

# **INTRODUCCIÓN**

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

La albahaca es una planta aromática de cultivo anual y tamaño medio perteneciente a la familia de las Labiadas, de gran abundancia en la costa mediterránea, su nombre científico es *Ocimum Basilicum*. Esta hierba es utilizada en algunas comidas como condimento; también como remedio casero para problemas digestivos (Región de Murcia digital).

En el ámbito agrícola como insecticida natural procedente de los aceites esenciales de albahaca, una de las entidades que lo desarrolló fue el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Alimentario (IMIDA); una aplicación popular muy extendida es colocar macetas o matas de albahaca en huertos y terrazas como insecticida, ya que su olor intenso y dulce repele a los insectos, por lo que es merecedora de gran difusión mediante sistemas de producción controlados, para su introducción al mercado interno, y con vistas de exportar a los mercados internacionales con gran demanda de este producto (Rojas, R.).

Las propiedades de la albahaca se centran en sus hojas y flores, que se pueden utilizar en infusión a partir de la planta seca o fresca, y de donde se puede extraer el aceite esencial. El método más común para extraer aceite esencial es el de arrastre con vapor de agua, este aceite es utilizado en gastronomía como condimento, en la industria farmacéutica como estimulante, antiespasmódico, anti alopécico y en la industria de perfumería para aromatizar cosméticos y perfumería fina (Rodríguez, M.).

Este líquido destilado de albahaca es rico en metilclavicol, linalol, eugenol, cineol y además contiene saponinas, lo que confiere a la planta diversas propiedades internas tales como digestivas, antiespasmódicas, sedantes o contra la desnutrición, debiendo controlar la dosis aplicada para evitar los efectos narcóticos que produce. Además externamente se emplea de analgésico o calmante para el tratamiento muscular y como antiséptico. La planta contiene también taninos, ácidos orgánicos, sales

minerales y vitaminas que justifican su consumo alimentario (Región de Murcia digital).

El aceite esencial es de color amarillo pálido y tiene un olor nítido muy agradable, rico, refrescante, dulce y picante. Se utiliza con frecuencia en la aromaterapia, ya que aclara la mente y estabiliza los nervios mientras que alivia la congestión nasal, baja la fiebre y ayuda en el tratamiento de problemas menstruales.

**Tabla 1. Composición nutritiva por cada 100 gr. de parte comestible de albahaca.**

Componentes	Contenido	Unidad
Energía	337,0	Kcal
Humedad	9,5	g
Fibra cruda	14,6	g
Ceniza	7,0	g
Hidratos de carbono	50,0	g
Proteína	17,6	g
Lípidos	15,9	g
Calcio	646,0	mg
Fósforo	440,0	mg
Hierro	40,0	mg
Magnesio	170,0	mg
Sodio	16,0	mg
Potasio	14,4	mg
Zinc	5,3	mg
Vitamina A	750,0	ug
Vitamina C	27,0	mg

Fuente: Laboratorio AVRDC Taiwán, 2002.

En la Ciudad de Tarija se cultiva albahaca en el Valle Central, el cual se encuentra compuesto por las siguientes provincias: Cercado, Avilés, parte de las provincias Méndez y Arce.

Esta hierba abunda en la época de carnaval, siendo protagonista importante de dicha fiesta; sin embargo se encuentra albahaca en menor cantidad en otras épocas del año para aplicarla como condimento en algunas comidas nacionales como las humitas o en platos internacionales.

Alrededor del mundo existen diversas empresas que se dedican a la producción de

aceites esenciales, entre los que se encuentra el aceite esencial de albahaca. Algunas de estas empresas se mencionan a continuación:

**Tabla 2. Empresas productoras de aceite esencial de albahaca.**

<b>EMPRESA PRODUCTORA</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PRESENTACIÓN</b>
MARNYS	10,95 euros. / 80,99 Bs.	botella de 15 ml.
Drogueria Cosmopolita.	74,12 pesos mexicanos. / 33,12 Bs.	Botella de 30 ml.
Gran Velada.	8 euros. / 59,18 Bs.	Botella de 30 ml.
Jabonarium.	3,5 euros. / 25,89 Bs.	Botella de 30 ml.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos que se buscan cumplir en la presente investigación son los que se mencionan a continuación.

### **OBJETIVO GENERAL**

Extraer a escala laboratorio aceite esencial de hojas de albahaca, empleando el método de destilación agua-vapor.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima, hojas de albahaca.
- Determinar las variables de operación para extraer aceite esencial de albahaca por el método de destilación por arrastre de vapor en las condiciones ambientales de la ciudad de Tarija.
- Caracterizar el aceite esencial obtenido de especies de albahaca a través de análisis fisicoquímicos.
- Determinar las condiciones adecuadas para el almacenamiento del aceite esencial de albahaca.
- Determinar el rendimiento del aceite esencial de hojas de albahaca.

## JUSTIFICACIÓN

La albahaca es una hierba aromática que es utilizada en varios ámbitos; por otra parte, su aceite esencial está empezando a despertar el interés de productores de cosméticos, perfumes y productos de higiene y belleza debido a su alto porcentaje de linalol que se encuentra en sus hojas y que le confiere su aroma agradable . Otro ámbito que abarca el aceite esencial de albahaca es el agroquímico siendo empleado como insecticida natural.

El presente trabajo presenta los siguientes impactos:

- Socio-económico, genera ingresos a los proveedores de materia prima y productores de aceite esencial de albahaca.
- Tecnológico-industrial, como materia prima para diferentes industrias como: farmacéutica, cosmética, agroquímica, etc.
- Medio ambiental, si se implementa en la fabricación de repelentes de insectos como un sustituto de los que contaminan el medio ambiente, contribuirá a la reducción de la contaminación medio ambiental.

El mercado de los aceites esenciales está en continuo crecimiento debido a sus beneficios en aromaterapia, gastronomía, farmacéutica, etc. Es por este motivo que se desea elaborar un aceite esencial que pueda ser beneficioso para alguno de estos campos. En las siguientes tablas se puede observar el incremento de mercado de aceites esenciales en el mundo, a nivel MERCOSUR y en el país de Bolivia.

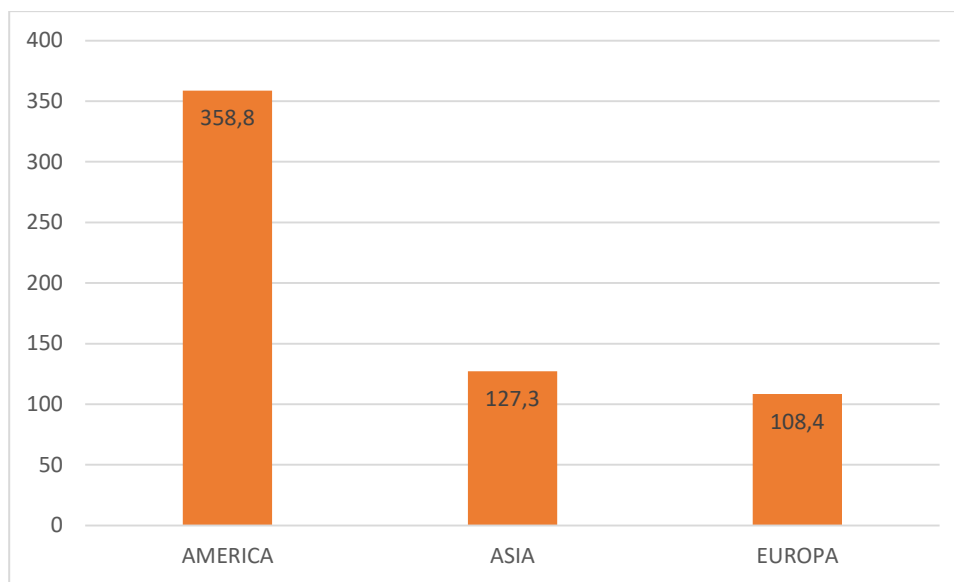
## Importación y exportación de aceites esenciales en el mundo

**Tabla 3. Principales países exportadores de aceites esenciales**

Exportadores	2006		2007		2008	
	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$
Estados Unidos	32,3	357,5	33,1	403,0	34,5	431,2
India	14,2	222,0	17,6	291,2	19,6	382,8
Francia	6,3	216,2	6,4	253,1	6,0	291,2
Brasil	78,5	130,3	75,7	147,0	72,5	155,4
Indonesia	4,6	67,3	4,9	101,1	4,4	147,1
Reino Unido	6,7	119,1	7,1	134,5	7,6	143,4
Alemania	5,1	72,3	5,9	92,3	7,6	126,1
China	18,9	115,9	15,4	115,8	13,2	115,1
Argentina	6,2	102,6	6,2	119,7	4,7	108,7
Italia	3,2	53,7	3,7	73,5	3,6	90,2
Singapur	3,9	54,5	4,7	74,3	5,9	83,6
Suiza	1,3	44,1	1,4	53,1	1,4	79,5
España	3,1	50,0	3,2	62,2	2,7	72,7
Países Bajos	8,5	59,2	9,7	59,6	7,9	71,8
México	4,4	51,5	5,1	59,8	5,6	59,2

Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.

**Gráfico 1. Exportadores de aceites esenciales**



Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.

**Tabla 4. Principales países importadores de aceites esenciales**

Importadores	2006		2007		2008	
	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$
Estados Unidos	37,5	429,9	48,2	466,6	44,4	572,1
Francia	9,1	216,2	9,6	267,4	8,1	310,4
Reino Unido	15,7	196,1	15,1	212,2	15,6	228,4
Alemania	15,6	137,6	22,4	179,3	18,9	222,8
Japón	11,9	126,4	13,6	154,1	8,5	156,6
Suiza	6,1	106,3	6,2	133,2	5,8	155,1
Países Bajos	12,0	87,5	14,5	89,9	10,7	109,6
China	9,7	84,2	11,4	108,2	11,1	129,5
Singapur	6,7	71,7	8,0	99,3	10,9	117,5
Irlanda	2,8	86,4	2,2	66,1	2,6	55,9
México	4,3	64,1	4,1	73,2	4,0	77,1
España	5,4	48,3	5,2	62,1	6,1	81,6
Brasil	2,8	52,9	3,1	57,2	2,5	56,0
India	3,5	34,0	3,4	45,3	4,4	73,7
Italia	3,3	32,2	3,5	41,6	3,2	51,0

Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.

**Gráfico 2. Importadores de aceites esenciales**

Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.

## Aceites esenciales en el MERCOSUR

**Tabla 5. Exportaciones a nivel MERCOSUR de aceites esenciales.**

Año	2005		2006		2007		2008		2009	
	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$	Ton	Miles US\$
Brasil	74,4	105,7	78,6	130,6	75,7	147,0	72,5	155,4	68,7	126,4
Argentina	6,3	96,7	6,2	102,6	6,2	119,7	4,7	108,7	5,7	141,1
Paraguay	1,2	9,0	1,1	9,8	1,0	10,7	0,9	9,9	0,7	9,2
Uruguay	0,2	0,9	0,1	1,0	0,2	1,5	0,1	0,8	0,2	1,6
Chile	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	0,5	0,2
Bolivia	0,04	0,3	0,03	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
<b>Total</b>	<b>82,4</b>	<b>212,8</b>	<b>86,1</b>	<b>244,4</b>	<b>83,7</b>	<b>279,2</b>	<b>78,7</b>	<b>275,2</b>	<b>75,7</b>	<b>278,7</b>

Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.

Los precios que se manejan de aceites esenciales en el MERCOSUR se pueden observar en la Tabla 6.

**Tabla 6. Precios de aceites esenciales en el MERCOSUR (US\$/Kilo).**

Importadores	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Brasil	15	18	18	23	23	19,4
Argentina	10	13	13	16	17	13,8
Paraguay	2	3	4	3	3	3
Uruguay	16	13	19	21	31	20
Chile	11	13	12	14	16	13,2
Bolivia	7	11	10	9	17	10,8

Fuente: Fretes, F. USAID, 2011.



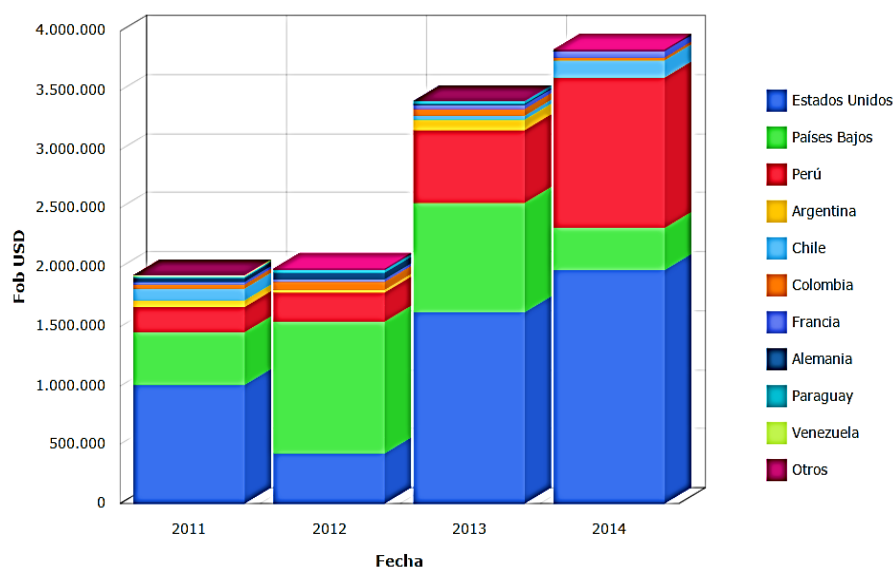
Aceites esenciales en Bolivia

**Tabla 7. Exportaciones de aceites esenciales y resinoides de Bolivia.**

País Importador	FOB USD			
	2011	2012	2013	2014
Estados Unidos	1011150	426402	1617487	1974020
Países Bajos	439221	1117598	928759	362258
Perú	209000	245688	612273	1268977
Argentina	62572	15899	90789	55
Chile	104735	40	35006	153079
Colombia	28264	71160	51652	20929
Francia	26186	26285	43655	47846
Alemania	29456	52541	6926	-
Paraguay	7854	17631	15936	8352
Venezuela	9891	-	-	-
Otros	2224	13488	8671	12001
<b>Total</b>	<b>1930553</b>	<b>1986696</b>	<b>3411154</b>	<b>3847517</b>

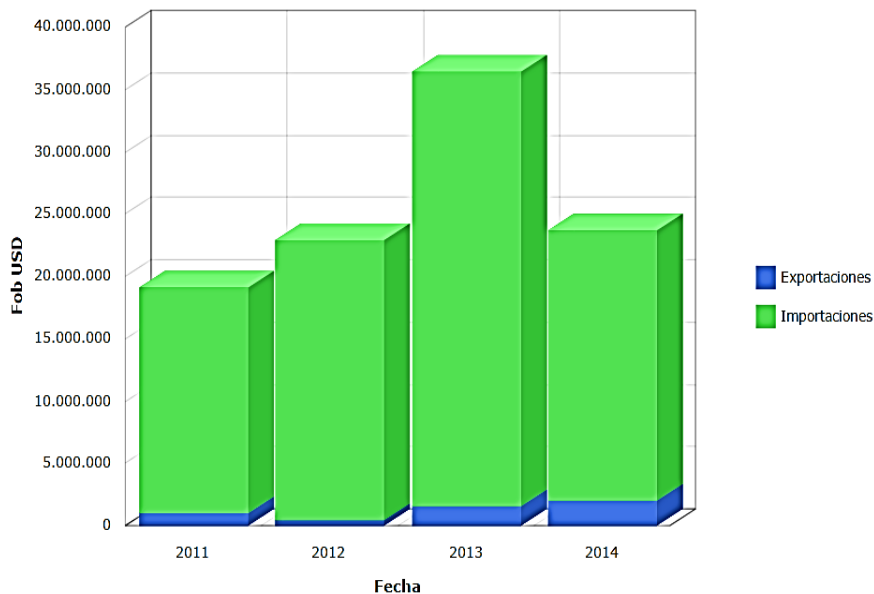
Fuente: Servicios de búsqueda de negocios, 2014.

**Gráfico 3. Exportaciones de aceites esenciales y resinoides de Bolivia.**



Fuente: Servicios de búsqueda de negocios, 2014.

**Gráfico 4. Importaciones y exportaciones de aceites esenciales y resinoides de Bolivia.**



Fuente: Servicios de búsqueda de negocios, 2014.

### **Aceite esencial de albahaca en el mundo**

Los países con mayor producción de aceite esencial de albahaca son los siguientes:

#### **India**

La India es el país líder en producción de aceites esenciales y entre los cinco principales aceites que produce se encuentra el aceite de albahaca.

La producción de aceite esencial se realiza con dos tipos de albahaca:

- Albahaca Europea (albahaca dulce): contiene más de 50 % de linalol.
- Albahaca Reunion: contiene mayor porcentaje de estragol (metil clavicol).

El aceite producido en este país se utiliza como saborizante, en la fabricación de cosméticos y como repelente de moscas.

En el año 2011 la producción estimada fue de 500 toneladas, y el precio del aceite esencial de albahaca en 2015 fue de 13,4 dólares americanos / kilogramos.

(CIMAP, 2014).

### **Estados Unidos**

En el año 2005 la producción de aceite esencial de albahaca fue de 43 toneladas, representando un valor monetario de 65100 dólares americanos / tonelada.

El aceite producido es empleado como saborizante de comidas, para la fabricación de productos dentales y en perfumería. (Fao, 2005).

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ALBAHACA**

La albahaca es una planta aromática de cultivo anual y tamaño medio perteneciente a la familia de las Labiadas, de gran abundancia en la costa mediterránea.

Su bello porte llega a alcanzar el metro de altura presentando múltiples tallos rectos rebosantes de hojas grandes de unos 5 cm de longitud, con forma alargada rematada por bordes dentados, tacto aterciopelado, una tonalidad verde brillante algo más oscura por el envés y que despiden un intenso aroma.

Sus flores nacen en grupos de 6 en forma de espiga, aspecto tubular, color blanco o rosado y hasta 1 cm de corola.

La albahaca crece preferentemente en climas cálidos, ya que no sobrevive a las heladas, cultivándose exclusivamente por semillas que se plantan inicialmente en invernadero desde principios de la primavera hasta finales del verano. Su hábitat ideal son los suelos fértiles, poco compactos y húmedos, con luz solar directa en invierno y algo de sombra en las épocas de más calor, evitando así que amarilleen sus hojas (Región de Murcia digital).

**Figura 1. 1. Planta de albahaca**



Fuente: Página web. Disponible en:  
[www.regmurcia.com](http://www.regmurcia.com)

## **1.2 TIPOS DE ALBAHACA MAS COMUNES**

A continuación se presentan los cinco tipos de albahaca más comunes:

### **Albahaca dulce o Genovesa (*Ocimum Basilicum*)**

La albahaca dulce es originaria de la India y es también nativa de las regiones tropicales de Asia, donde se ha cultivado desde hace más de 500 años

Este tipo de albahaca es de hojas grandes de color verde es la variedad más común, empleada para cocinar. Es una planta vigorosa que crece a una altura de 61 cm. (Masley, S.)

**Figura 1. 2. Albahaca dulce**



Fuente: Página web. Disponible en:  
<https://forestgardenblog.wordpress.com/2013/07/10/bountiful-basil/>

**Albahaca Tailandesa (*O. basilicum* var. *thyrsoiflora*)**

La albahaca tailandesa es una planta robusta y compacta, que crece hasta 45 cm, tiene hojas brillantes, ligeramente dentadas y estrechas de color verde con un olor dulce, y toques de regaliz o anís.

Este tipo de albahaca tiene un tallo de color púrpura, y al igual que otras plantas de la familia de la menta, el tallo es cuadrado. Sus hojas son opuestas su inflorescencia es de color púrpura, y las flores son de color rosa. (Masley, S.)

**Figura 1. 3. Albahaca Tailandesa**



Fuente: Página web. Disponible en:

<http://www.bonappetit.com/test-kitchen/ingredients/article/thai-basil>

Albahaca limón (*Ocimum × citriodorum* )

La albahaca limón se cultiva principalmente en el noreste de África y el sur de Asia y se utiliza en la cocina por su fuerte olor a limón.

Este tipo de albahaca tiene tallos que pueden crecer hasta 20-40 cm de altura. Tiene flores blancas a finales de verano y principios del otoño. Las hojas son similares a las hojas de albahaca dulce, pero tienden a ser más estrechas con los bordes ligeramente dentados. Las semillas se forman en la planta después de la floración. Es una hierba popular en Indonesia, Laos, Malasia, persa y Tailandia. (Masley, S)



**Figura 1. 4. Albahaca limón**



Fuente: (Masley, S.), 2016.

#### Albahaca sagrada o tulsi (*Ocimum tenuiflorum*)

Es llamada la albahaca morada, o tulsi es una planta aromática de la familia Lamiaceae que es nativa del subcontinente indio y extendido como una planta cultivada en las regiones tropicales del sudeste asiático. Es un arbusto erecto, muy ramificado, de 30-60 cm de altura, con tallos y hojas simples de color verde o moradas que están fuertemente perfumadas.

Las hojas tienen pecíolos y son ovaladas, de hasta 5 cm de largo, por lo general ligeramente dentadas. Las flores son de color púrpura en racimos alargados en verticilos cercanos. Los dos principales morfo tipos cultivados en la India y Nepal son de color verde hoja ancha.

Este tipo de albahaca se cultiva con fines religiosos, medicinales y por su aceite esencial. Es ampliamente conocido en todo el subcontinente indio como una planta medicinal, que tiene un papel importante dentro de la tradición Vaishnava del hinduismo, esta planta es venerada como un elixir de la vida en la que los devotos realizan el culto que involucra plantas de albahaca sagrada. (Renter, E)

**Figura 1. 5. Albahaca sagrada**



Fuente: (Renter, E.), 2013.

**Albahaca azul africana (*Ocimum basilicum kilimandscharicum* × *Dark Opal*)**

La albahaca azul africana es uno de los pocos tipos de albahaca que son perennes. Es un híbrido estéril de otras dos razas de albahaca, incapaz de producir semillas por si misma por lo que se propaga por esquejes.

Esta raza particular de albahaca tiene un fuerte olor a alcanfor, es nacida en África Oriental. La concentración de alcanfor es del 22% y contienen otros compuestos que le confieren su aroma como ser linalol 55%, y 1,8-cineol 15%.

Aunque la combinación de una planta perenne con el aroma y el sabor de la albahaca dulce parece que sea una variedad culinaria muy deseable, el alto contenido de alcanfor puede interferir con su uso en la cocina.

Las hojas de albahaca azul africana inicialmente son de color púrpura, y cuando crecen hasta alcanzar su tamaño completo se tornan de color verde, pero mantienen sus venas de color púrpura.

**Figura 1. 6. Albahaca azul Africana**



Fuente: Página web. Disponible en:

<http://www.guiadejardineria.com/conoce-la-albahaca-perenne/>

### **1.3 TIPOS DE ALBAHACA EN LA CIUDADA DE TARIJA**

Según información brindada por el Ing. Gilberto Varas en la Ciudad de Tarija existen dos especies de albahaca con los siguientes nombres científicos:

➤ *Ocimum Basilicum* L.

Es una planta que alcanza una altura entre 30-60 cm, es muy aromática y presenta hojas ovaladas, sus flores de color blanco y algunas ligeramente color rosado. Esta es la variedad empleada para la extracción de aceite esencial de albahaca en la presente investigación.

**Foto 1.1. Albahaca *Ocimum Basilicum* L.**

➤ *Ocimum kilimandscharicum*

En inglés se llama camphor basil - albahaca alcanfor debido a su alto porcentaje de alcanfor, sus hojas son pubescentes y de color verde, presenta flores de color blanco y ligeramente coloreadas en un tono lila suave en los extremos.

#### **1.4 TAXONOMÍA DE LA ALBAHACA *Ocimum basilicum* L.**

La taxonomía de la albahaca que existe en la Ciudad de Tarija y que es materia prima de la presente investigación fue realizada por el Ing. Ismael Acosta, la cual se encuentra adjunta en el Anexo 3 y es la siguiente:

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Subdivisión: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Subclase: Dicotyledoneae.

Grado evolutivo: Metachlamideae.

Grupo de órdenes: Tetracíclicos.

Orden: Escrophulariales.

Familia: Lamiaceae.

Nombre científico: *Ocimum basilicum* L.

Nombre común: Albahaca.

## 1.5 USOS DE LA ALBAHACA

**Tabla I- 1. Usos de la albahaca.**

USOS	
------	--

<b>Usos medicinales</b>	La planta tiene diversas propiedades internas tales como digestivas, antiespasmódicas, contra los gases, sedantes o contra la desnutrición. Además externamente se emplea de analgésico o calmante para el tratamiento muscular y como antiséptico.
<b>Usos agrícolas</b>	La albahaca es una hierba utilizada como insecticida natural por considerarse inocuo para el ser humano y el medio ambiente por su volatilidad.
<b>Usos en gastronomía</b>	Se considera a la albahaca un ingrediente insustituible de muchas comidas por su fuerte aroma, su sabor dulce y su sensación refrescante, que alcanza notas picantes en los tallos más viejos.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 1.6 ACEITE ESENCIAL

Los Aceites Esenciales se definen como mezclas de componentes volátiles, productos del metabolismo secundario de las plantas. Se encuentran muy difundidos en el reino vegetal; de las 295 familias de plantas, de 60 a 80 producen aceites esenciales. Las principales plantas que contienen aceites esenciales, se encuentran en familias como: compuestas, labiadas, lauráceas, mirtáceas, rosáceas, rutáceas, umbelíferas, pináceas. Los aceites esenciales están contenidos en semillas, glándulas, pelos glandulares, sacos, o venas de diversas piezas de la planta (Arraiza, M.).

## 1.7 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son de aspecto oleoso, altamente volátiles, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y demás solventes orgánicos; insolubles en agua aunque le transmiten su perfume; son inflamables, responsables del aroma de las plantas, colores y sabores, a veces dulces o amargos, con densidad generalmente inferior a la del agua. Están compuestos en su mayor parte por hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los terpenos que se encuentran

con otros compuestos, casi siempre oxigenados (Arraiza, M.).

## 1.8 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los componentes de los aceites esenciales se clasifican en terpenoides y no terpenoides.

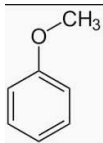
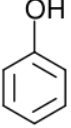
- No terpenoides: En este grupo tenemos sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones.
- Terpenoides: Son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialmente. Los terpenos derivan, de unidades de isopreno ( $C_5H_8$ ) unidas en cadena; principalmente los encontramos en los aceites esenciales monoterpenos, sesquiterpenos y los diterpenos. Pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos (Arraiza, M.). Grupo al que pertenece el aceite esencial de albahaca, dichos compuestos le confieren sus propiedades en aromaterapia, medicina, etc.

Según los grupos funcionales que tengan pueden ser:

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

**Tabla I- 2. Grupos funcionales y sus propiedades.**

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
-----------	-----------------	---------	-------------

Alcohol	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico.
Aldehído	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	Citral, citronelal.	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{R}' \end{array}$	Alcanfor, tuyona.	Mucolítico, regenerador, celular, neurotóxico.
Éster	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{R}' \end{array}$	Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éteres	$\begin{array}{c}   \quad   \\ -\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\   \quad   \end{array}$	Cineol, Ascariol.	Expectorante, estimulante.
Éter fenólico		Safrol, anetol, miristicina.	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante.
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol.	Antimicrobiano, irritante, estimulante inmunológico.
Hidrocarburo	Solo contiene C y H	Pineno, limoneno.	Estimulante descongestionante, antivírico, antitumoral.

Fuente: Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales. (Marzo, 2010).

## 1.9 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES



Los aceites esenciales se clasifican por las siguientes categorías:

### **Consistencia**

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- Esencias
- Bálsamos
- Oleoresinas

*Esencias fluidas:* Son líquidos volátiles a temperatura ambiente, grupo al que pertenece el aceite esencial de albahaca.

*Bálsamos:* Son de consistencia más espesa, poco volátiles, contienen principalmente sesquiterpenoides y son propensos a polimerarse. 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

*Oleoresinas:* Son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Tienen el aroma de las plantas en forma concentrada, son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas. Contienen los aceites esenciales, los aceites fijos, colorantes y los principios activos de la planta.

### **Origen**

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como:

- Naturales
- Artificiales
- Sintéticos

*Naturales:* Se obtienen directamente de las plantas y vegetales los cuales no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas; un ejemplo de esto es el aceite esencial de albahaca que se obtiene por arrastre de vapor generalmente.

*Artificiales:* Se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia

con uno o varios de sus componentes, así por ejemplo tenemos la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, o la esencia de anís enriquecida con anetol.

*Sintético:* 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.). (Sistema de Bibliotecas SENA).

### **Naturaleza química**

El contenido total en aceites esenciales de una planta es en general bajo inferior al 1% pero mediante extracción se obtiene en una forma muy concentrada para emplearse en diversos usos industriales. La mayoría de los aceites esenciales, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de cada una de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones del año, a lo largo del día, también bajo las condiciones de cultivo y genéticamente.

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:

- Monoterpenoides como linalol, nerol, 1-8 cineol, geraniol.
- Sesquiterpenoides como farnesol, nerolidol.
- Compuestos oxigenados como ser alcoholes, aldehídos, cetonas.

Según los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial de albahaca este se clasifica dentro del grupo de los monoterpenoides (Sistema de Bibliotecas SENA).

## **1.10 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

El aceite esencial de albahaca se obtiene de las hojas de la planta mediante el método que se elija, siendo el más común el de destilación por arrastre de vapor.

El rendimiento del aceite esencial de albahaca varía según el estado de la planta los aceites esenciales se pueden extraer de las hojas frescas o secas de la albahaca; como se muestra en la Tabla I-3, se obtiene un mayor rendimiento al extraer de las hojas secas (Oportunidades de negocios).

**Tabla I- 3. Rendimientos según el tipo de planta y el estado de la planta.**

Especie	Rendimiento	Estado de la planta
Romero	0,6 %	fresca
Romero	0,88 %	seca
Albahaca	0,6 %	fresca
Albahaca	1,11 %	seca
Cedrón	1%	seca

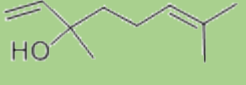
Fuente: Oportunidades de negocios, 2006.

### 1.11 COMPONENTES PRINCIPALES DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA

Los principales componentes presentes en el aceite esencial de albahaca según son los que se exponen a continuación: (Rojas, M.)

**Linalol:** Su olor floral con un toque mentolado le ha conferido cierto valor para su uso en productos aromáticos de limpieza o perfumería. Este compuesto es insoluble en agua, soluble en alcohol o éter. Se encuentra presente en el aceite esencial de albahaca en un porcentaje mayor a 30%.


**Tabla I- 4. Propiedades del linalol**

Propiedades físicas del linalol	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	199	°C		C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
Densidad	0,87	g/ml		
Presión de vapor	0,17	mmHg		

Fuente: Chemicalbook, 2016.

**Eucaliptol:** Líquido transparente e incoloro. Olor: Característico. Inmiscible con agua y miscible en éter, etanol y cloroformo. Presente en el aceite esencial de albahaca en un porcentaje de 5%.

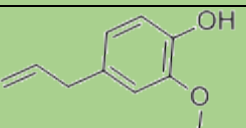
**Tabla I- 5. Propiedades del eucaliptol**

Propiedades físicas del eucaliptol	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	177	°C		C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
Densidad	0,92	g/ml		

Fuente: Chemicalbook, 2016.

**Eugenol:** Es un líquido oleoso de color amarillo pálido presente en ciertos aceites esenciales. Es difícilmente soluble en agua y soluble en solventes orgánicos. Tiene un agradable olor a clavo. Presente en el aceite esencial de albahaca en un porcentaje mayor al 20%.

**Tabla I- 6. Propiedades del eugenol**

Propiedades físicas del eugenol	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	254	°C		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>
Densidad	1,06	g/ml		

Fuente: Chemicalbook, 2016.

## 1.12 USOS DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA

**Tabla I- 7. Usos del aceite esencial de albahaca.**

<b>USOS</b>	
Uso medicinal	Alivia vómitos, calambres abdominales y la inflamación causada por la indigestión y la flatulencia. Útil para la congestión nasal, asma, bronquitis y enfisema. Un excelente tónico para los nervios. Refuerza la memoria, ayuda a la concentración, agudiza el intelecto, alivia la fatiga mental
Uso en aromaterapia	Cuando se utiliza en un masaje, la albahaca puede aumentar el flujo sanguíneo y aumentar la cantidad de nutrientes que llegan a los músculos cansados y fatigados. El aceite esencial también se ha utilizado para combatir dolores de cabeza, reduce la fiebre del heno, alergias o asma, e incluso puede aliviar los síntomas de hipo.
Industria Alimentaria	Se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas.
Industria Farmacéutica	Se usan en cremas dentales, analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias
Industria de Cosméticos	Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes y maquillaje. Por su componente estragol, el aceite esencial de albahaca, es utilizado para elaborar perfumes de alta calidad como: Eau de Toilette Versace L'Homme de Versace, Vent Vert de Pierre Balmain, The One for Men de Dolce & Gabbana
Biocidas e insecticidas	Contra áfidos, el aceite esencial de albahaca sirve como un insecticida natural.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 1.13 PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se pueden extraer mediante diferentes métodos como: prensado, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enflorado y con fluidos supercríticos.

### **1.11.1 Prensado**

Este procedimiento es utilizado para la extracción de esencias cítricas, raspando o prensando la corteza de los frutos cítricos que es donde contienen su aceite esencial.

El material vegetal es exprimido mecánicamente para liberar el aceite y este es recolectado y filtrado.

En la actualidad se usan máquinas especializadas que ejercen presión sobre la corteza de estos frutos.

Los aceites esenciales de cítricos obtenidos por prensado tienen características odoríferas superiores a los obtenidos por cualquier método de destilación. Esto es debido a la ausencia de calor durante el procesado y a la presencia de componentes que no serían volátiles en el vapor. Son también más estables a la oxidación, ya que contienen sustancias antioxidantes naturales, como tocoferoles, las cuales no son volátiles en el vapor. La ausencia de daño térmico en el aceite es significativa.

Los aceites obtenidos por prensado en frío, se extraen del pericarpio de la piel del cítrico, raspando o rompiendo los sacos de aceite cercanos a la superficie de la fruta. Este proceso involucra la abrasión de la piel (Sistema de Bibliotecas SENA).

**Figura 1. 7. Prensa multiuso de aceite en frío.**



Fuente: Página web, 2010. Disponible en:  
<http://www.tooper.es>

### **1.11.2 Extracción con solventes volátiles**

Consiste en poner en contacto la mezcla molida y seca, con alcohol o cloroformo. Estos compuestos solubilizan el aceite esencial, pero también extraen otras sustancias como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura. Se utiliza a escala de laboratorio, pues a nivel industrial resulta costoso por el alto valor comercial de los solventes y porque se obtienen esencias mezcladas con otras sustancias (Sistema de Bibliotecas SENA).

### **1.11.3 Enflorado**

El material vegetal; generalmente flores, se pone en contacto con una grasa. La esencia es solubilizada en la grasa que actúa como vehículo extractor. Se obtiene inicialmente una mezcla, el concreto de aceite esencial y grasa la cual es separada posteriormente por otros medios físico-químicos.

En general se recurre al agregado de alcohol caliente a la mezcla y su posterior enfriamiento para separar la grasa insoluble y el extracto aromático absoluto. Esta técnica es empleada para la obtención de esencias florales de rosa, jazmín, azahar, etc.

Con este método se obtiene aceite esencial de bajo rendimiento y la separación del aceite extractor es muy difícil, lo que acrecienta el costo monetario de este método de extracción (Sistema de Bibliotecas SENA).

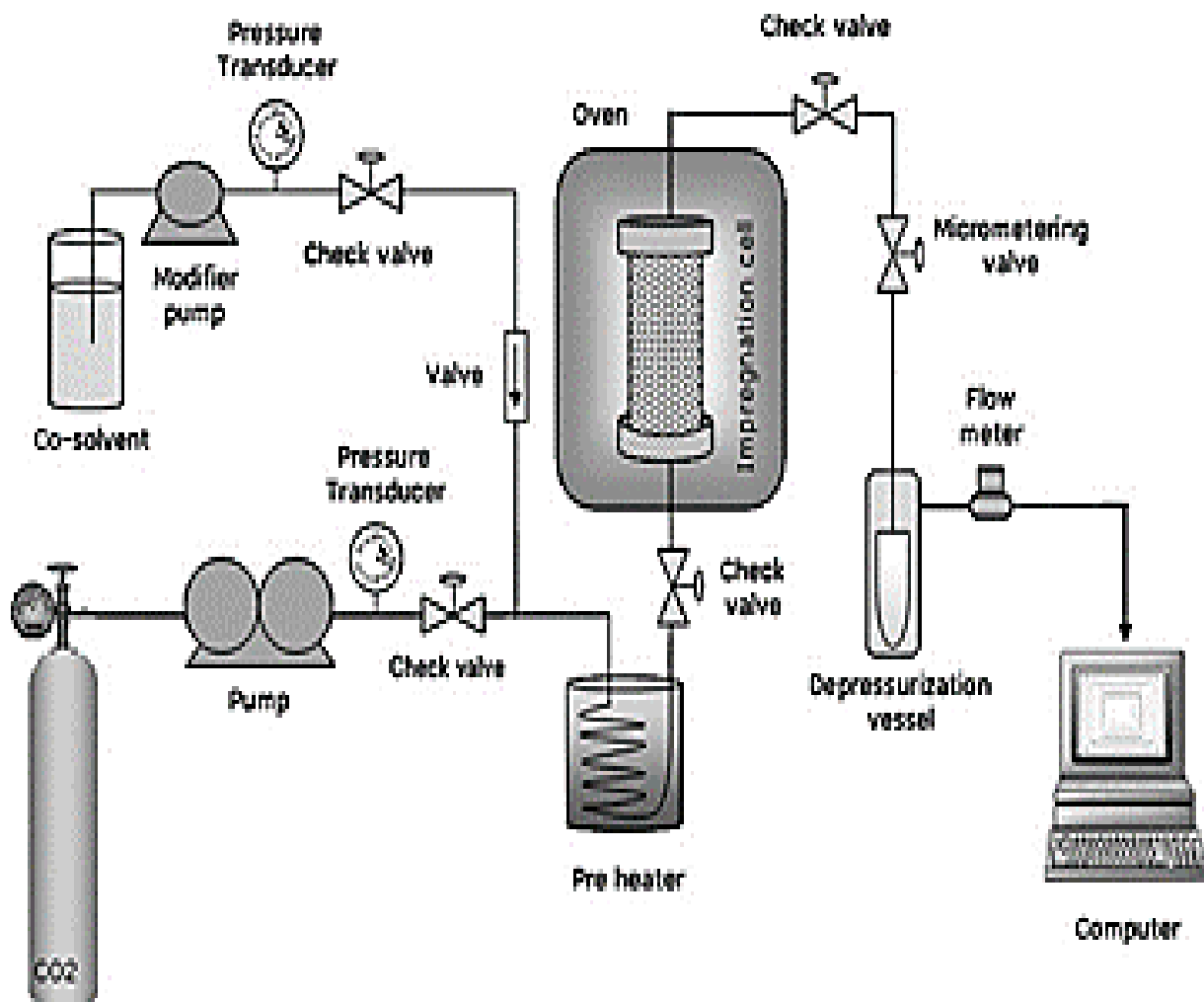
#### **1.11.4 Extracción con fluidos supercríticos**

El material vegetal cortado en trozos pequeños, licuado o molido, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un fluido en estado supercrítico, por ejemplo CO<sub>2</sub>. Las esencias son así solubilizadas y arrastradas mientras que el fluido supercrítico, que actúa como solvente extractor, se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene una esencia cuyo grado de pureza depende de las condiciones de extracción.

Este procedimiento presenta varias ventajas: alto rendimiento, fácil eliminación del solvente que además se puede reciclar; no se alteran las propiedades químicas de la esencia por las bajas temperaturas utilizadas para su extracción. Sin embargo el equipo requerido es relativamente costoso, ya que se requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones (Sistema de Bibliotecas SENA).



Figura 1. 8. Proceso de extracción de aceite esencial con solventes supercríticos.



Fuente: página web, 2013. Disponible en:

[www.uam.es](http://www.uam.es)

### 1.11.5 Destilación por arrastre de vapor

Es el proceso más común para extraer aceites esenciales, más no es aplicable a flores ni a materiales que se apelmazan. En esta técnica se aprovecha la propiedad que tienen las moléculas de agua en estado de vapor de asociarse con moléculas de aceite.

La extracción se efectúa cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal y libera la esencia, que luego es condensada. Con el fin de asegurar una mayor superficie de contacto y exposición de las glándulas de aceite, es conveniente picar el material según su consistencia.

En este método se utiliza la inyección directa de vapor de arrastre, que no tiene la función de arrastrar al componente volátil si no de condensarse formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación.

En este caso se obtendrá la presencia de dos fases inmiscibles a lo largo de la destilación, por lo tanto cada líquido se comportará como si el otro no estuviera presente; es decir cada uno ejercerá su propia presión de vapor correspondiente a la de líquido puro a una temperatura de referencia.

La presión total del sistema será la suma de las presiones de vapor de los componentes de la mezcla orgánica y del agua.

Si los líquidos son completamente insolubles, la presión de vapor de cualquiera de los componentes no puede ser modificada por la presencia del otro; además, ambos ejercen una presión de vapor verdadera a la temperatura predominante. Cuando la suma de las presiones de vapor por separado es igual a la presión total, la mezcla hierve. (Treybal, R.)

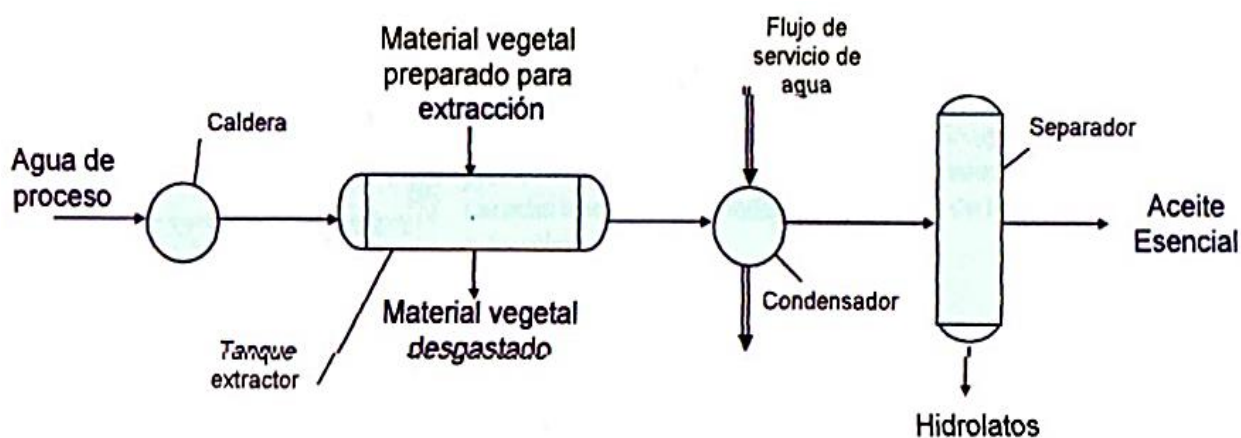
#### **Descripción del proceso:**

El vapor de agua se inyecta desde una caldera externa por medio de tubos difusores, ubicados en la parte inferior de la masa vegetal que se coloca sobre una parrilla interior de un tanque extractor. El vapor de agua provoca que los aceites esenciales se

difundan desde las membranas de la célula hacia afuera.

Posteriormente se genera una mezcla de aceite esencial y vapor de agua que pasan por un serpentín o intercambiador de calor para enfriarse hasta que se condensen. Seguidamente la mezcla líquida se dirige a un decantador, donde se separa el aceite esencial obtenido (Sistema de Bibliotecas SENA).

**Figura 1. 9. Proceso de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor de agua**



Fuente: Sistema de Bibliotecas SENA, 2012.

### 1.11.6 Hidrodestilación

Consiste en poner a hervir agua, bien sea por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite, en la cual se ha sumergido previamente el material vegetal, preferiblemente molido, con el objeto de que el vapor de agua ejerza su acción en el mayor número posible de partículas vegetales.

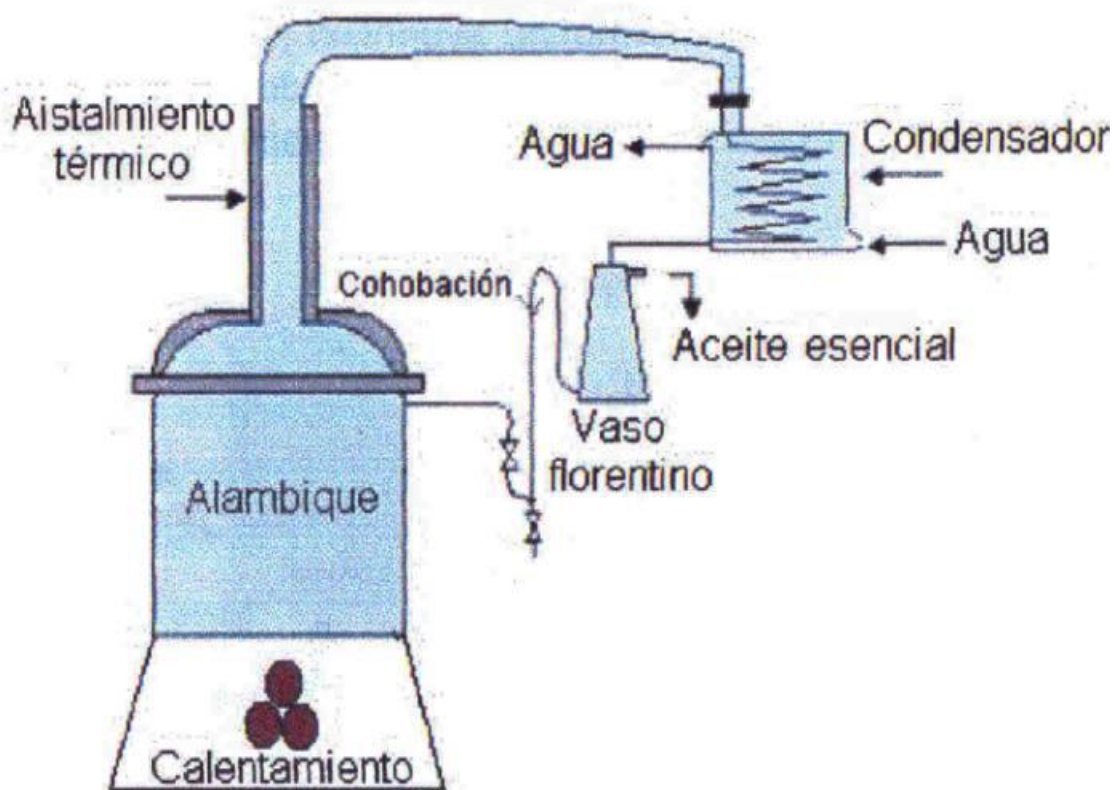
Similar al arrastre con vapor, el vapor producido arrastra los aceites esenciales hasta otro recipiente donde se condensan y se separan. Este sistema de extracción tiene el inconveniente de que la temperatura que se emplea provoca que algunos compuestos presentes en las plantas se degraden y se pierdan. El material vegetal aromático siempre debe encontrarse en contacto con el agua, para así evitar el sobrecalentamiento y la carbonización del mismo. Debe mantenerse en constante

agitación para evitar que se aglomere o sedimente al adherirse a las paredes del recipiente, lo cual puede provocar también su degradación térmica. Dado que generalmente no es posible colocar suficiente agua para sostener todo el ciclo de destilación, se han diseñado equipos que presentan un tubo de cohobación lateral que permite el retorno de agua hacia el recipiente de destilación (Sistema de Bibliotecas SENA).

En general, los aceites producidos por destilación en agua son de menor calidad por las siguientes razones:

- a. Algunos componentes son sensibles a la hidrólisis, mientras que otros, son susceptibles de polimerización.
- b. Los compuestos oxigenados tienden a ser parcialmente solubles en el agua de destilación, por lo que es imposible la remoción completa de estos compuestos.
- c. Los tiempos requeridos de destilación son demasiado largos, lo cual se asocia a un deterioramiento de la calidad del aceite obtenido.

**Figura 1. 10. Equipo de hidrodestilación**



Fuente: Sistema de Bibliotecas SENA, 2012.

### **1.11.7 Destilación agua- vapor**

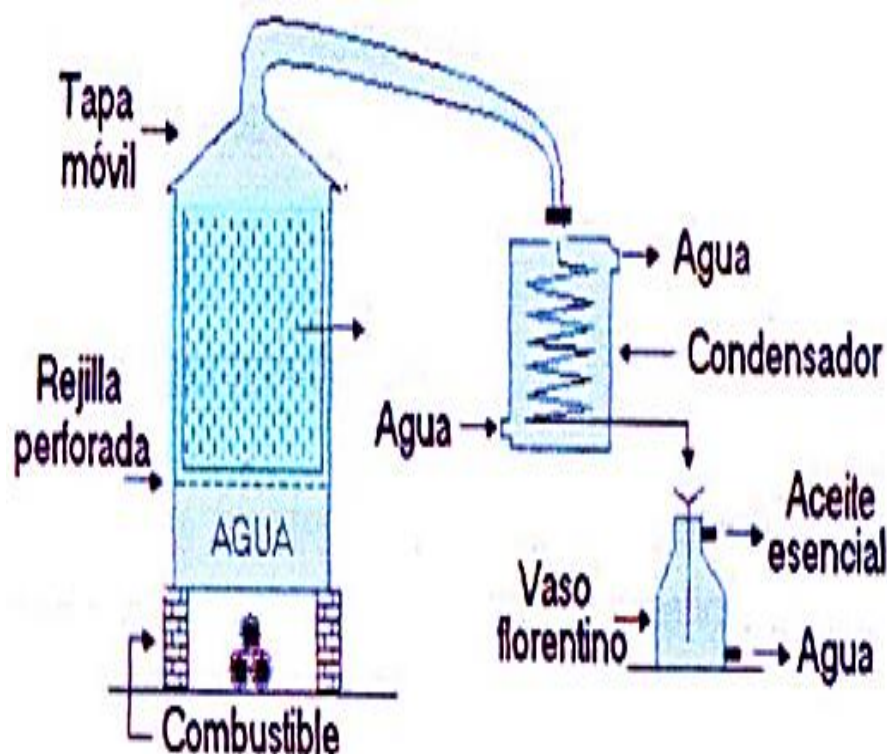
Este procedimiento comúnmente se utiliza en el agro para destilar especialmente hierbas y hojas. El material se coloca sobre una parrilla, y luego, entre el fondo y la parrilla se coloca el agua, hasta un nivel un poco inferior a la parrilla. Cuando se dispone de poca agua, el agua que sale con el aceite esencial en la primera extracción,

se recircula al extractor para sostener el proceso de destilación (cohobación).

El calentamiento se puede efectuar desde una fuente externa o dentro del propio cuerpo del extractor. El vapor de agua producido, se satura, atraviesa el material que se encuentra sobre la parrilla y provoca el arrastre de la esencia, no existiendo peligro de sobrecalentamiento del material vegetal, tal como ocurre en la hidrodestilación.

Se debe prevenir el recalentamiento que produce un olor desagradable en el aceite, y acanalar el vapor generado, de manera que se distribuya uniformemente en el alambique. Aunque este sistema mejora la calidad del aceite obtenido por hidrodestilación, y además tiene aplicación en el trabajo experimental, no es conveniente para ninguna destilación comercial (Sistema de Bibliotecas SENA).

**Figura 1. 11. Equipo de destilación agua- vapor**



Fuente: Sistema de Bibliotecas SENA, 2012.

### **1.11.8 Destilación previa maceración**

El método se aplica para extraer el aceite de semilla de almendras amargas, bulbos de cebolla, bulbos de ajo, semillas de mostaza y hojas de corteza de abedul. En el caso de plantas aromáticas, la maceración en agua caliente se emplea para favorecer la separación de su aceite esencial, ya que sus componentes volátiles están ligados a componentes glicosilados (Sistema de Bibliotecas SENA)

### **1.11.9 Destilación al vacío**

Se han diseñado sistemas para aislar constituyentes del aceite esencial, el cual se basa en sus diferentes puntos de ebullición. La mayor ventaja de este método, es la mínima probabilidad de descomposición de los aceites esenciales y formación de compuestos no deseados, debido a las bajas temperaturas de trabajo (Sistema de Bibliotecas SENA).

### **1.11.10 Destilación molecular**

Este método se utiliza para la obtención de productos coloreados, más estables y la recuperación de las notas más delicadas que caracterizan los aceites esenciales. Se basa en una destilación del material entre 10,3 a 10,6 psi, cuyo producto se procesa con diversos solventes orgánicos, que luego se separan y recuperan, obteniendo en cada fase orgánica compuestos determinados del aceite esencial según su afinidad frente al solvente (Sistema de Bibliotecas SENA).

### 1.14 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para facilitar la elección del método de trabajo se realiza una matriz de decisión.

Para tabla:

- A. Extracción con fluidos supercríticos.
- B. Destilación por arrastre de vapor.
- C. Destilación agua-vapor.
- D. Hidrodestilación.

Rangos de valores:

Aplicable a las hojas de la albahaca:	Sí = 10 No = 0
Calidad del producto obtenido:	Mala = 3 Buena = 6 Muy buena = 10
Costo de operación y mantenimiento:	Bajo = 10 Alto = 6 Muy alto = 3
Diseño y construcción:	Complejo = 0 Sencillo = 10
Complejidad de operación del proceso:	Bajo = 10 Alto = 6 Muy alto = 3



Tabla I-6. Selección de la metodología de trabajo.

Factores	%	A			B			C			D		
		Aplicable a las hojas de albahaca.	10	Si	10	100	Si	10	100	Si	10	100	Si
Calidad del producto obtenido	10	Muy buena	10	100	Muy buena	10	100	Muy buena	10	100	Mala	3	30
Costo de operación y mantenimiento	25	Muy alto	3	75	Alto	6	150	Bajo	10	250	Bajo	10	250
Diseño y construcción	35	Complejo	0	0	Complejo	0	0	Sencillo	10	350	Sencillo	10	350
Complejidad de operación del proceso	20	Muy alto	3	60	Alto	6	120	Bajo	3	60	Bajo	3	60
<b>TOTAL</b>	100	335			470			860			790		

Fuente:

Elaboración

propia,

2015.

La metodología de arrastre de vapor es la más empleada en la extracción de aceites esenciales para comercialización; en la presente investigación se empleará una metodología adecuada a escala laboratorio como es la destilación agua-vapor debido a que da como resultado un aceite de buena calidad, el costo de operación y mantenimiento es bajo, el diseño y construcción de quipos es sencillo y la operación del proceso no es compleja.

### **1.15 ESTUDIO PREVIO**

El siguiente trabajo es realizado por Margarito Rodríguez A. en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C, México. Realiza la extracción de aceite esencial de albahaca a escala laboratorio, por el método de hidrodestilación.

### **PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL Y EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES**

Según el trabajo realizado por RODRIGUEZ M. para la obtención de aceite esencial de hojas de albahaca se realizan los siguientes procedimientos:

- **Corte del material vegetal**, el corte o poda del material vegetal se recomienda realizarlo por la mañana evitando contaminantes, residuos de otras especies de plantas, polvo, tierra etc. por lo que se evitará procesar plantas con raíz, trasladar el material al lugar de procesamiento de las muestras. Es importante tomar en cuenta la época de la recolección, el estado fisiológico de la planta y el lugar geográfico de la recolección.
- **Recepción del material**, el material se trasporta evitando mantenerlo por más de 24 horas acumulado en grandes volúmenes por lo que es recomendable extenderlo sobre hojas de papel absorbente para evitar la contaminación por

hongos. Si el secado se lleva a cabo en hornos, es recomendable hacerlo inmediatamente o en el menor tiempo posible después del corte.

- **Secado en horno,** Se registra el peso fresco de la muestra, se introduce al horno de secado a 50° C durante 72 horas, corroborando que el peso del material seco sea constante.
- **Secado bajo sombra,** Se extiende el material en papel absorbente procurando que haya intercambio de aire para evitar incremento de humedad y contaminación por hongos. Se coloca en un lugar con sombra a temperatura ambiente.
- **Trituración y molienda de hojas,** Para la trituración y molienda es preciso tener el material completamente seco, para este proceso se requiere de un molino convencional. En el laboratorio de biotecnología vegetal se ha empleado un molino de copa el cual tiene acondicionada una manivela movida por poleas que son activadas mediante un motor eléctrico de ½ HP, 1740 RPM.
- **Proceso de hidrodestilación o arrastre de vapor,** Se utiliza un equipo Clevenger para extracción de aceite esencial por hidrodestilación o arrastre de vapor, con modificaciones en el recipiente que contiene la muestra, se emplea una olla de presión comercial, a la cual se le perforó la tapa, acondicionándole un tubo de acero inoxidable mismo que une herméticamente a la olla de presión y una conexión en forma de D por donde el vapor generado por la ebullición del agua pasa por el material vegetal seco arrastrando compuestos volátiles llegando hasta el condensador y recuperando el destilado que permite acumular y separar el aceite esencial de la mezcla condensada. El agua floral

condensada regresa a la olla de presión por el rebose de la conexión y se recicla nuevamente siguiendo el proceso, reciclando del agua floral y permitiendo una mayor recuperación de aceites esenciales.

Para llevar a cabo el proceso se vierte 1,5 litros de agua destilada en olla de presión de 8 litros, después se deposita la muestra (0,5 kg) en una malla separada a 10 cm de la base de la olla de presión quedando a 5 cm de separado del agua; se coloca la olla en una parrilla de calentamiento alcanzando la temperatura al punto de ebullición, permitiendo que el vapor entre en contacto con el material vegetal pulverizado donde inicia la liberación del aceite esencial contenido y éste, a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando.

La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluyen hacia un condensador prolongación curvada del conducto de salida del hidrodestilador. En el condensador, la mezcla es condensada y enfriada. A la salida del condensador, se coloca una trampa Clevenger, se obtiene una emulsión, la cual, se va separando en la bureta de la trampa. Se suspende el reflujo cuando se considera que se ha extraído la mayor parte de los aceites esenciales.

Se deja enfriar, se recoge el aceite en frascos ámbar de 3 ml con tapón de rosca y se pesa el contenido de aceites esenciales. Posteriormente se guarda en refrigeración a 5° C, evitando la exposición prolongada de luz.

A continuación se muestra el equipo con modificación en el hidrodestilador, utilizado en análisis de aceites esenciales a nivel laboratorio en plantas de albahaca.

**Figura 1. 12. Equipo empleado por Rodríguez, A.**



Fuente: Rodríguez, A. 2012.

**Figura 1. 13. Aceite esencial de albahaca obtenido por Rodríguez, A.**



Fuente: Rodríguez, A. 2012

## 1.16 RENDIMIENTO

Los rendimientos de albahaca son de 18-20 t/ha en fresco, en un tiempo comprendido entre 12 y 16 semanas; deshidratada se pueden obtener unas 10 ton/ha de albahaca seca y cerca de 80 kg/ha de aceite esencial.

La albahaca es capaz de producir un rendimiento de masa verde del orden de las 20 t/ha\*año en dos cortes (12 t/ha y 8 t/ha, respectivamente) y de 40 kg/ha de aceite esencial.

Según (Cacciamano, J) el rendimiento de materia fresca de albahaca en el país de Argentina se encuentra entre 25000 y 29000 Kg/ha, con un contenido de humedad del 88 %, lo que representa entre 2500 y 3500 Kg de materia seca/ha. En la provincia de San Luis, bajo condiciones de secado se obtuvieron rendimientos de 12,013 Kg de materia fresca/Ha con un contenido de humedad del 87 %, lo que da una biomasa aérea seca de 1621 Kg/ha. En trabajos realizados en la FCA – UNC en donde se realizó la extracción del aceite esencial de albahaca por hidrodestilación se obtuvo un rendimiento de 0,021 % en planta fresca, lo que coincide con lo encontrado en la bibliografía que establece un rendimiento de aceite esencial en la planta fresca que varía entre 0,02 y 0,07 %.

El rendimiento de aceite esencial en base peso seco está entre el 1,0 y 1,15 %.

El aceite esencial de albahaca se encuentra formado por aproximadamente 40 tipos de monoterpenos y/o sesquiterpenos; entre los más importantes, representando aproximadamente el 68 % del total se encuentran: linalol, metilchavicol o estragol, eugenol y otros (Briseño, S.).

### **1.17 ALMACENAMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

Los aceites esenciales son vulnerables a oxidarse así también se ven afectados por la luz natural o artificial provocando la degradación de sus componentes, razón por la cual se deben almacenar cuidadosamente. A continuación se mencionan algunas recomendaciones para lograr un buen almacenamiento del aceite esencial de albahaca:

- Envasarlo en frascos de vidrio oscuro o de aluminio; los envases de plástico no son recomendables ya que se deforman y en contacto con el aceite esencial se pueden romper.
- Utilizar envases con tapa de rosca, para facilitar su uso y evitar el ingreso de oxígeno.
- Conservarlo en lugares oscuros o con poca luz.
- Mantenerlo a temperaturas bajas, máximo de 10 °C, ya que el calor provoca que se deteriore rápidamente.

### **1.18 CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES**

La composición y calidad de un aceite esencial varía de una especie vegetal a otra, dentro del mismo género de la planta, y también dentro de la misma especie dependiendo del clima, región de cultivo, la madurez de la planta, etc. (Sistema de Bibliotecas SENA).

Se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros analíticos en el control de calidad de los aceites esenciales:

**Tabla I- 8. Clasificación de los parámetros analíticos utilizados en el control de calidad de aceites esenciales**

<b>Características organolépticas</b>	Olor Color Apariencia
<b>Determinaciones físicas</b>	Densidad Poder rotatorio Índice de refracción Miscibilidad en etanol Punto de congelación Punto de inflamación Rango de destilación
<b>Índices químicos</b>	Índice de acidez Índice de éster Índice de saponificación Índice de acetilo Índice de fenoles
<b>Cromatografía cualitativa y cuantitativa</b>	Perfil cromatográfico por CG Cuantificación de los principales componentes
<b>Características espectroscópicas</b>	Ultravioleta-visible Infrarrojo
<b>Otras determinaciones</b>	Pesticidas Metales pesados

Fuente: Rodas, M., 2012.



**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la presente investigación la materia prima son las hojas de albahaca de las cuales se extraerá su aceite esencial.

En la ciudad de Tarija se produce la albahaca con nombre científico *Ocimum basilicum* L., la cual crece muy bien tanto a pleno sol como en sombra parcial, y puede alcanzar una altura entre 30-60 cm, muy vigorosa y productiva y de hojas relativamente grandes.

Toda la planta es verde y produce flores blancas. Aroma y sabor muy agradables; características que la hacen preferida para recetas de cocina como ser: pesto, pasta, pizza y humitas.

La recolección de materia prima se realizó por una florista del Mercado Campesino; dicha materia prima proviene de la comunidad Coimata perteneciente al Departamento de Tarija.

**Foto 2. 1. Planta de albahaca**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

El traslado de materia prima se realizó en vehículo particular desde el Mercado Campesino hasta el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, ubicado en el Campus Universitario de la Universidad Juan Misael Saracho.

## 2.2 DISEÑO FACTORIAL

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todo los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

Para realizar la presente investigación se plantea un diseño factorial  $3^k$  que corresponde a 2 variables y 3 niveles.

### 2.2.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL

- **Tamaño de partícula:** Esta variable se refiere a tres niveles que corresponden a hojas de albahaca entera (3,78 cm) y dos tamaños de hoja picada (0,2 cm y 0,1 cm), las cuales son variables que modifican a la variable respuesta el rendimiento de aceite esencial, debido a que varía el área de contacto con el vapor.
- **Masa en el lecho:** Esta variable se refiere a la masa de hojas de albahaca a emplear en la torre de destilación, la variable tendrá tres niveles 250 gr, 300 gr y 350 gr de masa de hojas de albahaca seca.
- **Variable respuesta:** Es el rendimiento de aceite esencial obtenido de las

hojas secas de albahaca.

De lo cual concluimos que se trata de un diseño factorial  $3^2$  con dos repeticiones para cada experimento.

Cálculo de número de experimentos a realizar:

$$N_{exp} = N_{niveles}^{N_{factores}} * repetición$$

$$N_{exp} = 3^2 * 2 = 18$$

De la ecuación realizada se concluye que el número de experimentos a realizar es 18.

- **Número de combinaciones:** El número de combinaciones de los factores es igual a 9 por tratarse de un diseño factorial  $3^2$ . Se realiza una repetición de toda la experiencia; por lo tanto, el número total de ensayos a realizar es 18.

A continuación se muestra el diseño experimental planteado.

**Tabla II- 1. Número de combinaciones del diseño factorial**

EXP.	Masa de lecho	Tamaño de partícula
1	-1	1
REP.	-1	1
2	0	1
REP.	0	1
3	1	1
REP.	1	1
4	-1	0
REP.	-1	0
5	0	0
REP.	0	0
6	1	0
REP.	1	0
7	-1	-1
REP.	-1	-1
8	0	-1
REP.	0	-1
9	1	-1
REP.	1	-1

Fuente: Elaboración propia, 2016.

## 2.3 ACONDICIONAMIENTO DE MATERIA PRIMA PARA

## EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL

Para extraer aceite esencial de albahaca se acondiciona la materia prima de manera que se logre un proceso eficiente; para esto se realiza pruebas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la Carrera de Ingeniería Química, de las que se concluyó que la mejor manera de obtener aceite esencial de albahaca es secando las hojas. Dicho secado se realiza bajo condiciones ambientales, y el procedimiento es el siguiente:

- Separar el material foliar del tallo.
- Extender papel periódico.
- Esparcir las hojas de albahaca sobre el papel.
- Dejar secar por 6 días.

**Foto 2. 2. Albahaca secando al ambiente**



Fuente: elaboración propia, 2016.

### 2.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS HOJAS DE ALBAHACA

Para determinar el contenido de humedad en las hojas de albahaca se emplea un Secador Infrarrojo marca Sartorius perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, el cual está programado a 105 °C para realizar el secado.

Para la presente investigación se determina la humedad de hojas de albahaca fresca y secada al ambiente, los resultados se detallan en el Capítulo III.

El procedimiento para determinar el porcentaje de humedad de las hojas de albahaca se detalla a continuación:

- Encender equipo, introducir plato de aluminio y tarar.
- Pesar 5 gramos de hojas de albahaca.
- Iniciar proceso de secado.

**Foto 2. 3. Secador infrarrojo.**



Fuente elaboración propia, 2016.

## **2.5 MOLIENDA DE HOJAS DE ALBAHACA**

Para la extracción de aceite esencial de albahaca se realiza un picado a las hojas con el objeto de observar la variación en el rendimiento de aceite al extraer con diferentes tamaños de partícula. Para tal efecto se empleó una pica-todo de la marca Home Elements.

El procedimiento es el siguiente:

- Cargar el equipo con hojas de albahaca.
- Encender el equipo y poner en marcha.

**Foto 2. 4. Pica-todo.**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

## **2.6 GRANULOMETRÍA DE HOJAS DE ALBAHACA PICADA**

El análisis granulométrico de materia prima se realiza con el propósito de determinar el tamaño de hojas de albahaca picada a emplear en la extracción de aceite esencial, seleccionando los dos mayores porcentajes de rechazo presentes en el tamizador.

El equipo a utilizar para realizar la granulometría de hojas de albahaca es un tamiz vibratorio marca Orto Alresa, Norma española UNE, con tamices de 5, 4, 2, 1, 0.5, 0,25; 0,063mm.

El procedimiento para el análisis granulométrico de hojas de albahaca picada es el siguiente:

- Pesar tamices.
- Pesar muestra de hojas de albahaca picada.
- Introducir muestra de hojas de albahaca picada al tamizador.
- Programar tiempo de tamizado y la intensidad (rpm).
- Puesta en marcha del tamizador.
- Pesaje de rechazos contenidos en los tamices.

#### **Foto 2. 5. Tamizado**



Fuente: Elaboración propia, 2016.



El procedimiento da como resultado porcentajes altos de rechazo en los tamices de 2 mm y 1 mm, los cuales se consideran como tamaño de partícula para la extracción de aceite esencial de albahaca.

**Foto 2. 6. Tamizador**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

## **2.7 EQUIPOS PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

En la presente investigación la metodología a utilizar para obtención de aceite esencial es la destilación agua-vapor, la cual utiliza los siguientes equipos:

- Cocinilla.
- Equipo de destilación.
- Condensador.

### **2.7.1 Cocinilla**

Se emplea una cocinilla de una hornalla que funciona con gas natural o de garrafa, perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química; este equipo provee el calor necesario para que el agua llegue a su punto de ebullición. Realizando pruebas del equipo se observó que la presión de gas que llega al LOU es muy baja, por lo que se vio conveniente utilizar una garrafa para obtener una llama más potente y así obtener un mejor flujo de vapor.

**Foto 2. 7. Cocinilla**

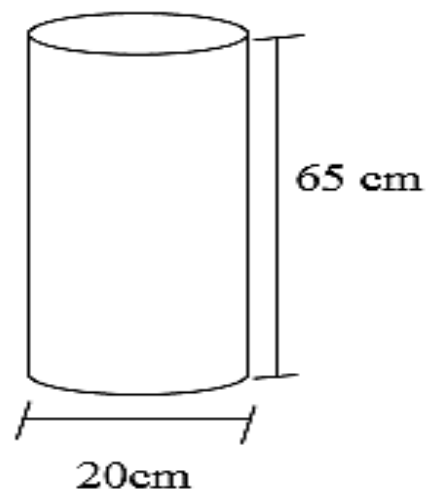


Fuente: Elaboración propia, 2016.

### **2.7.2 Equipo de destilación**

El equipo de destilación que se emplea para la obtención de aceites esenciales pertenece al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, dicho equipo está construido en acero inoxidable con tres canastillos del mismo material.

**Figura 2. 1. Dimensiones del equipo de destilación**



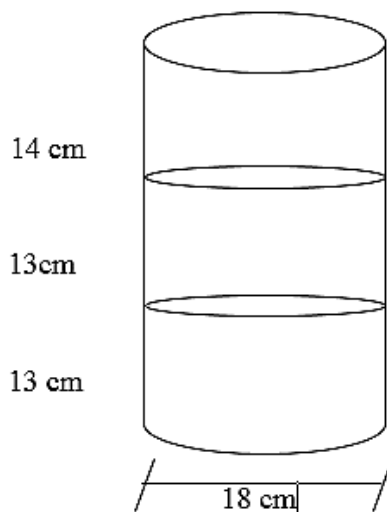
Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Foto 2. 8. Equipo de destilación**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 2. 2. Dimensiones de los tres canastillos del equipo de destilación**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

### **2.7.3 Refrigerante**

El equipo de condensación pertenece al Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Química, es un refrigerante Liebig, construido en vidrio, que se usa para condensar los vapores que se desprenden del equipo de destilación, como se puede observar en la foto 2.9.

Consta de dos tubos cilíndricos concéntricos. Por el tubo interior circulan los vapores que serán condensados. Por el tubo exterior circula el líquido de refrigeración en este caso agua de grifo. El tubo de vidrio exterior consta de dos conexiones donde se ajustan mangueras de caucho, de entrada y salida del líquido refrigerante.

Para la presente investigación se conecta dos tubos refrigerantes Liebig en serie con el objeto de obtener una mayor área de condensación.

### **Foto 2. 9. Refrigerante Liebig**

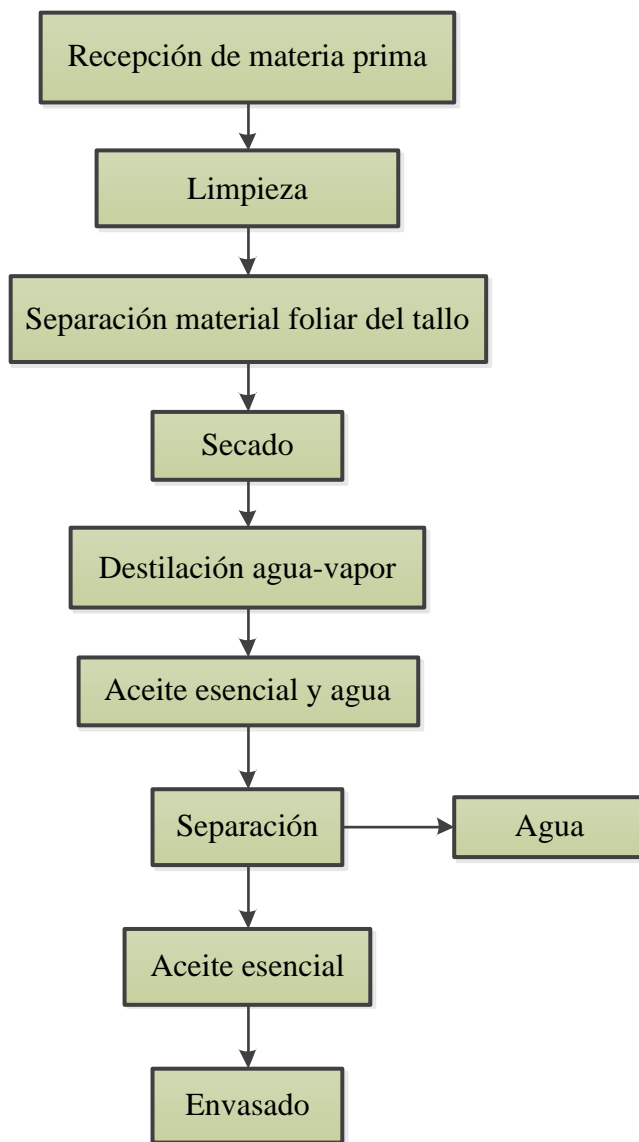


Fuente: Elaboración propia, 2016.

## **2.8 ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

El siguiente diagrama de bloques representa las etapas del proceso de extracción de aceite esencial de albahaca.

**Diagrama II- 1. Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite esencial de albahaca**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

## 2.9 PRUEBAS PRELIMINARES

Para verificar el buen funcionamiento del equipo y observar el rendimiento de aceite esencial de albahaca que se obtiene, se realiza las siguientes pruebas preliminares:

- Prueba de funcionamiento: Se carga el equipo de destilación con 4 litros de agua y se hace funcionar hasta obtener vapor condensado. Se pudo observar que el equipo no presenta fugas y funciona correctamente.
  
- Prueba con hojas de albahaca fresca: Se carga el equipo con un volumen de 4,5 litros de agua y una masa de hojas de 300 gramos; la destilación se da lugar en un tiempo de 2 horas, registrándose gotas de aceite esencial muy dispersas las cuales no pueden ser separadas del agua condensada, por lo tanto se decide hacer una prueba con hojas de albahaca seca.
  
- Prueba con hojas de albahaca seca: Se carga el equipo de destilación con 4,5 litros de agua y 300g de hojas secas de albahaca. El equipo opera durante un tiempo de 2 horas obteniéndose 1 ml de aceite esencial de albahaca.

Los resultados de las variables de operación empleadas en las pruebas preliminares se detallan en el capítulo III.

## **2.10 PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

### **2.10.1 PESAJE DE MATERIA PRIMA**

Para la presente investigación la masa de hojas de albahaca es una variable para la extracción de aceite esencial, se emplean 3 masas 250 g, 300 g y 350 g.

La muestra es pesada en una balanza analítica digital marca Europe perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias.

**Foto 2. 10. Balanza analítica**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

### **2.10.2 EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

La extracción de aceite esencial de albahaca se realiza en un equipo de destilación agua-vapor el cual opera con vapor de arrastre.

El equipo de destilación se llena con 4,5 litros de agua; ésta se calienta mediante calor generado en una hornilla perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias hasta llevar el agua a su temperatura de ebullición. El vapor generado atraviesa los canastillos que contienen las hojas de albahaca y arrastra el aceite esencial de estas.

**Foto 2. 11. Equipo de destilación agua-vapor**





Fuente: Elaboración propia, 2016.

### 2.10.3 CONDENSACIÓN Y SEPARACIÓN DE CONDENSADOS

Para condensar la mezcla de agua y aceite esencial se emplea dos refrigerantes de vidrio pertenecientes al Laboratorio de Química; la mezcla condensada se recibe en balones de vidrio de 500 ml colocados en un recipiente cargado de hielo, con el fin de mejorar la separación del aceite esencial de albahaca del agua.

Para separar el aceite esencial del agua se utiliza jeringas de 3ml con las que se pudo observar que existe arrastre de agua; por tal motivo se vierte la carga de las jeringas en una ampolla de separación de vidrio con capacidad de 125ml para obtener un aceite esencial libre de agua.

**Foto 2. 12. Condensado de mezcla de agua y aceite esencial**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Foto 2. 13. Separación de aceite esencial y agua**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

#### **2.10.4 ENVASADO Y ALMACENAMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

El envasado de aceite esencial de albahaca se realizó en un frasco de vidrio color ámbar de 15 ml con cierre hermético para evitar la volatilización del mismo. El aceite esencial se almacena en un lugar fresco, seco y oscuro para evitar la

degradación de sus componentes.

**Foto 2. 14. Aceite esencial envasado**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

## **2.11 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCION DE RESULTADOS DEL PRODUCTO FINAL**

A continuación se detallan las metodologías a emplear para la obtención de resultados del producto final, los cuales se exponen en el capítulo III.

### **2.11.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

La densidad del aceite esencial de albahaca se determinó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias; para tal efecto se pesó la muestra de aceite en una balanza analítica y el volumen se midió con una jeringa de 3ml, el procedimiento se detalla a

continuación:

- Pesar jeringa de 3 ml, y tarar la balanza.
- Medir el volumen de aceite esencial con la jeringa anteriormente pesada.
- Pesar el aceite contenido en la jeringa.
- Calcular la densidad empleando la fórmula  $\rho = \frac{m}{V}$

### **2.11.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

El índice de refracción es el valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción; para la presente investigación se realizó la determinación de esta propiedad física en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo "CEANID" empleando la técnica o método de la Norma Boliviana 34003:06 Aceites y grasas – Determinación del Índice de refracción (Segunda revisión).

### **2.11.3 CROMATOGRAFÍA DE GASES**

La cromatografía de gases es una técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Para la presente investigación el análisis cromatográfico se realizó en el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) situado en la Ciudad de Cochabamba, en un equipo con las siguientes especificaciones:

Equipo: Varian

Columna: BP5MS (20m \* 0.18mm \* 0.18um)

Gas carrier: Helio

Split: Ratio 1/20

Volumen de inyección: 0.5 ul

Temperatura de inyector: 250 °C

Tipo de temperatura programada: Gradiente

Temperatura gradiente: 40 °C (3 min), 3 °C/min 150 °C, 15 °C/min 250 °C (6min)

Los resultados se detallan en el Capítulo III.

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA: HOJAS DE ALBAHACA

Se realizan los análisis a la materia prima, hojas de albahaca los cuales se detallan a continuación:

##### 3.1.1 RESULTADOS DEL PROCESO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS HOJAS DE ALBAHACA

En la siguiente tabla se muestran los resultados que se obtienen al determinar el porcentaje de humedad de las hojas de albahaca fresca y seca.

**Tabla III- 1. Resultados del porcentaje de humedad de las hojas de albahaca**

Estado de planta	Porcentaje de humedad de hojas de albahaca
Fresca	87,28
Seca	10,79

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El resultado que se observa en la tabla III-1 para las hojas frescas se obtiene empleando albahaca fresca a pocas horas de ser cosechada, mientras que para las hojas secas se emplean hojas de albahaca que se hicieron secar bajo condiciones de temperatura y humedad del ambiente durante un tiempo de 6 días. Estas muestras se emplean como materia prima del presente trabajo.

De la tabla III-1 se puede concluir que al realizar el secado de las hojas de albahaca,

bajo condiciones ambientales, se elimina un 76,49 % de humedad.

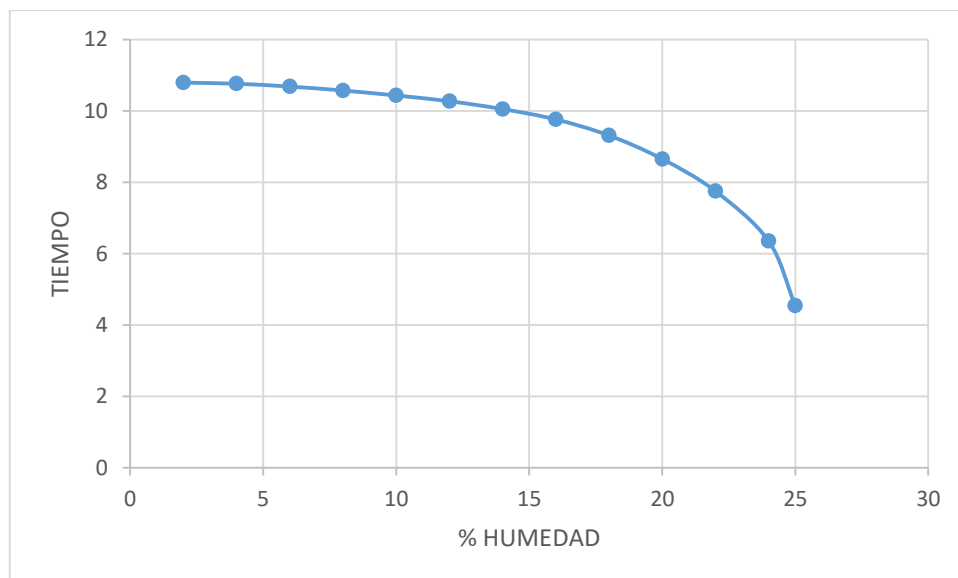
En la tabla III-2 se exponen los datos obtenidos al medir el porcentaje de humedad, en el Secador Infrarrojo, de la albahaca secada al ambiente.

**Tabla III- 2. Porcentaje de humedad de albahaca seca**

Tiempo (min)	%Humedad
2	10,79
4	10,76
6	10,68
8	10,57
10	10,43
12	10,27
14	10,05
16	9,76
18	9,31
20	8,65
22	7,75
24	6,35
25	4,54

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Gráfico 3- 1. %Humedad de albahaca seca**



Fuente: Elaboración propia, 2016.



En el gráfico 3-1 se observa que el porcentaje de humedad disminuye con relación al tiempo de secado obteniéndose un valor final de 4,54 % de humedad, debido a que se encuentra un pequeño porcentaje de moléculas de agua ligadas al material las cuales pueden ser eliminadas mediante incinerado del material.

### **3.1.2 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DE LAS HOJAS DE ALBAHACA**

Las propiedades organolépticas son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, por ejemplo, su sabor, textura, olor, color, etc. Este análisis se hace en base a los indicadores que se muestran en la siguiente tabla; y las hojas de albahaca presentaron los siguientes resultados al análisis organoléptico:

**Tabla III- 3. Análisis organoléptico de las hojas de albahaca**

<b>Característica</b>	<b>Evaluación</b>
Forma	Elipsoidal
Aroma	Dulce
Color	Verde
Textura	Lisa
Sabor	Dulce/picante

Fuente: Elaboración propia, 2016.

### **3.1.3 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

El aceite esencial de albahaca muestra los siguientes resultados al análisis organoléptico:

**Tabla III- 4. Características organolépticas del aceite esencial de albahaca**

<b>Característica</b>	<b>Evaluación</b>
Aroma	Dulce / Floral
Color	Amarillo pálido
Apariencia	Límpida

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los resultados mostrados en la tabla anterior, muestran similitud a datos reportados de estudios similares sobre la extracción de aceite esencial de albahaca, como ser el trabajo de Mindaryani, A. (2007).

### **3.2 GRADIENTE DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO DE DESTILACIÓN**

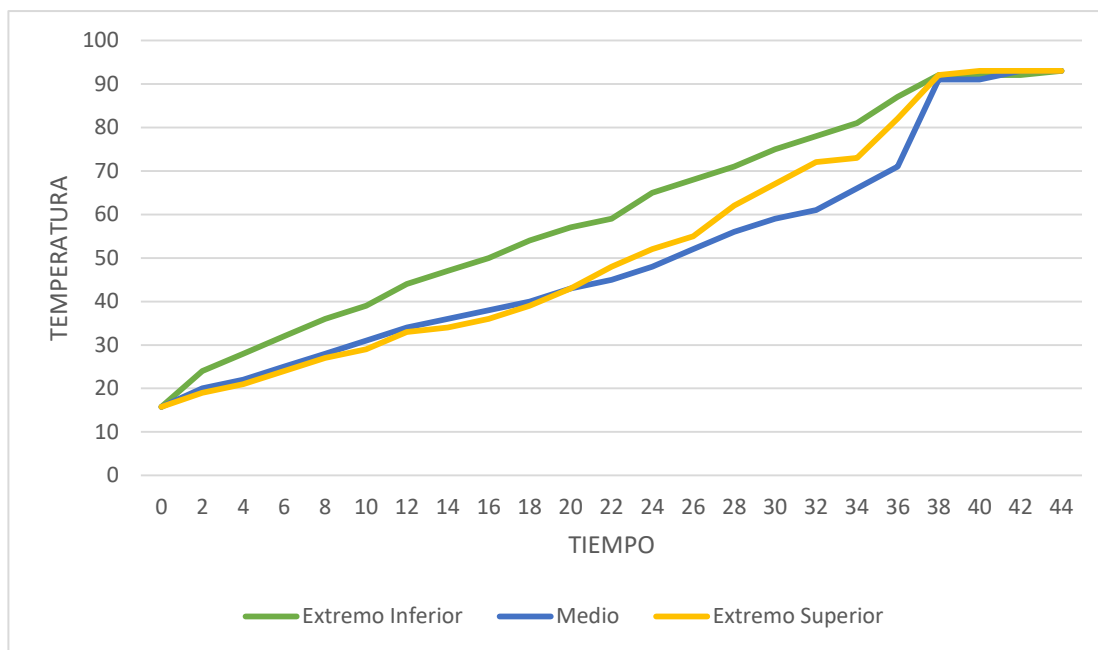
En la siguiente tabla se detalla la variación de la temperatura con respecto al tiempo, medida en tres partes de la torre: extremo inferior, medio y extremo superior.

**Tabla III- 5. Gradiente de Temperatura vs. Tiempo**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)		
	Extremo Inferior	Medio	Extremo Superior
0	15,8	15,8	15,8
2	24	20	19
4	28	22	21
6	32	25	24
8	36	28	27
10	39	31	29
12	44	34	33
14	47	36	34
16	50	38	36
18	54	40	39
20	57	43	43
22	59	45	48
24	65	48	52
26	68	52	55
28	71	56	62
30	75	59	67
32	78	61	72
34	81	66	73
36	87	71	82
38	92	91	92
40	92	91	93
42	92	93	93
44	93	93	93

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Grafico 3- 2. Gradiente de temperatura vs. Tiempo**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Como se observa en el gráfico 3-2 hasta el minuto 36 la temperatura en el extremo inferior es la más alta en el equipo de destilación, a partir de este momento las temperaturas se acercan mucho hasta llegar al equilibrio en el minuto 44, cuando alcanzan la temperatura de ebullición.

Por otra parte la primera burbuja se observa en el minuto 34, a partir de este momento se incrementa el caudal de vapor que asciende por la torre atravesando los canastillos que contienen la materia prima.

En la parte media del equipo de destilación la temperatura es mayor que en la parte superior hasta el minuto 20; momento en el que la temperatura empieza a ser más elevada en la parte superior, esto se debe a que el caudal de vapor se incrementa y una parte de este asciende por el espacio entre la pared del equipo y los canastillos, y así llega en un menor tiempo a la parte superior, provocando un incremento de temperatura en esta zona. A diferencia de esto en la parte media, el vapor fluye con mayor dificultad debido a que atraviesa el lecho de hojas de albahaca depositados en

los canastillos, por lo tanto se observa una temperatura menor en esta zona del equipo de destilación.

### 3.3 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE HOJAS DE ALBAHACA

Los resultados de granulometría de hojas de albahaca picada, determinados en Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la Carrera de Ingeniería Química se detallan a continuación:

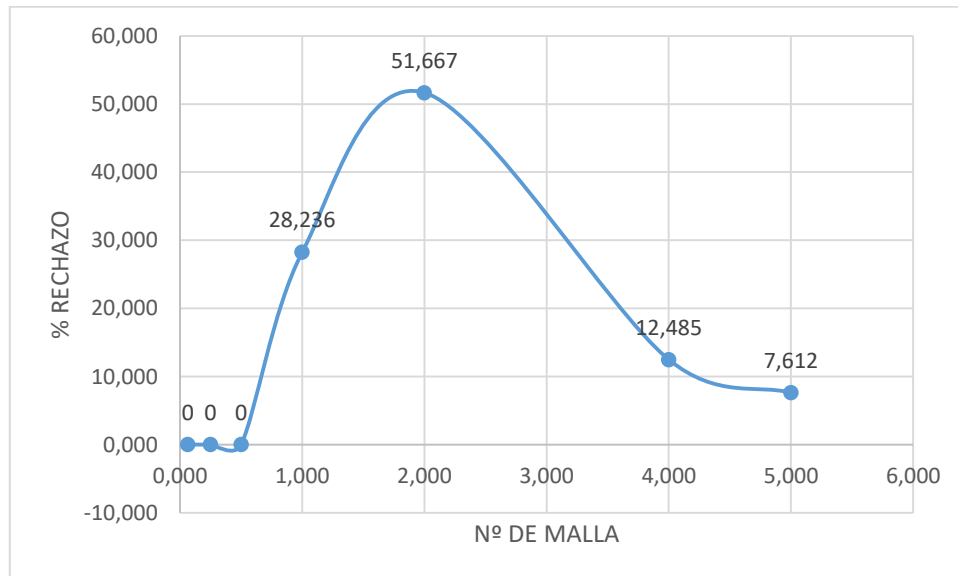
**Tabla III- 6. Resultados de granulometría de hoja de albahaca picada.**

<b>SERIE UNE</b>	<b>SERIE TYLER</b>	<b>PESO (gr)</b>			<b>% Rechazo</b>
<b>Nº malla (mm)</b>	<b>Nº malla (mm)</b>	<b>Malla</b>	<b>Malla con muestra</b>	<b>Rechazo</b>	
5,000	4,750	494,2	497,996	3,796	7,612
4,000	4,000	456,8	463,026	6,226	12,485
2,000	2,000	435,3	461,066	25,766	51,667
1,000	1,000	435,2	449,281	14,081	28,236
0,500	0,500	443,9	443,9	0	0
0,250	0,250	417,8	417,8	0	0
0,063	0,062	389,4	389,4	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los datos expuestos en la tabla III-6 para la cantidad de masa rechazada en los diferentes tamices vs. el tamaño de tamiz se representan en una gráfica a continuación:

**Gráfico 3- 3. Granulometría de la hoja de albahaca picada**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico 3-3 se puede observar que las mallas en las que se obtuvo un mayor porcentaje de rechazo son las mallas de 2 mm y 1 mm representando un 51,667% y 28,236% respectivamente, los cuales son seleccionados como tamaños de partícula para realizar la extracción de aceite esencial de albahaca; para ver su efecto sobre el rendimiento de aceite esencial extraído en la presente investigación.

### **3.4 RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES**

Se realiza pruebas preliminares para determinar el mejor procedimiento para obtención de aceite esencial de albahaca; los resultados obtenidos se detallan a continuación:

**Tabla III- 7. Resultado de pruebas preliminares**

Variable	Unidad	Prueba preliminar	
		1	2
<b>Estado de planta</b>	-	Seca	Fresca
<b>Tiempo de calentamiento</b>	min	28	23
<b>Tiempo de extracción</b>	min	120	120
<b>Peso de hojas</b>	gr	300	300
<b>Temperatura inicial del agua en el equipo de destilación</b>	°C	20,5	21
<b>Temperatura del agua de entrada al condensador</b>	°C	20,5	21
<b>Temperatura del agua de salida al condensador</b>	°C	21	21
<b>Temperatura del vapor</b>	°C	93	93
<b>Temperatura de hidralatos</b>	°C	38	34
<b>Volumen condensado</b>	L	2	2
<b>Volumen de aceite esencial</b>	ml	1	0
<b>Cantidad de agua en el equipo de destilación</b>	L	4,5	4,5

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las pruebas preliminares se realizan con las mismas variables de masa de lecho y tamaño de partícula como se observa en la tabla III-7, obteniéndose 1 ml de aceite esencial con hojas secas.

En la prueba realizada con hojas frescas se puede apreciar minúsculas gotas de aceite esencial en la superficie del destilado en una cantidad muy difícil de cuantificar por lo que se define que el valor es cercano a cero.

Por lo tanto se determina que la materia prima adecuada para la extracción de aceite esencial de albahaca son las hojas secas, debido a que la cantidad de agua presente en éstas es baja; por consiguiente, el vapor que atraviesa el lecho de hojas secas arrastra

con mayor facilidad el aceite esencial.

### **3.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

A continuación se detallan todos los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial de albahaca.

#### **3.4.1 RESULTADO DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

Los datos para calcular la densidad del aceite esencial de albahaca se obtienen en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, empleándose una jeringa de 3ml la cual es tarada previamente y luego se realiza la medición del volumen y del peso con la muestra, para lo cual se emplea la siguiente relación de cálculo:

Datos:

$$m = 0,728 \text{ g}$$

$$V = 0,9 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,728}{0,9} = 0,809 \text{ g/ml}$$

La densidad de los aceites esenciales generalmente es menor a la del agua que en la Ciudad de Tarija es 0,9956g/ml; por lo tanto, la densidad medida del aceite esencial de albahaca se encuentra dentro de este rango.

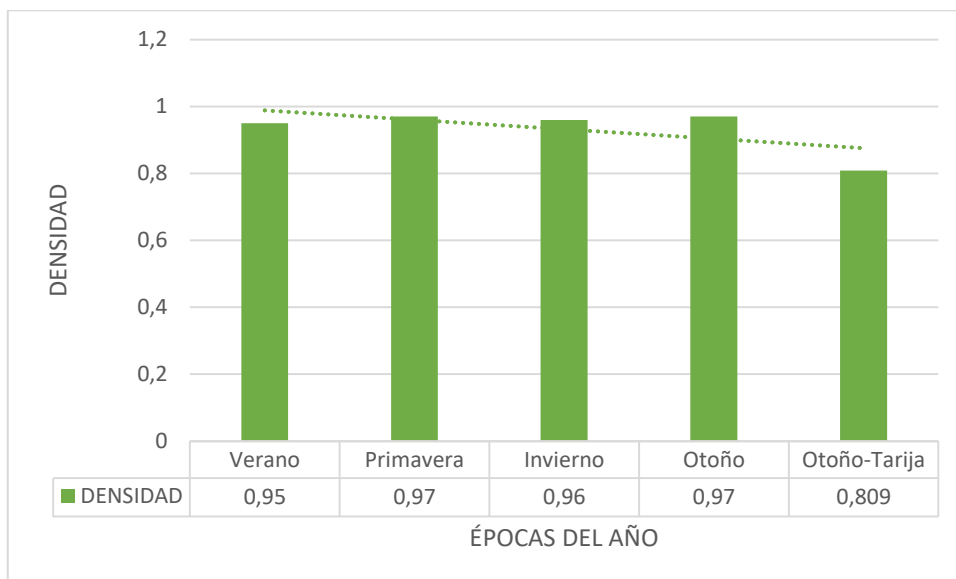


**Tabla III- 8. Rendimiento y propiedades físicas del aceite esencial de albahaca de diferentes épocas del año**

Indicador	Resultados Pakistán Épocas del año				Resultado Tarija
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Otoño
Porcentaje de rendimiento	0,5	0,6	0,8	0,7	0,514
Índice de refracción	1,5045	1,4995	1,5015	1,5017	1,499
Densidad (gr/ml)	0,95	0,97	0,96	0,97	0,809

Fuente: Ijaz, A., 2008.

En la tabla III-8 se comparan las propiedades físicas y el rendimiento del aceite esencial de albahaca obtenidas por Ijaz, A.; con los valores obtenidos en la presente investigación. Las comparaciones respecto a la densidad se realizan en la época de otoño, dando como resultado una diferencia de 0,161 gr/ml, siendo menor el valor calculado de la densidad de aceite esencial de albahaca obtenido en la Ciudad de Tarija, lo cual puede estar influenciado por la composición de ambos aceites.

**Grafico 3- 4. Comparación de la densidad con el trabajo de Ijaz, A.**

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El gráfico 3-4 expone la comparación de datos de densidad, dando como resultado una diferencia de 0,161 gr/ml menor para el valor calculado de la densidad de aceite esencial en la presente investigación.

### 3.4.2 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA

El rendimiento del aceite esencial de albahaca se calcula con la siguiente expresión:

$$R = \frac{\text{masa de aceite esencial}}{\text{masa de follaje}} \times 100$$

Para los cálculos se toma en cuenta la extracción en la que se obtiene el volumen más alto de aceite esencial.

Masa de aceite esencial = 1,456 gr

Volumen de aceite esencial = 1,8 ml

Masa de follaje = 350 gr

$$R = \frac{1,456}{350} \times 100 = 0,416 \%$$

Por lo tanto, de cada 100 gramos de albahaca seca se obtiene 0,416 gr que significan 0,514 ml de aceite esencial de albahaca.

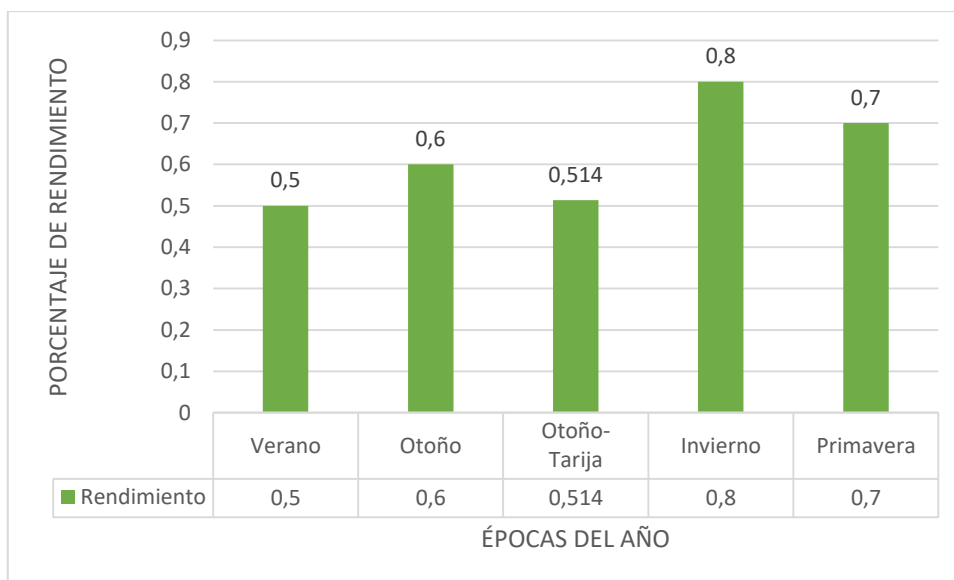
A continuación se muestran datos tabulados de rendimiento de aceite esencial obtenido en diferentes lugares, en comparación con el obtenido en el presente trabajo:

**Tabla III- 9. Comparación de resultados de rendimiento de aceite esencial de albahaca**

Lugar	Rendimiento ml/100g de albahaca seca
Canadá	0,6
México	0,6
Tarija, Bolivia	0,514

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Grafico 3- 5. Comparación del porcentaje de rendimiento con el trabajo de Ijaz, A.**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Existe una diferencia en el porcentaje de rendimiento de 0,086 ml/100gr de albahaca con el medido por Ijaz, A. en la época de otoño; esto puede deberse a la variedad de materia prima y al equipo empleado.

En la presente investigación el equipo consta de tres canastillos donde se deposita la hierba en los que puede existir aglomeración de partículas y de esa manera impedir el paso del vapor de arrastre, lo que coadyuva a la variación del rendimiento de aceite esencial.

En el gráfico 3-5 se observa que el rendimiento se incrementa de verano hasta invierno siendo esta época del año donde se obtiene un mayor rendimiento de aceite esencial; así mismo, en la estación de primavera el valor descende y de esta manera se repite el ciclo. Esto puede deberse a que la temperatura ambiente en verano es mayor y los aceites esenciales suelen volatilizarse a temperaturas elevadas; de otro modo, en la época de invierno la temperatura ambiente es baja lo que produce que los aceites esenciales se mantengan más tiempo en la planta.

En la estación de primavera es la época de florecimiento de la planta, por lo tanto la

concentración de aceite esencial en esta es óptima; por otro lado, en otoño la temperatura ambiente es un poco elevada lo que provoca que los aceites esenciales se volatilicen en cierto porcentaje, y por este motivo es que el rendimiento alcanzado en esta época del año no es tan elevado como en invierno.

### **3.4.3 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE ALBAHACA**

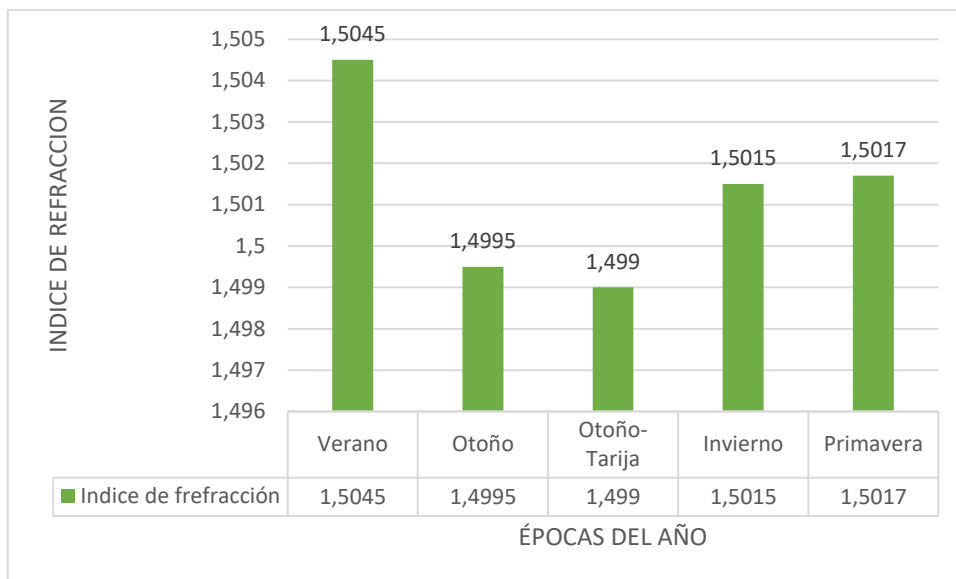
El resultado de la medición del índice de refracción del aceite esencial de albahaca se encuentra en la siguiente tabla:

**Tabla III- 10. Resultado de la medición del Índice de refracción**

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica y/o Método de ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Índice de refracción (25°C)	NB 34003:06	-	1,4988

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Grafico 3- 6. Comparación del índice de refracción con el trabajo de Ijaz, A.**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico 3-6 se realiza la comparación del índice de refracción obtenido por Ijaz, A. con el valor obtenido en la presente investigación dando una diferencia de 0,0005 lo cual indica que el índice de refracción es el mismo para ambas investigaciones.

#### 3.4.4 RESULTADO DE CROMATOGRAFÍA DE GASES

Los resultados obtenidos en el análisis cromatográfico realizado por el Centro de Investigaciones Químicas son los siguientes:

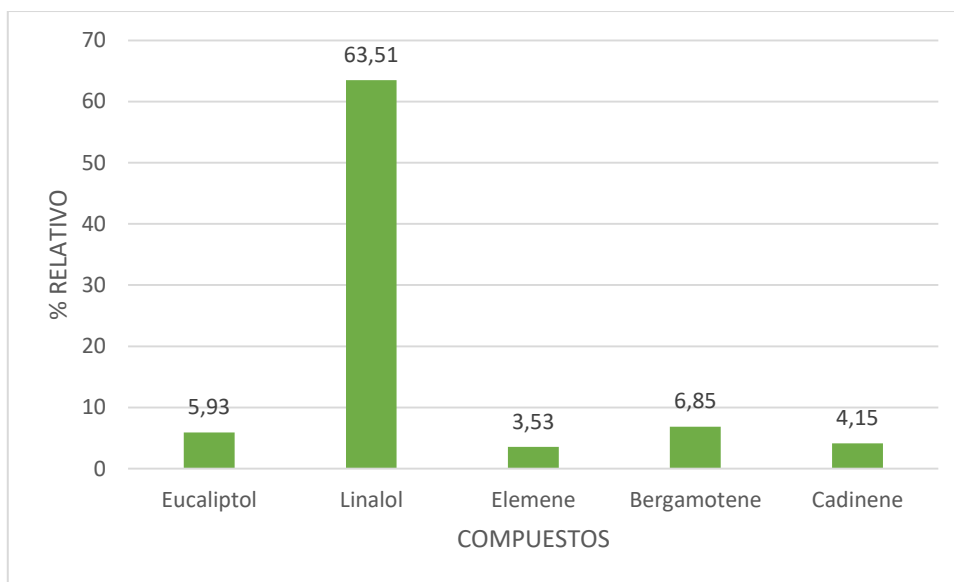
**Tabla III- 11. Resultados del análisis cromatográfico comparados con el trabajo de Ijaz, A.**

Ítem	Compuesto	% Relativo Tarija	% Relativo Pakistán
1	Eucaliptol	5,93	0,4
2	Linalol	63,51	60,5
3	Elemene	3,53	-
4	Bergamotene	6,85	7,4
5	Cadinene	4,15	5,3

Fuente: CIQ, 2016.

En la tabla III-11 se comparan los datos del análisis cromatográfico de la presente investigación, con los del trabajo realizado por Ijaz, A. (2008) observándose que los porcentajes obtenidos en ambos trabajos son de valores cercanos. Por otra parte, el compuesto mayoritario en ambas investigaciones es el Linalol el cual le confiere el aroma característico al aceite esencial de albahaca.

**Grafico 3- 7. Porcentaje relativo vs Compuesto del análisis cromatográfico**



Fuente: CIQ, 2016.

En el gráfico 3-7, se puede observar que el compuesto mayoritario es el linalol con un 63,51%, siendo este compuesto el que despierta interés en productores de cosméticos por el aroma que desprende.

### 3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS TRABAJOS PREVIOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la extracción de aceite esencial de albahaca en la presente investigación, en la que se obtiene el mayor volumen de aceite esencial comparado con los resultados de un trabajo realizado por Mindaryani, A. (2007) en San Francisco, USA.

**Tabla III- 12. Comparación de resultados con trabajos previos**

<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>San Francisco, USA.</b>	<b>Tarija, Bolivia.</b>
<b>Peso de hojas</b>	g	300	350
<b>Tiempo de destilación</b>	min	135	126
<b>Flujo de destilado</b>	cm <sup>3</sup> /s	0,5083	0,229
<b>Volumen de destilado</b>	cm <sup>3</sup>	3600	1861
<b>Masa de aceite esencial</b>	gr	1,979	1,456
<b>Porcentaje de rendimiento</b>	%	0,6597	0,514
<b>Apariencia del aceite esencial</b>	-	Amarillo pálido	Amarillo pálido

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los datos expuesto en la tabla III-12, son una comparación con un trabajo realizado en San Francisco, USA con los datos obtenidos en la presente investigación donde se encuentra que el porcentaje de rendimiento obtenido en la Ciudad de Tarija varía en un 0,145% respecto al otro trabajo, lo cual puede deberse a la materia prima



empleada, al equipo de destilación y a la época del año como se analizó anteriormente es un factor que influye en el rendimiento de aceite esencial de albahaca.

### 3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

Para realizar el análisis se emplea el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciencis), el cual es un programa estadístico con la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para la mayoría de los análisis.

Los datos introducidos al programa son las variables del diseño factorial independientes: masa de lecho y tamaño de partícula y la variable respuesta o dependiente rendimiento de aceite esencial.

**Tabla III- 13. Datos obtenidos de todos los experimentos**

EXP.	Masa en el lecho	Tamaño de partícula (cm)	Volumen de aceite (ml)
1	250	3,78	1
REP.	250	3,78	1,2
2	300	3,78	1
REP.	300	3,78	1,2
3	350	3,78	1,8
REP.	350	3,78	1,5
4	250	0,2	0,3
REP.	250	0,2	0,3
5	300	0,2	0,5
REP.	300	0,2	0,5
6	350	0,2	0,5
REP.	350	0,2	0,5
7	250	0,1	0,5
REP.	250	0,1	0,5
8	300	0,1	1
REP.	300	0,1	1,1
9	350	0,1	1,2
REP.	350	0,1	1,1

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Tabla III- 14. Datos para análisis estadístico.**

<b>EXP.</b>	<b>Masa en el lecho</b>	<b>Tamaño de partícula</b>	<b>Volumen de aceite</b>
<b>1</b>	-1	1	1,067
<b>REP.</b>	-1	1	1,000
<b>2</b>	0	1	1,340
<b>REP.</b>	0	1	1,300
<b>3</b>	1	1	1,422
<b>REP.</b>	1	1	1,522
<b>4</b>	-1	0	0,167
<b>REP.</b>	-1	0	0,167
<b>5</b>	0	0	0,420
<b>REP.</b>	0	0	0,420
<b>6</b>	1	0	0,722
<b>REP.</b>	1	0	0,722
<b>7</b>	-1	-1	0,722
<b>REP.</b>	-1	-1	0,722
<b>8</b>	0	-1	0,880
<b>REP.</b>	0	-1	0,860
<b>9</b>	1	-1	1,111
<b>REP.</b>	1	-1	1,144

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Primeramente se realiza un análisis introduciendo todas las variables del diseño y sus posibles interacciones para observar las variables que son significativas, debiendo obtenerse un valor menor a 0,05 lo cual indica que es influyente en la variable respuesta rendimiento.

El resultado de dicho análisis da como resultado que las variables significativas son: masa de lecho, tamaño de partícula y tamaño de partícula al cuadrado.

Los resultados del análisis estadístico se detallan a continuación:

**Tabla III- 15. Variables introducidas/ eliminadas**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	TP2	.	Introducir
	TP		
	ML		

a. todas las variables solicitadas introducidas

Fuente: SPSS, 2016.

**Tabla III- 16. Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,938	0,879	0,853	0,16655

a. Variables predictoras: (constante), TP2, TP, ML

b. Variable dependiente: Rend

Fuente: SPSS, 2016.

**Tabla III- 17. ANOVA**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	2,828	3	0,943	33,982	0,000
Residual	0,388	14	0,028		
Total	3,216	17			

a. Variables predictoras: (constante), TP2, TP, ML

b. Variable dependiente: Rend

Fuente: SPSS, 2016.

**Tabla III- 18. Coeficientes**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 Constante	0,433	0,068		6,373	0,000	0,288	0,579
ML	0,233	0,048	0,451	4,853	0,000	0,130	0,336
TP	0,192	0,048	0,37	3,987	0,001	0,089	0,295
TP2	0,658	0,083	0,734	7,906	0,000	0,480	0,837

Fuente: SPSS, 2016.

Las variables empleadas presentan una significancia menor a 0,05 indicando que tienen un 95% de aceptación.

Del análisis realizado en el programa se concluye que la ecuación del modelo es:

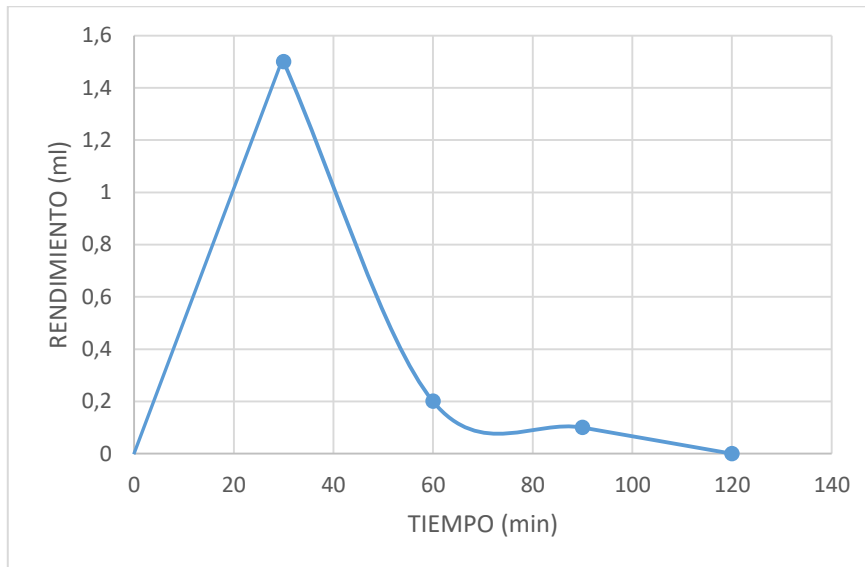
$$Rend = 0,433 + 0,233 ML + 0,192 TP + 0,658 TP^2$$

La ecuación del modelo estadístico obtenido del programa SPSS, permite calcular el valor del rendimiento de aceite esencial directamente sin realizar pruebas experimentales en laboratorio.

### 3.6.1 TIEMPO Vs. RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL OBTENIDO

Se construye una gráfica para observar la variación del volumen obtenido de aceite esencial con el tiempo; los datos a emplear pertenecen al experimento con mayor rendimiento de aceite esencial.

Dichos datos se obtienen midiendo el volumen de aceite esencial obtenido en intervalos de 30 minutos.

**Grafico 3- 8. Tiempo Vs. Rendimiento**

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la gráfico 3-8 se puede observar que en los primeros 30 minutos se alcanza el mayor nivel de destilación alcanzándose un volumen de 1,5 ml de aceite esencial; posteriormente la velocidad de destilación va disminuyendo hasta los 60 minutos en los cuales se destila 0,2 ml, a partir de ahí los volúmenes son irrelevantes y muy difícil de cuantificar, lo cual puede determinar que el tiempo final de extracción de aceite esencial de albahaca sea el de 30 minutos, pues las cantidades destiladas posteriormente son mínimas, para el triple de energía empleada hasta los 90 minutos.

### 3.6.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA Vs. RENDIMIENTO

En la siguiente tabla se reportan los datos del volumen de aceite esencial total obtenido para cada uno de los tamaños de partícula empleados en todos los experimentos realizados.

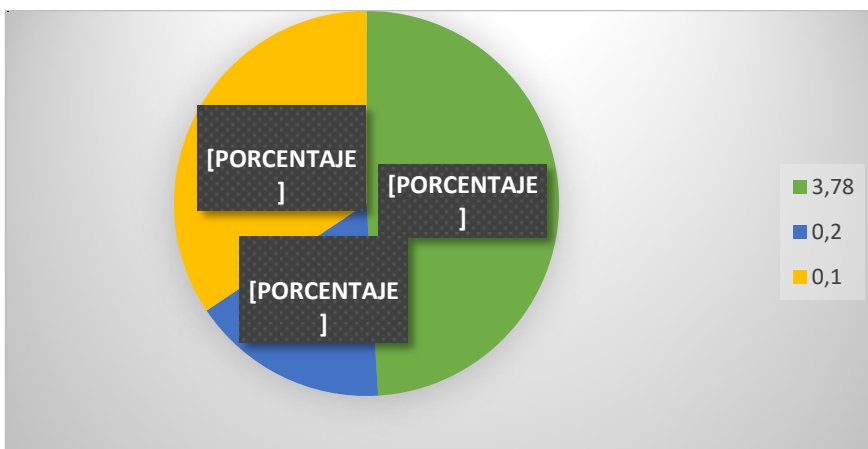
**Tabla III- 19. Datos de rendimiento vs. Tamaño de partícula**

Tamaño de partícula (cm)	Masa en el lecho (gr)	Volumen de aceite esencial (ml)	Volumen total de aceite esencial (ml)	% Rendimiento (gr/100 gr de albahaca)
3,78	250	1	7,7	0,324
	250	1,2		0,388
	300	1		0,270
	300	1,2		0,324
	350	1,8		0,416
	350	1,5		0,347
0,2	250	0,3	2,6	0,097
	250	0,3		0,097
	300	0,5		0,135
	300	0,5		0,135
	350	0,5		0,116
	350	0,5		0,116
0,1	250	0,5	5,4	0,162
	250	0,5		0,162
	300	1		0,270
	300	1,1		0,297
	350	1,2		0,277
	350	1,1		0,254

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Con el fin de observar el predominio del tamaño de partícula en el rendimiento de aceite esencial de albahaca, se construye una gráfica que muestra la influencia del tamaño de partícula para las diferentes masas de lecho empleadas.

**Grafico 3- 9. Tamaño de partícula vs. Rendimiento**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Como se observa en el gráfico 3-9, el tamaño de partícula con el que se obtiene un mejor rendimiento es el de hoja entera con un tamaño promedio de 3,78cm, representando un 49% del volumen de aceite esencial obtenido del total de experimentos realizados.

Las hojas picadas con un tamaño promedio de 0,2 cm, representan un 17%. Por último las hojas picadas de 0,1 cm simboliza un 34% del volumen total de aceite esencial obtenido.

El mejor tamaño para el proceso de extracción de aceite esencial de albahaca es de las hojas enteras, del que se obtiene mayor volumen de aceite esencial empleando diferentes masas en el lecho.

Por otra parte, el tamaño de 0,2 cm es con el que se perciben los volúmenes más bajos de aceite esencial, debido al proceso de molienda y tamizado que generan pérdidas en comparación con las hojas enteras que mantienen intactas las cavidades donde se almacena este; también influye que para obtener este tamaño, en las cantidades de masa empleadas en la presente investigación, se realiza una segunda molienda a las hojas de rechazo en el tamiz de 0,5 cm; de esta manera se provoca la ruptura de las cavidades donde se almacena el aceite esencial facilitando su volatilización al ambiente.

El tamaño de 0,1 cm presenta un rendimiento mayor al de 0,2 cm esto se debe a que las hojas secas durante el tiempo de almacenamiento se quiebran naturalmente y al ingresar al equipo de molienda no sufren el mismo impacto que las hojas enteras para llegar al tamaño de 0,2 cm.

### 3.6.3 MASA EN EL LECHO Vs. RENDIMIENTO

La siguiente tabla representa los datos de rendimiento promedio para las diferentes masas en el lecho empleadas en todos los experimentos realizados.

**Tabla III- 20. Datos de masa de lecho Vs. Rendimiento**

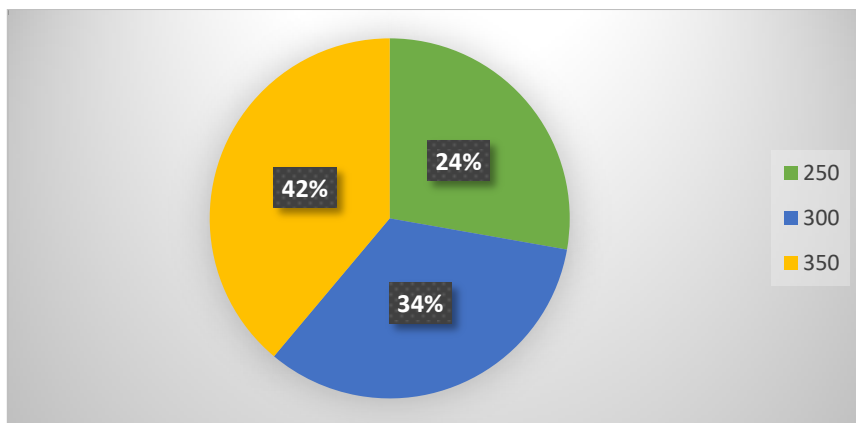
Masa en el lecho (gr)	Tamaño de partícula (cm)	Volumen de aceite esencial (ml)	Volumen total de aceite esencial (ml)	% Rendimiento (gr/100 gr de albahaca)
250	3,78	1	3,8	0,324
	3,78	1,2		0,388
	0,2	0,3		0,097
	0,2	0,3		0,097
	0,1	0,5		0,162
	0,1	0,5		0,162
300	3,78	1	5,3	0,270
	3,78	1,2		0,324
	0,2	0,5		0,135
	0,2	0,5		0,135
	0,1	1		0,270
	0,1	1,1		0,297
350	3,78	1,8	6,6	0,416
	3,78	1,5		0,347
	0,2	0,5		0,116
	0,2	0,5		0,116
	0,1	1,2		0,277
	0,1	1,1		0,254



Fuente: Elaboración propia, 2016.

A objeto de observar cuál es la masa en el lecho con la cual se obtiene mayor rendimiento de aceite esencial se realiza la siguiente gráfica, utilizando datos obtenidos con diferentes tamaños de partícula.

**Gráfico 3- 10. Masa en el lecho vs. Rendimiento**



Fuente: Elaboración propia, 2016.

De la gráfica se concluye que la masa en el lecho con la que se obtiene un mejor rendimiento de aceite esencial de albahaca es 350 gr, representando un 42% del rendimiento total de aceite obtenido con diferentes tamaños de partícula.

Las masas en el lecho de 300 y 250 gr representan un 34% y 24% respectivamente del total de aceite esencial obtenido.

### 3.8 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Los datos que se emplean para los siguientes cálculos pertenecen a la extracción que da como resultado el mayor volumen de aceite esencial de albahaca.

#### **Datos:**

Densidad del agua: 0,9956 gr/ml

Masa de agua cargada a la torre: 4,4802 kg

Calor específico del agua: 1 kcal/Kg °C

Densidad del aceite esencial de albahaca: 0,809 gr/ml

Tiempo de calentamiento: 40 min

Tiempo de extracción: 126 min

Peso de hojas: 350 gr

Peso de residuo: 446,04 gr

Tamaño de partícula: hoja entera (tamaño promedio: 3,78cm)

Temperatura del agua en la torre antes de iniciar el proceso: 14 °C

Temperatura de entrada al condensador: 14 °C

Temperatura de salida del condensador: 16 °C

Temperatura de vapor: 93 °C

Temperatura de condensados: 34 °C

Volumen de condensados: 1861 ml

Volumen de agua condensada: 1859,2 ml

Volumen de aceite esencial condensado: 1,8 ml

Volumen inicial de agua en la torre: 4500 ml

Volumen final de agua en la torre: 2460 ml

Caudal de agua de refrigeración: 118,33 ml/s

**Cálculos previos al balance:**

- Masa de vapor:

$$V_{vapor} = V_{inicial\ de\ agua\ en\ la\ torre} - V_{final\ de\ agua\ en\ la\ torre}$$

$$V_{vapor} = 4500\ ml - 2460\ ml = 2040\ ml$$

$$m_{vapor} = \rho_{agua} \times V_{vapor}$$

$$m_{vapor} = 0,9956 \frac{gr}{ml} \times 2040\ ml = 2031,024\ gr$$

$$m_{vapor} = 2,031\ kg$$

- Masa de agua de refrigeración:

$$V_{agua\ de\ ref.} = Q_{agua\ de\ ref.} \times t_{extracción}$$

$$V_{agua\ de\ ref.} = 118,33 \frac{ml}{s} \times 7560\ s$$

$$V_{agua\ de\ ref.} = 894574,8\ ml$$

$$m_{agua\ de\ ref.} = \rho_{agua} \times V_{agua\ de\ ref.}$$

$$m_{agua\ de\ ref.} = 0,9956 \frac{gr}{ml} \times 894574,8\ ml = 890638,67\ gr$$

$$m_{agua\ de\ ref.} = 890,64\ kg$$

**Balance de materia:**

$M_1$  = masa de agua en la torre

$M_2$  = masa de hojas de albahaca en la torre

$M_3$  = masa de residuo de hojas de albahaca

$M_4$  = masa de mezcla de vapores

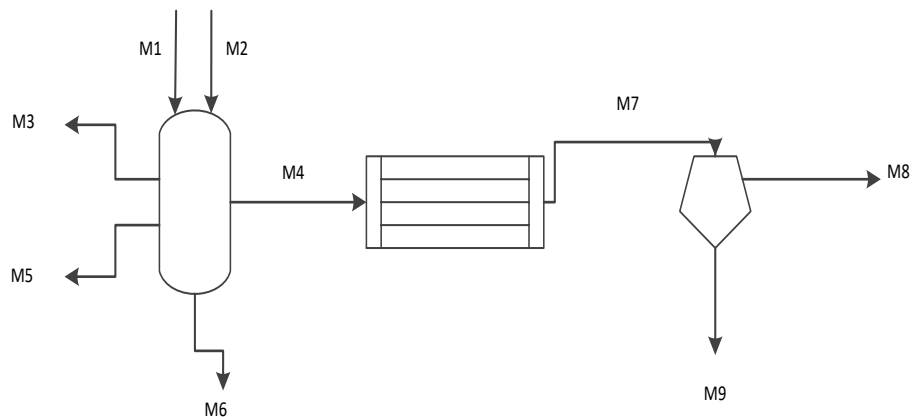
$M_5$  = pérdidas de vapor en la torre de destilación

$M_6$  = masa de agua después de la destilación

$M_7$  = masa de condensados

$M_8$  = masa de agua condensada

$M_9$  = masa de aceite esencial de albahaca

**Diagrama III- 1. Diagrama de flujo del equipo de extracción de aceite esencial**

Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Tabla III- 21. Valor de las corrientes del diagrama de flujo**

Corriente	Variable	Masa (Kg)
<b>M1</b>	Agua cargada a la torre	4,4802
<b>M2</b>	Hojas de albahaca cargadas a la torre	0,35
<b>M3</b>	Residuo de hojas de albahaca	0,446
<b>M6</b>	Agua después de la destilación.	2,44
<b>M7</b>	Mezcla de agua y aceite esencial condensados	1,852
<b>M8</b>	Agua condensada	1,851
<b>M9</b>	Aceite esencial de albahaca	0,00146

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Realizando balance de materia en el condensador se tiene:

$$M_4 = M_7$$

$$M_4 = M_7 = 1,852 \text{ kg}$$

Para calcular la cantidad de pérdidas en la torre de destilación se realiza balance de materia en dicho equipo:

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_4 + M_5 + M_6$$

$$M_5 = (M_1 + M_2) - (M_3 + M_4 + M_6)$$

$$M_5 = (4,4802 + 0,35) - (0,446 + 1,852 + 2,449)$$

$$M_5 = 0,0832 \text{ kg}$$

Este valor representa el vapor que se pierde ya sea cuando se abre el equipo o por fugas que presente el equipo; pero se puede concluir que las pérdidas existentes son muy pequeñas.

Realizando balance de masa en la etapa de separación se obtiene lo siguiente:

$$M_7 = M_8 + M_9$$

$$1,852 = 1,851 + 0,00146$$

$$1,852 \text{ kg} = 1,852 \text{ kg}$$

Del resultado anterior se concluye que no existen pérdidas en la etapa de separación de aceite esencial del agua.

### **Balance de energía:**

En el proceso de extracción de aceite esencial de albahaca existen tres etapas: calentamiento, generación de vapor y condensación; a los cuales se les realiza un balance de energía que se detalla a continuación:

### **Balance de energía en la etapa de calentamiento:**

En esta etapa existe cambio de temperatura pero no de fase por lo cual se trata de calor sensible.

$$Q = m \times c_p \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 4,4802 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times (93^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C})$$

$$Q = 353,936 \text{ kcal}$$

### **Balance de energía para la etapa de generación de vapor:**

Para obtener el valor del calor empleado para la etapa de generación de vapor se calcula la potencia térmica de la hornilla a G.L.P.

$$\text{Potencia térmica} = \frac{Q_{\text{calentamiento}}}{t_{\text{calentamiento}}}$$

$$P = \frac{353,936 \text{ kcal}}{0,67 \text{ hr}} = 528,263 \text{ kcal/hr}$$

$$P = \frac{Q_{\text{extracción}}}{t_{\text{extracción}}} \rightarrow Q_{\text{extracción}} = P \times t_{\text{extracción}}$$

$$Q = 528,263 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \times 2,1 \text{ hr} = 1109,352 \text{ kcal}$$

### **Balance de energía en la etapa de condensación:**

#### Calor cedido:

Es el calor que cede la mezcla de vapores al agua de refrigeración en la etapa de condensación, es la suma del calor latente y sensible.

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{Q_{\text{vaporización}}}{m_{\text{vapor}}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{1109,352 \text{ Kcal}}{2,031 \text{ Kg}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = 546,209 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{vapor}} \times \lambda_{\text{vapor}} + m_{\text{vapor}} \times c_p (T_{\text{condensados}} - T_{\text{vapor}})$$

$$Q_{\text{cedido}} = \left( 2,031 \text{ kg} \times 546,209 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) + \left( 2,031 \text{ Kg} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} (34^\circ\text{C} - 93^\circ\text{C}) \right)$$

$$Q_{\text{cedido}} = 989,521 \text{ Kcal}$$

Calor ganado:

Es el calor ganado por el agua de refrigeración, es un calor sensible debido a que no existe cambio de fase solo de temperatura.

$$Q_{ganado} = m_{agua\ de\ ref.} \times c_p \times (T_{salida\ cond.} - T_{entrada\ cond.})$$

$$Q_{ganado} = 890,64\ Kg \times 1 \frac{Kcal}{Kg\ ^\circ C} \times (16\ ^\circ C - 14\ ^\circ C)$$

$$Q_{ganado} = 1781,28\ Kcal$$



**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La extracción de aceite esencial de hojas de albahaca se ha realizado, empleando el método de destilación agua-vapor
- Las hojas de albahaca producidas en la Ciudad de Tarija son materia prima para la presente investigación, de las cuales se observa las siguientes características fisicoquímicas:

Característica	Evaluación
Forma	Elipsoidal
Aroma	Dulce
Color	Verde
Textura	Lisa
Sabor	Dulce/picante

Estado de planta	Porcentaje de humedad de hojas de albahaca
Fresca	87,28
Seca	10.79

- El proceso de extracción de aceite esencial de albahaca se realiza en un equipo de destilación agua-vapor con las siguientes variables de operación: presión atmosférica, temperatura de vapor constante de 93°C, siendo que la temperatura del agua de condensación se encontraba en un valor promedio de 14°C, tiempo de destilación óptimo de 30 minuto, masa de materia prima 350 gr para cada lote de destilación.
- El aceite esencial de albahaca obtenido presentó las siguientes variables al análisis organoléptico:

Característica	Evaluación
Aroma	Dulce / Floral
Color	Amarillo pálido
Apariencia	Límpida

- De acuerdo a los análisis de Laboratorio, las características físicas del aceite de albahaca obtenido, son las siguientes:

Variable	Unidad	Valor
% Rendimiento	ml/ 100 gr de albahaca	0,514
Índice de refracción	-	1,499
Densidad	gr/ml	0,809

- Respecto a análisis cromatográficos realizados por el CIQ se tienen los siguientes resultados de características químicas:

Ítem	Compuesto	% Relativo
1	Eucaliptol	5,93
2	Linalol	63,51
3	N/I	1,03
4	Elemene	3,53
5	N/I	1,63
6	Bergamotene	6,85
7	N/I	2,37
8	N/I	2,05
9	Cadinene	4,15
10	N/I	1,92

- El almacenamiento de aceite esencial de albahaca debe hacerse en frascos de vidrio color ámbar con cierre hermético, en lugar fresco, seco y oscuro para evitar la degradación de sus componentes, por efecto de la luz.
- El porcentaje de rendimiento del aceite esencial para hojas enteras de tamaño

promedio de 3.78 cm es de 0.514 ml /100 gramos de albahaca, las hojas de tamaño promedio de 0.2 cm es de 0.143 ml /100 gramos de albahaca y finalmente el tamaño promedio de hojas secas de albahaca de 0.1 cm presenta un rendimiento de 0.342 /100 gramos de albahaca. Entonces se concluye que la mejor manera de trabajar es con hojas secas y enteras para obtener un buen rendimiento de aceite esencial de albahaca.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Para futuras investigaciones se recomienda emplear un sistema de enfriamiento para el agua que ingresa al condensador.
- Evaluar el rendimiento de aceite esencial de albahaca en las diferentes estaciones del año, a objeto de observar si existe variación.
- Variar el tiempo de secado al ambiente con el objetivo de observar si existen cambios en el rendimiento de aceite esencial de albahaca.
- Se recomienda variar el flujo de vapor en la torre de destilación.
- Realizar un estudio de aplicaciones de aceite esencial de albahaca para introducirlas a la industria.
- Se recomienda realizar un estudio de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de albahaca para emplearlo como repelente natural de insectos.
- Emplear diferentes variedades de albahaca, a objeto de observar la variación en el rendimiento y sus componentes químicos.
- Se recomienda investigar sobre la actividad antioxidante del aceite esencial de albahaca para emplearlo como conservante de comidas.



