mirceno	0,3
Limoneno	0,5
1,8-cineol	0,1
b-felandreno	0,2
3-octanol	1,8
Pulegona	65,4
Mentona	16,0
Isomentona	2,5
Carvona	1,5
terpinen-4-ol	0,6
b-cariofileno	0,6
a-humuleno	0,7
germacreno D	0,4
???	6,0
Totales	totales 97,6

Fuente: Gustavo A. Fester 2010.

Mentol; el mentol es el responsable del olor a menta característico de este aceite esencial y de la mayor parte de su sabor. Su fórmula molecular es $C_{10}H_{20}O$ y su estructura química es la siguiente:

Figura 1-6 Estructura química del mentol



Fuente: Blanco A., 2012

Mentona e isomentona; la isomentona es un precursor de la mentona, y la mentona es la molécula anterior al mentol durante el proceso de síntesis en unas glándulas situadas en las hojas de la menta (León A., 2009).

Acetato de metilo; es muy utilizado como aromatizante en muchos productos alimenticios debido a su olor mentolado, frutal y fresco (León A., 2009).

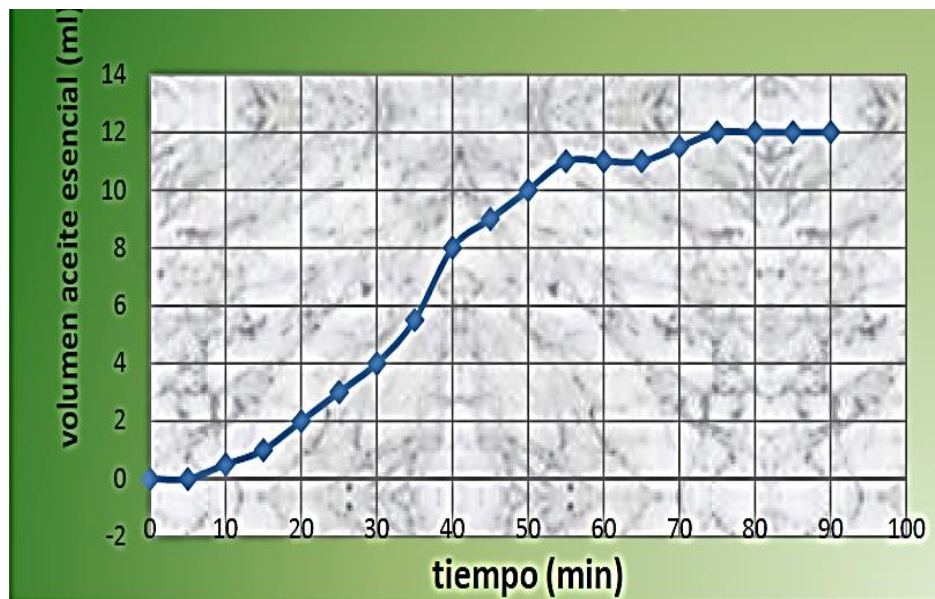
Cineol; es una sustancia con efecto broncodilatador y puede resultar útil durante el tratamiento de algunas enfermedades respiratorias (León A., 2009).

1.4.5 CURVA DE TIEMPO DE EXTRACCIÓN

En la que se expone la relación entre el volumen de aceite esencial extraído con el tiempo.

Según estudios, la relación entre el tiempo y el volumen se presenta en la figura 1-7.

Figura 1-7
Aceite esencial (ml) vs tiempo de extraccion (min)



Fuente: Paredes D., 2010.

Existe un tiempo muerto de extracción, alrededor de los 10 minutos que corresponde al tiempo transcurrido desde la inyección del vapor hasta la aparición del primer condensado de aceite esencial. En la curva se observa que la extracción del aceite es rápida a partir del tiempo muerto hasta los 60 minutos donde se extrae alrededor del 91.6% del total de aceite esencial extraído (Paredes D., 2010).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS

En el presente trabajo de investigación se utiliza como materia prima la hierbabuena *Mentha sp.* recolectada en San Lorenzo de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

La hierbabuena se recolecta en San Lorenzo específicamente de Tarija Cancha, la que crece en lugares muy húmedos y con abundante luz solar. Luego de su recolección se traslada a Cercado, Tarija Campus Universitario, Laboratorio de Operaciones Unitarias, donde se realiza la extracción de su aceite esencial.

Para la extracción del aceite esencial se utilizan los tallos y las hojas de la hierbabuena, para conocer el rendimiento en ambos y si el rendimiento es uniforme en toda la planta.

2.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La menta es un género polimorfo, es decir de aspecto muy variable según la especie.

Las partes a usar en el proyecto son; las hojas y tallo, las cuales se describen a continuación.

Tallos, cuadrangulares y ramificados de color verdoso de altura variable según la especie, *M. piperita* puede llegar a los 0,40 a 0,60 cm de altura, mientras que la *M. arvensis* puede llegar a 1.00 m de altura (Muñoz, 1993).

Las hojas, en la mayor parte de las especies contienen glándulas ricas en aceites esenciales que otorgan el característico aroma. Son simples, de color verde más o menos intenso, con bordes aserrados y opuestas (Muñoz, 1993).

2.1.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN LA MATERIA PRIMA

Para determinar el contenido de humedad en tallos y hojas de la hierbabuena, ambas se calientan a una temperatura de 105 °C hasta peso constante, y por diferencia de peso se calcula el porcentaje de materia seca y posteriormente el porcentaje de humedad.

El método usado es el gravimétrico (estufa a 105 °C), según norma boliviana NB 074 (ver anexo 1).

El análisis del contenido de humedad de la hierbabuena se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), en el campus universitario de la Juan Misael Saracho, se usó la estufa marca SELECTA.

El procedimiento para la determinación de humedad es el siguiente:

1. Tarar la cápsula durante 30 min a 105°C.
2. Llevar al desecador y dejar enfriar por 45 min para luego pesar la cápsula.
3. Pesar 5 gramos de muestra, y llevar a la estufa a 105°C por un espacio de 5 a 6 horas.
4. Dejar enfriar en un desecador por 45 minutos.
5. Pesar la cápsula con la muestra seca.
6. Se lleva a la estufa, después al desecador y finalmente se pesa; se realiza este procedimiento hasta que el peso sea constante.

El resultado se expresa en porcentaje de humedad usando la siguiente fórmula:

$$\% H = \left(1 - \left(\frac{C_F - C_o}{C_m - C_o}\right)\right) * 100 \quad (\text{Ecuación 2-1})$$

Donde:

C_o = Masa de la cápsula vacía en gramos.

C_m = Masa de la cápsula con muestra húmeda en gramos.

C_F = Masa final de la cápsula con muestra seca en gramos.

A continuación en las siguientes figuras se muestran algunos pasos para la determinación del contenido de humedad de la hierbabuena, en hojas y tallo.

Figura 2-1

Balanza usada para la determinación de humedad



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-2

Pesado de las cápsulas



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-3
Secado de hojas y tallo en la estufa



Fuente: Elaboración propia 2015

También se determina la humedad de la hierbabuena tanto en las hojas como tallo, en un Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100, que está en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, para lo cual se procede como sigue.

1. Picar hojas y tallos de hierbabuena.
2. Tarar el platillo del analizador.
3. Pesar 5g de la muestra en la balanza del analizador.
4. Iniciar el proceso de secado, anotar la variación de la humedad con el tiempo hasta que este sea constante.

Los resultados dan directamente en porcentaje de humedad, no se necesita hacer ninguna clase de cálculo.

A continuación en la siguiente figura se muestra el analizador infrarrojo, usado para la determinación del contenido de humedad de la hierbabuena.

Figura 2-4**Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100**

Fuente: Elaboración propia 2015

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se utiliza el método de destilación por arrastre con vapor de agua. Existen tres formas de destilación por arrastre con vapor de agua, las cuales se explicaron en el Capítulo I en el punto 1.3.2 del presente texto, de las cuales se utilizó la destilación con vapor saturado o destilación con agua y vapor, ya que este método, siempre y cuando no se presente apelmazamientos de la materia prima, tiene un buen rendimiento por su sencillez y bajo costo de operación.

Este método consiste en el paso directo de vapor de agua a través de la masa vegetal dispuesta sobre placas perforadas. Este arrastra el aceite esencial de la hierbabuena pasa por un refrigerante donde es condensado y finalmente es recibido en un matraz Erlenmeyer.

El producto obtenido se separa en dos fases líquidas, en la parte inferior el agua y en la superior el aceite esencial (gracias a su diferencia en densidades).

2.3. DISEÑO FACTORIAL

2.3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado, es una prueba o serie de pruebas en las cuales se induce cambios deliberadores en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

2.3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL 2^k

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta.

Uno de los diseños es la serie 2^k que tiene solo dos factores, A y B, cada uno con dos niveles. Este diseño se conoce como diseño factorial 2^2 . Arbitrariamente, los niveles del factor pueden llamarse “inferior” y “superior” (Montgomery, 1991).

$$2^k$$

2 = número de niveles

k = número de variables

2.3.3. DISEÑO 2^2 PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

En la tabla siguiente se muestra el diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena.

Tabla II-1

Diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena

Corridas	Tratamientos	Variables		Combinaciones	Y _i	Y _i
		T	M	TM		
1	(1)	-	-	+	Y ₁	Y ₁
2	A	+	-	-	Y ₂	Y ₂
3	B	-	+	-	Y ₃	Y ₃
4	Ab	+	+	+	Y ₄	Y ₄

Fuente: Elaboración propia 2015.

2.3.4. NIVELES DE LOS FACTORES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE HIERBABUENA

Las variables o factores del proceso son las siguientes:

Factor M: masa de hierbabuena.

Factor T: tamaño de la hierbabuena.

La variable respuesta es:

Factor Y: rendimiento de la extracción de aceite (%), expresado en volumen de aceite esencial extraído.

En la tabla se muestra los niveles superior e inferior de las variables.

Tabla II-2
Niveles de variables para la extracción de aceite

Nivel	M (g)	T(cm)
Inferior (-)	450	1
Superior (+)	600	3

Fuente: Elaboración propia 2015.

El número de experiencias realizadas para cada forma, tallos y hojas es:

$$N_{exp} = N^{\circ} \text{ de niveles de factores} \times \text{repeticiones} = 2^2 \times 2 = 8$$

2.4. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

2.4.1. EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL NECESARIO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

2.4.1.1. EQUIPOS E INSTRUMENTOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Se utilizó el equipo existente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU compuesto por:

Tabla II-3
Equipos e instrumentos utilizados

Equipo	Especificación	Cantidad
Cámara de extracción	Acero inoxidable	1
Calentador	A gas	1
Balanza	-	1

Fuente: Elaboración propia 2015.

CÁMARA DE EXTRACCIÓN

La cámara de extracción es de acero inoxidable y sus paredes están revestidas con una capa de lana de vidrio como material aislante para evitar la pérdida de calor hacia el ambiente.

Los 3 canastillos que se encuentran en su interior también son de acero inoxidable con orificios en su base para el paso del vapor y una altura de 13cm.

Figura 2-5

Cámara de extracción y canastillos



Fuente: Elaboración propia 2015.

CALENTADOR A GAS

Para la extracción del aceite esencial de hierbabuena se usó un calentador a gas que funcionaba con garrafa con una potencia de 532.189 kcal/h.

BALANZA

La balanza utilizada para pesar la hierbabuena es la que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias; es una balanza analítica digital de marca Europe, cuyas especificaciones son las siguientes:

Exactitud: 0.01g

Potencia: 220W

Capacidad mínima: 1g

Figura 2-6

Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.1.2. MATERIAL UTILIZADO

El material de laboratorio utilizado en la extracción de aceite esencial de hierbabuena es el que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II-4
Material de laboratorio para la extracción de aceite esencial

Material	Especificación	Cantidad
Mangueras		2
Codo	De vidrio	1
Soporte universal		2
Pinza doble nuez		1
Malla de amianto		1
Matraz Erlenmeyer	500ml.	3
Espátula		1
Jeringa	3ml	5
Jeringa	5ml	5
Refrigerante	Grande	1
Termómetro	0-150°C	2

Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2. ETAPAS DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

Para la obtención del aceite esencial de hierbabuena se siguen los siguientes pasos, que se describirán más adelante.

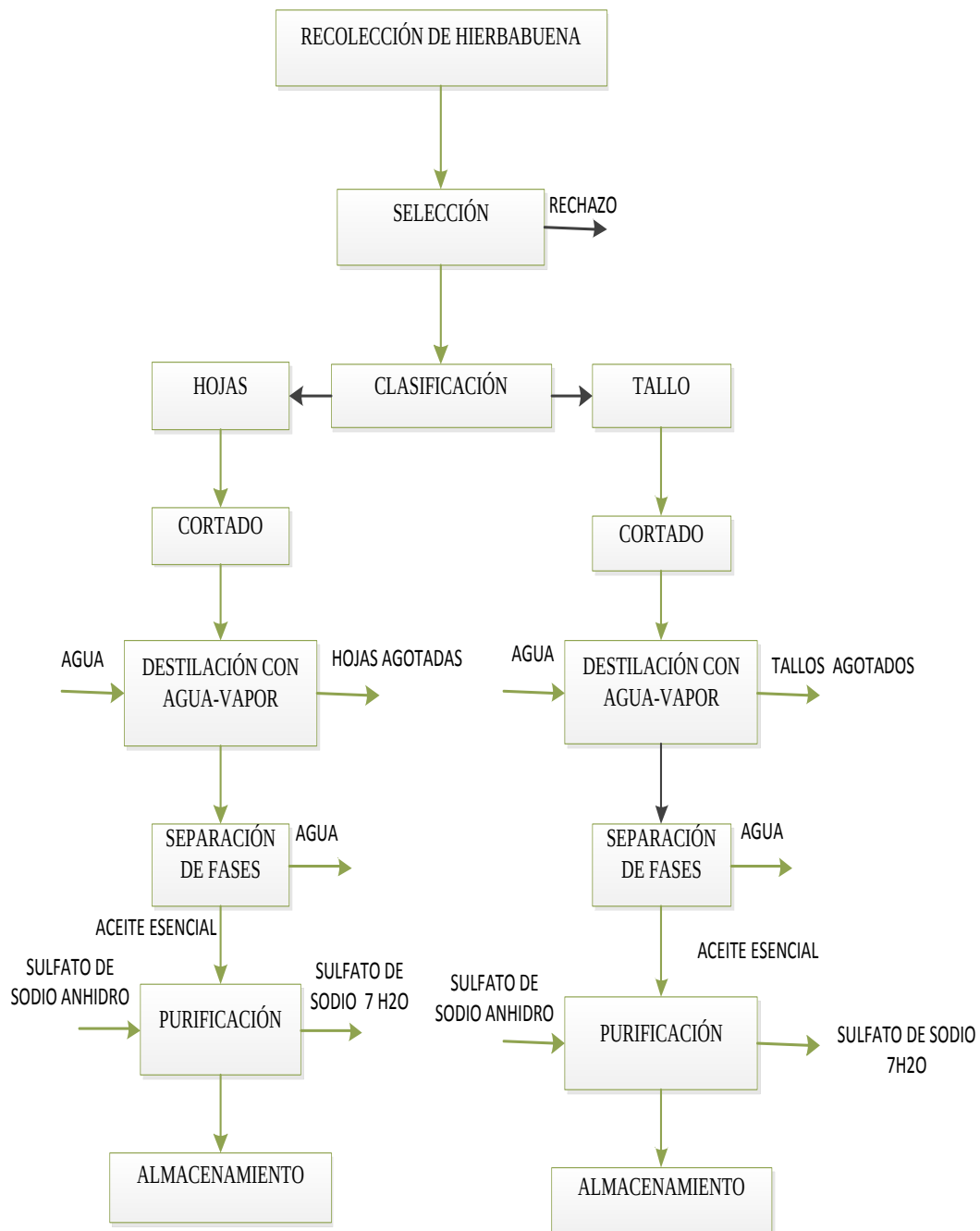
- Recolección de la hierbabuena.
- Selección de la hierbabuena.

- Clasificación de la hierbabuena.
- Picado de la hierbabuena.
- Destilación con vapor de agua.
- Separación de fases.
- Purificación del aceite esencial.
- Almacenamiento del aceite esencial.

En la figura 2-11 se muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena.

Figura 2-7

Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.1. RECOLECCIÓN DE HIERBABUENA

La hierbabuena es recolectada de la provincia Méndez específicamente de San Lorenzo de Tarija Cancha. Luego de recolectada se la traslada hasta el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Juan Misael Saracho, donde se realiza la extracción del aceite esencial de hierbabuena.

Figura 2-8

Recolección de hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.2. SELECCIÓN DE HIERBABUENA

Una vez que la hierbabuena es trasladada al Laboratorio de Operaciones Unitarias, es seleccionada. La que está en buenas condiciones para la extracción de su aceite esencial de la que está dañada amarilla seca o cualquier otro aspecto que impida o altere la extracción, como así también se descarta cualquier otro material extraño.

Todo este tipo de material desechado es denominado rechazo.

2.4.2.3. CLASIFICACIÓN DE HOJAS Y TALLO

Se realiza la clasificación de la hierbabuena en hojas y tallos, ya que se realizó la extracción del aceite esencial de ambos por separado.

Figura 2-9

Selección de hierbabuena

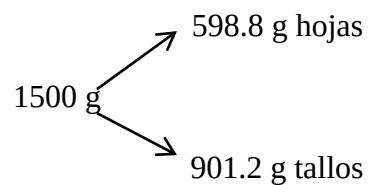


Fuente: Elaboración propia 2015.

También se determinó la cantidad de hojas respecto de los tallos, realizando los siguientes pasos:

1. Se pesó 1500 g de hierbabuena.
2. Se separó las hojas de los tallos.
3. Se volvió a pesar las hojas y los tallos por separado.

Se determinó que de 1500 g la masa de tallos es de 901.2 g, como se muestra a continuación.



2.4.2.4. CORTADO DE HIERBABUENA

Las hojas fueron cortadas a 1cm y también se utilizó la hoja entera (3cm), es decir, que se realizaron pruebas de extracción de aceite esencial de las hojas a 1cm y con la hoja entera.

De la misma manera son cortados los tallos a 1cm y 3cm para la extracción de su aceite esencial.

Figura 2-10
Cortado de hojas a 1cm y 3cm.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-11
Cortado de tallos a 1cm y 3cm.



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.5. DESTILACIÓN

2.4.2.5.1. MODIFICACIÓN AL EQUIPO DE DESTILACIÓN

La modificación hecha al equipo de destilación fue la implementación de un refrigerante a base de hielo y agua llamado tramo A-B, para que una parte de los vapores se condensen y así evitar pérdidas; los vapores se condensan totalmente en un refrigerante tipo serpentín.

La descripción de las características de la cámara de extracción y sus canastillos interiores está en el punto 2.4.1.1.

2.4.2.5.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN

Las condiciones de trabajo con las que se realiza la investigación son las siguientes:

TEMPERATURA

La temperatura de trabajo durante todas las pruebas es de 93°C (es la temperatura de ebullición del agua en Tarija), que es la temperatura a la cual empieza la extracción del aceite esencial de hierbabuena, en ambos termómetros de la cámara de extracción

se registra la misma temperatura durante todo el proceso, siendo la temperatura constante. Esta es la temperatura en el interior de la cámara de extracción.

PRESIÓN

La presión de trabajo durante todo el proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena es de 0.94 atm que es la presión atmosférica de Tarija.

LA POTENCIA DE LA HORNALLA

Antes de iniciar con las pruebas de extracción de aceite esencial se debe determinar la potencia de trabajo para así obtener el mejor rendimiento del aceite esencial. Ya que la potencia de la hornilla afecta directamente sobre el flujo de vapor y este a su vez sobre el rendimiento.

Es así que se realiza pruebas a tres niveles de potencia; bajo, medio y alto. En la potencia baja se observa que el rendimiento es menor y el tiempo usado mayor, esto debido a que el flujo de vapor producido es poco. Además que con un flujo de vapor menor se puede producir una maceración de la materia prima y no obtener aceite esencial.

Las pruebas con la potencia alta generan mayor flujo de vapor y el tiempo necesario es menor, pero las pérdidas eran exageradas por lo que el rendimiento también disminuía. La cámara de extracción no era completamente hermética y presentaba pérdidas, especialmente en la parte superior de la cámara de extracción.

La potencia adecuada resulta ser a la potencia media la cual es de 532.189 Kcal/h, el tiempo es óptimo y el rendimiento también, ya que no se presenta pérdidas ni maceraciones, los cálculos de dicha potencia se presentan en el capítulo III del presente trabajo.

MASA DE AGUA EN LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN

La masa de agua que se cargó a la cámara de extracción en cada ensayo es de 4 litros pues según trabajos realizados con anterioridad, el máximo de agua gastada en una prueba de extracción es de 2 litros en un tiempo de 2 horas, pero para poder controlar

el nivel de agua se usan 4 litros ya que con dos litros no es visible el nivel del agua. El agua que se introducía a la cámara de extracción era previamente calentada, esto para que las condensaciones en el residuo sean menores y para evitar maceraciones en el producto final.

CONDENSACIÓN

El condensador es el que se encarga del cambio de fase de los vapores de aceite esencial a líquido, el cual toma agua fría de un grifo mediante una manguera y descarga agua a mayor temperatura, por otra manguera.

Debido que el flujo de vapor es demasiado y pueden existir pérdidas, se ve la necesidad de condensar los vapores desde el tramo A-B, es decir, antes del condensador. Es por esto que se coloca un refrigerante, que condensa una parte de los vapores a base de hielo y agua como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2-12
Refrigerante a base de hielo (tramo A-B)



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.5.3. PROCESO DE DESTILACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

El procedimiento de destilación del aceite esencial de hierbabuena es el siguiente:

- Se calienta agua en un recipiente (4 litros de agua).
- Se carga la cámara de extracción con el agua caliente, y después con los canastillos que contienen la hierbabuena. La masa de hierbabuena (de hojas o

de tallo por separado) es de 450 gramos en algunos ensayos, en otros 600 gramos y a los dos tamaños mencionados anteriormente, ya que es una variable como se explicó en el diseño factorial.

- Una vez cargada la cámara de extracción, se arma el equipo de destilación.
- Se procede a encender el calentador, la cual ya estaba en el nivel de potencia medio de 532.189 kcal/h, solo se procedía a cerrar y abrir la garrafa para así mantener la potencia de calefacción constante durante todas las pruebas de destilación.
- Una vez que se prende el calentador inicia la etapa de calentamiento, se controla el tiempo hasta que el termómetro inferior registra la temperatura de ebullición que es cuando culmina la etapa de calentamiento e inicia la etapa de extracción para el cual también se controla el tiempo.
- En la etapa de extracción se genera vapor de agua que pasa a través de los canastillos arrastrando los componentes volátiles, condensándose una parte en el tramo A-B y luego totalmente cuando pasa por el condensador tipo serpentín y finalmente es recibido en un matraz Erlenmeyer, que está sumergido en un baño de hielo para atrapar los volátiles.
- Finalmente se mide el agua que queda en la cámara de extracción.

El equipo de destilación se muestra en la siguiente figura:

Figura 2-13
Equipo de destilación



F

Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-14
Baño de hielo



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.6. SEPARACIÓN DE FASES

En el matraz Erlenmeyer se obtiene una mezcla líquida de aceite esencial y agua, que por la diferencia de densidades e inmiscibilidad se separan en dos fases; el aceite esencial en la parte superior y el agua en la parte inferior, es por esto que se ve la necesidad de separar el aceite esencial. Se separó el aceite esencial con jeringas de 3 y 5 ml, midiendo el volumen para así obtener la variable respuesta; utilizando las jeringas las pérdidas de aceite esencial fueron mínimas.

Figura II-15
Mezcla de agua y aceite esencial



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.7. PURIFICACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

En el punto 2.4.2.6 (separación de fases), se trata de separar el aceite esencial del agua pues estos no se separan completamente, quedan gotas de agua en el aceite esencial, es por esto necesario purificar el aceite esencial de hierbabuena.

Se purifica el aceite esencial con sulfato de sodio anhidro, que tiene propiedades higroscópicas y por lo tanto es utilizado como desecante; es una sustancia sólida, incolora, cristalina con buena solubilidad en el agua y mala solubilidad en la mayoría de las sustancias orgánicas con excepción de la glicerina.

El procedimiento para purificar el aceite esencial es el siguiente:

En un vaso de precipitación se vierte el aceite esencial, y se añade el sulfato de sodio anhidro lentamente, formándose así pequeños terroncitos de sulfato de sodio hidratado, hasta que se satura.

Se dejó reposar durante media hora, para que el sulfato de sodio en polvo dentro del aceite esencial se deposite en el fondo del vaso de precipitación. Luego se filtra en un matraz Erlenmeyer con un embudo y papel filtro número 5B.

Figura 2-16
Purificación del aceite esencial de hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-17
Terrones de sulfato de sodio hidratado



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.4.2.8. ALMACENAMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL

Finalmente el aceite esencial de hierbabuena debe ser almacenado correctamente para su conservación en un frasco oscuro y de vidrio para que la luz natural y artificial no altere el aceite esencial. El frasco debe estar cerrado herméticamente para que el aceite esencial no entre en contacto con el aire, para evitar la oxidación por el oxígeno atmosférico.

Debe estar correctamente etiquetado y almacenado en un lugar fresco y oscuro.

2.4.2.9. RESIDUO

Una vez finalizado el proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena, queda como residuo la hierbabuena agotada en contenido de aceite esencial de hierbabuena pero con mayor contenido de humedad que la inicial, debido a que una parte del agua de la cámara de extracción se condensa, dentro de la misma.

Finalizado el proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena se pesan los canastillos con el residuo para calcular el agua condensada. Para obtener un menor contenido de agua en el residuo, se introduce el agua caliente a la cámara de extracción, ya que esta humedad origina cierta dificultad en la operación,

especialmente en el paso y distribución del vapor por la muestra.

El residuo se deja secar en papel periódico para luego darle uso como abono. En la siguiente figura se muestra el proceso de secado del residuo.

Figura 2-18
Residuo



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.5. ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO

Los análisis a realizar del producto obtenido son:

Características organolépticas tales como:

- Color.
- Olor.
- Aspecto.

Los análisis físicos tales como:

- Densidad relativa.
- Índice de refracción.

Estos análisis se realizan en los laboratorios de química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Los análisis de cromatografía gaseosa acoplada a

espectroscopia de masas, se lo mandó al Centro de Investigaciones Químicas CIQ SRL de la ciudad de Cochabamba.

2.6. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

2.6.1. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Las características organolépticas del aceite esencial de hierbabuena color y aspecto se determinó en el centro de investigaciones químicas, el cual dice lo siguiente

Color; ligeramente amarillo.

Aspecto; líquido.

El olor del aceite esencial de hierbabuena se determinó de la siguiente manera:

Olor; se acerca el frasco que contiene el aceite esencial de hierbabuena a la nariz y se percibe el olor; éste fue fuerte penetrante a menta.

2.6.2. ANÁLISIS FÍSICOS

2.6.2.1. DENSIDAD RELATIVA

El método usado para la determinación de densidad relativa es el método del picnómetro, que consiste en pesar el picnómetro vacío, luego se llena completamente con el líquido cuya densidad se desea determinar y finalmente se pesa; con estos datos se puede calcular la densidad del líquido. Un picnómetro es un pequeño frasco de vidrio de volumen exacto y conocido.

El procedimiento para la determinación de densidad relativa es la siguiente según norma boliviana NB34021 (ver anexo 2):

- Se lleva el picnómetro destapado a la estufa.
- Una vez seco se lleva al desecador hasta que este frío y se pesa.
- Se llena el picnómetro con agua destilada y se lo lleva a un calorímetro que está con agua a 20°C, durante 30 minutos.
- Se seca el picnómetro y se pesa.

- El picnómetro se enjuaga varias veces con la muestra a ensayar, luego se llena con la misma y se procede exactamente del mismo modo que con el agua.
- Se realiza el proceso por duplicado.

Una vez obtenidos los datos necesarios, se calcula la densidad relativa con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{relativa}} = \frac{\rho_{\text{muestra}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\frac{m_{\text{muestra}}}{V}}{\frac{m_{\text{agua}}}{V}} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \quad (\text{Ecuación 2-3})$$

Donde:

M1 = Masa del picnómetro vacío.

M2 = Masa del picnómetro con agua.

M3 = Masa del picnómetro con muestra.

En las siguientes figuras se muestran algunos pasos del procedimiento para la medición de la densidad relativa del aceite esencial de hierbabuena.

Figura 2-19
Picnómetro en la estufa



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-20
Picnómetro enfriándose en el desecador



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-21
Picnómetro con agua destilada en el calorímetro a 20°C



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 2-22
Picnómetro con aceite esencial de hierbabuena
en el calorímetro a 20°C



Fuente: Elaboración propia 2015.

2.6.2.2. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

La medición del índice de refracción se realiza en el Laboratorio de Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; se utilizó un refractómetro ABBE el cual se encuentra en dicho laboratorio. El procedimiento para la medición es el siguiente:

- Se limpió el equipo con agua destilada, donde se coloca la muestra a ser analizada.
- Se calibra el equipo con agua destilada.
- Se limpió el agua y se colocó unas gotas del aceite esencial de hierbabuena en el prisma para realizar la medición.

Se repite este mismo procedimiento tres veces y se toma como resultado final el promedio de estas tres mediciones. A continuación se muestra el equipo utilizado.

Figura 2-23

Refractómetro ABBE del laboratorio de Química de la U.A.J.M.S



Fuente: Elaboración propia 2015.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE LA MATERIA PRIMA

Los análisis de la materia prima son los siguientes.

- Determinación de humedad.

3.1.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se realizó el análisis de humedad en el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y también usando el método gravimétrico en estufa a 105 °C realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo de la U.A.J.M.S.

3.1.1.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN EL SECADOR INFRARROJO SARTORIUS MA 100

Este analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 permite registrar la variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo, se programó la balanza para que realizara el secado de la hierbabuena tanto de los tallos como de las hojas a 105 °C, siendo la masa de la muestra 5 g aproximadamente.

Finaliza el proceso cuando el peso es constante.

En la siguiente tabla se muestran los datos registrados de porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de las hojas de la hierbabuena.

Tabla III-1
Variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al
tiempo de las hojas de la hierbabuena

Tiempo (min)	Humedad Evap. (%)
1.5	9.73
2	12.45
3	16.85
4	21.60
5	26.35
6	30.94
7	35.41
8	39.69
9	43.74
10	47.79
15	62.63
20	72.15
25	77.64
25.5	77.64
26	77.64

Fuente: Elaboración propia 2016.

Según los datos de la tabla III-1 el porcentaje de humedad evaporada de las hojas de la hierbabuena se hace constante a los 25 minutos con un porcentaje de humedad evaporada de 77.64 %, la masa de la muestra fue de 5 g.

La masa de las hojas secas, al finalizar el proceso fue de 1.140 g; teniendo esta masa y la masa inicial se calcula la humedad de las hojas de la hierbabuena con la siguiente fórmula:

$$\%H_h = \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) * 100$$

$$\%H_h = (1 - \frac{1.140 \text{ g}}{5 \text{ g}}) * 100$$

$$\%H_h = 77.2$$

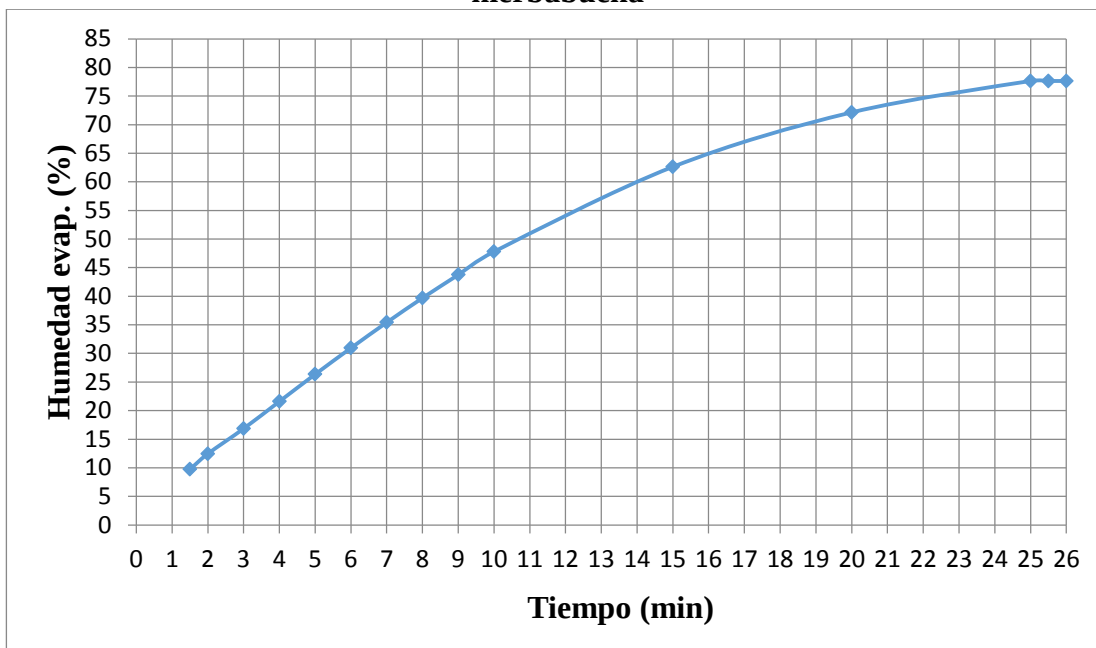
Donde:

m_f : masa final de hojas de hierbabuena

m_i : masa inicial de hojas de hierbabuena

A continuación se muestra la curva de humedad evaporada versus tiempo realizada con los datos de la tabla III-1.

Figura 3-1
Curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de las hojas de hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2016.

En la figura 3-1 se observa que al minuto 25 la curva disminuye de pendiente, volviéndose una línea recta ya que el porcentaje de humedad evaporada a ese tiempo se vuelve constante, cuando esto sucede finaliza el proceso de secado. Al minuto 1.5 el agua evaporada de las hojas de hierbabuena es de 9.73 %.

A continuación se muestra los datos registrados de porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de los tallos de la hierbabuena.

Tabla III-2
Variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo
de los tallos de la hierbabuena

Tiempo (min)	Humedad Evap. (%)
1	2.32
2	5.34
3	8.68
4	12
8	25.05
12	36.91
16	47.42
20	56.56
24	63.77
28	68.55
32	70.84
36	71.73
38	71.93
38.2	71.93

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la tabla III-2 se observa que el porcentaje de humedad evaporada de los tallos de la hierbabuena se hace constante a los 38 minutos con un porcentaje de humedad evaporada de 71.93 %, la masa de la muestra inicial fue de 5 g.

La masa de los tallos secos, al finalizar el proceso fue de 1.442 g, teniendo esta masa y la masa inicial se calcula la humedad de los tallos de la hierbabuena con la siguiente fórmula:

$$\%H_t = \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) * 100$$

$$\%H_t = \left(1 - \frac{1.442 \text{ g}}{5 \text{ g}}\right) * 100$$

$$\%H_t = 71.16$$

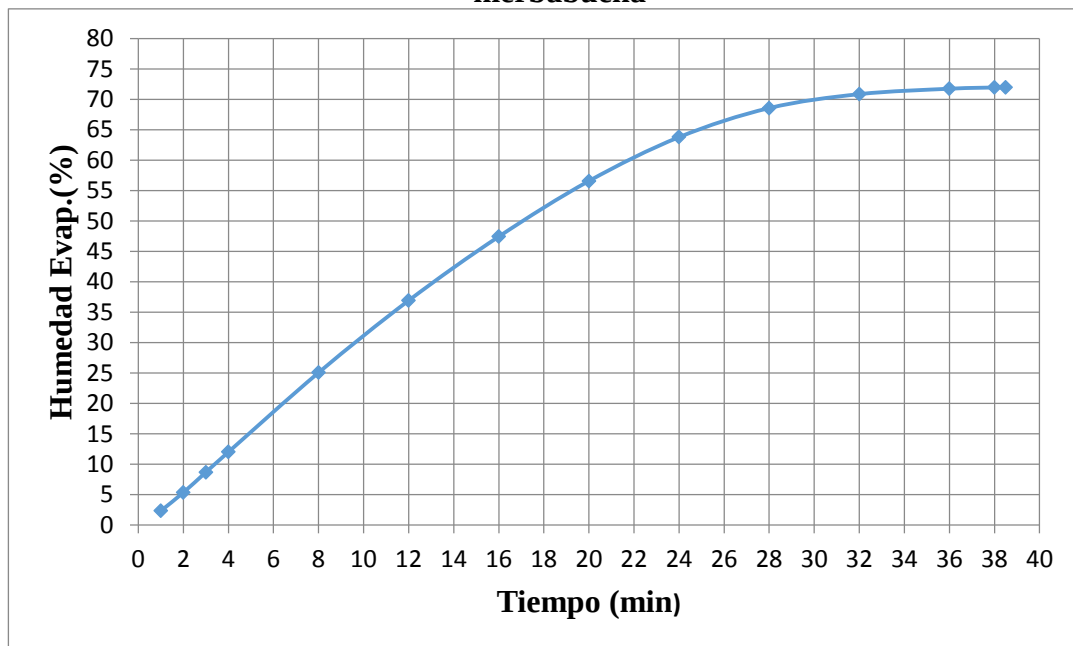
Donde:

m_f : masa final de los tallos de hierbabuena

m_i : masa inicial de los tallos de hierbabuena

En la figura 3-2 se muestra la curva de porcentaje de humedad evaporada (%H Evap.) versus tiempo de los tallos de la hierbabuena.

Figura 3-2
Curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de los tallos de la hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2016.

En la figura 3-2 se puede observar la curva de porcentaje de humedad evaporada de los tallos de la hierbabuena, y que al primer minuto el agua evaporada es de 2.32 %.

Al minuto 32 con un porcentaje de humedad evaporada de 70.84 % la curva disminuye de pendiente notablemente, hasta que al minuto 38 se convierte en una

recta, finalizando así el proceso de secado, ya que a este tiempo el porcentaje de humedad evaporada se vuelve constante.

3.1.1.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN ESTUFA A 105 °C

Una vez realizado el procedimiento correspondiente a este método y obteniendo los datos necesarios, se emplea la siguiente expresión matemática para el cálculo del porcentaje de humedad. Según norma boliviana NB074 (ver anexo 1).

$$\% H = \left(1 - \left(\frac{C_F - C_o}{C_m - C_o}\right)\right) * 100 \quad (\text{Ecuación 3-1})$$

El siguiente cálculo es para la determinación del porcentaje de humedad en las hojas de la hierbabuena.

$$\%H_{HA} = \left(1 - \left(\frac{35.0266 - 33.8592}{38.9002 - 33.8592}\right)\right) * 100$$

$$\%H_A = 76.84$$

$$\%H_{HB} = \left(1 - \left(\frac{33.2154 - 32.026}{37.0381 - 32.026}\right)\right) * 100$$

$$\%H_B = 76.27$$

El promedio de ambas es:

$$\%H_H = \frac{76.84 + 76.27}{2}$$

$$\%H_H = 76.555$$

Con el siguiente cálculo se determina el porcentaje de humedad en los tallos de la hierbabuena.

$$\%H_{TA} = \left(1 - \left(\frac{33.4042 - 31.9648}{36.9738 - 31.9648}\right)\right) * 100$$

$$\%H_{TA} = 71.26$$

$$\%H_{TB} = \left(1 - \left(\frac{33.2800 - 31.8107}{36.8768 - 31.8107}\right)\right) * 100$$

$$\%H_{TB} = 70.99$$

El promedio de ambas es:

$$\%H_T = \frac{71.26 + 70.99}{2}$$

$$\%H_T = 71.13\%$$

En la siguiente tabla se muestra la humedad de tallos y hojas de la hierbabuena.

Tabla III-3
Humedad de las hojas y de los tallos de la Hierbabuena

Parte de la planta	Humedad (%)
HOJAS	76.55
TALLO	71.13

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con estos resultados se muestra que la humedad tanto de las hojas como de los tallos de la hierbabuena por ambos métodos son parecidos y que la humedad es casi la misma en toda la planta (hojas y tallos).

En la tabla III-4 se muestra una comparación de la humedad de la hierbabuena de Tarija respecto a datos de bibliografía.

Tabla III-4
Porcentajes de humedad de la hierbabuena

Factor	Tarija	Ecuador	Colombia
%HUMEDAD	76.55	80.56	76-92

Fuente: Elaboración propia 2016

La variación de la humedad de Tarija respecto a la humedad de los datos de bibliografía es mínima, y puede deberse a las diferencias de temperatura y humedad del ambiente considerando que dichos estudios fueron realizados en diferentes países.

3.2. RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

Se realiza una prueba con materia prima seca (dos días de secado) y otra con materia prima fresca para determinar el rendimiento. La masa de materia prima fresca y seca fue de 600 g, ambos en muestra original.

La materia prima seca fue sometida a dos días de secado, teniendo una humedad final de 38.04 %.

Los siguientes datos corresponden a la materia prima fresca.

Tabla III-5
Datos de extracción con materia prima fresca

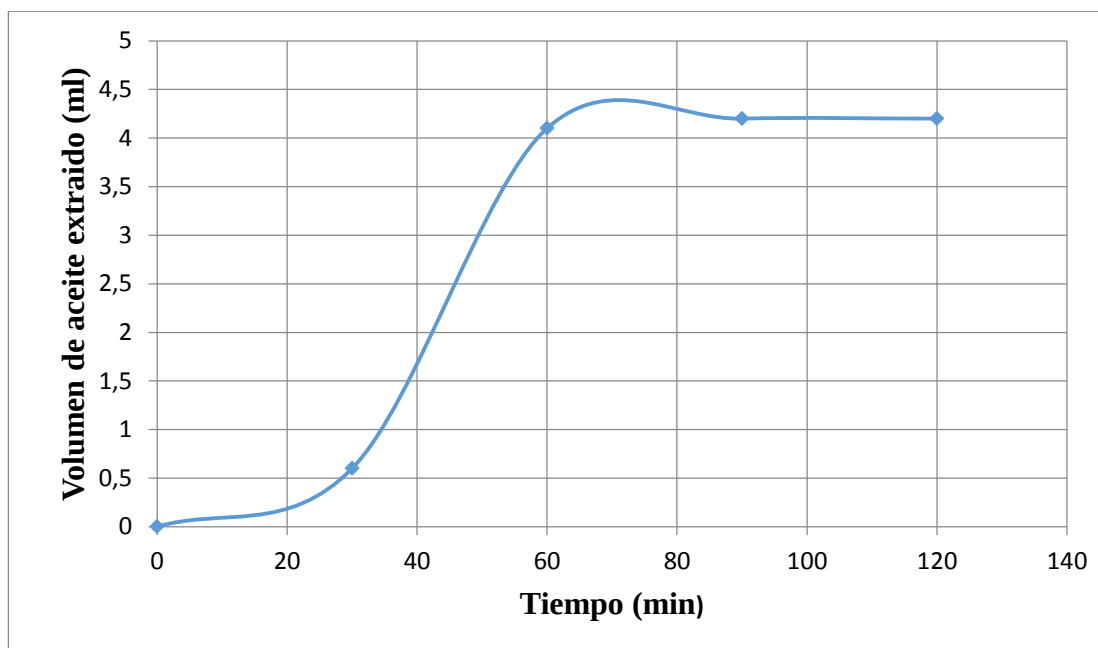
Tiempo (min)	Volumen de aceite extraído (ml) (por 600g de muestra)	Volumen de aceite acumulado (ml)
0	0	0
30	0.6	0.6
60	3.5	4.1
90	0.1	4.2
120	0	4.2

Fuente: Elaboración propia 2016.

Hasta el minuto 90 todavía se obtiene aceite esencial, pero al minuto 120 la cantidad de aceite extraído es de 0 ml, por esta razón se da por finalizado el proceso de extracción, lo que significa el agotamiento de la materia prima a las dos horas de iniciado el proceso.

A continuación se presenta la gráfica de extracción realizada con los datos de la tabla III-7.

Figura 3-3
Curva de volumen de extracción de aceite esencial de hierbabuena fresca



Fuente: Elaboración propia 2016.

De la curva de volumen de extracción se concluye lo siguiente:

Hasta el minuto 30 se extrae 0.6 ml de aceite esencial lo que equivale al 17.1% del total extraído. Del minuto 30 hasta el minuto 60 se extrae 3.5 ml que equivale al 85.4 %, teniéndose un rendimiento global desde el minuto cero hasta ese momento del 97.6 % del total extraído, hasta alcanzar un volumen de extracción de 4.2 ml al minuto 90. Lo que nos indica que el tiempo de extracción es de 60 minutos.

En la tabla III-8 se muestra los datos de extracción con materia prima seca.

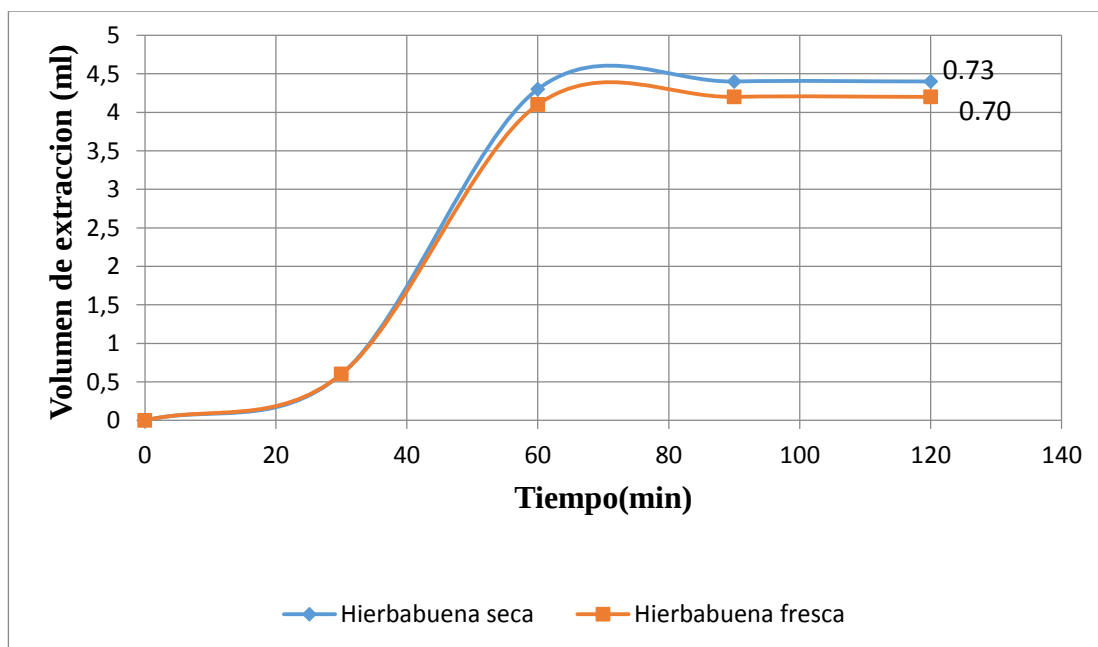
Tabla III-6
Datos de extracción con materia prima seca

Tiempo (min)	Volumen de aceite extraído (ml) (por 600g de muestra)	Volumen de aceite acumulado (ml)
0	0	0
30	0.6	0.6
60	3.7	4.3
90	0.1	4.4
120	0	4.4

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con los datos de las tablas III-7 y III-8 se realiza una comparación de rendimiento usando hierbabuena fresca y seca, obteniéndose la siguiente gráfica.

Figura 3-4
Comparación de volumen extraído con hierbabuena fresca y seca



Fuente: Elaboración propia 2016.

Se puede observar que se obtiene mayor volumen con la hierbabuena seca, pero que

la diferencia entre ambas curvas no es significativa, al minuto 30 el volumen extraído es el mismo, a los 60 minutos el volumen extraído de la hierbabuena seca es mayor con tan solo 0.2 ml. Siendo el rendimiento con materia prima fresca de 0.70 ml en volumen de aceite esencial/masa de la muestra y de 0.73 ml con materia prima seca (por 100 g de muestra, ambos en base original).

Por lo que se estima que se puede trabajar con materia prima fresca o seca, pues no se tienen grandes diferencias en el rendimiento, lo que da la oportunidad de realizar el almacenamiento del material.

3.2.1. RENDIMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El rendimiento (expresado en volumen) de la extracción de aceite esencial de las hojas de la hierbabuena, tomando en cuenta las variables y el diseño experimental planteado en el capítulo II, se muestra en la tabla III-9.

Tabla III-7
Datos experimentales del proceso de extracción de aceite esencial de las
hojas de la hierbabuena

Corridas	Factores		Variable respuesta (ml)	Rendimiento (ml) (por 100 g de muestra)
	T (cm)	M(g)		
PRIMERA REPETICIÓN				
1	1	450	3.1	0.689
2		600	4.0	0.667
3	3	450	2.7	0.6
4		600	3.5	0.583
SEGUNDA REPETICIÓN				
5	1	450	3.0	0.667
6		600	4.2	0.7
7	3	450	2.8	0.622
8		600	3.6	0.60

Fuente: Elaboración propia 2016.

Donde M es la masa en gramos y T el tamaño en cm.

Los datos experimentales del proceso de extracción de aceite esencial de los tallos de la hierbabuena se presentan en la siguiente tabla.

Tabla III-8
Datos experimentales del proceso de extracción de aceite esencial de los tallos de la hierbabuena

Corridas	Factores		Variable respuesta (ml)
	T (cm)	M(g)	
PRIMERA REPETICION			
1	1	450	0
2		600	0
3	3	450	0
4		600	0
SEGUNDA REPETICIÓN			
5	1	450	0
6		600	0
7	3	450	0
8		600	0

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la tabla III-9 se observa que la variable respuesta, es decir, el rendimiento es mayor, con menor masa. Con 450 g se obtiene mayor rendimiento que con 600 g, a un mismo tamaño de muestra. Con esto se concluye que a mayor masa, menor es el rendimiento siendo de 0,667 % con 600 g y 0,689 % con 450 g; esto es debido al apelmazamiento que dificulta el paso del vapor produciendo un reflujo interno. Con 600 g los canastillos de la cámara de extracción se encontraban llenos (13cm), y con 450 g se llegó a 9 cm de la altura de los canastillos, siendo la altura total de 13 cm.

Se observa que el rendimiento es mayor a un tamaño de muestra menor; para esto se tomaron dos tamaños de muestra, es decir, se cortaron las hojas de hierbabuena a 1 cm y se usó la hoja entera (3 cm). A 1cm se obtiene mayor rendimiento ya que entre más pequeño sea el tamaño de partícula mayor será el área de contacto entre la especie vegetal (hojas de hierbabuena) y el flujo de vapor que va a arrastrar el aceite esencial.

De la tabla III-10 que corresponde a la extracción de aceite de los tallos de la

hierbabuena, se observa que el rendimiento es demasiado bajo casi insignificante. De la experiencia realizada se obtiene solo trazas de aceite esencial de los tallos los cuales era imposible separar del agua.

Con esto se muestra que las hojas de la hierbabuena contienen casi todo el aceite esencial, desechando así a los tallos que contiene solo trazas. Es por esto que a partir de este punto solo se tomará en cuenta al aceite esencial de las hojas de la hierbabuena.

3.2.2. TAMAÑO vs RENDIMIENTO

Como ya se mencionó se utilizó dos tamaños de muestra (hojas de hierbabuena); 1 cm y 3 cm. A continuación en la tabla III-11 se muestran los datos de rendimiento y el tiempo de extracción del aceite esencial de hierbabuena tomando en cuenta los dos tamaños de muestra, usando los datos de la primera repetición con 600 g.

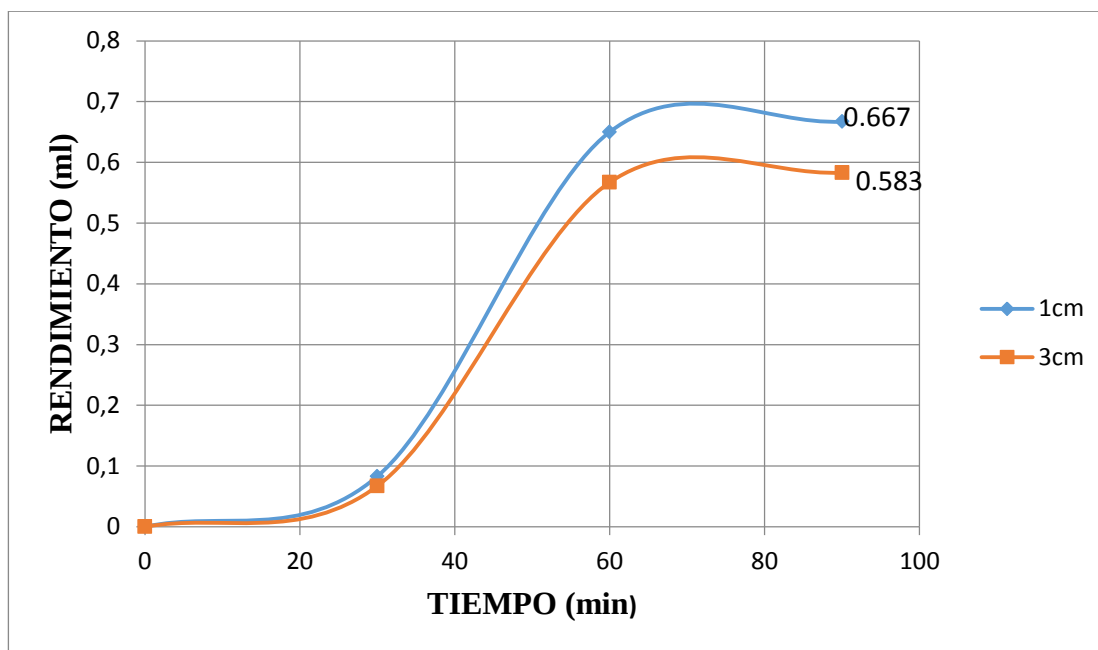
Tabla III-9
Datos de rendimiento a los dos tamaños de muestra

Tamaño (cm)	Tiempo (min)	Rendimiento (ml) (por 600 g de muestra)	Rendimiento (ml) (por 100 g de muestra)
1	0	0	0
	30	0.5	0.083
	60	3.9	0.65
	90	4.0	0.667
3	0	0	0
	30	0.4	0.067
	60	3.4	0.567
	90	3.5	0.583

Fuente: Elaboración propia 2016.

Se construye la gráfica comparando el rendimiento con los dos tamaños de muestra.

Figura 3-5
Tamaño vs rendimiento



Fuente: Elaboración propia 2016.

A un tamaño de 3 cm el rendimiento es menor en cualquiera de los tres intervalos de tiempo, esto quiere decir que es recomendable trabajar con un tamaño de muestra de 1 cm ya que se obtiene mejores rendimientos. Siendo el rendimiento de 0.583 ml a un tamaño de 3 cm y de 0.667 ml a un tamaño de 1 cm.

3.2.3. MASA vs RENDIMIENTO

Esta variable tiene dos niveles que son; 450 g y 600 g con los cuales se trabaja. Tomando los datos de la primera repetición a 1 cm de muestra se construye la siguiente tabla.

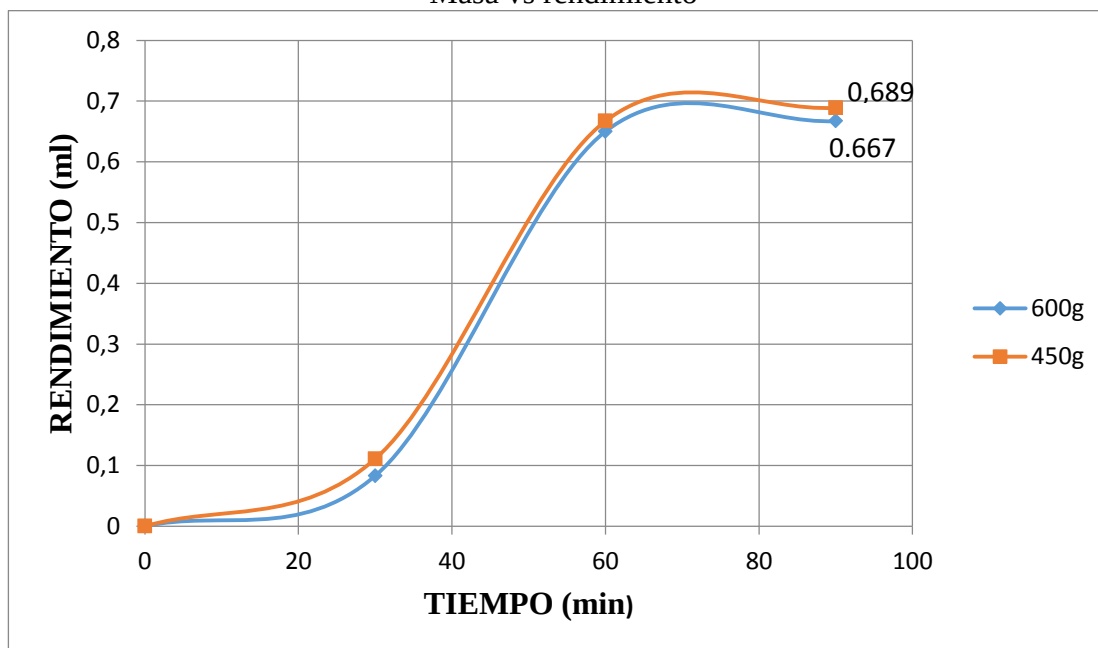
Tabla III-10
Datos de rendimiento a las dos masas 450g y 600g

Masa (g)	Tiempo (min)	Rendimiento (ml) (a 1 cm)	Rendimiento (ml) (por 100 g de muestra)
450	0	0	0
	30	0.5	0.111
	60	3.0	0.667
	90	3.1	0.689
600	0	0	0
	30	0.5	0.083
	60	3.9	0.65
	90	4.0	0.667

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con los datos de la tabla III-12 se construye la gráfica de comparación rendimiento versus masa.

Figura 3-6
Masa vs rendimiento



Fuente: Elaboración propia 2016.

Se nota que la curva es un poco más pronunciada con 450 g, es decir, hay mejores rendimientos con 450 g en cualquiera de los tres intervalos de tiempo. Con 450 g el rendimiento es de 0.689ml y con 600 g el rendimiento es de 0.667ml (estos rendimientos son por 100g de muestra).

3.2.4. ANALISIS DEL RESIDUO

El residuo, es decir, la materia vegetal obtenida al finalizar el proceso de extracción, a diferencia de la carga inicial, tiene mayor peso a causa de la humedad que ha adquirido en el proceso de destilación debido a la condensación del vapor dentro de la cámara de extracción.

Teniendo el peso de los canastillos vacíos, el peso de los canastillos con la carga inicial y el peso de los canastillos con el residuo húmedo se construye la siguiente tabla donde se calcula el agua retenida.

Tabla III-11
Análisis del residuo

Tamaño de muestra	Peso canastillos vacíos (g)			Peso canastillos con carga inicial (g)			Peso canastillos con residuo húmedo (g)			Agua retenida por canastillo (g)			Agua retenida total (g)
600g													
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1cm	295.3	286.7	294.8	495.8	486.8	495.1	510	504.7	507.3	14.2	17.9	12.2	44.3
3cm	295.4	286.8	294.5	496.2	487.2	495.2	506.9	500.6	505.2	10.7	13.4	10	34.1
450g													
1cm	295.3	286.7	294.8	445.3	436.8	444.9	453.9	449.7	450.8	8.6	12.9	5.9	27.4
3cm	295.4	286.8	294.5	445.8	436.8	444.7	451.4	440.9	450.4	5.6	4.1	5.7	15.4

Fuente: Elaboración propia 2016.

De los datos de la tabla III-13 se puede concluir que a mayor masa, mayor será el agua retenida en la materia vegetal; con una masa de 600 g el agua retenida es de 44.3 g y con una masa de 450 g el agua retenida es de 27.4 g. Tomando en cuenta el tamaño, la retención de agua es mayor a un tamaño menor; con un tamaño de 1cm la retención es de 44.3 g y a 3 cm la retención de agua es de 34,1 g; la diferencia en retención de agua se debe al apelmazamiento que dificultan el paso del vapor a través de la materia vegetal .

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El análisis estadístico del diseño factorial, se realiza para determinar las variables del proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena; midiendo el rendimiento (volumen de aceite esencial de hierbabuena extraído). Utilizando los niveles (tabla II-2) como ser: la masa de hierbabuena (450g y 600g) y el tamaño de muestra (1cm y 3cm).

En la tabla III-14, se muestra la matriz de resultados de las variables del proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena, cuyo diseño corresponde 2^2 en función a la variable respuesta del rendimiento (volumen de aceite esencial de hierbabuena).

Tabla III-12
Rendimiento en el proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena

Corridas	Tratamientos	Variables		Y _i	Y _i
		T	M		
1	(1)	1	450	Y ₁	Y ₁
2	A	3	450	Y ₂	Y ₂
3	B	1	600	Y ₃	Y ₃
4	Ab	3	600	Y ₄	Y ₄

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la tabla III-15 se presentan los datos experimentales del proceso de extracción del aceite esencial de hierbabuena de las hojas, ya que de los tallos la extracción de aceite esencial fue insignificante, cercana a cero.

La variable respuesta es el rendimiento, que está expresada en volumen de aceite esencial extraído.

Tabla III-13
Datos experimentales del proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena

CORRIDAS	TRATAMIENTOS	VARIABLES		Y _i	Y _i
		T	M		
1	(1)	1	450	3.1	3.0
2	A	3	450	2.7	2.8
3	B	1	600	4.0	4.2
4	Ab	3	600	3.5	3.6

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con los datos de la tabla III-15 se realiza el análisis estadístico del diseño experimental con el programa SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Sciencis) para windows.

Este programa permite un tratamiento integrado de todos los factores que conllevan el análisis de datos, obteniendo resultados confiables y representativos. Se determina la influencia de los factores tamaño y masa sobre la variable respuesta, el rendimiento, realizando todas las combinaciones posibles.

En la tabla III-16 se muestran los datos con los cuales se realizó el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) de un diseño 2^2 .

Tabla III-14
Datos para el análisis de varianza

Nº DE ENSAYO	FACTORES		RESPUESTA
	Masa (M)	Tamaño (T)	Rendimiento (Y)
1	-1	-1	3.1
Réplica	-1	-1	3.0
2	+1	-1	4.0
Réplica	+1	-1	4.2
3	-1	+1	2.7
Réplica	-1	+1	2.8
4	+1	+1	3.5
Réplica	+1	+1	3.6

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la tabla III-17 se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable que registra el programa y que son las que se realizan a lo largo de la etapa experimental de la presente investigación para un diseño 2^2 con dos repeticiones dando un total de 8 experiencias.

Tabla III-15
Factores inter-sujetos

		N
Masa	-1,00	4
	1,00	4
Tamaño	-1,00	4
	1,00	4

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la tabla III-18 se detalla el análisis de varianza aplicado al diseño experimental del presente trabajo de investigación.

Tabla III-16
Análisis de varianza (ANOVA)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

ORIGEN	SUMA DE CUADRADOS TIPO III	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
Modelo corregido	4,055 ^a	3	1,352	270,333	,000
Intersección	78,125	1	78,125	15625,000	,000
Masa	3,645	1	3,645	729,000	,000
Tamaño	,405	1	,405	81,000	,001
Masa * Tamaño	,005	1	,005	1,000	,374
Error	,020	4	,005		
Total	82,200	8			
Total corregida	4,075	7			

Fuente: Elaboración propia 2016.

Se puede observar que las variables con un nivel de significancia menor a 0,05 influyen, lo que implica que son significativas en el proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena con una confianza del 95%, razón por la cual se concluye que la variable masa y tamaño poseen un valor menor a 0,05 por lo que se considera que influyen de manera significativa en el modelo experimental, y serán las variables utilizadas para realizar el cálculo del modelo matemático que posee el diseño factorial.

Para la determinación del modelo matemático se observa los valores introducidos en la tabla III-19.

Tabla III-17

Variables introducidas/eliminadas

Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
Tamaño, masa ^a	.	Introducir

Fuente: Elaboración propia 2016.

Donde a son todas las variables solicitadas introducidas.

En consecuencia la tabla III-20 muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS con el diseño experimental realizado para el presente trabajo de investigación.

Tabla III-18
Coeficientes del modelo matemático
Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados			Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.	Beta	T	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	3,125	,025		125,000	,000	3,061	3,189
Masa	,675	,025	,946	27,000	,000	,611	,739
Tamaño	-,225	,025	-,315	-9,000	,000	-,289	-,161

Fuente: Elaboración propia 2016.

Donde a es la variable dependiente: Rendimiento

Por lo tanto, el modelo matemático resultante es:

$$\text{Rend} = 3.125 + 0.675 \text{ Masa} - 0.225 \text{ Tamaño}$$

3.4. CARACTERÍSTICAS Y PRINCIPALES COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

3.4.1. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

En la siguiente tabla se muestra una comparación de las características organolépticas del aceite esencial de hierbabuena obtenido, con datos de bibliografía.

Tabla III-19
Comparación de las características organolépticas del aceite esencial de menta

Características	Aceite de Guatemala (León T., 2005.)	Aceite obtenido en Tarija
Color	Ligeramente amarillo	Ligeramente amarillo
Olor	Fuerte y penetrante a menta dulce	Fuerte penetrante a menta
Aspecto	Líquido limpio	Líquido

Fuente: Elaboración propia 2016.

Los datos de color, olor y aspecto de ambos aceites esenciales de hierbabuena son iguales, con esto se determina que el aceite esencial de hierbabuena obtenido en Tarija se encuentra dentro de los parámetros requeridos.

3.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Con los datos obtenidos realizando el método del picnómetro (capítulo II), se calcula la densidad relativa del aceite esencial de hierbabuena según norma boliviana NB34021 (ver anexo 2).

$$\rho_{\text{relativa1}} = \frac{\rho_{\text{aceite}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} = \frac{(69.0423 - 29.6188)\text{g}}{(73.4154 - 29.6188)\text{g}}$$

$$\rho_{\text{relativa1}} = 0.900$$

$$\rho_{\text{relativa2}} = \frac{\rho_{\text{aceite}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} = \frac{(69.0623 - 29.6188)\text{g}}{(73.3705 - 29.6188)\text{g}}$$

$$\rho_{\text{relativa2}} = 0.902$$

$$\rho_{\text{relativa}} = \rho_{\text{relativa1}} + \rho_{\text{relativa2}}$$

$$\rho_{\text{relativa}} = \frac{0.900 + 0.902}{2} = 0.901$$

$$\rho_{\text{aceite}} = \rho_{\text{relativa}} \rho_{\text{agua}} = 0.901 * 1\text{g/ml}$$

$$\rho_{\text{aceite}} = 0.901\text{g/ml}$$

Los resultados del índice de refracción y densidad relativa se muestran en la siguiente tabla, junto a otros datos de bibliografía.

Tabla III-20
Comparación de las características físicas del aceite esencial de menta

Características	Bolivia Aceite obtenido	Guatemala León T., 2005	Ecuador Paredes D., 2010	Argentina Gustavo A. Fester 2010
Densidad g/ml (20°C)	0.901	0.899	0.8907	0.9197
Índice de refracción (20°C)	1.4675	1.456	1.4638	-

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con los datos de la tabla, se establece que la densidad del aceite obtenido se encuentra entre los rangos esperados; ya que es mayor que el reportado en Guatemala por León T y Ecuador, pero menor que el registrado en Argentina por Gustavo A.

En cuanto al índice de refracción es mayor el índice de refracción registrado en Tarija que los datos de bibliografía, pero difieren en milésimas.

Se puede concluir que el aceite esencial de hierbabuena obtenido en Tarija no varía significativamente con los datos de bibliografía y por esto se encuentra dentro de los parámetros requeridos.

3.4.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química del aceite esencial de hierbabuena se la determina a través de un análisis de cromatografía gaseosa acoplada a espectroscopia de masas como se indicó en el capítulo II. Dicho análisis registra los 5 componentes mayoritarios para el aceite esencial de hierbabuena obtenido en Tarija que demuestra su calidad.

A continuación se muestra una tabla con los componentes mayoritarios del aceite esencial de hierbabuena obtenido en Tarija y datos de bibliografía para realizar una comparación.

Tabla III-21
Composición química del aceite esencial de hierbabuena

Aceite obtenido Tarija		Ecuador León A., 2009	
Compuesto	% abundancia	Compuesto	% abundancia
Mentol	44.78	Mentol	33-35
Mentona	12.22	Mentona	9-31
Cineol	11.9	Cineol	5-18
Metil acetato	11.81	Metil acetato	10-20
Isomentona	6.87	Limoneno	3-7

Fuente: Elaboración propia 2016.

Se puede observar en la tabla anterior que 4 son los compuestos presentes en ambos aceites: mentol, mentona, cineol y metil acetato. El mentol con mayor abundancia se encuentra en el aceite esencial obtenido en Tarija; la mentona, cineol y metil acetato del aceite esencial obtenido en Tarija se encuentra dentro de los rangos de abundancia del aceite esencial de menta de Ecuador.

Cabe mencionar que el aceite esencial de Ecuador (León A., 2009) tiene otros compuestos tales como: β – felandreno (4-8) %, limoneno (3 – 7) %, mentofurano (2 – 6) %, pulegona (0,5 – 4) %.

La isomentona no se encuentra presente en el aceite esencial de Ecuador, pero sí en las principales sustancias de la menta según el estudio realizado en B.R. Nahata college of Pharmacy.

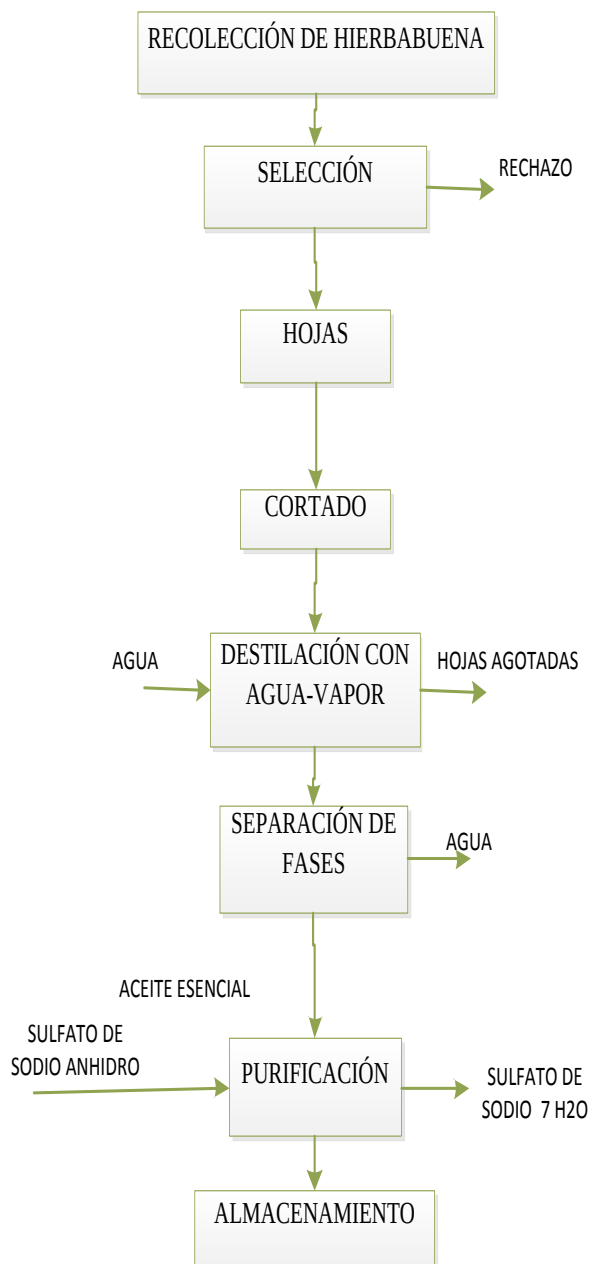
La composición del aceite esencial de menta en la Argentina tiene entre otros los siguientes compuestos; cineol 0.1 %, mentona 16 %, isomentona 2.5 % (Gustavo A. Fester 2010). Estos compuestos también se encuentran presentes en el aceite esencial de menta sp. de Tarija pero en mayor abundancia a excepción de la mentona.

Como se menciona en el Capítulo I del presente trabajo, el mentol es el compuesto más importante del aceite esencial de menta, ya que es el responsable del olor

característico a menta y de la mayor parte de su sabor, la abundancia de mentol del aceite esencial de hierbabuena obtenido en Tarija es del 44.78 % mayor que el mentol del aceite esencial de Ecuador y se encuentra entre los rangos de abundancia de mentol según el estudio realizado en B.R. Nahata college of Pharmacy, el cual dice que el porcentaje de mentol en un aceite esencial de menta tiene que estar entre el 30 % y 55 %. Con esto se concluye que el aceite esencial de hierbabuena (menta sp) de Tarija se encuentra dentro de los rangos.

3.5. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

En la siguiente figura se muestra el diagrama final del proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena

Figura 3-7**Diagrama de flujo final del proceso de extracción de aceite esencial de hierbabuena**

Fuente: Elaboración propia 2016.

Realizadas todas las extracciones, éstas registran en tablas el rendimiento expresado en volumen obtenido, los tiempos empleados, la materia prima, residuos y las condiciones de las corrientes de proceso. Con estos datos se realizan los balances de materia y energía, tomando los datos de aquella extracción que proporcione los mejores rendimientos.

Según datos de la tabla III-9, el mejor rendimiento es en la segunda repetición a un tamaño de muestra de 1 cm y 600 g y con estos se construye la siguiente tabla.

Tabla III-22
Datos del mejor rendimiento con 600g a 1cm

Tiempos empleados en la extracción	
Tiempo de calentamiento del agua	15 min
Tiempo de acondicionamiento	14 min
Tiempo de extracción	90 min
Materia prima y residuo	
Masa de tallos M2	901.2 g
Tamaño de muestra	1 cm
Masa cargada a la torre M3	600 g
Masa del residuo M5	644.3 g
Corrientes de proceso	
Masa de agua cargada a la torre M4	4000 g
Temperatura inicial en la torre T_{inicial}	62 °C
Temperatura del vapor T_{vapor}	93 °C
Masa de agua condensada M10	1450 g
Temperatura de condensado $T_{\text{condensado}}$	26 °C
Volumen de aceite V_{aceite}	4.2 ml

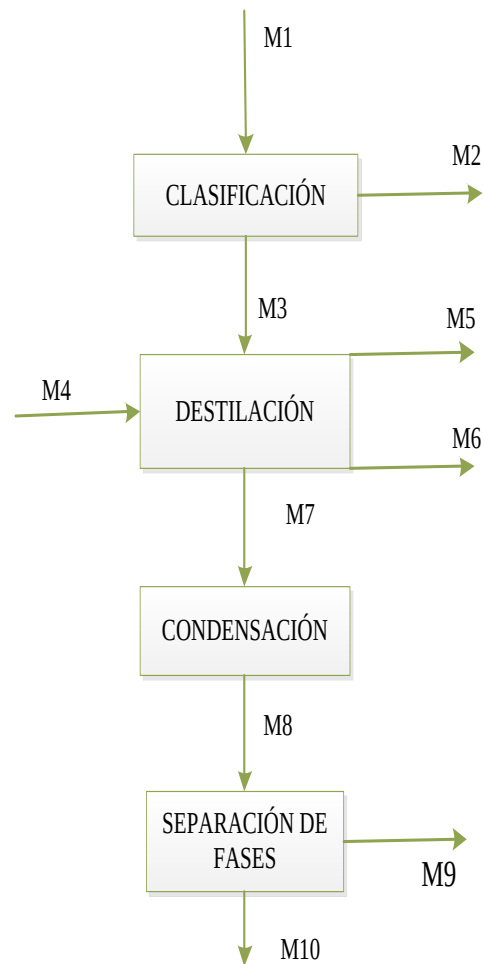
Densidad de aceite ρ_{aceite}	0.8554 g/ml
Masa de aceite obtenido M9	3.59 g
Temperatura de entrada del agua de refrigeración $T_{entrada}$	22 °C
Temperatura de salida de agua de refrigeración T_{salida}	26 °C
Temperatura inicial en el tramo A-B $T_{inicial\ A-B}$	14 °C
Temperatura final en el tramo A-B $T_{final\ A-B}$	20 °C

Fuente: Elaboración propia 2016.

3.5.1. BALANCE DE MATERIA DE LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materiales y energía de un proceso o de una parte de éste. Los balances, se basan en las leyes de conservación de la masa y energía. Estas leyes indican que la masa y energía son constantes y por lo tanto la masa y la energía entrante a un proceso, deben ser iguales a la masa de energía salientes a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso (Valiente, 1994).

En la figura 3-8 se muestra el diagrama de bloques del balance de materia de la obtención de aceite esencial de hierbabuena.

Figura 3-8**Diagrama de bloques del balance de materia del proceso de extracción**

Fuente: Elaboración propia 2016.

Donde:

M_1 : masa de la hierbabuena con tallos y hojas en g.

M_2 : masa de tallos en g.

M_3 : masa cargada a la torre en g.

M_4 : masa de agua cargada a la torre en g.

M_5 : masa del residuo en g.

M_6 : masa de agua en la torre al final del proceso de destilación en g.

M_7 : masa de vapor y aceite en g.

M_8 : mezcla de agua y aceite en g.

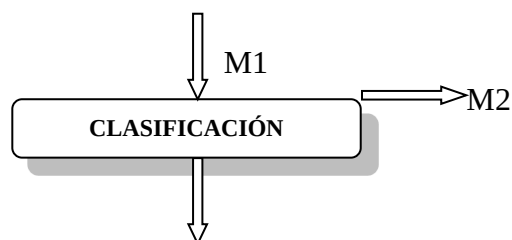
M_9 : masa de aceite obtenido en g.

M_{10} : masa de agua condensada en g.

BALANCE DE MATERIA EN LA CLASIFICACIÓN

Figura 3-9

Balance de materia en la clasificación



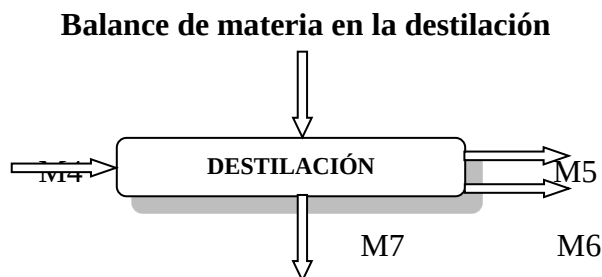
Fuente: Elaboración propia 2016.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_2 + M_3 \\
 M_1 &= 901.2\text{g} + 600\text{g} \\
 M_1 &= 1501.2\text{g}
 \end{aligned}$$

(Ecuación 3-3)

BALANCE DE MATERIA EN LA DESTILACIÓN

Figura 3-10



Fuente: Elaboración propia 2016.

$$M3 + M4 = M5 + M6 + M7 \quad (\text{Ecuación 3-4})$$

Teniendo la masa de agua que se condensa, el agua retenida en el residuo (MR), la masa de agua que se carga en la torre destilación y la masa de aceite esencial obtenida se puede calcular la masa de agua que queda en la torre después del proceso de destilación.

$$M4 = M6 + M10 + MR + M9 \quad (\text{Ecuación 3-5})$$

Donde:

MR: masa de agua retenida en el residuo después del proceso de destilación.

$$MR = 44.3$$

$$M6 = M4 - M10 - MR - M9$$

$$M6 = 4000g - 1450g - 44.3g - 3.59$$

$$M6 = 2502.1g$$

Teniendo M6 se puede calcular M7

$$M7 = M3 + M4 - M5 - M6$$

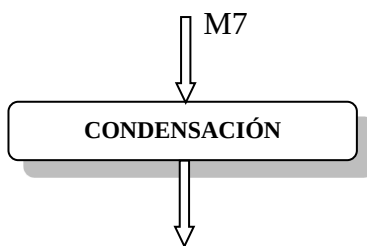
$$M7 = 600g + 4000g - 644.3g - 2502.1g$$

$$M7 = 1453.6g$$

BALANCE DE MATERIA EN LA CONDENSACIÓN

Figura 3-11

Balance de materia en la condensación



Fuente: Elaboración propia 2016.

$$M7 = M8$$

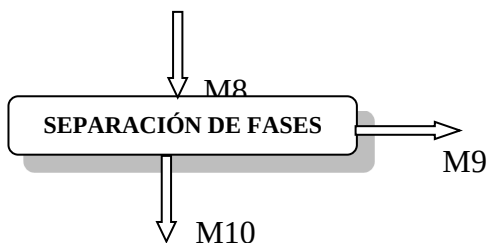
(Ecuación 3-6)

$$M8 = 1453.6\text{g}$$

BALANCE DE MATERIA EN SEPARACIÓN DE FASES

Figura 3-12

Balance de materia en la separación de fases



Fuente: Elaboración propia 2016.

$$M8 = M9 + M10 \quad (\text{Ecuación 3-7})$$

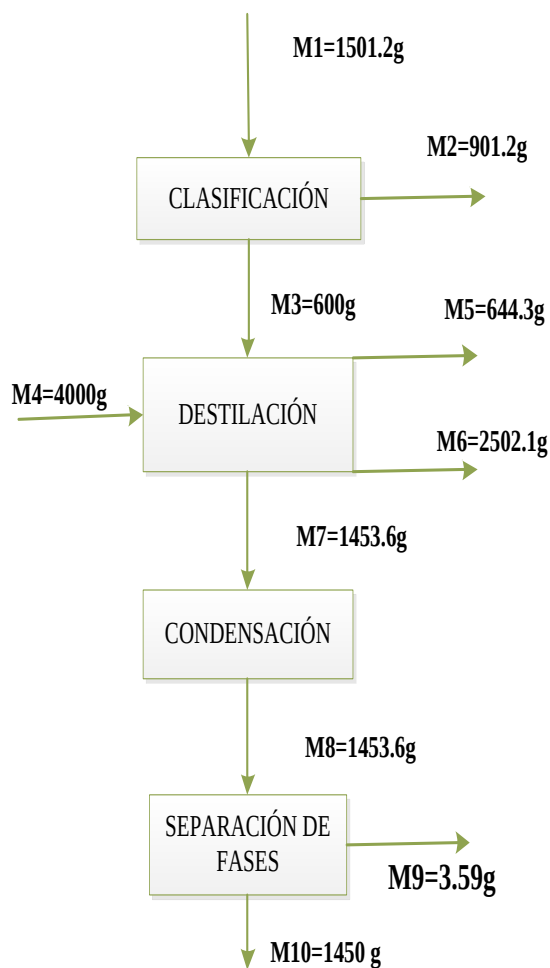
$$M10 = M8 - M9$$

$$M10 = 1453.6\text{g} - 3.59\text{g}$$

$$M10 = 1450.01\text{g}$$

En la figura 3-13 se muestra el resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de hierbabuena

Figura 3-13
Resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de hierbabuena



Fuente: Elaboración propia 2016.

Teniendo todos los datos del balance de materia se puede encontrar la masa de vapor

y el flujo de vapor.

$$M_{\text{vapor}} = M_{10} + M_9 + M_{\text{agua-residuo}} \quad (\text{Ecuación 3-8})$$

$$M_{\text{vapor}} = 1450.01\text{g} + 3.59\text{g} + 44.3\text{g}$$

$$M_{\text{vapor}} = 1497.9\text{g}$$

$$F_{\text{vapor}} = \frac{M_{\text{vapor}}}{t} \quad (\text{Ecuación 3-9})$$

$$F_{\text{vapor}} = \frac{1.4979\text{kg}}{5400\text{s}}$$

$$F_{\text{vapor}} = 2.774 \times 10^{-4} \text{kg/s}$$

3.5.2. BALANCE DE ENERGÍA DE LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA

El balance de energía se realiza en la destilación y en el condensador.

BALANCE DE ENERGÍA EN LA DESTILACIÓN

Calor sensible Q_{sensible} :

$$Q_{\text{sensible}} = m_{\text{agua-cargada-torre}} * C_p * (T_{\text{vapor}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{Ecuación 3-10})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 4\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (93 - 62)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 124\text{kcal}$$

Potencia de la hornalla a gas:

$$P = \frac{Q_{\text{sensible}}}{t_{\text{acondicionamiento}}} \quad (\text{Ecuación 3-11})$$

$$P = \frac{124\text{kcal}}{0.233\text{h}}$$

$$P = 532.189\text{kcal/h}$$

Calor latente para la generación de vapor Q_{latente} :

$$Q_{\text{latente}} = P * t_{\text{extracción}} \quad (\text{Ecuación 3-12})$$

$$Q_{\text{latente}} = 532.189 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 1.5\text{h}$$

$$Q_{\text{latente}} = 798.284\text{kcal}$$

Calor total requerido en la destilación para la extracción Q_{total} :

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}} & (\text{Ecuación 3-13}) \\ Q_{\text{total}} &= 124\text{kcal} + 798.284\text{kcal} \\ Q_{\text{total}} &= 922.284\text{kcal} \end{aligned}$$

Calor latente de vaporización del agua a 93°C $\lambda_{\text{vaporización}}$:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{vaporización}} &= \frac{Q_{\text{latente}}}{M_{\text{vapor}}} & (\text{Ecuación 3-14}) \\ \lambda_{\text{vaporización}} &= \frac{798.284\text{kcal}}{1.4979\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = 532.935\text{kcal/kg}$$

BALANCE DE ENERGÍA EN EL CONDENSADOR

Calor cedido por el vapor Q_{cedido} :

$$\begin{aligned} Q_{\text{cedido}} &= M_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vaporización}} + M_{\text{vapor}} * C_p * (T_{\text{condensado}} - T_{\text{vapor}}) \\ Q_{\text{cedido}} &= 1.4979\text{kg} * 532.935 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 1.4979\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (26 - 93)^{\circ}\text{C} \\ Q_{\text{cedido}} &= 697.924\text{kcal} \end{aligned}$$

Calor recibido por el agua con hielo del tramo A-B $Q_{\text{recibido-A-B}}$:

$$M_{\text{agua-ref}} = 500\text{g}$$

$$Q_{\text{recibidoA-B}} = M_{\text{aguaA-B}} * C_p * (T_{\text{finalA-B}} - T_{\text{inicialA-B}}) \quad (\text{Ecuación 3-15})$$

$$Q_{\text{recibidoA-B}} = 0.5\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (20 - 14)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{recibidoA-B}} = 3\text{kcal}$$

Calor recibido por el agua de refrigeración Q_{recibido} :

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{recibido}} = m_{\text{ref}} * C_p * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}) \quad (\text{Ecuación 3-16})$$

$$m_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{cedido}}}{C_p * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})} = \frac{697.924\text{kcal}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (26 - 22)^{\circ}\text{C}}$$

$$m_{\text{ref}} = 174.481\text{kg}$$

Calor total recibido $Q_{\text{total-recibido}}$:

$$Q_{\text{total-recibido}} = Q_{\text{recibidoA-B}} + Q_{\text{recibido}} \quad (\text{Ecuación 3-17})$$

$$Q_{\text{total-recibido}} = 3\text{kcal} + 697.924\text{kcal}$$

$$Q_{\text{total-recibido}} = 700.924\text{kcal}$$

Porcentaje de transferencia de calor:

$$\% \text{transferencia de calor} = \frac{Q_{\text{cedido}}}{Q_{\text{total-recibido}}} * 100 \quad (\text{Ecuación 3-18})$$

$$\% \text{transferencia de calor} = \frac{697.924 \text{kcal}}{700.924 \text{kcal}} * 100 = 99.57\%$$

Volumen de combustible utilizado V_{comb} :

Poder calorífico del gas natural = 9300kcal/m^3

$$t_{\text{total}} = t_{\text{calentamiento}} + t_{\text{acondicionamiento}} + t_{\text{extracción}} \quad (\text{Ecuación 3-19})$$

$$t_{\text{total}} = 0.25 \text{h} + 0.233 \text{h} + 1.5 \text{h} = 1.983 \text{h}$$

$$V_{\text{comb}} = \frac{P * t_{\text{total}}}{\text{poder calorífico}} \quad (\text{Ecuación 3-20})$$

$$V_{\text{comb}} = \frac{532.189 \text{kcal/h} * 1.983 \text{h}}{9300 \text{kcal/m}^3} = 0.113 \text{m}^3$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados del balance de energía.

Tabla III-23
Resultados del balance de energía

TÉRMINO	VALOR
Calor sensible	124 kcal
Calor latente	798.284 kcal
Calor total	922.284 kcal
Calor latente de vaporización del agua a 93 °C	532.935 kcal/kg
Calor cedido	697.924 kcal
Calor recibido	700.924 kcal
% de transferencia de calor	99.57 %
Potencia de la hornalla	532.189 kcal/h
Volumen de combustible utilizado para una extracción.	0.113 m ³

Fuente: Elaboración propia 2016.

3.5. PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBABUENA COMO AROMATIZANTE DE ALCOHOL EN GEL

Existen diversas formas de hacer alcohol en gel, pero este no es objeto de estudio del presente trabajo de investigación, lo que se pretende es darle una aplicación al aceite esencial de hierbabuena obtenido.

Una de ellas es usando alcohol etílico, carbopol, trietanolamina y glicerina.

Teniendo el alcohol en gel sin aroma, se añade el aceite esencial y se agita, para luego colocarlo en un recipiente cerrado.

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

CAPÍTULO IV

COSTOS

4.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

A partir del balance de materia y energía del proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena se calcula de forma estimativa el costo del aceite esencial de hierbabuena.

Los costos de producción considerados en el trabajo de investigación se muestran a continuación en las tabla IV-1, tabla IV-2, tabla IV-3 y tabla IV-4.

Tabla IV-1
Costos de materia prima e insumos

Ítem	Detalle	Medida	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1	Hierbabuena	Kg	1.5	20	30
2	Hielo	Unidad	1	10	10
3	Sulfato de sodio anhidro	G	10	0.704 bs/g	7.04
				Total	47.04

Fuente: Elaboración propia 2016.

El manojo de 50 g de hierbabuena en el mercado campesino lo venden a 1bs, por lo tanto el kilogramo a 20 bs.

El precio del sulfato de sodio anhidro se lo obtuvo de datos del laboratorio de química.

Tabla IV-2
Costos de consumo de agua y gas

Ítem	Detalle	Medida	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1	Gas	m ³	0.113	1.02 bs/m ³	0.12
2	Agua	m ³	0.178	0.73 bs/m ³ +15.82bs	15.95
				Total	16.07

Fuente: Elaboración propia 2016.

En el proceso de obtención de aceite esencial de hierbabuena se usó GLP (gas licuado de petróleo). La garrafa se compró a 25 bs, una garrafa de 10 kg contiene 220000

calorías que equivale al poder calórico de 24.4 m³ de gas natural.

Los 15.82 bs adicionales del costo de agua son por cargo fijo de alcantarillado

Tabla IV-3
Costos de almacenamiento de producto

Ítem	Detalle	Medida	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1	Frascos de vidrio	Unidad	1	5	5
				Total	5

Fuente: Elaboración propia 2016.

Tabla IV-4
Costo total del proyecto de investigación

Costos subtotales	Precio (Bs)
Costos de materia prima e insumos	47.04
Costo de consumo de agua y gas	16.07
Costos de almacenamiento de producto	5
Total	68.11

Fuente: Elaboración propia 2016.

Con el dato de la tabla IV-4 se concluye que el costo total para extraer 4.2 ml de aceite esencial de hierbabuena es de 68.11 bs; es decir el costo del aceite esencial de hierbabuena es de 162.17 bs por 10 ml.

4.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL ESTUDIO DEL PROYECTO

Los costos considerados en el trabajo de investigación se muestran a continuación en las tabla IV-5, tabla IV-6, tabla IV-7 y tabla IV-8.

Tabla IV-5
Costos de análisis cromatográficos

Ítem	Análisis	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total(Bs)
1	Cromatografía gaseosa GC/MS	1	1500	1500
			Total	1500

Fuente: Elaboración propia 2016.

Tabla IV-6
Costos adicionales

Ítem	Detalle	Medida	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
1	Arreglo de la cámara de extracción	Unidad	2	50	100
2	Envío de muestra a Cochabamba	Unidad	1	50	50
				Total	150

Fuente: Elaboración propia 2016.

Tabla IV-7
Costos de material de escritorio

Ítem	Detalle	Medida	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio (Bs)
1	Acceso a internet	Horas	400	3	1200
2	Empastado ejemplares	Unidad	3	50	150
3	Impresión de ejemplares (finales y borradores)	Unidad	6	70	420
				Total	1170

Fuente: Elaboración propia 2016.

Tabla IV-8
Costo total del proyecto de investigación

Costos subtotales	Precio (Bs)
Costos de análisis cromatográfico	1500
Costos adicionales	150
Costos de material de escritorio	1170
Total	3420

Fuente: Elaboración propia 2016.

Como puede observarse en la tabla IV-8, el costo total invertido en este proyecto de investigación es de 3420 Bs, costo total cubierto por el investigador.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la propuesta y diseño experimental planteado para ejecutar el proyecto, se ha obtenido el aceite esencial de hierbabuena, por el método de arrastre de vapor y haciendo uso del equipo de destilación que tiene el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química.
- La composición de la hierbabuena según bibliografía es del 40-60 % de mentol, 10 a 20 % de mentona, 1-2 % de mentofurano y 8 % en monoterpenos tales como pineno y limoneno. Se consideran los datos de bibliografía ya que en Bolivia no existen laboratorios con los equipos necesarios para determinar la composición de la materia prima.
- Para la caracterización física de la materia prima se determinó que el porcentaje de humedad por los dos métodos realizados son similares, teniendo una humedad de la hierbabuena de 77.64 % usando el analizador infrarrojo SARTORIUS 100 y una humedad de 76.55 % usando el método gravimétrico en estufa a 105°C.
- De acuerdo a las características físicas que se determinaron en la hierbabuena se tiene que la humedad en la hierbabuena de Tarija es de 76.55%. Comparando este dato con los de bibliografía que varían entre 80.56 % y 92 % se concluye que la diferencias de humedad se debe a las diferentes temperaturas y humedades del ambiente considerando que dichos estudios fueron realizados en diferentes países.
- Se validó el proceso experimental con la obtención del aceite esencial de hierbabuena, siguiendo las etapas del proceso de extracción de aceite esencial proporcionado en la bibliografía.
- Se determinó como variables el tamaño de la muestra y la masa de la hierbabuena, que influyen directamente sobre el rendimiento expresado en volumen de aceite esencial de hierbabuena/masa de la muestra.

- Se determinó el tiempo de extracción del aceite esencial de hierbabuena el cual es de 60 min, igual al consultado en bibliografía.
- El rendimiento del aceite esencial de hierbabuena de Tarija es del 0.70 % en volumen de aceite esencial ml/masa de la muestra; datos bibliográficos dicen que el rendimiento de este aceite esencial varía entre 0.5 % y 1 %, es decir, el rendimiento del aceite esencial de hierbabuena de Tarija está dentro del rango esperado.
- Empleando los tallos para la extracción de aceite esencial de hierbabuena se obtiene un rendimiento cercano a cero. En el matraz Erlenmeyer se obtiene solo trazas de aceite esencial, los cuales eran imposibles de separar de la fase acuosa.
- La extracción de aceite esencial de hierbabuena usando las hojas, a un tamaño de 1 cm tiene un rendimiento de 0.667 % en volumen de aceite esencial ml/masa de la muestra y a un tamaño de 3 cm 0.583 %. Con esto se concluye que a menor tamaño de la muestra mayor es el rendimiento, ya que mayor será el área de contacto entre la hierbabuena y el vapor de agua.
- Usando 600 g de muestra se obtiene un rendimiento de 0.667 % en volumen de aceite esencial/100 g de muestra y con una masa de 450 g se tiene un rendimiento de 0.689% en volumen de aceite esencial/100 g de muestra; es decir, a menor masa mayor el rendimiento.
- El aceite esencial de hierbabuena obtenido presenta un color ligeramente amarillo, un olor fuerte penetrante a menta y un aspecto líquido; los mismos que coinciden con los resultados de la bibliografía.
- La densidad relativa del aceite esencial de hierbabuena de Tarija es de 0.901 g/ml y el índice de refracción es de 1.4675; comparándolos con los datos de bibliografía se determina que se encuentran dentro de los rangos.
- Con los resultados del análisis de cromatografía gaseosa acoplada a espectroscopía de masas, se determina la calidad del aceite esencial, este presenta una abundancia de mentol del 44.78%, un 12.22% de mentona, 11.9% de cineol 11.81% de metil acetato y 6.87% de isomentona.

5.2 RECOMENDACIONES

- Elevar el estudio de costos de producción de aceite esencial de hierbabuena, ya que en el presente trabajo solo se realizó una estimación de costos.
- Realizar una investigación más profunda sobre las aplicaciones y usos del aceite esencial de hierbabuena.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alankar S. (abril de 2009). A review peppermintoil. Department of Pharmaceutical Analysis, B.R. Nahata college of Pharmacy, Mhow Neemuch Road, Mandsaur (M.P). Mandsaur-India.
2. Barba, L. (2013). *Destilación por arrastre con vapor, laboratorio de química*. Instituto tecnológico de estudios superiores de Monterrey Campus Puebla Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas Departamento de biotecnología.
3. Carlos Roberto (13 de enero de 2014). *Cómo hacer jabones aromáticos de forma fácil*. Fecha de consulta 20 de abril de 2016 en:
<http://vive00.sanmiguel00.es/2014/01/13/como-hacer-jabones-aromaticos-en-casa/>
4. De la Fuente Carlos (2006). *Cultivo de menta*. Fecha de consulta 20 de junio de 2015 en:
www.agro.unc.edu.ar/~cultivosintesivos/.../Cultivo-de-Menta.doc
5. Fajardo Medina, G. E. (2002). *Manual agropecuario. Editorial Hogares Campesinos Juveniles* 1ª ed. Bogotá-Colombia.
6. González A. (2004). *Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas*. Universidad nacional de Colombia sede Manizales departamento de Ingeniería Química.
7. Gustavo A. Fester. (2010). *Aceite esencial de Mentha Pulegium L.* Facultad de Cs.

Exactas y Naturales y Agrimensura – UNNE. Corrientes-Argentina 2010.

8. Ing. Ismael Acosta (2015), *menta* sp.

9. León Morán, T.M. (2005). *Extracción de aceite esencial crudo de hierbabuena (mentha citrataehrh.) con la aplicación del método de extracción por arrastre con vapor variando los tamaños de muestra y humedad a partir de pruebas a nivel laboratorio.* TRABAJO DE GRADUACIÓN (ingeniero químico). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Química. Guatemala.

10. León A. (2009). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta extractora de aceites esenciales.* Universidad técnica del norte Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales. Ibarra-Ecuador.

11. Lilia Alcaraz Meléndez 2012. *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas.* Fecha de consulta 20 de junio de 2015 de.

<http://store.scent-works.com/oilexme.html>

12. Paredes D (2010). *Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales.* Escuela superior politécnica de Chimborazo facultad de mecánica escuela de ingeniería mecánica. Ecuador.

13. Pengelly, A. (1996). *The constituents of Medicinal Plants.* Editorial Cabi Publishing, U. K. 2nd Edición República Oriental del Uruguay.

14. Pedraza R. (18 de febrero de 2008). *Composición del tejido vegetal y su relación*

con variables de crecimiento y niveles de nutrientes en el suelo en cultivos comerciales de menta (Mentha spicata L.). Fecha de consulta 16 de junio de 2015 de:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200003

15. Rodríguez M. (2012). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. Créditos de la edición: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional No. 195 Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. La Paz, Baja California Sur, México. Editor. Primera edición.

16. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA 2000) *Introducción a la industria de los aceites esenciales de plantas medicinales y aromáticas*. By Sistema de Bibliotecas SENA is licensed under a Creative Commons. Bogotá- Colombia.