

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Aceite esencial

Los Aceites Esenciales se definen como la mezcla de componentes volátiles, productos del metabolismo secundario de las plantas. Se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, de las 300 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, lamiáceas, mirtáceas, rosáceas, rutáceas, umbelíferas, pináceas. (*Industria de los aceites esenciales, 2011*)

Los aceites esenciales se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (albahaca, menta, romero, etc.), en las raíces (valeriana, cálamo, etc.), en la corteza (canela, sándalo, etc.), en las flores (jazmín, rosa, etc.), en la cáscara del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en los frutos (anís, cardamomo, hinojo, etc.), consisten en una mezcla de sustancias aromáticas que solo la naturaleza puede producir.

Cada aceite esencial contiene las propiedades específicas de la planta de la que se obtiene cuyos componentes químicos sirven para distintas finalidades como ser antibióticos, regeneradores celulares, antisépticos, etc. Son formas altamente concentradas de la parte de la planta de la cual se extraen.

La composición varía según el lugar de origen y también varía en el hábitat en el cual se desarrolla, (por lo general climas cálidos tienen mayor contenido de aceites esenciales), el momento de la recolección, el método de extracción, etc. (*Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales, 2011*).

1.1.1 Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se clasifican de la siguiente manera:

Tabla I- 1

Clasificación de los aceites esenciales.

Categoría	Sub- división
Consistencia	<p>Esencias fluidas: Son líquidos volátiles a temperatura ambiente.</p> <p>Bálsamos: Son de consistencia más espesa, poco volátiles, contienen principalmente sesquiterpenoides y son propensos a polimerarse. Son extractos naturales obtenidos de un arbusto o árbol. Se caracteriza por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes esterres.</p> <p>Oleorresinas: Son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales, Tienen el aroma de plantas en forma concentrada, son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas. Contiene los aceites esenciales, los aceites fijos, colorantes y los principios activos de la planta.</p>
Origen	<p>Naturales: Se obtiene directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.</p> <p>Artificiales: Se obtiene a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencia de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, o la esencia de anís enriquecida con anetol.</p> <p>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 tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.).</p>
Naturaleza química	<p>Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:</p> <p>Monoterpenoides (linalol, nerol, 1 – 8 cineol, geraniol).</p> <p>Sesquiterpenoides (farnesol, nerolidol).</p> <p>Compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas).</p>

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

1.1.2 Principales 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 además 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 de polimetálica del grupo de los terpenos que se encuentran con otros compuestos, casi siempre oxigenados. (*Industria de los aceites esenciales, 2011*)

1.1.3 Propiedades químicas de los aceites esenciales

Los componentes de los aceites 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 sus usos y aplicaciones.
- Terpenoides: son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialmente. Los Terpenos son una clase de sustancia química que se halla en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas, como los pinos y muchos cítricos. Principalmente encontramos en los aceites monoterpenos (C_{10}), aunque también son comunes los sesquiterpenos (C_{15}) y los diterpenos (C_{20}). Pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos.

Según los grupos funcionales (*ver pág. 14 Figura 1- 1 Grupos funcionales de los aceites esenciales*) que tienen, pueden ser:

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

Tabla I- 2**Propiedades químicas según grupo funcional de los aceites esenciales.**

Compuesto	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tónico, espasmolítico.
Aldehído	Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona	Alcanfor, tuyona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico.
Éster	Metilsalicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éteres	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante.
Éter fenólico	Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante.
Fenol	Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano, irritante, entumesciente inmunológico.
Hidrocarburo	Pineno, limoneno	Estimulante, descongestionante, antivírico, antitumoral.

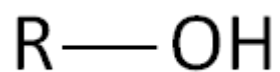
Fuente: Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales. (marzo, 2010).

Las propiedades que presentan los aceites esenciales son variadas como se muestra en la tabla I- 2, las cuales pueden ser aprovechadas, si es que se tiene el suficiente conocimiento para su aplicación.

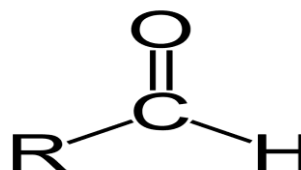
Figura 1- 1

Grupos Funcionales de los aceites esenciales

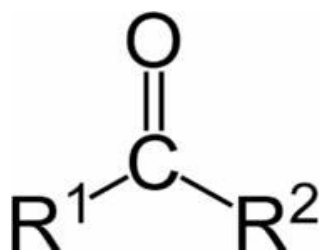
Alcohol



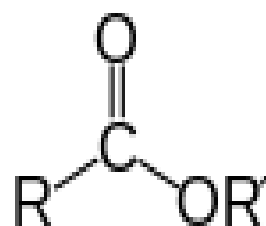
Aldehído



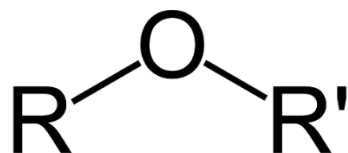
Cetona



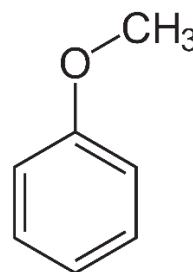
Éster



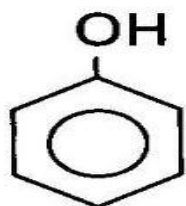
Éteres



Éter fenólico



Fenol



Hidrocarburo

Solo contiene C y H

Fuente: Elaboración Propia, 2018

1.1.4 Almacenamiento de los aceites esenciales

Los aceites esenciales no se ponen rancios como los aceites vegetales grasos. Una de las ventajas que tienen estos es que son antioxidantes y anti radicales, que nos quiere decir que se conservan ellos mismos.

Un aceite esencial se puede almacenar durante un máximo de 5 años.

Cabe resaltar que los aceites esenciales pueden deteriorarse y perder sus cualidades aromáticas y, por tanto, su valor terapéutico a través del tiempo; se presentan a continuación algunos consejos que pueden ayudar a almacenar y conservar mejor estos aceites:

- Los aceites esenciales son sensibles a los rayos ultravioletas y al calor, por este motivo se deben conservar alejados del paso de la luz y protegidos en frascos de cristal oscuro, ámbar o de aluminio que no permitan el paso de los rayos ultravioletas. Lo ideal es un ambiente oscuro y fresco (entre 5°C- 35°C de temperatura). Para una máxima durabilidad, pueden guardarse en el refrigerador.
- Para evitar la pérdida por volatización, es conveniente minimizar su contacto con el aire manteniendo sus envases siempre muy bien cerrados.

1.1.5 Precauciones a tener en cuenta al manipular aceites esenciales

Antes de empezar a manipular y utilizar los aceites esenciales es importante tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Los aceites esenciales al ser compuestos activos muy potentes se debe respetar las dosis recomendadas.

- No es recomendable el uso los aceites esenciales durante el embarazo, sobre todo durante los 3 primeros meses, puede ser muy perjudicial para la madre como para el feto.
- No usar aceites esenciales en niños menores de 3 años.
- Por ningún motivo inyectar aceites esenciales por vía intravenosa o intramuscular.
- Mantener fuera del alcance de los niños.

1.2 Aceite esencial del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

El aceite esencial de Romero es una sustancia líquida, obtenida a partir del *Rosmarinus officinalis*, de color amarillento, con olor característico; los componentes mayoritarios en la composición son 1,8 cineol, alcanfor y alfa pineno.

Estudios en España mostraron que los metabolitos encontrados en el aceite esencial de Romero en mayor proporción fueron precisamente alfa-pineno, 1,8 cineol, alcanfor y además verbenona, y borneol.

En Túnez demostraron que la composición varía, según la variedad y las condiciones climáticas. Entre las diferentes poblaciones existieron variaciones significativas en cuanto a la proporción de los metabolitos, aunque 1,8-cineol (20,34-45,79%), alcanfor (8,5-30,17%), alfa-pineno (6,53-13,1%) y borneol (3,73-25%) fueron los que con más frecuencia se encontraron (*Zaouali et al., 2005*).

1.3 Materia prima “Romero”

Nombre Científico (*Rosmarinus officinalis*)

La planta de Romero (*Rosmarinus officinalis*) fue identificada por el científico sueco Carlos Linneo en año 1753. (*Lax Vivancos, 2014*)

Es considerada una planta balsámica por excelencia conocida y utilizada desde los tiempos más antiguos por sus propiedades medicinales.

Es una planta rica en aceites esenciales como el pineno, alcanfor, limoneno, flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, resinas, y también contiene ácido rosmarínico que tiene propiedades antioxidantes.

Sus principales propiedades medicinales: estimulante, tónico, antioxidante, estomacal, antiespasmódico, antiinflamatorio y antiséptico, posee grandes propiedades medicinales. (*Ricardo Torrico, 2001*)

En la actualidad el Romero tiene diferentes utilidades; alivia dolores musculares, en la gastronomía, como aromatizante y para obtención de aceite esencial.

1.4 Variedades de plantas de Romero

De acuerdo a estudios realizados existen diferentes especies de Romero: *Rosmarinus officinalis*, *Rosmarinus eriocalyx*, *Rosmarinus tomentosus*.

- ✓ **Rosmarinus officinalis:** Arbusto generalmente erguido. Tallos pelosos. Las formas de las hojas pueden ser de lineares a lanceoladas, revolutas, sentadas, agudas, con haz glabra y envés peloso.

La especie *R. officinalis* es la única que crece en forma natural en toda la región y es la especie que se ha utilizado en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Figura 1- 2**Rosmarinus officinalis**

Fuente: Aceites esenciales del genero Rosmarinus L., 2016

- ✓ **Rosmarinus Eriocalyx:** Arbusto con tallos erectos y otros arqueados, que tienden a enraizar, con pelos ramificados, aplicados en la parte superior. Sus hojas son de tamaño más o menos uniforme en la misma rama, lineares, obtusas, de superficie rugosa con estrías transversales, y envés peloso.

Figura 1- 3**Rosmarinus Eriocalyx**

Fuente: Aceites esenciales del genero Rosmarinus L., 2016

- ✓ **Rosmarinus Tomentosus:** Arbusto de hasta 1,5 m, tendido, frecuentemente almohadillado. Tallos muy foliosos, más o menos lanosos, con abundantes pelos estrellados. Hojas de forma lineares, revolutas, obtusas, blanquecinas o cenicientas, con pelos estrellados abundantes, a veces lanosas

Figura 1- 4

Rosmarinus Tomentosus



Fuente: Aceites esenciales del genero Rosmarinus L., 2016

1.5 Descripción y caracterización del Romero (*Rosmarinus officinalis*) cultivado en Bolivia

El Romero es un arbusto leñoso de hojas perenes muy ramificado, puede llegar a medir 1.5 metros de altura, de color verde (todo el año), con tallos jóvenes borrosos y añosos de color rojizo y con la corteza resquebrajada. Las hojas pequeñas y muy abundantes, presentan forma lineal. Son opuestas sésiles enteras con los bordes hacia abajo y de un color verde oscuro, mientras que por el reverso presentan un color blanquecino y están cubiertas de vello.

Desprende un aroma a bosque parecido a los cítricos que se ha convertido en parte fundamental de muchas cocinas, jardines y boticarios a nivel mundial. Su nombre se deriva de las palabras en latín ros ("rocío") y marinus ("mar") o "rocío del mar". (Gonsales, 2001)

El Romero no es una planta exigente y puede ser cultivable en todo tipo de suelo, lo cual, lo hace una opción viable para producirlo en diferentes regiones del país

Figura 1-5

Planta de Romero (*Rosmarinus officinalis*)



Fuente: Elaboración propia, 2018

1.6 Taxonomía del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

La taxonomía del Romero que crece en el Departamento de Tarija fue realizada por el Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza, Encargado del Herbario Universitario, el cual se adjunta en el Anexo 3 es el siguiente:

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Subdivisión: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Subclase: Dicotyledoneae

Grado Evolutivo: Metachlamideae

Grupo de Ordenes: Tetracíclicos

Orden: Escrophulariales

Familia: Labiatae

Nombre científico: *Rosmarinus officinalis* L.

Nombre común: Romero

1.7 Características de la planta de Romero (*Rosmarinus officinalis*)

Este pequeño arbusto se desarrolla en climas tropicales, subtropicales y húmedos, y en suelos áridos, secos, ligeros, algo arenosos, muy permeables, bien drenados, calcáreos o pobres.

La semilla puede medir de 1 a 2 mm donde se recolectan frescas para después secarlas para posteriormente realizar el almacigo y plantación.

La raíz principal se caracteriza por ser de un diámetro ancho, mientras que las raíces secundarias son filamentos largos y delgados.

Su tallo es sin prolongación angosto, leñoso y muy ramificado.

Posee hojas cortas, estrechas, agudas y muy olorosas, que crecen en ángulo muy cerrado en el tallo. Presenta un color verde en el haz y blanquecino en el reverso, y miden de 1 a 3 cm de largo por 3 mm de ancho aproximadamente.

Las flores del Romero crecen formando racimos, y pueden ser de color blanco, rosado, lila, violeta y azul pálido con algunas manchas alargadas.

Presenta un fruto de forma ovalada con tamaño de 2 a 2.5 mm de largo, por 1 mm de ancho.

La planta del Romero presenta las siguientes características empezando desde la semilla hasta el fruto que se presenta a continuación en la figura 1-6.

Figura 1-6

Componentes de la Planta de Romero (*Rosmarinus officinalis*)

a) Rama de floración	f) Anteras	j) Corte longitudinal del ovario
b, c) flores en forma de boca y sapo	g) Pistilo	k) Corte transversal del ovario
d) flor de corte longitudinal	h) Flor falsa	l) Fruto
e) Estambres	i) Cáliz	m) Fruto sin Cáliz
	n) Ovario en forma de tuercas ovaladas	

Fuente: Evaluación de tres bioabonos en la producción del cultivo del Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) en la localidad de Titicachi-La Paz, 2013

1.8 Producción de Romero (*Rosmarinus officinalis*) a nivel nacional

El Romero al ser una planta que crece espontáneamente, en zonas de calor, clima húmedo, o climas secos con alta exposición solar, lo hace adaptable para que crezca y se desarrolle en varias zonas de Bolivia

El cultivo de esta especie no se encuentra plenamente establecido en nuestra región; esta planta es recolectada de manera espontánea en los montes, a diferencia de otras especies.

El Romero en Bolivia se encuentra en diversos lugares de Cochabamba, La Paz, Santa Cruz, Tarija. (*Plantas que curan, 2017*)

En Tarija la planta de Romero se encuentra distribuida en: El Valle central, Corana, San Andrés, el valle de Rujero, y otros lugares más, ya que es una planta que puede soportar climas secos y húmedos.

Las ramas, hojas de Romero se pueden encontrar a la venta en diferentes zonas del mercado Campesino, los 100 gramos aproximadamente salen a razón de 5 Bs., es decir que el kilo de ramas, hojas de Romero cuesta aproximadamente 50 Bs.

1.9 Principales usos del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

Tabla I-3

Usos del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

N°	Usos	Descripción
1	Uso Gastronómico	Es muy usado en la elaboración de panes, dulces, en caldos e infusiones, en la aromatización de vinagres y aceites y como condimento de guisos y asados. Su sabor se caracteriza por ser bien fuerte y penetrante
2	Uso Medicinal	El Romero posee varios beneficios curativos de las cuales se destacan sus propiedades digestivas, es un excelente estimulante, antioxidante y bactericida, rebaja ligeramente los dolores de la menstruación, ayuda a eliminar del organismo los radicales libres, de esta manera ayuda a evitar la aparición de cáncer.
3	Uso Agrícola	Las plantas de Romero se emplean a modo de setos rodeando los campos de cultivo con el fin de aprovechar el poder repelente y, a veces tóxico, frente a muchas especies de insectos y orugas. Evita también la erosión causada por la lluvia y el viento en los terrenos más áridos donde se asienta.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.10 Usos del aceite esencial del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

El aceite esencial del Romero presenta diferentes usos, dependiendo para qué se estaría requiriendo. A continuación, se muestra la tabla I-4 con los principales usos del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*).

Tabla I- 4

Usos del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*)

N°	USOS	DESCRIPCIÓN
1	Uso Medicinal	<ul style="list-style-type: none"> - Este aceite esencial es útil para aliviar los dolores musculares y dolores de las articulaciones - Retrasa el envejecimiento de la piel - Estimula el funcionamiento de la vesícula biliar - Ayuda a expulsar la mucosidad acumulada de las vías respiratorias - Estimula la circulación de la sangre. Favorece el buen funcionamiento del sistema digestivo - Ayuda a mitigar el acné y regular la grasa. Mejora los síntomas del reumatismo y la gota - Acelera la cicatrización de las heridas.
2	Uso en Aromaterapia	Cuando se aplica en masajes, también es utilizado en los saunas como aromatizante y llegan a aumentar la cantidad de nutrientes que llegan a los músculos cansados.
3	Industria Alimenticia	Se lo utiliza en: salsas, condimentos, en preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
4	Industria Farmacéutica	Se usa en cremas dentales, analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias y homeopatía.
5	Industria de Cosméticos	Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes, maquillaje.
6	Industria insecticida o biocidas	Se lo emplea contra la polilla

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1.11 Caracterización Físico química del Aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*)

Los componentes y principios activos del Romero son los siguientes:

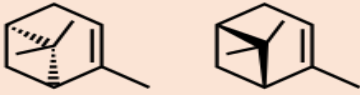
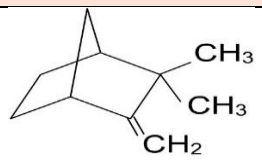
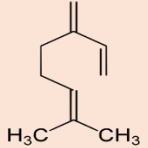
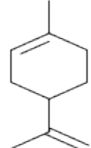
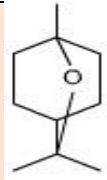
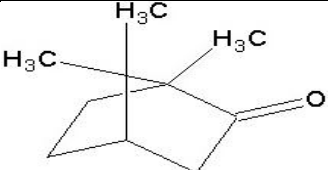
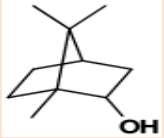
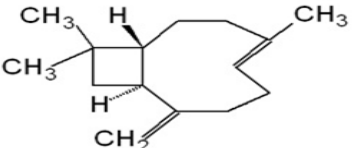
- Aceite Esencial (1- 3 %), su composición depende en gran medida al tipo de cultivo, principalmente está compuesto por 1.8 – cineol, Alfa- pineno y alcanfor (20- 50%), limoneno, verbenona, camfeno, borneol $C_{10}H_{18}O$, mirceno, camfor
- Fenoles y terpenoides, sobre todo presentes en las flores, destaca el carnosol y ácido carnosólico, este último es el potente antibiótico natural del Romero, ácido rosmarínico, rosmasol, oleanólico, betulínico, cafeico, clorogénico.

Cabe resaltar que el Romero es la planta más rica en Acido Ursólico que es un potente hepatoprotector

- Flavonoides, diosmetina, diosina, genkwanina, luteolina, apigenina
- Hidratos de carbono, fibra y minerales como potasio y calcio

Tabla I-5

Composición del aceite esencial del Romero (*Rosmarinus officinalis*)

COMPONENTE	PORCIENTO (%)	ESTRUCTURA
Alfa Pineno	15,3	 (+)- α -pinene (-)- α -pinene
Canfeno	5,7	
Mirceno	4,9	
Limoneno	3,7	
1,8 cineol	21,5	
Alcanfor	18	
Borneol	3,7	
Cariofileno	3,4	

Fuente: Caracterización del aceite esencial de Romero, 2012

1.12 Caracterización del producto

De bibliografía se puede evidenciar que existen diversas especificaciones para el aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) que son implementadas dependiendo de la zona en la que se encuentra, por ejemplo, en España Las normas internacionales de la ISO 9235, así también hay otras normativas que son aplicables para aceites esenciales; como el Reglamento REACH (registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas) que es un reglamento europeo que regula la producción y uso de sustancias químicas, el reglamento CLP (clasificación, etiquetado y envasado) su principal objetivo es determinar si una sustancia o mezcla presenta propiedades que deban ser clasificadas como peligrosas, la normativa IFRA (Asociación internacional de perfumería) que tiene como objetivo garantizar la seguridad de los materiales de fragancia a través de un programa de ciencia.

En la tabla I- 6 se muestra una ficha técnica de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*), que cumple con las normativas implementadas en España.

Tabla I-6

Ficha técnica del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*), Según Normativa Española

IDENTIFICACIÓN QUÍMICA	Romero, aceite	
NOMBRE INCI (*)	Rosmarinus officinalis aceite	
NOMBRE BOTÁNICO	Rosmarinus officinalis, L.	
PUNTO INFLAMACIÓN	41-48°C	
PUNTO EBULLICIÓN	--	
FÓRMULA	--	
PESO MOLECULAR	-	
PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS		
ASPECTO	Líquido	
COLOR	Incoloro - Amarillo	
OLOR	Fresco, Herbáceo	
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS		
	MIN	MAX
DENSIDAD 20°C	0,907	0,920
INDICE REFRACCION 20 °C	1,4640	1,4700
ROTACIÓN ÓPTICA (°)	-2,0	5,0
SOLUBILIDAD VOL. ETANOL 80° (20°C)	1,0	2,0
ALFA PINENO (%)	9,00	14,00
CANFENO (%)	2,50	6,00
BETA PINENO (%)	4,00	9,00
MIRCENO (%)	1,00	2,00
LIMONENO (%)	1,50	4,00
1,8-CINEOL (%)	3,00	5,00
PARACIMENO (%)	0,50	2,50
ALCANFOR (%)	5,00	15,00
ACETATO BORNILO (%)	0,10	1,60
VERBENONA (%)	0,00	0,40
BORNEOL (%)	1,00	5,00
ALFA TERPINEOL (%)	1,00	2,50

Fuente: Lluch Essence, 2018

Sin embargo, es importante recordar que el rendimiento respecto a la cantidad puede variar dependiendo de la región y época de cosecha del Romero (*Rosmarinus officinalis*), así como el modo de proceso y preparación de la muestra utilizada.

(*) INCI: Nomenclatura internacional de Ingredientes Cosméticos

1.13 Métodos de extracción de aceite esencial

Los aceites esenciales según la variedad del material vegetal, la parte de la planta a emplear y estabilidad del aceite esencial que se pretenda obtener, se pueden extraer por distintos procedimientos, donde la correcta aplicación de método será lo que determine la calidad del producto final.

Los diferentes métodos que se pueden aplicar para extraer aceite esencial se muestran en la siguiente tabla I- 7:

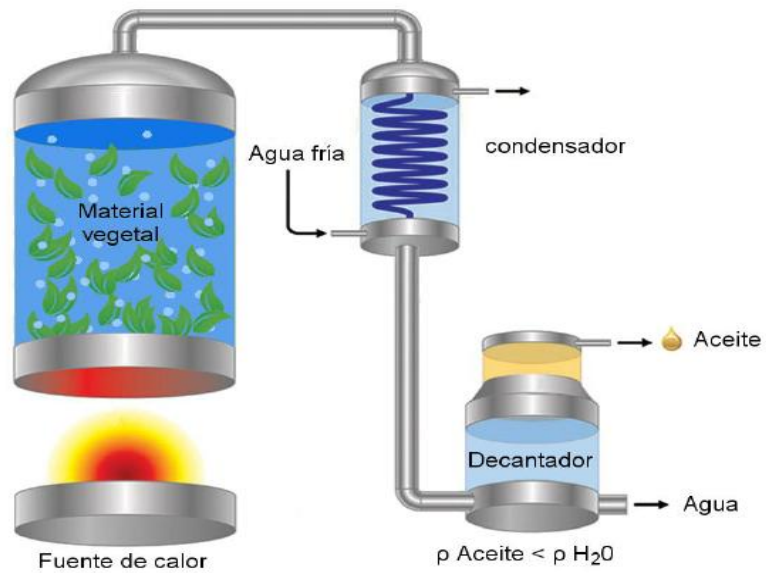
Tabla I-7
Métodos de Extracción de aceite esencial

Extracción	Extracción	Expresión mecánica
<p>- Hidrodestilación o Extracción con agua. El principio es llevar a estado de ebullición una suspensión acuosa del material vegetal aromático, de tal manera que los vapores generados puedan ser condensados y colectados. El aceite, que es inmiscible en agua, es posteriormente separado.</p> <p>- Por arrastre con vapor de agua Es considerado como el más sencillo, seguro y antiguo, y está basado en que la mayor parte de las sustancias aromáticas de una materia vegetal pueden ser arrastradas por el vapor de agua. Consiste en una vaporización a</p>	<p>- Con solventes orgánicos El proceso consiste básicamente en fragmentar el material y ponerlo en contacto con el solvente para que penetre dentro de los tejidos y estructuras, y así extraer los componentes solubles. Luego se filtra el líquido y por último se recupera el disolvente, el cual es reutilizado. Solventes comúnmente utilizados: acetona, alcohol, éter y benceno.</p> <p>- Con sustancias grasas, es más dirigido a pétalos de flores En frío: también denominado “enflorado”, este proceso aprovecha la solubilidad de los aceites en grasas y alcohol. Sobre un vidrio se coloca una fina película de grasa inodora y sobre ella los pétalos de flores extendidas. La esencia pasa a la grasa, así hasta saturación de la grasa. Posteriormente con alcohol de 70°, se extrae el aceite esencial. En caliente: los pétalos de flores se sumergen en grasa</p>	<p>Este tipo de procesos son generalmente aplicados a cítricos. La extracción del aceite se realiza sobre la fruta entera o sobre la cáscara, de manera manual o mecánica. El proceso se basa en la ruptura de las glándulas secretoras de aceite y en recolectar la esencia. La extracción del aceite se produce en una serie de etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corte de la epidermis y de las celdas que contienen la esencia 2. Creación de zonas de mayor presión desde donde fluye la esencia hacia el exterior 3. Abrasión de la cáscara

<p>temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto del paso de una corriente de vapor de agua</p> <p>- Con Vapor saturado o Extracción con Agua y Vapor En este caso el vapor es generado dentro del propio cuerpo del extractor, aunque separado del material vegetal, que se encuentra suspendido sobre un tramado (falso fondo) que impide el contacto del material vegetal con el medio líquido en ebullición.</p>	<p>caliente. La temperatura elevada permite una mayor extracción de compuestos ya que la solubilidad aumenta con la temperatura</p> <p>- Extracción por Fluidos Supercríticos, Consiste en utilizar como material de arrastre sustancias químicas en condiciones especiales de temperatura y presión. El material vegetal se corta en trozos pequeños, se licua y se empaca en una cámara de acero inoxidable por donde se hace circular un líquido supercrítico.</p> <p>Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene un aceite puro.</p> <p>La ventaja de este procedimiento es que tiene Alto rendimiento, ecológicamente limpio, el solvente se elimina fácilmente y se puede reutilizar.</p>	
---	--	--

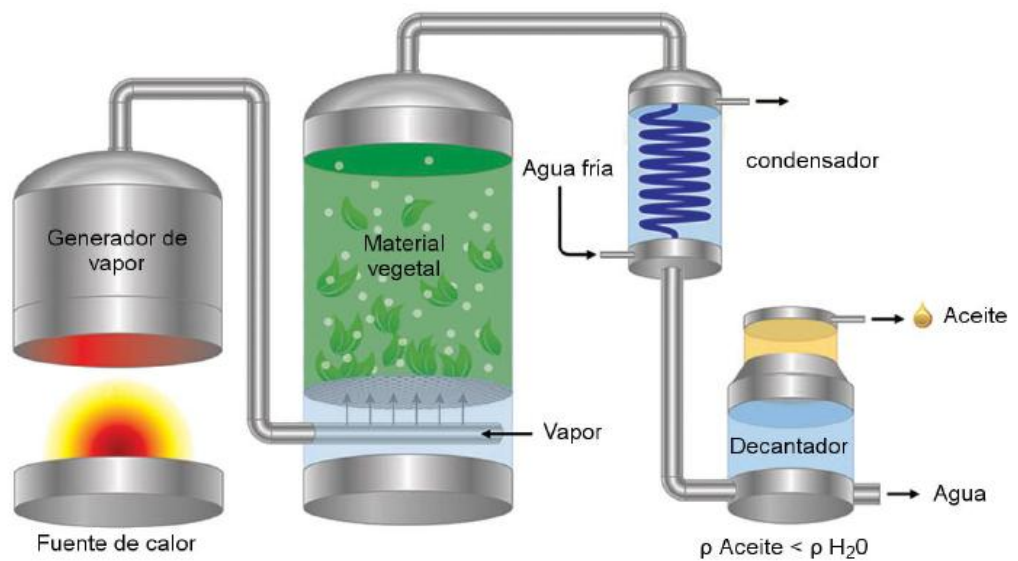
Fuente: Elaboración Propia, 2018. Basados en libro Contribución al estudio de los aceites esenciales (1966) y Tesis de Grado de Maria Cervera (2016)

Figura 1-7
Hidrodestilación



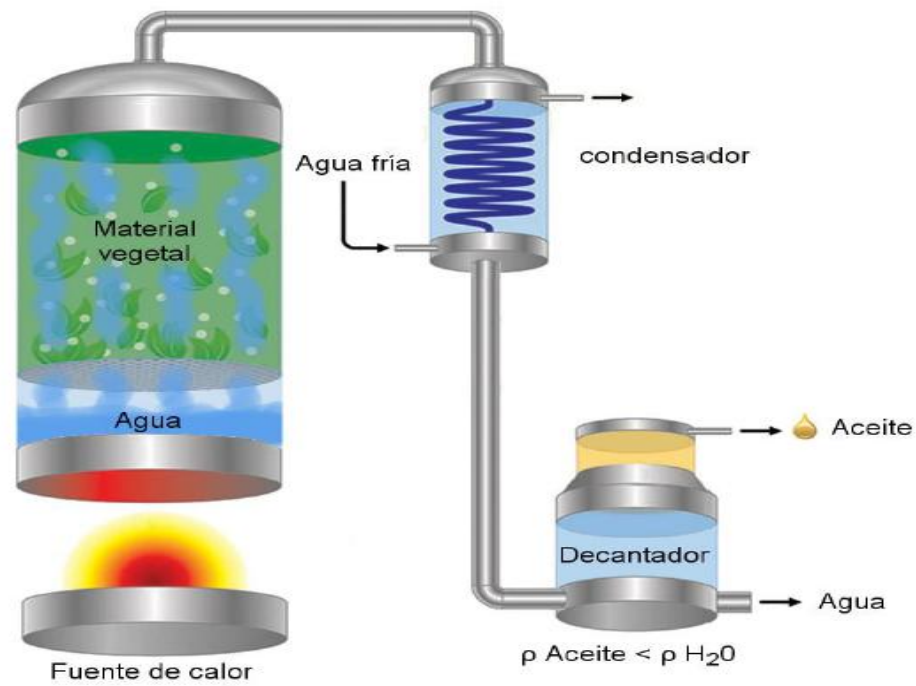
Fuente: Aceites Esenciales, José Barotto (2017)

Figura 1-8
Extracción por arrastre con Vapor de agua



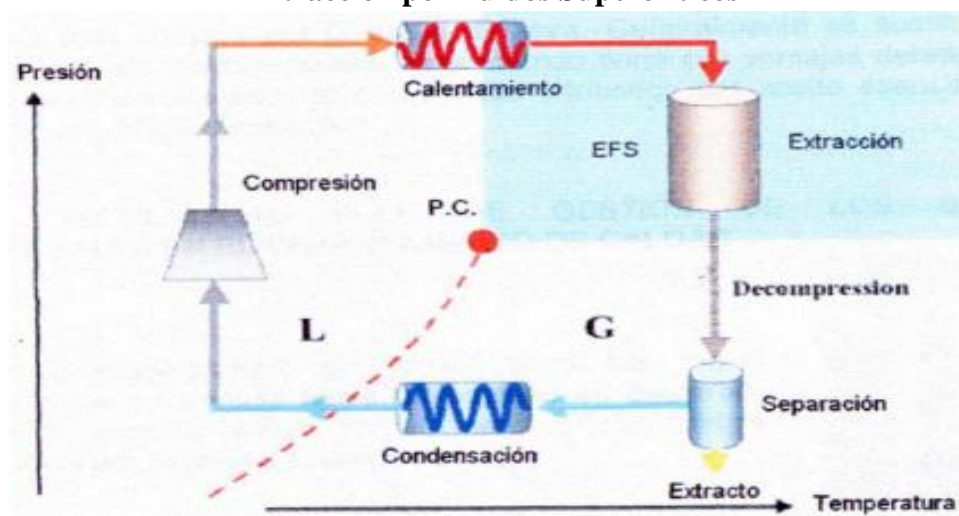
Fuente: Aceites Esenciales, José Barotto (2017)

Figura 1-9
Extracción con vapor Saturado



Fuente: Aceites Esenciales, José Barotto (2017)

Figura 1-10
Extracción por fluidos Supercríticos



Fuente: Industria de aceites esenciales (2017)

1.13.1 Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

Para todo proceso siempre se tiene ventajas y desventajas de ese modo es que, se presentan las ventajas y desventajas que tienen los métodos de extracción:

Tabla I- 8

Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

N°	Método	Ventaja	Desventaja
1	Hidrodestilación	Configuración simple y económica.	Se produce un sobrecalentamiento que puede ocasionar que el material se quemé.
2	Extracción por arrastre con vapor de agua	Se logra obtener un aceite puro Los tiempos de extracción son cortos	Si no se maneja bien las temperaturas estas pueden ocasionar una hidrólisis de los ésteres
3	Extracción con solventes orgánicos	Es muy usado para la extracción de aceite de anís.	El costo de la extracción es muy elevado El aceite obtenido tiene trazas de los disolventes usados
4	Extracción por fluidos supercríticos	El tiempo de extracción se reduce. Se obtienen rendimientos elevados	Se extraen ceras cuticulares y compuestos de alto peso molecular junto con el aceite
5	Expresión mecánica	Es generalmente usado para cítricos.	Las etapas de extracción son diversas y largas

Fuente: Elaboración propia, 2019. Basada en Tesis de grado de Rojas Jaramillo Katty (2016) Caracterización física y química de aceites esenciales de especies aromáticas

1.14 Selección de proceso de extracción de aceite esencial de Romero

(Rosmarinus officinalis)

Los métodos más conocidos en nuestro medio y que pueden ser aplicados a la planta de Romero (*Rosmarinus officinalis*) para la respectiva extracción del aceite esencial son:

- Hidrodestilación
- Extracción por arrastre con Vapor de agua
- Extracción con vapor saturado o con Agua y Vapor
- Extracción por fluidos súper críticos
- Extracción con solventes

Para facilitar la elección del método de trabajo, se realiza una matriz de elección:

Tabla I- 9

Factores a evaluar y porcentaje de evaluación

N°	Factor a evaluar	Detalle	Porcentaje de evaluación
1	Aplicabilidad en las ramas de Romero	La extracción se la pretende hacer en las ramas del Romero, se busca un método que sea acorde a este requerimiento	15 %
2	Disponibilidad de equipos	Este es uno de los factores principales, ya que para llevar a cabo el proyecto se requiere del equipo adecuado y al alcance	30%
3	Calidad del producto que se desea obtener	De acuerdo a bibliografía se puede definir por qué método es mejor el rendimiento de la extracción	25 %
4	Costo	Se debe tener en cuenta que para la extracción se requiere de un presupuesto económico el cual no debe ser muy elevado	25 %
5	Toxicidad por solventes	Se desea que el proyecto a llevarse a cabo no sea contaminante o sea tóxico para el medio	5 %
6	TOTAL		100%

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla I- 10

Calificación a ser utilizada

Rango	Valor
No aplica	0
deficiente	1
adecuado	3
muy bueno	5

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla I- 11

Matriz de decisión para selección del proceso

N°	FACTORES A EVALUAR	PORCENTAJE DE EVALUACIÓN %	EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SÚPER CRÍTICOS			HIDRODESTILACIÓN			EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR DE AGUA			EXTRACCIÓN CON VAPOR SATURADO O CON AGUA Y VAPOR		
			Calificación	A	B	Calificación	Cal/5= C	C*%	Calificación	A	B	Calificación	A	B
				Cal/5= C	C*%					Cal/5= C	C*%		Cal/5= C	C*%
1	Aplicabilidad en las hojas, tallo de Romero	15	4	0,8	12	3	0,6	9	5	1	15	5	1	15
2	Disponibilidad de equipos	30	1	0,2	6	3	0,6	18	5	1	30	4	0,8	24
3	Calidad del producto que se desea obtener	25	4	0,8	20	4	0,8	20	5	1	25	4	0,8	20
4	Costo	25	3	0,6	15	5	1	25	3	1	15	3	1	15
5	Toxicidad por solventes	5	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	TOTAL	100			58			72			85			74

Fuente: Elaboración propia, 2018

Esta tabla como sus ponderaciones y calificaciones son utilizadas con la finalidad de seccionar el método más viable y factible para la extracción de Aceite Esencial de Romero.

La suma de los valores ponderados fijados en la columna “PORCENTAJE DE EVALUACIÓN” debe ser 100. En las columnas de “Calificación” se evalúa cada factor de la columna de “FACTORES A EVALUAR”, al otorgar un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelente.

En las columnas “A”, la calificación asignada de cada método (columna “Calificación”) se divide entre la calificación máxima que pueden obtener es decir 5. En la columna “B” se multiplica el valor de cada renglón de la columna “A” por el valor ponderado de la columna “PORCENTAJE DE EVALUACION” y finalmente se suman todos los renglones de la columna “B” para obtener la calificación global del proceso evaluado bajo las condiciones ponderadas en la columna “PORCENTAJE DE EVALUACIÓN”. El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

Con los resultados obtenidos de la tabla se determina que la mejor opción para la extracción de aceite esencial de Romero a buen costo y con un buen rendimiento es el método de Extracción por arrastre con vapor.

1.15 Etapas del proceso de extracción del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*)

Para la Extracción de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) se tienen fijadas las siguientes etapas:

- **Recolección de materia prima:** La poda y recolección de la planta se la hace a primeras horas de la mañana evitando que esta se mezcle con otras plantas que pueden crecer conjuntamente, el contacto con insecticidas y de acuerdo a

bibliografía se tiene entendido que en las primeras horas es donde dicha planta contiene gran cantidad de aceites esenciales.

- **Recepción limpieza y selección:** Una vez obtenidas las ramas de Romero, se procede a separarlas de entre si ya que estando amontonadas se humedecen y pueden formar hongos, deben ser limpiadas del polvo que estas puedan contener, y de otras ramas que no son requeridas, se quita todas las hojas dañadas y marchitas.
- **Pre- Tratamiento:** Antes de realizar las pruebas de extracción se debe tener un pre- tratamiento de las muestras, para que estas estén en condiciones óptimas para su uso; de acuerdo a bibliografía se explica que existe un mayor rendimiento en base a cantidad cuando las hojas de Romero están secas por eso es que se decide secarlas.
- **Secado de las hojas y tallos de Romero (*Rosmarinus officinalis*) en horno:** Se debe registrar el peso de las hojas y tallos e introducirlos al horno de secado a 50°C. durante 2 días aproximadamente cuidando el peso hasta que este tenga peso constante.
- **Secado de las hojas y tallos de Romero (*Rosmarinus officinalis*) bajo la sombra:** El secado debe llevarse a cabo en una zona que presente condiciones ideales como ser: un ambiente amplio, ventilado, y sobre todo libre de los rayos del sol.
- **Trituración de las hojas de Romero (*Rosmarinus officinalis*):** Para este proceso se debe tener todo el material a utilizar limpio y seco, Para su trituración se usa un molino de mano hasta el tamaño requerido.
- **Carga de las hojas trituradas a la Torre de Extracción.**
- **Extracción con Agua- Vapor.**

1.16 Rendimiento del aceite esencial

El rendimiento respecto a la cantidad de las hojas de Romero utilizadas de acuerdo a bibliografía revisada es diverso dependiendo las fechas de cosecha del Romero, así como también el lugar de origen. A continuación, se presentan los diferentes tipos de rendimiento obtenido:

Tabla I- 12
Rendimientos

N°	Autor	Año- Localización	Parte de la planta utilizada	Rendimiento (%) en cantidad expresado en ml/100g
1	Ramírez Castillo Mayra	2008 - México	hojas	1,83
2	Luis Patiño, Augusto Saavedra	2014 – Bolivia	Hojas- tallos	0,8
3	Rodas Ceballos Melisa	2012- Guatemala	Hojas	1,45
4	Miguel de Gaviña, Jorge Torner	1966 - España	Hojas	0,78

Fuente: Elaboración propia, 2019

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Caracterización de la materia prima

La materia prima utilizada para el presente trabajo de investigación son las hojas de Romero, recolectadas en la comunidad de Canchasmayo de la provincia de Aniceto Arce ubicada a unos 85km., del departamento de Tarija.

Figura 2-1

Romero en su estado Natural



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.1.1 Descripción de la materia prima

El Romero es del genero Rosmarinus, su aspecto general no tiene gran variación entre sus diferentes especies.

Es una planta densa, siempre verde, robusta de una altura entre 90 y 200 cm, las ramas son rígidas con corteza fisurada y tallo cuadrado, leñoso y marrón, posee pequeñas flores azul pálido que aparecen en la época de floración de la planta; las hojas, las flores y las ramas producen un aceite esencial y una oleorresina valorada en la medicina tradicional, la medicina moderna y la aromaterapia, así como también en las industrias de perfumes y de sabor. (Mezza, 2015)

La parte que se utilizará en este proyecto son: las hojas, que tienen en toda su extensión glándulas ricas en aceite esencial que ofrecen el aroma fresco de bosque; estas pueden ser lineares o lanceoladas dentro de una misma rama, revolutas, sentadas, agudas, con haz glabra o, raramente, con pelos ramificados, mantiene su color verde durante todo el año, presentan un vello que se va perdiendo al envejecer; las hojas tienen un sabor poco picante

Figura 2-2

Hojas de Romero



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.2 Determinación de humedad en las hojas de Romero

Para la determinación de humedad de las hojas de Romero se utiliza un analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100, perteneciente al laboratorio de operaciones unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química; para su uso se llevan a cabo los siguientes pasos.

- 1) Deshojar las ramas de Romero
- 2) Tarar el platillo del analizador
- 3) Pesar Aprox. 5g. de la muestra en la balanza del analizador
- 4) Programar el equipo a 105°C.
- 5) Se inicia el proceso de secado
- 6) Se va anotando la variación de la humedad con el tiempo hasta que esté constante.
- 7) Se registra el resultado final del porcentaje de humedad

Al cabo de 32 minutos del secado el porcentaje de humedad no varía dando como resultado final 36,64 % de humedad evaporada. En el capítulo III que corresponde a resultados y discusión se presenta la curva de % de humedad evaporada vs. de secado.

En la siguiente figura se muestra el analizador infrarrojo, usado para la determinación del contenido de humedad de Romero.

Figura 2-3**Analizador infrarrojo**

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.3 Diseño Experimental**2.3.1 Selección de las variables del proceso**

Existen diferentes factores que pueden afectar el rendimiento de los aceites esenciales; dentro de estos se puede mencionar los más resaltantes: tipo de materia prima, tiempo de secado, cantidad de materia utilizada para extraer, tamaño de partícula, tiempo de extracción, método de extracción.

2.3.2 Tipo de materia prima

Los aceites esenciales presentan variaciones dentro de las mismas familias, dependiendo tanto del origen de la planta, el lugar y la época de producción como, de la edad y cuidados que ésta haya tenido.

2.3.3 Tiempo de secado

A partir de bibliografía se ha evidenciado que las hojas de Romero presentan cantidades considerables de aceite esencial cuando están frescas; una vez podadas y secadas bajo las condiciones óptimas de ambiente se pretende obtener un mejor rendimiento en base a cantidad de aceite esencial de Romero, ya que al disminuir el porcentaje de agua que presenten las hojas, será superior la relación que hay entre el aceite esencial y el peso de las mismas, llegando así a alcanzar un porcentaje de humedad óptimo de 8% - 12% según datos bibliográficos.

Después de la deshidratación de la materia vegetal se procede a separar los tallos de las hojas.

2.3.4 Cantidad de masa de materia prima

La cantidad de materia prima introducida en la torre de extracción es esencial puesto que si excede los límites puede producirse un apelmazamiento de las hojas y afectar considerablemente el rendimiento de la extracción; del mismo modo, si se pone cantidades mínimas la extracción no será la recomendable y perderá ciertos componentes esenciales importantes para su respectivo análisis.

2.3.5 Tamaño de partícula

Los tamaños óptimos de las hojas de Romero a ser utilizadas para la extracción de aceite esencial serán determinados dentro del laboratorio durante el proceso de extracción.

2.3.6 Tiempo de extracción

Es una variable muy importante debido a que se extrae gradualmente el aceite de la planta, existe un tiempo óptimo dentro del cual se obtiene gran cantidad de aceite, transcurrido este tiempo la extracción es mínima; esta variable será determinada dentro del laboratorio al momento de realizar la parte experimental.

2.4 Diseño factorial

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

En estadística, el experimento factorial completo es un experimento donde el diseño tiene dos o más factores; estos con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales, cubren las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores.

Estos experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como también el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

En el presente estudio de investigación se plantea un diseño factorial 2^k que corresponde a 2 niveles y 3 variables.

2.4.1 Diseño Experimental a dos niveles 2^k

El diseño consta de dos factores: el factor A y el factor B. Ambos factores tienen dos niveles: el nivel (-) y el nivel (+). Si el factor es cuantitativo, el nivel (+) representa al nivel superior y el (-) al inferior. El diseño consta, entonces, de 8 experimentos según

las combinaciones de los signos de los factores (factor A, factor B) sea “y” la variable respuesta. El diseño se puede resumir en la siguiente tabla, donde cada fila es un experimento distinto

Tabla II-1

Diseño Factorial Estándar

FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C	RESPUESTA y
-	-	-	$Y_{111} = 0$
+	-	-	$Y_{211} = a$
-	+	-	$Y_{121} = b$
+	+	-	$Y_{221} = ab$
-	-	+	$Y_{112} = c$
+	-	+	$Y_{212} = ac$
-	+	+	$Y_{122} = bc$
+	+	+	$Y_{222} = abc$

Fuente: Diseño de experimentos factoriales

Así mismo, la estimación de los efectos de cada interacción se realiza combinando linealmente los datos usando la columna de signos correspondiente y dividiendo por el número de signos (+) de la columna. Por ejemplo, en el diseño anterior, la estimación ($\beta\gamma$) del efecto de la interacción de los factores B y C es:

$$\widehat{(\beta\gamma)} = \frac{1}{4} (+0 + a - b - ab - c - ac + bc + abc)$$

El diseño experimental planteado para la presente investigación es un diseño del tipo:

$$2^k$$

k= número de variables

2= número de niveles

Los factores más importantes que pueden influir en el rendimiento de la extracción de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*), son:

- ✓ Masa de Romero utilizado
- ✓ Tamaño de la partícula

✓ Tiempo de extracción al que estará sometido nuestro proceso.

Teniendo las variables identificadas pasamos a determinar el número de repeticiones experimentales

$$2^k = 2^3$$

$$2 * 2 * 2 = \underline{8}$$

2.4.2 Variable Respuesta

La variable respuesta a evaluar es el rendimiento (R) del aceite esencial de Romero (%R), expresado como volumen de aceite esencial extraído por 100 g. de hojas de Romero.

Todos los datos detallados a continuación fueron obtenidos de experiencias bibliográficas.

Tabla II- 2

Determinación de las variables para el diseño Factorial.

Variable	Nivel	
	Inferior (-)	Superior (+)
M _{Romero} : Masa de Romero Utilizado (gr)	100	130
T _p : Tamaño de la partícula (cm)	0,5	1,5
T _{ext.} : tiempo de extracción (min)	70	90

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.4.3 Número de combinaciones

El número de combinaciones de los factores es igual a 8 por ser un diseño factorial 2^3 . Se realizaron dos repeticiones de toda la experiencia, por lo tanto, el total de ensayos realizados es 16.

A continuación, se muestra el diseño experimental planteado.

Tabla II- 3

Interacción de Variables para el diseño Factorial

N°	Matriz de experimentos			% Rendimiento
	X1	X2	X3	
1	-1	-1	-1	R ₁
2	+1	-1	-1	R ₂
3	-1	+1	-1	R ₃
4	+1	+1	-1	R ₄
5	-1	-1	+1	R ₅
6	+1	-1	+1	R ₆
7	-1	+1	+1	R ₇
8	+1	+1	+1	R ₈

N°	Matriz de experimentos			% Rendimiento
	X1	X2	X3	
9	-1	-1	-1	R ₉
10	+1	-1	-1	R ₁₀
11	-1	+1	-1	R ₁₁
12	+1	+1	-1	R ₁₂
13	-1	-1	+1	R ₁₃
14	+1	-1	+1	R ₁₄
15	-1	+1	+1	R ₁₅
16	+1	+1	+1	R ₁₆

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla II- 4

Matriz de Diseño factorial para la extracción de aceite esencial.

N°	Plan de experimentación			% Rendimiento
	Masa de Romero (g.)	Tamaño de la partícula (cm)	tiempo de extracción (min)	
1	100	0,5	70	R ₁
2	130	0,5	70	R ₂
3	100	1,5	70	R ₃
4	130	1,5	70	R ₄
5	100	0,5	90	R ₅
6	130	0,5	90	R ₆
7	100	1,5	90	R ₇
8	130	1,5	90	R ₈
RÉPLICA DE LA EXTRACCIÓN				
9	100	0,5	70	R ₉
10	130	0,5	70	R ₁₀
11	100	1,5	70	R ₁₁
12	130	1,5	70	R ₁₂
13	100	0,5	90	R ₁₃
14	130	0,5	90	R ₁₄
15	100	1,5	90	R ₁₅
16	130	1,5	90	R ₁₆

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.5 Proceso Tecnológico para la Extracción de aceite esencial de Romero

Una vez definido el producto a obtener y las variables a usar se pasa a detallar completamente todos los pasos que se siguen hasta la obtención del producto final; aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*) cultivado en el departamento de Tarija.

2.5.1 Equipos necesarios para la extracción de aceite esencial de Romero

Los equipos que se utilizan para llevar a cabo las extracciones del aceite esencial de Romero son los que se muestran a continuación.

- **Equipo de extracción:** se usa el equipo de extracción perteneciente al laboratorio de operaciones unitarias de la carrera de Ingeniería Química como se muestra en la figura:

Figura 2- 4**Equipo de extracción de aceite Esencial**

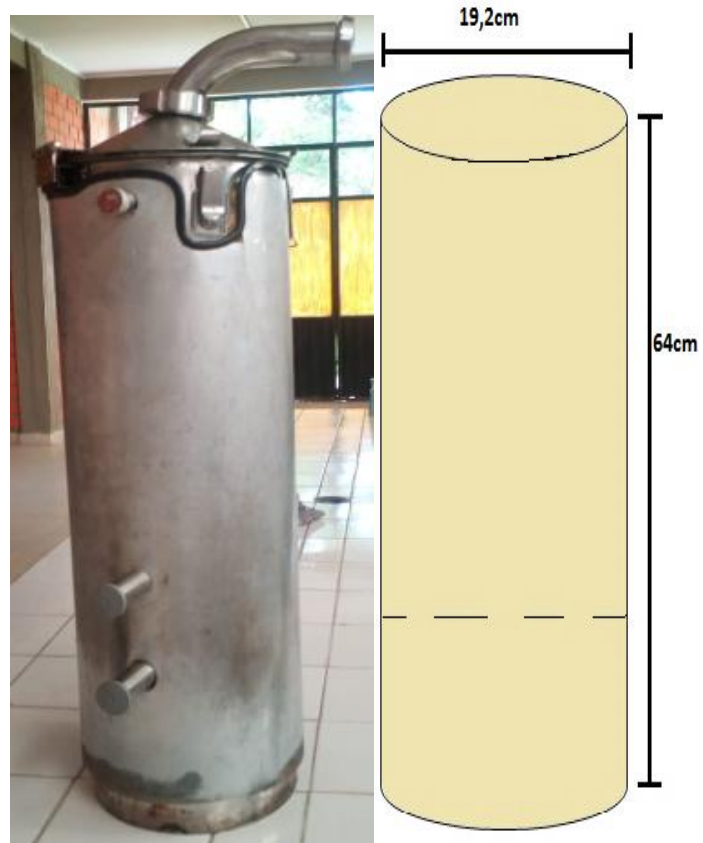
Fuente: Elaboración propia, 2019

Consta de las siguientes partes:

Torre de extracción: Recipiente donde se carga el material Vegetal para su posterior extracción por arrastre de vapor de agua, esta torre está hecha de acero inoxidable, recubierta con un aislante (Fibra de vidrio).

La temperatura de operación del agua es de 92°C temperatura de ebullición promedio del agua en Tarija en función a los días trabajados; a esta temperatura comienza la extracción de aceite esencial de Romero siendo la temperatura Constante. La presión de trabajo durante el proceso de extracción es de 0,94 atm que es la presión promedio de Tarija en función a los días trabajados.

Tiene tres canastillos que se ponen en su interior, también son de acero inoxidable.

Figura 2- 5**Torre de extracción, dimensionamiento**

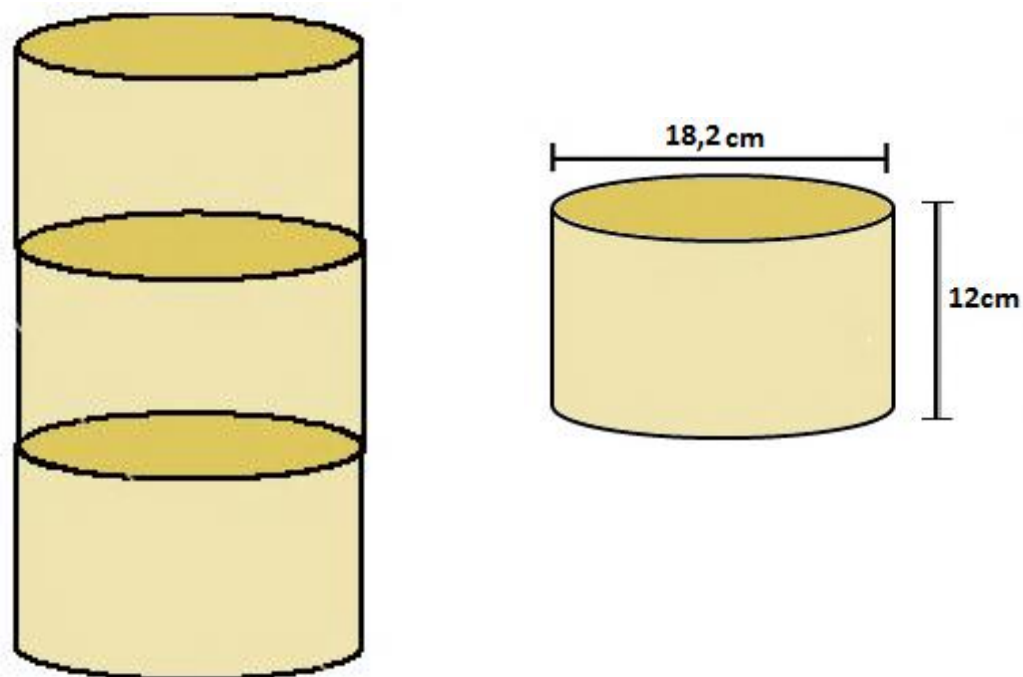
Fuente: Elaboración propia,2019

Figura 2- 6**Canastillos para Extracción**

Fuente: Elaboración propia,2019

Figura 2- 7

Dimensionamiento de los canastillos



Fuente: Elaboración propia, 2019

Cuello de cisne: Este cuello sirve de paso para que los vapores que ascienden por la torre lleguen hasta el condensador; en otras aplicaciones este cuello de cisne es transformado ya en un serpentín donde se van condensando los gases.

Figura 2- 8**Cuello de cisne**

Fuente: Elaboración propia,2019

Condensador o serpentín refrigerante: Es el que se encarga del cambio de fase de los vapores de aceite esencial y agua a líquido; este equipo, por diversos motivos es adaptado de un rota-vapor (marca Heidolph), el mismo pertenece al LOU de la carrera de Ing. Química; está construido de Vidrio como se puede observar en la figura 2-9.

Consta de un tubo que en su interior tiene un serpentín doble por donde circula el refrigerante, en este caso es agua fría de grifo. Por el tubo externo circulan los vapores que serán condensados; en este tubo se conectan las mangueras resistentes a alta presión, flexible por donde ingresa y sale el líquido refrigerante.

Figura 2- 9
Condensador



Fuente: Elaboración propia, 2019

Vaso florentino: Se trata de un recipiente de vidrio, cuya principal finalidad es de separar con facilidad el aceite esencial del agua. (*contribución al estudio de aceites esenciales, 1966*)

Esto puede llevarse a cabo con facilidad ya que, por la diferencia de densidades existente entre el agua y el aceite, este último queda suspendido y a medida que va incrementando el hidrolato se puede obtener el aceite por el pico superior del recipiente.

En la presente investigación se realiza una doble separación, primero se lo separa en el vaso florentino para después ser contenido en una ampolla de separación, donde reposa más tiempo para facilitar su separación.

Figura 2- 10

Vaso Florentino



Fuente: Elaboración propia,2019

- Analizador infrarrojo: el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100, se usa para determinar el contenido de humedad de las hojas de Romero. (Ver fig. 2-3, pág. 46)
- Tamiz Vibratorio

Figura 2- 11**Tamiz Vibratorio**

Fuente: Elaboración propia,2019

- Calentador: Utensilio utilizado para el calentamiento del agua. Se utilizó un calentador (Cocinilla) a gas que funcionaba con garrafa para obtener una llama más potente y así un mejor flujo de vapor, puesto que se pudo observar que la presión del gas natural que llega al LOU es muy baja, el dato obtenido de la potencia de esta se presenta en el capítulo III Resultados y Discusión.

Figura 2- 12**Cocinilla**

Fuente: Elaboración propia,2019

- Balanza: La balanza utilizada para pesar el Romero es la que está en las instalaciones del LOU, esta es analítica digital de marca Europe, con las siguientes especificaciones:

Exactitud: 0,01g.

Pango de temperatura: +15/+30°C

Precisión: 0,001g.

Potencia:220 W.

Capacidad mínima: 1g.

Capacidad máxima: 500g.

Figura 2- 13

Balanza Analítica



Fuente: Elaboración propia,2019

2.5.2 Material de laboratorio a utilizar

Tabla II- 5

Material de laboratorio

N°	Material	Especificación	Cantidad
1	Termómetro	0- 150°C	1
2	Mangueras	-	2
3	Soporte universal	-	2
4	Pinza de doble nuez	-	1
5	Matraz Erlenmeyer	Material de vidrio	2
6	Fascos de vidrio para contener el aceite	Material de vidrio ámbar de 30ml.	3
7	Ampolla de decantación	Material de vidrio	1
8	Jeringas	Material de vidrio y de plástico	2

Fuente: Elaboración propia,2019

2.6 Etapas del proceso de extracción

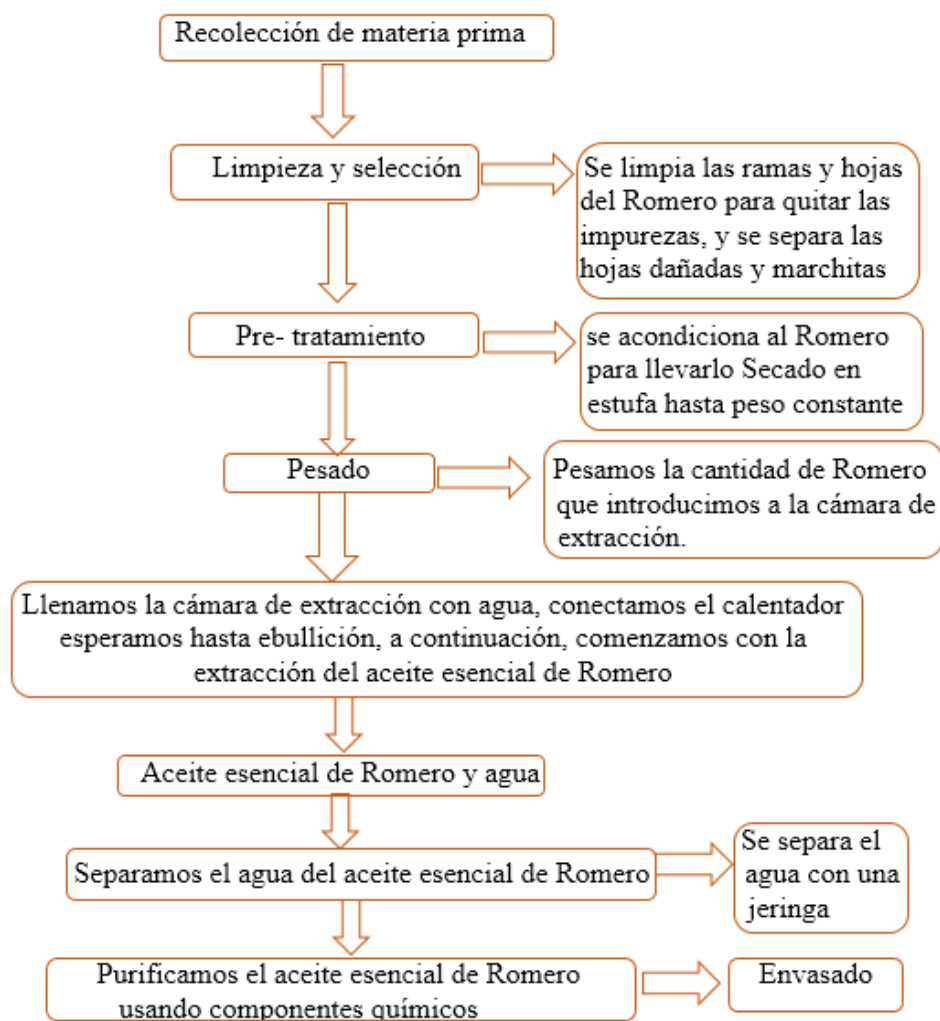
Las etapas del proceso de extracción de aceite esencial de Romero se presentan en el siguiente diagrama de flujo donde se describe cada una de ellas desde la cosecha de las ramas hasta el almacenamiento del aceite.

La etapa del almacenamiento es muy importante para conservar las propiedades del producto y asegurar que el aceite llegue inalterable a los consumidores.

Así también se describe el uso que se le da a la materia vegetal que queda como residuo luego de la extracción del aceite esencial.

Diagrama 2-1

Diagrama del proceso de extracción de aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis*)



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.6.1. Recolección de materia prima

Las ramas de Romero fueron recolectadas a primeras horas de la mañana en la comunidad de Canchasmayo que se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas 21°53'56.3" de Latitud Sur y 64°53'39.7" de Longitud Oeste (Ver mapa de localización); se puede observar que esta planta crece de manera esporádica y en

diferentes sectores, donde existe abundante luz solar y poca humedad; una vez recolectadas son trasladadas de manera directa a Cercado, al campus Universitario donde se desarrolla toda la fase experimental para la extracción de aceite esencial

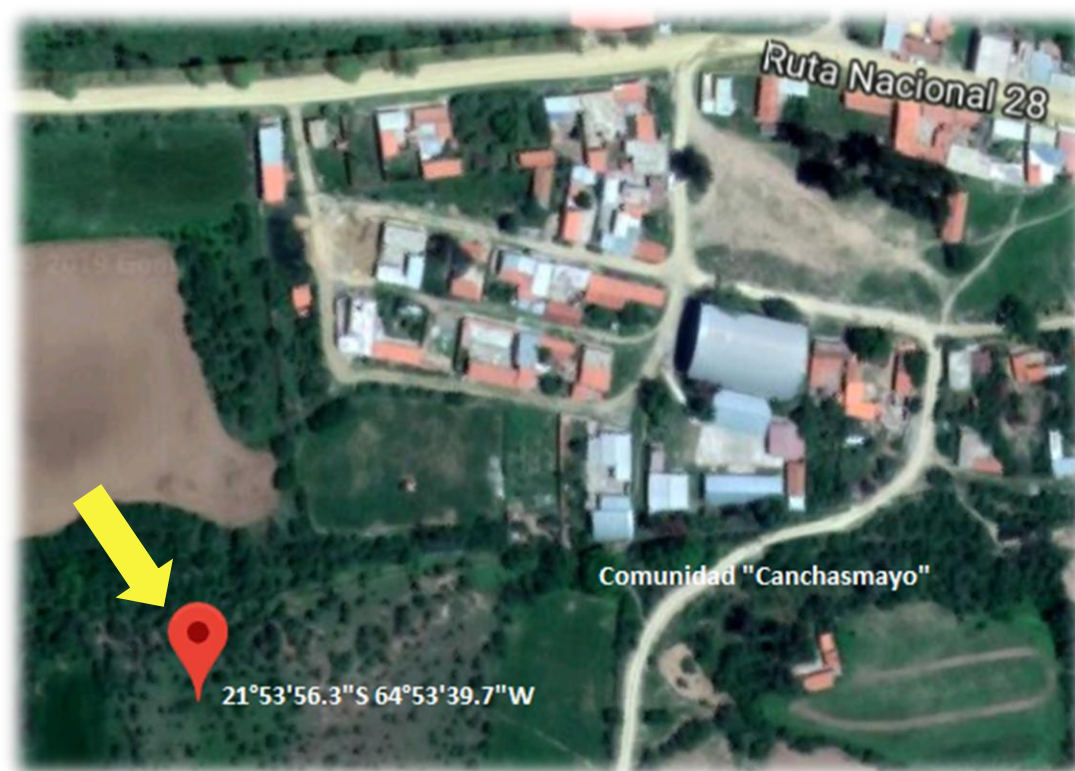
Tabla II- 6

Mapa de localización de Romero de la comunidad de Canchasmayo

Comunidad	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	X	Y	Latitud Sur	Longitud Oeste
Canchasmayo	-21.898972	- 64.894361	21°53'56.3"	64°53'39.7"

Figura 2- 14

Mapa de localización de Romero de la comunidad de Canchasmayo



Fuente: Google earth, 2019

Figura 2- 15
Cosecha de Romero



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.2 Limpieza y selección

Para poder lograr un proceso eficiente durante la extracción de aceite esencial de Romero se procede a seleccionar las hojas verdes de las amarillas o marchitas o de cualquier otro objeto ajeno a nuestra materia prima; una vez seleccionadas se les da un enjuague con abundante agua para que de esta manera se desprenda el polvo que puedan contener.

Figura 2- 16**Selección de ramas de Romero**

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.3 Pruebas Preliminares

Una vez recolectada la materia prima se procede a realizar unas pruebas preliminares para poder determinar el estado ideal que tienen que tener las hojas de Romero para un buen rendimiento durante la extracción, estas pueden ser secas o frescas.

Del mismo modo, para realizar una limpieza profunda y verificar que el equipo tenga un buen funcionamiento.

Las pruebas fueron las siguientes:

- ✓ Limpieza del equipo; se lava todas las partes del equipo con agua y desengrasante; una vez enjuagado se carga la torre con 1 litro de alcohol, se lo hace funcionar; al destilar alcohol se puede observar que arrastra todo lo que pueda estar adherido en las paredes de la torre, del cuello de cisne o del condensador, este procedimiento no puede exceder los 40 minutos de funcionamiento, puesto que se corre el riesgo de que se evapore todo el alcohol y se quemé; pasado este tiempo se desconecta el equipo se deja enfriar y se procede a cargar 4 litros de agua aproximadamente y se lo vuelve a hacer funcionar, de este modo se está asegurando que no hay impurezas que puedan

afectar el aceite. Así también se verifica que el equipo no presenta fugas y todo su funcionamiento es correcto.

- ✓ Prueba con hojas de Romero Fresco; se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una cantidad de masa de Romero de 270 gramos; el transcurso de la Extracción fue de 2 horas, obteniéndose 0,5 ml de aceite aproximadamente.
- ✓ Prueba con hojas de Romero seco; se procede de la misma manera que en la prueba anterior, se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una cantidad de Romero de 270 gramos, al cabo de 2 horas se obtiene 2ml de aceite aproximadamente.

En la figura 2- 15 se observa las cantidades de aceite obtenidos en las diferentes pruebas

Figura 2- 17

Comparación de aceite de Romero en fresco y seco



Fuente: Elaboración propia, 2019

Los resultados de todas las variables de operación se presentan y detallan en el capítulo III de la presente investigación.

2.6.4 Secado a sombra

Una vez concluidas las pruebas preliminares se concluyó que la mejor manera de extraer aceite esencial es secando las hojas puesto que se obtiene mayor volumen de aceite.

Este secado se realiza bajo sombra dentro de las instalaciones del LOU de la siguiente manera:

- ✓ Separar toda la materia prima a secar
- ✓ Extender las ramas de Romero sobre las bandejas de papel previamente preparadas.
- ✓ Dejar secar por 15 días.

Figura 2- 18

Secado de Ramas de Romero



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.5 Deshojado de las ramas de Romero

Una vez transcurrido el tiempo de secado se procede a deshojar las ramas de Romero para su posterior guardado y almacenaje ya que al estar a la intemperie las hojas pueden empolvase, así como también están susceptibles a que insectos aprovechen de estas y se las coman y las contaminen.

Figura 2- 19**Deshojado y embolsado de las hojas de Romero**

Fuente: Elaboración propia,2019

2.6.6 Picado de las hojas

Dentro de lo que es el diseño factorial se propone trabajar con dos tamaños de hoja, uno es el tamaño normal de la hoja que es de 1,5cm y del tamaño promedio pequeño que es 0,5cm. De bibliografía se constató que si el tamaño de la hoja es muy diminuto este al momento que los vapores ascienden, se hace una sola masa y ya no permite que los vapores penetren a profundidad,

Esta diferenciación en el tamaño de la partícula se la realiza para poder observar la variación en el rendimiento del aceite esencial. Para tal modo se emplea una pica-todo de la marca Cocinart.

Se carga el pica-todo con las hojas de Romero, se enciende el equipo y se pone en marcha el proceso de picado.

Figura 2- 20**Picado de hojas de Romero**

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.7 Granulometría y tamizado de las hojas de Romero

El análisis granulométrico y tamizado de las hojas de Romero se lo realiza con el propósito de determinar el tamaño de hojas de Romero picadas a usar para la extracción del aceite seleccionando el mayor porcentaje de rechazo presente en el tamizador y así cumplir con el diseño factorial expuesto anteriormente.

El equipo que se utiliza es un Tamiz vibratorio marca Orto Alresa, con los tamices de 5; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 mm.

Los resultados obtenidos de la tamizada se presentan en el capítulo III Resultados y Discusión

El procedimiento y uso del equipo es el siguiente:

- ✓ Se pesan los tamices a usar incluida la bandeja de recepción.
- ✓ Pesarse la cantidad de hojas de Romero a ser tamizadas
- ✓ Cargar la muestra al tamiz superior poner la tapa asegurando todo el equipo
- ✓ Programar la intensidad del mismo en rpm
- ✓ Programar el tiempo de tamizado 5 minutos, encender y poner en marcha
- ✓ Concluido el tamizado pesar rechazos contenidos en los tamices

Figura 2- 21**Tamizado**

Fuente: Elaboración propia,2019

2.6.8 Extracción

2.6.8.1 Modificación al equipo de Extracción de Aceite Esencial.

Se puede evidenciar que, en el sector del condensador este, al ser adaptado al equipo, no refrigera a la temperatura considerable para que se condensen todos los vapores, es por este motivo que el condensador se lo introduce en una cámara de plastofom (poliestireno expandido EPS) que está con un refrigerante a base de hielo y agua. Así de esta manera los vapores se condensan, se evitan pérdidas y mejora la eficiencia del condensador.

En la figura 2- 21 se puede observar la modificación hecha en el equipo.

Figura 2- 22**Modificación al condensador**

Fuente: Elaboración propia,2019

2.6.8.2 Condiciones de operación de la Torre de Extracción

Las condiciones de trabajo que se consideran en la presente investigación son:

- ✓ Presión: la presión de trabajo considerada durante todo el proceso de extracción de aceite esencial es de 0,94 Atm. que es la presión atmosférica en Tarija.
- ✓ Temperatura: durante todas las pruebas la temperatura es de 93°C. (temperatura a la que ebulle el agua en Tarija); el aumento de temperatura va aumentando gradualmente hasta quedar constante a esta temperatura.

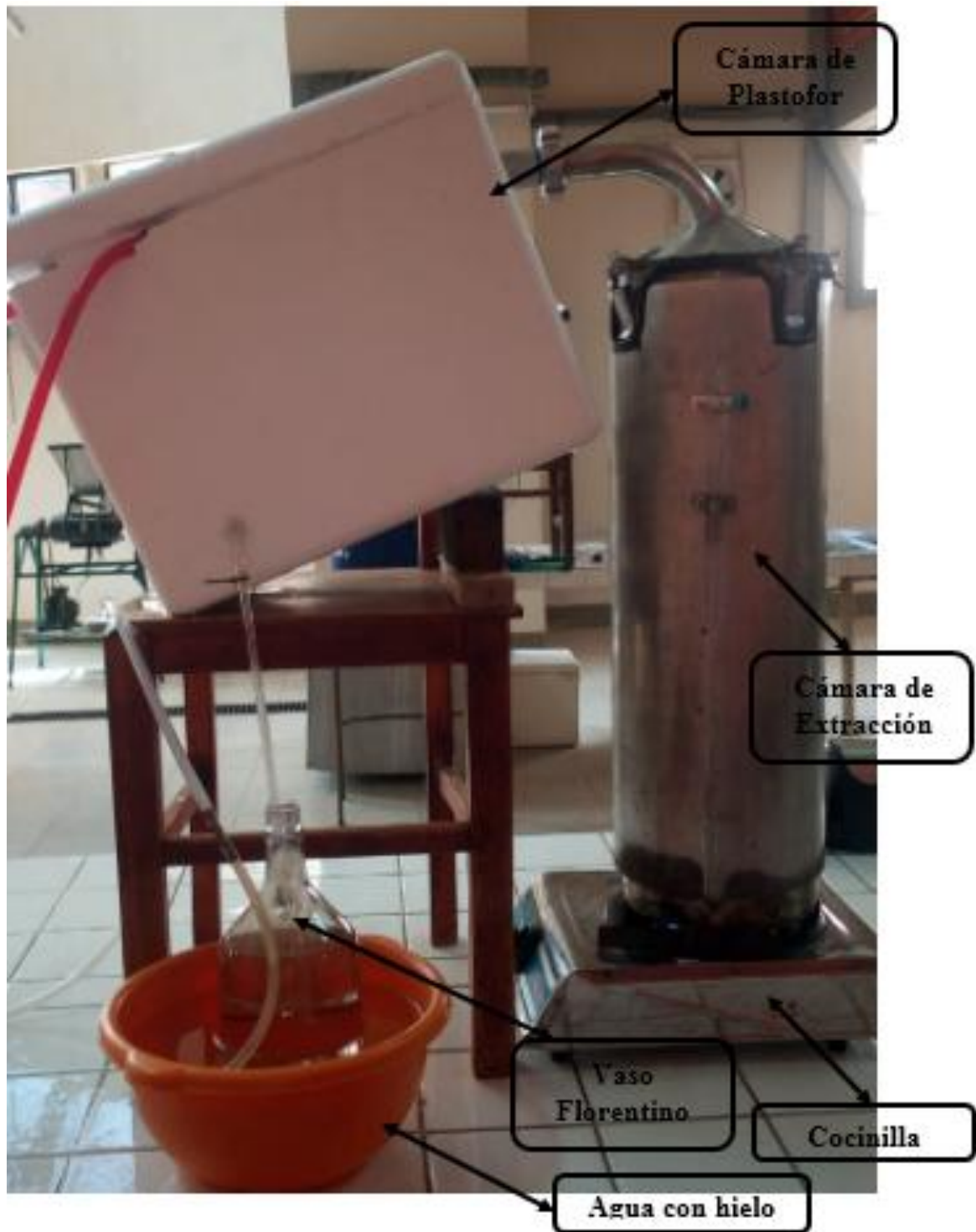
- ✓ Volumen de agua en la torre de extracción: la cantidad de agua cargada a la torre de extracción es de 5 litros, este es el volumen máximo que se puede cargar, para así poder controlar bien las cantidades exactas condensadas.
- ✓ Potencia de la hornalla: previamente se debe determinar la cantidad de energía óptima de trabajo en la cual se obtenga el mejor rendimiento de extracción de aceite esencial, esto se debe a que la potencia de la hornalla tiene directa relación con la cantidad de energía.

Las pruebas previas fueron en dos niveles de potencia el medio y el alto, el nivel medio se observa un rendimiento óptimo un mínimo de pérdidas y un tiempo promedio, a diferencia del nivel de potencia alto donde por la cantidad de agua este al ebullir alcanza al primer canastillo y remoja la materia prima afectando así en el rendimiento y en el tiempo de extracción.

2.6.8.3 Proceso de Extracción del aceite esencial

Para la extracción de aceite esencial de Romero se prosigue de la siguiente manera: se carga con 5 litros de agua a la cámara de extracción, después se introducen los canastillos con la cantidad de hojas de Romero de acuerdo al diseño factorial previamente visto, tapamos la cámara; a continuación lo conectamos al condensador y abrimos la llave para que comience a circular por su interior el refrigerante, encendemos la hornilla, controlamos el tiempo de extracción, el vapor asciende por la cámara pasando a través de los canastillos y hojas de Romero, arrastrando consigo los componentes volátiles pasando a condensarse para luego descender al vaso florentino de donde se lo recibe.

Figura 2- 23
Cámara de extracción



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.8.4 Condensación y Separación de fases

Para poder lograr condensar la mezcla de vapores que sale de la torre se usa el refrigerante introducido a una cámara de plastofom inundada de hielo y agua, que favorece la condensación y la separación de las fases, la mezcla agua- aceite es recibida en un vaso florentino que está sumergido en un recipiente con agua y hielo con el mismo fin que el plastofom mejorar la separación de aceite esencial de Romero; una vez llenado el volumen de vaso florentino se recibe la muestra en una ampolla de separación ya que todavía existe agua, en esta ampolla reposa y se separa en su totalidad el agua del aceite esencial de Romero como se muestra en las siguientes imágenes

Figura 2- 24

Condensado de agua- aceite esencial de Romero



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.8.5 Recepción, almacenamiento y conservación del aceite esencial

La recepción y almacenamiento del aceite esencial de Romero se realizó en frascos de vidrio de 30ml. color ámbar; para que cualquier tipo de luz no afecte su composición y con cierre hermético tipo gotero para así evitar pérdidas o la oxidación, debe ser almacenado en un lugar fresco y oscuro.

Figura 2- 25

Aceite Esencial de Romero envasado



Fuente: Elaboración propia,2019

2.6.8.6 Residuo: Hojas de Romero usadas

Una vez concluida la extracción se pesan los canastillos con las hojas de Romero, para calcular el agua condensada que queda, después las hojas quedan como residuo, las cuales se las hace secar y se las utiliza como abono.

Figura 2- 26**Residuo**

Fuente: Elaboración propia,2019

2.7 Análisis del producto obtenido

Los análisis que se realizan al producto obtenido son:

- Características organolépticas como ser: Aspecto, olor, color.
- Análisis fisicoquímicos: densidad, índice de refracción, solubilidad en etanol, perfil cromatográfico.

Estos análisis fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID, laboratorio de la U.A.J.M.S.

2.7.1 Características Organolépticas

Las características organolépticas del aceite esencial de Romero aspecto, olor y color son determinadas en el CEANID; en el capítulo III que presenta los Resultados y Discusión se muestran los resultados obtenidos.

2.7.2 Características Fisicoquímicas

2.7.2.1 Densidad del aceite esencial

La determinación de la densidad del aceite esencial de Romero se la determina de dos formas: una es realizada dentro del laboratorio de operaciones unitarias y la otra se mandó a analizar al CEANID.

Para la determinación de la densidad en el laboratorio se sigue los siguientes pasos:

- ✓ Tarar la balanza con el recipiente donde se introducirá el aceite.
- ✓ Se mide el volumen de aceite esencial con una jeringa de vidrio y se lo trasvasa al recipiente tarado.
- ✓ Determinar el peso del aceite, con los datos obtenidos se procede a calcular la densidad con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Figura 2- 27

Determinación de densidad del Aceite esencial de Romero



Fuente: elaboración propia, 2019

2.7.2.2 Índice de refracción

El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo, es decir, es el valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción.

Para la determinación del índice de refracción se llevó una muestra al CEANID; en este centro de investigación se emplea el método según la Norma Boliviana NB 34003:06 “Aceites y Grasas- Determinación del índice de Refracción (Segunda Versión)”.

Dentro del laboratorio de Operaciones unitarias también se realizó la medición del índice de refracción aprovechando que el equipo está disponible, el mismo es un refractómetro ABBE con las siguientes especificaciones:

Escala: 1.3000- 1.7000 nD índice de Refracción

0-95 % °Brix

Precisión: +/- 0.0002 nD índice de refracción

+/- 0.10 °Brix

Corrección de Temperatura: 15/45 °C

Medidas: 330*180*380 mm

Peso: 10 kg

El procedimiento para realizar las mediciones fue el siguiente:

- ✓ Encender y limpiar el equipo con agua destilada (El equipo ya presenta su calibración respectiva)

- ✓ Colocar gotas del aceite esencial de Romero y proceder a realizar las lecturaciones necesarias. Se realiza esta operación dos veces para sacar un promedio del resultado.

Figura 2- 28

Refractómetro ABBE perteneciente al LOU.



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.7.2.3 Perfil Cromatográfico

La cromatografía de gases es una técnica de separación en donde la fase móvil es un gas (helio, argón, nitrógeno, hidrógeno) y la fase estacionaria está constituida por un líquido muy viscoso retenido en el interior de la columna cromatográfica.

Es la mejor técnica analítica de separación cuando el extracto de una planta contiene compuestos volátiles que sean de interés.

La afinidad a la fase estacionaria de los distintos componentes del aceite esencial, en el análisis determina la separación de los mismos; algunos compuestos son afines a esta fase por lo que serán retenidos por la misma y saldrán después de un largo período de tiempo; por otro lado, algunos otros componentes no serán afines a la fase estacionaria por lo que saldrán inmediatamente, logrando así la separación de los distintos

componentes del aceite esencial.

Para la presente investigación el análisis cromatográfico se llevó a cabo en el Centro de análisis investigación y Desarrollo CEANID en el departamento de Tarija; el equipo utilizado tiene las siguientes especificaciones:

Equipo: Cromatográfico Gaseoso Agilent 6890N acoplado a detector de masas 5975

Columna: HP – 5MS (30m*0.250mm*0.25um)

Gas Carrier: Helio

Volumen de inyección: 1ul de 0.1% de solución de muestra en Diclorometano

Modo de inyección: Split ratio 10:1

Temperatura del inyector: 250°C

Programa de Temperaturas: 40°C 3 min, 4°C/min 150°C 1 min, 15°C/min 250°C 1 min.

Los resultados se detallan en el capítulo III.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de las hojas de Romero materia prima

Los análisis realizados a la materia prima, hojas de Romero, son la determinación de humedad que presentan dichas hojas

3.1.1 Determinación del porcentaje de humedad

Se realizó la determinación de humedad de las hojas de Romero en dos estados de la planta que es el seco y el húmedo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III- 1

Porcentaje de humedad en hojas de Romero

Estado de las hojas	Porcentaje de humedad (%)
Fresco	56,68
Seco	10,21

Fuente: elaboración propia, 2019

Fresco: Para la obtención de este dato se utilizó hojas frescas de Romero, con pocas horas de ser cosechada, previamente fueron lavadas eliminando así cualquier tipo de polvo que presenten.

Seco: Las hojas de Romero previamente fueron secadas en instalaciones del laboratorio, bajo control de condiciones ambientales de temperatura por un lapso de 14 días; estas hojas fueron lavadas, posteriormente colocadas bajo sombra, dentro de bandejas de papel que ayudaron a evitar la proliferación de pequeños insectos que se alimentan de las mismas y que se críen hongos por la humedad presente en las hojas

Debido a que en pruebas preliminares se determinó trabajar con hoja seca se da prioridad a este estado de las hojas.

Para la determinación del dicho porcentaje se utilizó el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad, este equipo nos muestra en su pantalla el porcentaje de humedad evaporada al transcurrir el tiempo, la temperatura de secado es de 105°C, utilizando una muestra de 5,037g. A continuación, se presentan los datos obtenidos.

Tabla III- 2

Variación del porcentaje de Humedad vs. Tiempo

%H	Tiempo (minutos)
0,02	0
4,37	2
6,39	4
7,5	6
8,24	8
8,69	10
9,11	12
9,44	14
9,64	16
9,87	18
9,97	20
10,08	22
10,21	24
10,21	26
10,21	28

Fuente: elaboración propia, 2019

Se puede observar que a partir de los 26 minutos el porcentaje de humedad evaporada es constante, el proceso se detiene y se toman los últimos datos que son los siguientes:

- Porcentaje de humedad: 10,21%
- Peso Inicial de hojas de Romero: 5,037g.

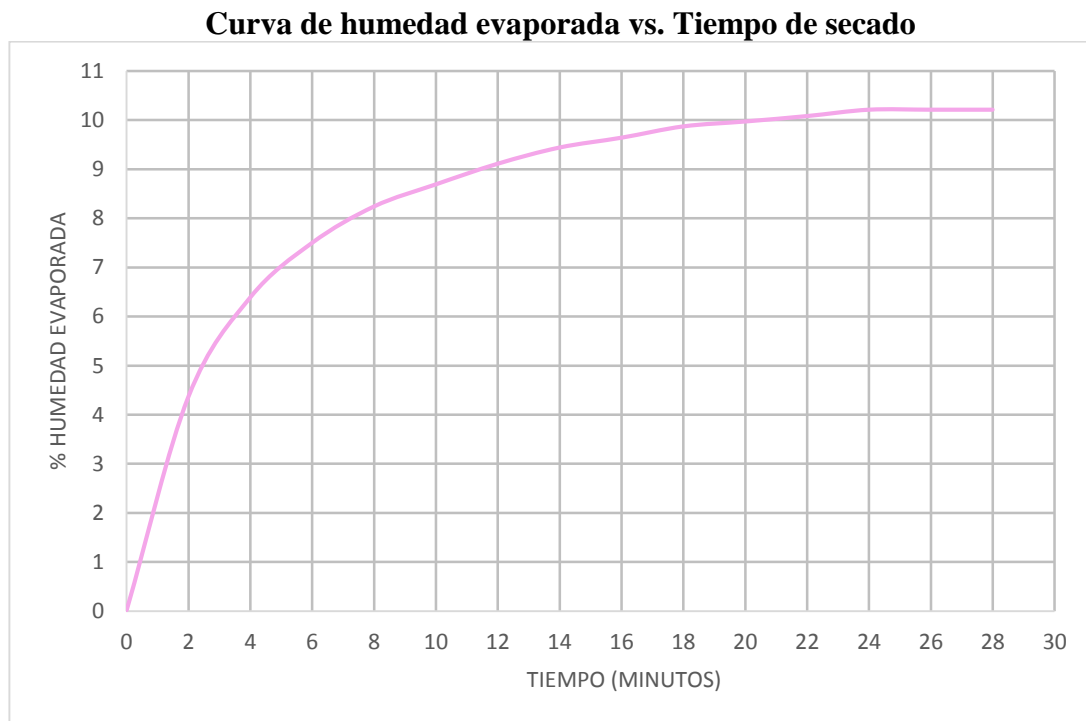
- Pérdida de peso: 0,511 g.
- Peso Final de hojas de Romero: 4,526g.
- Porcentaje de peso seco: 89,79 %

De acuerdo a los datos anteriores se afirma que el porcentaje de humedad es relativo con el valor de la pérdida de peso de las hojas, ya que en la muestra mientras se evaporaba el agua esta disminuía su peso; hasta el minuto 26 donde se estabilizó el proceso y se puso constante.

Con respecto al porcentaje de peso seco 89,79% este equivale a 4,526g del peso final de las hojas de Romero, esta es la cantidad de muestra que queda al evaporarse el agua de la muestra inicial.

Con los datos de la tabla III-2 se construye la curva de porcentaje de humedad vs tiempo de secado.

Figura 3- 1



Fuente: Elaboración propia, 2019

En la figura 3-1 se observa la curva de porcentaje de humedad evaporada en las hojas

de Romero, que a los 2 primeros minutos ya se evaporó 4,37% que equivale a 0,218g. de pérdida de peso dentro de la muestra.

Durante el proceso de secado en el minuto 22 alcanza la mayor pendiente; a partir de este punto los valores disminuyen de manera insignificante hasta llegar a ser constantes a partir del minuto 24.

Estos datos de humedad son comparados con respecto a datos obtenidos de bibliografía:

Tabla III- 3

Porcentajes de Humedad de hojas de Romero

	TARIJA (Daniela Rivera 2019)	PERÚ (Mejía F., 2016)	TARMA- PERÚ (Valverde Y.,2012)	GUATEMALA (Rodas M., 2012)
% humedad	10,21	8,48	10- 13	8-15

Fuente; Elaboración propia, 2019

Con la tabla III- 3 se puede observar que el porcentaje de humedad obtenido en el laboratorio entra dentro de los parámetros establecidos por bibliografía.

Se establece secar las hojas de Romero durante 14 días; tiempo en el cual las hojas se deshidratan hasta alcanzar un peso constante manteniendo consigo sus aceites esenciales y demás componentes propios de la planta.

3.1.2 Análisis organoléptico de las hojas de Romero

En el análisis organoléptico es la valoración cualitativa que se realiza a una muestra donde se miden e interpretan las respuestas de las personas, basadas exclusivamente en la percepción de los sentidos: la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído.

Los parámetros que se toman en cuenta para determinar en las hojas de Romero son el color, olor, aroma, sabor y forma

Tabla III- 4

Análisis organoléptico de las hojas de Romero

Parámetros	Evaluación
color	Verde
olor	Fuerte- pino
aroma	Herbal, alcanforado
sabor	Dulce- picante
forma	Lineal

Fuente; Elaboración propia, 2019

3.1.3 Análisis Organoléptico del Aceite Esencial de Romero

Los análisis organolépticos del aceite esencial de Romero fueron realizados en el CEANID los cuales dieron los resultados que se presentan a continuación, comparados con datos de bibliografía obtenida.

Tabla III- 5

Comparación del aceite esencial obtenido con los de bibliografía

N°	Parámetro	Tarija Rivera Daniela 2019	Chuquisaca Patiño L. 2014	Tarma- Perú Valverde T. 2011	Contribución al Estudio de los aceites Esenciales España 1966	México Ramírez M. 2008
1	Aspecto	Líquido Oleoso	Viscoso	Líquido Oleoso	-	Oleoso
2	Olor	Característico	A planta fresca, herbáceo	Fuerte agradable	Fresco y alcanforado	Fresco mentolado herbáceo
3	Color	Incoloro	Desde amarillo claro hasta azul	Transparente ligeramente amarillo	Amarillo pálido	Incoloro o de color amarillo pálido

Fuente; Elaboración propia, 2019

De la tabla III- 5 se puede observar que las características del aceite esencial de Romero obtenido dentro del laboratorio tienen mucha similitud con el extraído en otras regiones, dentro de las cuales se especifica más concretamente sus características.

3.2 Resultado de la Granulometría y Tamizado de las hojas de Romero

Los resultados obtenidos dentro del laboratorio de operaciones unitarias de las hojas de Romero acerca de la granulometría y tamizado se presentan a continuación.

Tabla III- 6

Granulometría y tamizados de la hoja de Romero

Peso inicial de las hojas de Romero: 135g.

N° de malla (mm)	PESO (g)			% Rechazo
	malla vacía (gr)	malla con muestra (gr)	Rechazo hojas de Romero (gr)	
5	494,35	576,52	82,17	62,179
4	456,299	479,226	22,927	17,349
2	435,511	447,73	12,219	9,246
1	434,618	446,118	11,5	8,702
0,5	443,9	445,95	2,05	1,551
0,25	417,8	418,8	1	0,757
Bandeja	464,731	465,016	0,285	0,216
Total			132,151	100%

Fuente; Elaboración propia, 2019

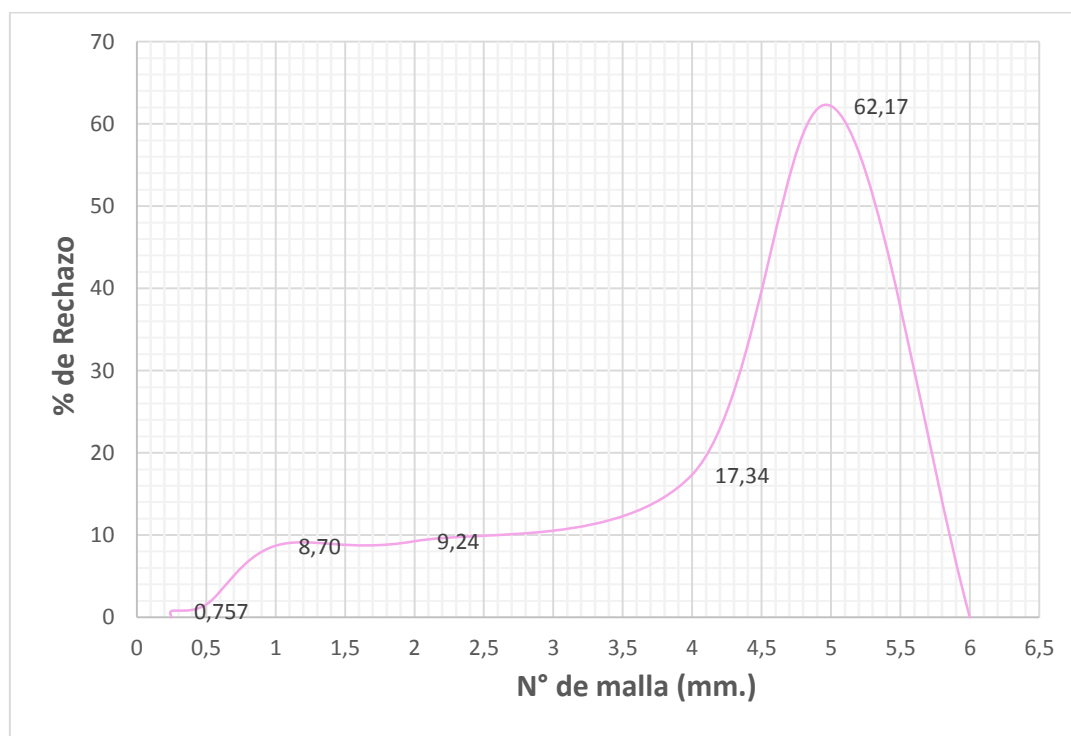
En la tabla III- 6 se observa que para tamizar se pesó las mallas vacías y después se agregó las hojas de Romero, y se puso en funcionamiento el equipo de tamizado durante 5 minutos; pasado este tiempo se procedió a pesarlos una vez más para determinar así el rechazo del tamaño de las hojas, se puede apreciar que gran parte de la materia prima se quedó en la malla de 5 milímetros, escogiendo así como la variable mínima del tamaño de partícula, dentro del diseño Factorial y despreciando así las mallas de 6 y 0,063 milímetros respectivamente debido que no permanecieron hojas de Romero dentro de estas.

Hay aproximadamente 2,849g. de pérdida de Romero al momento de tamizar, esto debido a la manipulación de las hojas desde su pesado hasta el colocado dentro del equipo.

Para observar con más claridad la cantidad de masa rechazada dentro de los tamices se realiza una curva de cantidad de masa rechazada de hojas de Romero vs. Tamaño de Tamiz.

Figura 3- 2

Determinación de Granulometría de las hojas de Romero



Fuente; Elaboración propia, 2019

De la figura 3- 2 de la curva se puede observar que la mayor cantidad de hojas picadas de Romero se mantuvieron en la malla 5mm siendo un 62,17% del total de las hojas colocadas; las hojas restantes de las demás mallas no son desechadas, más al contrario, fueron utilizadas en extracciones adicionales para obtener más cantidad de aceite esencial para analizar.

3.3 Resultado de las Pruebas preliminares

3.3.1 Determinación del tiempo de Extracción

De bibliografía revisada anteriormente se pudo establecer que el tiempo para la extracción de aceite esencial generalmente es de dos horas dentro de las cuales hay tres niveles donde en el primer tiempo el aceite comienza a ser extraído, el segundo tiempo donde la extracción alcanza su punto máximo y el tercer tiempo es donde se extrae aceite en menor cantidad.

Dentro del laboratorio se determinó el tiempo óptimo de extracción de aceite esencial de Romero en la tabla III- 7 se detallan los datos obtenidos:

Tabla III- 7

Tiempos de Extracción de aceite esencial de Romero

Tiempo de extracción (min.)	volumen de aceite recibido (ml)
0	0
15	0
20	0,2
30	0,5
50	1,1
70	3,3
90	4,3
105	4,6
120	4,7
Total aceite extraído	4,7

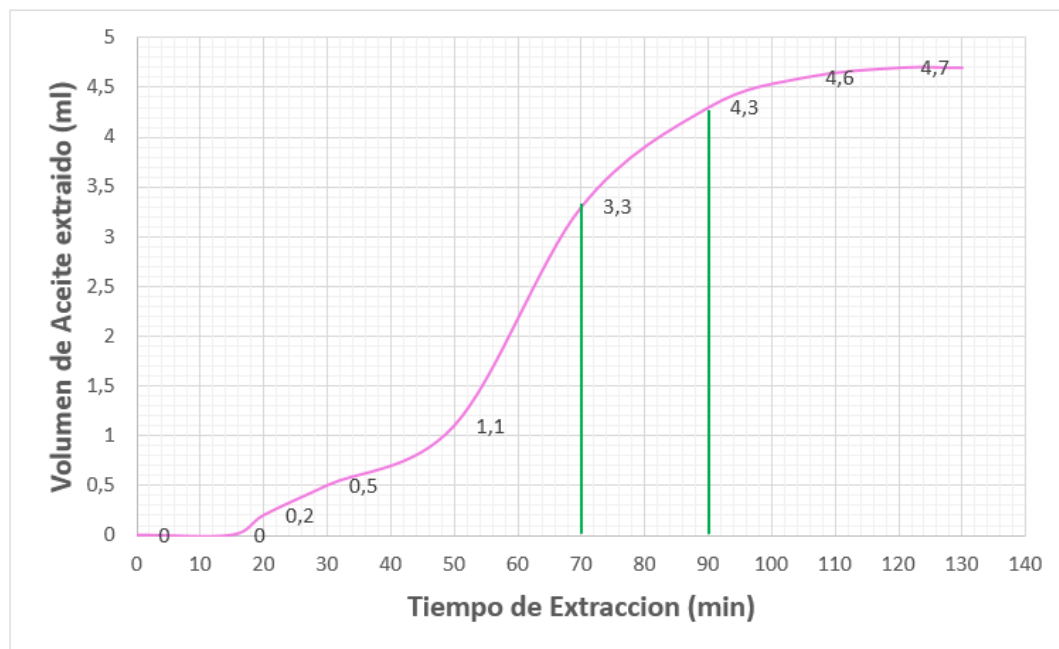
Fuente; Elaboración propia, 2019

Se puede observar que el máximo volumen de aceite esencial obtenido ocurre en el lapso de los primeros 70 minutos; a partir de este momento la cantidad de extracción empieza a disminuir, esto se debe a que el aceite contenido dentro de las hojas de materia prima se va agotando casi por completo.

Con los datos de la tabla III- 7 se realiza una curva tiempo de extracción vs. Volumen de aceite obtenido para determinar la pendiente máxima que se logra y así saber los tiempos máximos y mínimos para la extracción.

Figura 3- 3

Determinación de Tiempos de extracción de aceite esencial de Romero



Fuente; Elaboración propia, 2019

En la figura 3-3 se puede observar que hay dos puntos donde se obtiene mayor cantidad de aceite esencial.

En la primera hora de extracción se va obteniendo aceite en pocas cantidades de manera gradual llegando a alcanzar un 23,40% del total extraído, hasta que alcanza su punto máximo al minuto 70 donde es recogido un 46,8% de aceite, pasado el tiempo hasta llegar al minuto 90 es recogido 21,27% más de aceite siendo estos los porcentajes mayores de aceite; a partir del minuto 90 hasta el minuto 120 es recogido un 8,5% del total del aceite; en este punto el rendimiento disminuye agotándose las hojas de Romero.

De acuerdo a la gráfica, a partir del minuto 90 la extracción disminuye considerablemente, es de esta forma que no es recomendable seguir extrayendo aceite esencial ya que existe un gasto energético excesivo con relación al aceite que se obtiene el cual afecta directamente al costo económico del proyecto; la cantidad de aceite extraído a partir del minuto 90 (0,4ml. Aprox.), no logra cubrir con el gasto adicional.

3.3.2 Selección de la cantidad de masa de Hojas de Romero a utilizar

Para cumplir con el diseño factorial presentado y establecer el tamaño óptimo de Hojas de Romero a utilizar para las extracciones se realiza pruebas con diferentes pesos de materia prima; todas las pruebas tienen un tiempo de extracción de 90 minutos. Se puede observar en la tabla III- 8 los resultados obtenidos:

Tabla III- 8

Cantidad de Materia prima a utilizar

Masa de Romero utilizada en cada canastillo (g.)	Masa de Romero Total(g.)	Volumen de Aceite obtenido (ml)
70	210	2
100	300	3,5
130	390	4
150	450	2,5
170	510	1
200	600	0,7

Fuente; Elaboración propia, 2019

De la tabla III- 8 se puede apreciar la cantidad de hojas de Romero cargadas en cada canastillo de la torre de extracción, así como el total cargado dentro de los tres canastillos que se utilizan.

Durante la primera prueba que es con 70g. de hojas de Romero en cada canastillo se observa una buena cantidad de aceite esencial (2ml) de este modo se decide incrementar paulatinamente la masa utilizada como se presenta en la tabla tomando nota del volumen de aceite obtenido en cada extracción hasta el límite que permite el

canastillo (200g), se observa que en este punto la cantidad de aceite esencial obtenido es menor a las primeras extracciones, esto se debe a que ocurre un apelmazamiento de las hojas de Romero dentro del proceso, lo que impide que el vapor pueda penetrar de manera eficaz a través de las hojas y arrastrar consigo el aceite esencial,

Las hojas de Romero presentan gran cantidad de aceite esencial con respecto a otras plantas medicinales.

3.3.3 Selección del mejor rendimiento de extracción de aceite esencial de Romero

Se realizaron pruebas con hojas de Romero secas y recién cosechadas para poder determinar con cuál de estas muestras se obtenía un mejor rendimiento de aceite esencial, los resultados obtenidos se detallan a continuación.

Tabla III- 9

Resultados de las pruebas preliminares

Variables	Pruebas Realizadas	
	Hojas de Romero seco	hojas de Romero frescas
Tiempo de Extracción (min.)	90	90
Masa de hojas (g.)	300	300
Temperatura inicial del agua dentro de la torre de extracción (°C)	20	21
Temperatura de agua a la entrada del condensador (°C)	19	19
Temperatura de salida del agua del condensador (°C)	20	20
Temperatura del vapor (°C)	93	93
Temperatura de los hidrolatos (°C)	14	15
Volumen de condensados (ml)	2100	1590
Volumen de Aceite esencial obtenido (ml)	3,5	1
Volumen de agua cargado a la torre de extracción (ml)	5000	5000

Fuente; Elaboración propia, 2019

En las pruebas previas para ambos casos de Romero fresco y seco se utilizaron las mismas variables de tamaño de partícula, tiempo de extracción y masa en el lecho.

De la tabla III-9 se puede observar que el volumen de aceite esencial de Romero obtenido varía de la hoja fresca a la hoja seca conteniendo esta última más cantidad de aceite en sus hojas.

De este modo se determina que la opción más viable para extraer aceite esencial es usar Hojas de Romero secas ya que poseen mínima cantidad de agua y favorece a la extracción cuando el vapor atraviesa el lecho siendo más fácil ser extraído el aceite esencial.

3.4 Resultados del Análisis Físicoquímico del Aceite Esencial de Romero

Los análisis físicoquímicos del aceite esencial de Romero obtenido fueron enviados y realizados en el CEANID; del mismo modo para continuar con la presente investigación fueron realizados dentro del laboratorio de operaciones unitarias de la U.A.J.M.S que fueron los siguientes

3.4.1 Determinación de la densidad

La determinación de la densidad dentro del CEANID fue determinada bajo la norma boliviana NB 34021:07, dando como resultado:

$$\rho_{\text{Romero}} = 0,8518 \text{ g/ml}$$

Dentro del laboratorio se procedió a determinar de la siguiente manera:

Se taró el recipiente donde se pesaría la muestra; con una jeringa de vidrio se realizó la medición de 2ml de aceite esencial de Romero, trasvasando este al recipiente previamente tarado para determinar su peso. Con los datos obtenidos se aplica la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{Romero}} = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ Romero = densidad del aceite esencial de Romero

m= masa del Aceite esencial de Romero 1,84291g.

v= Volumen del aceite esencial de Romero, 2ml.

$$\rho \text{ Romero} = \frac{1,8129}{2}$$

$$\rho \text{ Romero} = 0,90645 \text{ g/ml}$$

De acuerdo a bibliografía revisada se tiene que la densidad de los aceites esenciales generalmente es menor a la de la densidad que tiene el agua; en el departamento de Tarija la densidad del agua es de $0,9956 \text{ g/ml}$ por lo tanto, la densidad determinada del aceite esencial de Romero se encuentra dentro de este rango.

3.4.2 Determinación del Índice de refracción.

Para la determinación del índice de refracción dentro del CEANID se realizó el análisis bajo la norma NB 34003:06 dando como resultado

Índice de refracción: 1,4703

Aprovechando que dentro del laboratorio de Operaciones unitarias hay un refractómetro se llevó a cabo la medición teniendo como resultado:

Índice de refracción: 1,4246

Se puede apreciar que entre los resultados entregados por el CEANID y los resultados obtenidos dentro de laboratorio no hay diferencias significativas.

3.4.3 Comparación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos con lo de bibliografía

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos, frente a otros datos de bibliografía consultada.

Tabla III- 10

Comparación de Parámetros fisicoquímicos del aceite esencial de Romero

N°	Parámetro	Tarija Rivera Daniela 2019	PERÚ Mejía F., 2016	Chuquisaca Patiño L. 2014	Guatemala Rodas M. 2012	Contribución al Estudio de los aceites Esenciales España 1966	España Ficha técnica 2018
1	Densidad (g/ml)	0,8518	0,9170	0,865	0,9460	0,897	0,907
2	Índice de Refracción (20°C)	1,4703	1,4701	1,4698	1,4783	1,4670- 1,4730	1,4640
3	Solubilidad en etanol (v/v)	>85	>80	-	-	-	>80

Fuente; Elaboración propia, 2019. Basada en Tesis de grado de Diferentes Bibliografías.

De la tabla III. 10 se puede observar que los resultados obtenidos dentro del laboratorio son muy similares con los resultados obtenidos en otros lugares, así podemos determinar que el aceite esencial de Romero cultivado en el departamento de Tarija cumple con los perfiles de un aceite de Calidad de esta especie todo el informe brindado por el CEANID se encuentra en la sección de Anexos.

3.5 Resultado de la Cromatografía de gases

El perfil cromatográfico para el aceite esencial de Romero cultivado en el departamento es realizado por el Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID) perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho a objeto de determinar la composición química del aceite esencial como se explicó previamente en el capítulo II.

En la tabla III-11 se presentan los resultados del análisis de los principales compuestos del aceite esencial de Romero; del mismo modo, en la tabla III- 12 se adicionan y comparan con los datos obtenidos dentro del laboratorio con los de bibliografía de distintos lugares del mundo.

Tabla III- 11

Componentes del Aceite esencial de Romero cultivado en el departamento de Tarija

ITEM	COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	ABUNDANCIA (%)
1	1 R- α -Pinene	10.603	7.997
2	2,2-Dimethyl-3-methylenebicyclo(2.2.1)heptane	11.159	7.107
3	β Terpineno	12.246	5.070
4	Myrcene (prob. 51.04%)	12.894	40.965
	Pinene (prob. 48.96%)		
5	limonene	14.313	4.361
6	Eucalyptol	14.403	17.542
7	Camphor	18.719	12.533
8	isocaryophillene	28.243	4.405
TOTAL			100

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), 2019

Como observamos en la tabla, realizando un perfil cromatográfico se asimila que el mayor componente en abundancia es el Myrcene con 40.965%, seguido del Eucaliptol. Los resultados del perfil cromatográfico se encuentran en la sección de Anexos.

Tabla III- 12

Comparación del Aceite esencial de Romero cultivado en el departamento de Tarija frente a otros de bibliografía

Aceite esencial de Romero obtenido en el laboratorio 2019		Melisa Rodas Guatemala 2012		Natalia Mezza 2015 Córdoba	
Componente	% Abundancia	Componente	% Abundancia	Componente	% Abundancia
α - Pineno	7,997	α -pineno	7- 25	α -pineno	22,89
Mirceno/ Pineno	40,965	Mirceno	2.5– 4.5	mirceno	31,24
Eucaliptol	17,542	1,8- cineol/ Eucaliptol	17- 30	1,8 Cineol	10,07
Alcanfor	12,533	alcanfor	10 -15	alcanfor	5,45
β Terpineno	5,07	borneol	16-20	canfeno	6,56
iso cariofileno	4,405	alcanfor	10 -15		
Limoneno	4,361	linalol	0.5- 2.5		

Fuente; Elaboración propia, (2019), Basada en Tesis de grado de Melisa Rodas (2012), Natalia Mezza (2015).

De la tabla anterior se puede observar que son cuatro los componentes mayoritarios del aceite esencial de Romero cultivado en Tarija que están también presentes dentro de los resultados de otras investigaciones del exterior.

Existen ciertas variaciones dentro de los que son los porcentajes de abundancia en los aceites esenciales de Romero, esto se debe a que el aceite contenido en las hojas de Romero varía de acuerdo a la zona donde se lo siembra, así también de la época en la que se lo cosecha.

El componente con mayor porcentaje de abundancia en el departamento de Tarija es el Mirceno con 40,965%, tiene mayor proporción de abundancia en comparación a los obtenidos en Guatemala y Córdoba respectivamente. Su función principal de este componente es de ser un intermediario de gran importancia para la producción de terpenos derivados; según estudios de la Universidad Autónoma de Barcelona este compuesto en la medicina popular ha sido utilizado a lo largo de la historia como un analgésico.

El segundo compuesto igual representativo es el Eucaliptol el cual tiene gran uso dentro de la industria como descongestionante y expectorante en infecciones respiratorias; así también es un ingrediente de algunos enjuagues bucales y preparados dentales como un solvente y puede poseer propiedades antibacterianas.

Del mismo modo que el punto anterior, el informe completo del análisis cromatográfico del aceite esencial de Romero cultivado en Tarija se encuentra en la sección de anexos.

3.6 Cálculo del porcentaje de rendimiento base a cantidad del aceite esencial de Romero

Para poder determinar el rendimiento del aceite esencial de Romero se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de aceite esencial}}{\text{masa materia prima}} * 100 \%$$

Para dicho cálculo se toma en cuenta la mejor extracción de aceite esencial de Romero obtenido

Masa de aceite esencial: 5,5g.

Masa total de materia prima: 390g

$$\text{Rendimiento} = \frac{5,5}{390} * 100\%$$

Rendimiento= 1,4 %

Con el resultado obtenido anteriormente se puede hacer la siguiente relación: de cada 100g. de hojas de Romero secas se obtiene 1,417g de aceite esencial de Romero o su equivalente en volumen de 1,5ml

En la tabla III- 11 se presenta los rendimientos obtenidos por otros trabajos de Aceite esencial de Romero comparados con el obtenido en la ciudad de Tarija.

Tabla III- 13

Comparación del Rendimiento de Aceite esencial extraído

Nº	Autor	Año- Localización	Rendimiento (%) expresado en ml/100g
1	Rivera Daniela Iris	2019- Tarija	1,417
2	Ramírez Mayra	2008 - México	1,83
3	Luis P, Augusto S.	2014 – Bolivia	0,8
4	Rodas Ceballos Melisa	2012- Guatemala	1,45

Fuente; Elaboración propia, 2019. Basada en Diferentes Investigaciones entre los años 2008- 2014

De la anterior tabla se puede observar que el rendimiento durante la extracción de aceite esencial obtenido dentro del laboratorio es similar al Rendimiento de Melisa Rodas (Guatemala) y no existe mucha diferencial con el rendimiento obtenido por Ramírez Mayra (2008) quien tiene mayor porcentaje de rendimiento.

El rendimiento de una investigación a otra puede variar por diversos aspectos como ser por el equipo utilizado; dentro del LOU el equipo utilizado tiene tres canastillos uno sobre otro donde se deposita la materia prima, y por haber una aglomeración de partículas que impiden el paso del vapor de arrastre en su totalidad, disminuyendo o haciendo variar en este caso el rendimiento del aceite esencial.

Teniendo el rendimiento se puede realizar comparaciones con las diferentes variables respecto al rendimiento.

3.7 Análisis Estadístico del Diseño Factorial

El análisis de resultados se realiza utilizando el programa estadístico SPSS STATISTICS 18 (Statistical Package for the Social Sciencis) para Windows, este programa tiene la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para los análisis.

Con el análisis de varianza ANOVA se analizará los niveles máximos y mínimos de cada factor como ser: Tamaño de partícula, Tiempo de extracción y masa en el lecho, siendo estas las variables independientes y sus interacciones sobre la variable respuesta rendimiento de aceite esencial de Romero que es una variable dependiente.

Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en la siguiente tabla.

Tabla III- 14

Datos Experimentales de la Extracción de aceite esencial de Romero

Numero de experimento	Masa de Romero (g.)	Tamaño de partícula (cm)	Tiempo de Extracción(min)	Volumen de Aceite (ml)
1	100	0,5	70	4,0
2	130	0,5	70	4,5
3	100	1,5	70	4,1
4	130	1,5	70	5,0
5	100	0,5	90	4,5
6	130	0,5	90	5,5
7	100	1,5	90	4,0
8	130	1,5	90	6,0
REPLICA				
9	100	0,5	70	4,0
10	130	0,5	70	4,3
11	100	1,5	70	4,0
12	130	1,5	70	5,2
13	100	0,5	90	4,3
14	130	0,5	90	5,2
15	100	1,5	90	4,2
16	130	1,5	90	6,1

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla III- 14 se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable registradas por el programa y realizadas en la parte experimental para el diseño 2^3 con dos repeticiones y un total de 16 experiencias.

Tabla III- 15

Factores inter- sujetos

		Etiqueta del valor	N
masa	-1,00	100	8
	1,00	130	8
tamaño	-1,00	0,5	8
	1,00	1,5	8
tiempo	-1,00	70min	8
	1,00	90min	8

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla III-16 se especifica el análisis de varianza aplicado, para probar la significancia estadística de cada factor elegido sobre el rendimiento.

Tabla III-16

Análisis de Varianza “ANOVA”

Variable dependiente: rendimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7,588 ^a	7	1,084	57,810	,000
Intersección	351,563	1	351,563	18750,000	,000
masa	4,622	1	4,622	246,533	,000
tamaño	,360	1	,360	19,200	,002
tiempo	1,322	1	1,322	70,533	,000
masa*tamaño	,640	1	,640	34,133	,000
masa*tiempo	,562	1	,562	30,000	,001
tamaño*tiempo	,040	1	,040	2,133	,182
masa*tamaño*tiempo	,040	1	,040	2,133	,182
Error	,150	8	,019		
Total	359,300	16			
Total corregida	7,738	15			

^a R cuadrado= ,981 (R cuadrado corregida= ,964)

Fuente: SPSS 18

Con los resultados obtenidos del análisis de Varianza se puede determinar si las variables o los factores influyen en la respuesta.

Para que los parámetros tomados sean influyentes el nivel de significancia debe ser menor a 0,05.

Al observar la tabla se determina que los factores de masa, tiempo y tamaño de partícula, así también como sus interacciones respectivamente son menores a 0,05. Se define que son significativos en el proceso de extracción de aceite esencial de Romero con una confianza del 95 %.

Para la determinación de su respectivo modelo matemático se toma los valores que sí influyen según el análisis realizado previamente y se los introduce al programa SPSS

Tabla III-17

VARIABLES INTRODUCIDAS/ ELIMINADAS

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	tiempo, tamaño, masa ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: rendimiento

Fuente: SPSS 18

En la tabla III-18 se muestra el modelo matemático que genera el programa SPSS 18

Tabla III-18

Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	4,688	,036		129,046	,000	4,605	4,770
	masa	,538	,036	,773	14,797	,000	,455	,620
	tamaño	,150	,036	,216	4,129	,003	,068	,232
	tiempo	,288	,036	,413	7,915	,000	,205	,370
	Mas*tam	,200	,036	,288	5,506	,000	,118	,282
	Mas*tiem	,188	,036	,270	5,162	,001	,105	,270

a. Variable dependiente: rendimiento

Fuente: SPSS 18

De este modo el modelo matemático resultante es:

$$R=4,688+0,538masa+0,150Tamaño+0,288Tiempo+0,2Masa*tamaño+0,188Masa*tiempo$$

Este modelo matemático nos sirve para poder determinar las interacciones significativas de las variables para la extracción de aceite esencial de Romero.

Del análisis estadístico se concluye que las variables *masa*, *tiempo*, *tamaño de partícula* son significativas en el proceso de extracción de aceite.

Tabla III- 19

Resultados Experimentales obtenidos en base al diseño factorial vs. resultados del modelo aplicado en el programa SPSS

Número	Masa	Tamaño	Tiempo	Volumen de Aceite (ml)	Volumen del modelo	Error
				Variable Respuesta		
1	100	0,5	70	4,0	4,1	-0,09
2	130	0,5	70	4,5	4,4	0,07
3	100	1,5	70	4,1	4,1	0,10
4	130	1,5	70	5,0	5,2	-0,20
5	100	0,5	90	4,5	4,3	0,20
6	130	0,5	90	5,5	5,6	-0,10
7	100	1,5	90	4,0	4,2	-0,20
8	130	1,5	90	6,0	6,0	0,00
<i>RÉPLICA</i>						
9	100	0,5	70	4,0	4,1	-0,09
10	130	0,5	70	4,3	4,4	-0,09
11	100	1,5	70	4,0	4,1	-0,09
12	130	1,5	70	5,2	5,1	0,09
13	100	0,5	90	4,3	4,4	-0,09
14	130	0,5	90	5,2	5,4	-0,20
15	100	1,5	90	4,2	4,1	0,09
16	130	1,5	90	6,1	5,9	0,10

Fuente: Elaboración propia, 2019.

De la tabla III-19 se puede observar que los volúmenes obtenidos dentro del laboratorio frente a los datos obtenidos con el modelo aplicado no tienen gran variación

Se presenta también que se obtuvo mayor volumen de aceite en la segunda repetición que es la prueba 16 con 6,1 ml, y de acuerdo a los volúmenes del modelo el mayor volumen es la prueba 8 con un volumen de 6 ml; del mismo modo, se puede observar el error que existe entre los volúmenes obtenidos dentro del laboratorio y los volúmenes del modelo.

3.8 Relación de las variables independientes con respecto al Volumen del aceite esencial obtenido

Se realiza un análisis de los volúmenes de aceite esencial obtenido en el diseño experimental en relación a la masa de las muestras utilizadas, al tamaño de hojas de Romero utilizadas y al tiempo empleado en cada extracción.

3.8.1 Tamaño de Partícula de Romero vs. Volumen de aceite esencial de Romero obtenido

Durante todo el desarrollo de la parte experimental se trabaja con dos tamaños de partícula de 1,5 cm y 0,5 cm, tal como se ha previsto en el Diseño factorial.

En la siguiente tabla se presentan los datos de volumen obtenido y el tiempo de extracción del aceite esencial de Romero tomando en cuenta los dos tamaños de partícula, usando los datos de las extracciones con 130 g.

Tabla III- 20

Datos de Rendimiento con los dos tamaños de muestra.

Tamaño Partícula (cm)	Tiempo (min)	Volumen obtenido (ml) (por 100 g de muestra)	Volumen obtenido(ml) (por 130 g de muestra)
0,5	0	0	0
	70	4	4,5
	90	4,5	5,5
1,5	0	0	0
	70	4	5,2
	90	4,2	6,1

Fuente; Elaboración propia, 2019.

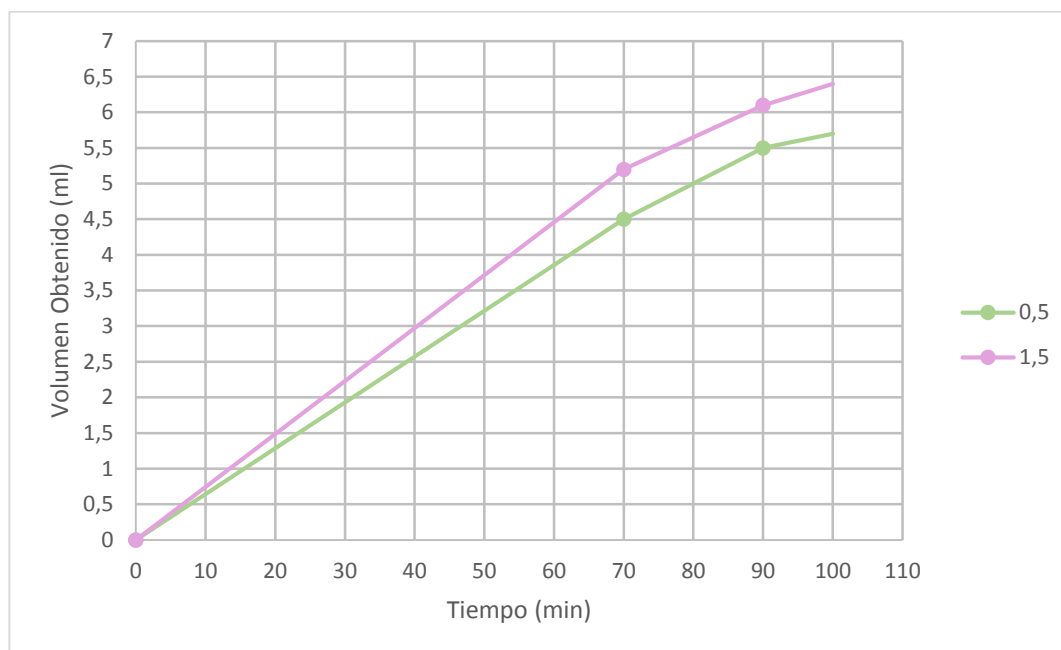
Como puede observarse en la tabla anterior, en ambos ensayos la mayor cantidad de aceite fue extraída en los primeros setenta minutos; en los siguientes minutos se tiene un pequeño aporte de aceite. Por otra parte, es importante hacer notar que por las deficiencias del tipo de refrigerante se tenía una mayor pérdida de los aceites más

volátiles, hecho este que se percibía en todo el ambiente aromas dispersos de los componentes más volátiles producidos durante la extracción por arrastre de vapor.

Posteriormente se presenta la gráfica 3-4 realizando una comparación del volumen obtenido Vs tiempo con relación al tamaño de partícula.

Figura 3- 4

Volumen Obtenido vs Tiempo con relación al Tamaño de partícula



Fuente; Elaboración propia, 2019.

En la gráfica 3-4 se observa que para el tamaño de hoja de 1,5 cm, el volumen obtenido para un tiempo de 90 minutos es de 6,1 ml, mientras que para el tamaño de partículas de 0,5 cm dentro de un tiempo de 90 minutos se obtiene un volumen de 5,5 ml, lo cual indica que las partículas de mayor tamaño son más eficientes al momento de la extracción; es recomendable trabajar con un tiempo aproximado de 90 minutos para lograr extraer la mayor cantidad de aceite esencial que puedan contener las hojas de Romero.

3.8.2 Masa de Romero vs. Volumen de aceite esencial de Romero obtenido.

Esta variable presenta dos niveles que son 100 y 130 gramos respectivamente, con los que se realiza el proceso de extracción.

Con los datos de mayor volumen de aceite esencial con un tamaño de hoja de 1,5 cm se construye la siguiente tabla.

Tabla III-21

Datos de Volumen de aceite esencial con respecto a las masas

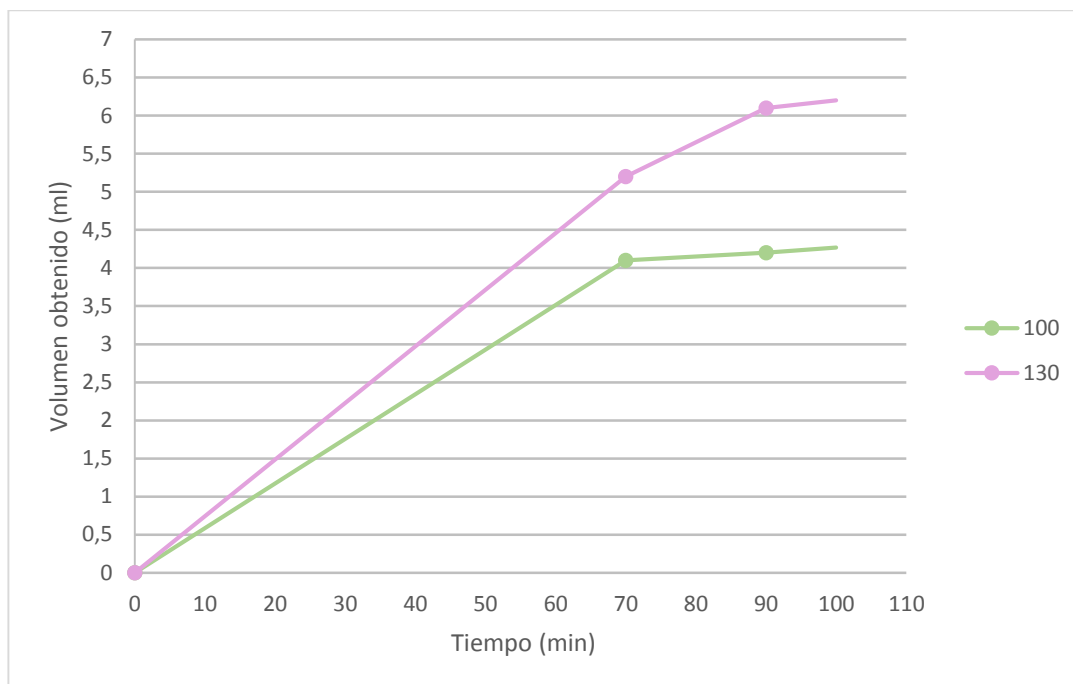
Masa (g)	Tiempo (min)	Volumen obtenido (ml) (con 1,5 cm de tamaño)
100	0	0
	70	4,1
	90	4,2
130	0	0
	70	5,2
	90	6,1

Fuente; Elaboración propia, 2019.

Con la tabla anterior se puede realizar una comparación entre las dos cantidades de masa aplicadas en el proceso para determinar con qué cantidad de hojas de Romero se obtiene mayor volumen de aceite esencial.

En la figura 3-5 se presenta el volumen obtenido vs el tiempo con relación a las masas.

Figura 3- 5

Masa de Romero introducidas a la torre vs. Rendimiento

Fuente; Elaboración propia, 2019.

En la gráfica se observa que hay mayores volúmenes obtenidos con una masa de 130g, en cualquiera de los intervalos de tiempo de 70 o 90 min., el cual alcanza un volumen de 6,1 ml mientras que para la masa de 100 g, dentro de los tiempos establecidos se obtiene un menor volumen que es 4,2 ml, lo cual indica y se recomienda trabajar con mayor cantidad de masa sin sobrepasar las cantidades explicadas anteriormente (ver tabla III- 8 pág.88) y dentro de los tiempos para así evitar el consumo energético excesivo, que por supuesto implica un costo económico.

3.8.3 Tiempo de extracción con respecto al volumen de aceite esencial obtenido

Dentro del proceso de extracción se observa que la relación tiempo/masa influye en la cantidad de volumen obtenido, razón por la cual se hace un análisis del tiempo de extracción y la masa contenida con respecto al volumen de aceite esencial extraído.

En la tabla III-22 se presenta los datos del tiempo con relación al volumen obtenido

con una masa de 130 gr. y a 1,5 cm. de tamaño de partícula de la primera repetición.

Tabla III-22

Tiempo de extracción de aceite esencial de Romero vs. Rendimiento

Tiempo (min)	Masa de Romero (g)	Volumen de aceite (ml)	Volumen acumulado (ml)
0	0	0	0
70	130	5,2	5,2
90	130	0,9	6,1

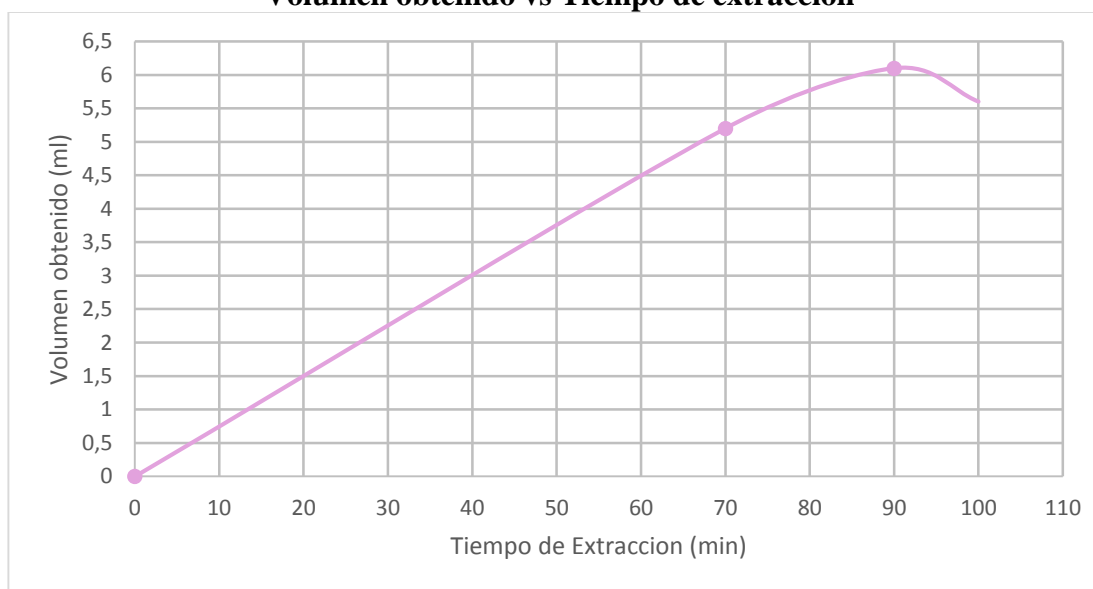
Fuente; Elaboración propia, 2019.

En el minuto 70 se obtiene un volumen mayor de aceite esencial, pero al minuto 90 la cantidad de extracción va disminuyendo, lo que significa que la materia prima empieza a presentar un agotamiento a la hora y media de iniciado el proceso.

De la tabla anterior se usan los datos obtenidos para introducirlos dentro de una gráfica para determinar la influencia del tiempo de extracción frente al volumen obtenido.

Figura 3- 6

Volumen obtenido vs Tiempo de extracción



Fuente; Elaboración propia, 2019.

De la figura 3- 6 de volumen de aceite extraído se concluye que hasta el minuto 70 se extrae 5,2 ml de aceite esencial lo que representa un 85,2% del total extraído. Del minuto 70 hasta el minuto 90 se extrae 0,9 ml el cual representa un 14,8%; obteniéndose un mayor volumen desde el minuto cero hasta el minuto 70

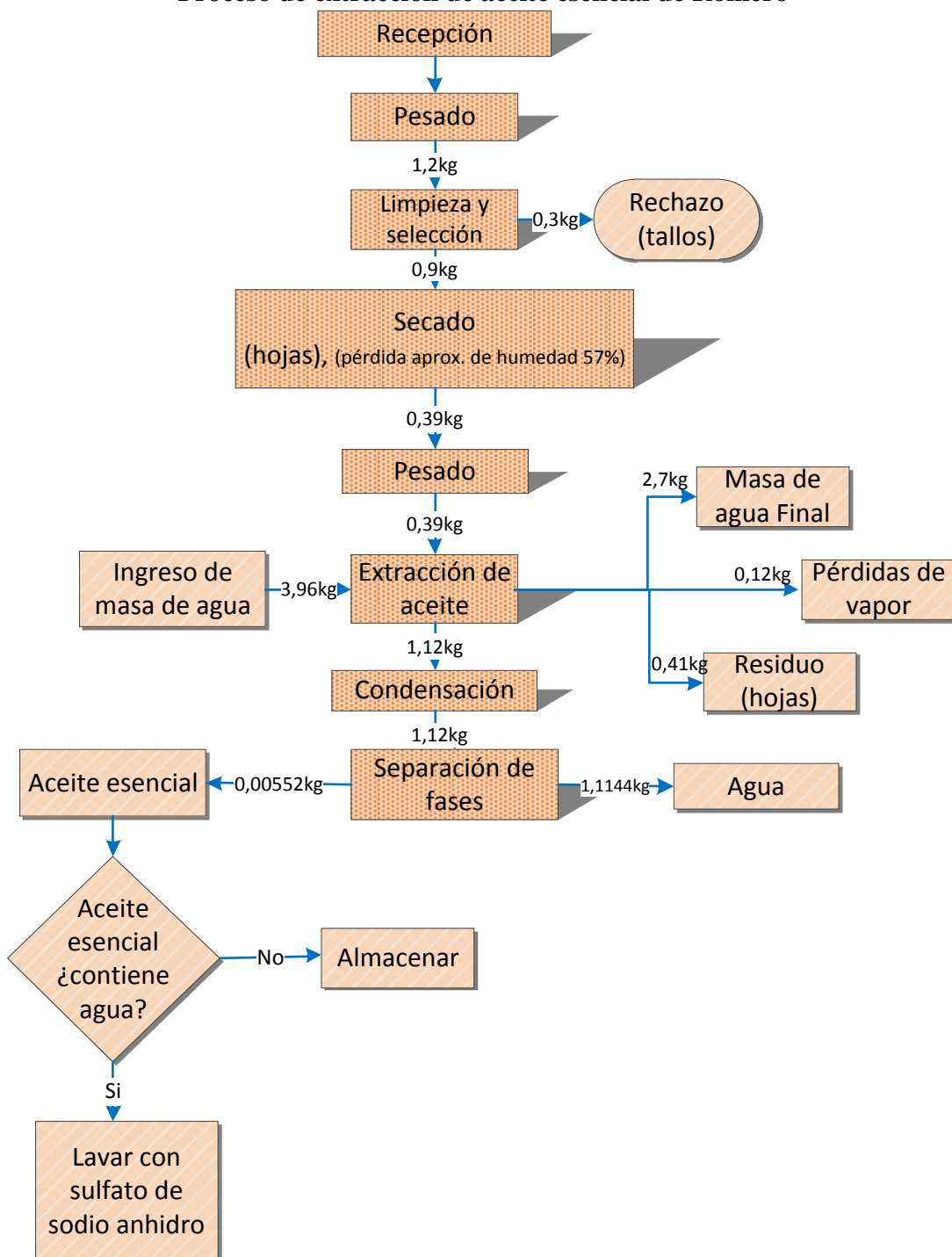
Al observarse que todavía desde el minuto 70 hasta el minuto 90 se extrae una cantidad considerable de aceite esencial, se justifica extraer hasta concluir el tiempo límite establecido.

3.9 Balance de Materia y Energía

Para realizar los balances de materia y energía respectivamente primero se debe detallar en un diagrama todos los pasos realizados durante todo el proceso de Extracción de aceite esencial de Romero.

Diagrama 3- 1

Proceso de extracción de aceite esencial de Romero



Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.1 Balance de Materia

Los datos utilizados para los cálculos presentados a continuación, son los obtenidos de la extracción que obtuvo mayor volumen de Aceite esencial de Romero.

Volumen de agua cargada a la torre de extracción: 4000ml

Volumen final del agua de la torre: 2700ml

Densidad del agua: 0,9956 g/ml

Calor específico del agua: 1kcal/ Kg. °C

Densidad del aceite esencial de Romero: 0,8518 g/ml

Tiempo de extracción: 90 minutos.

Peso total de hojas cargadas a la torre: 392,088g

Peso final de las hojas de Romero: 415,86g

Tamaño de partícula: hoja completa 1,5cm.

Temperatura inicial del agua de la torre: 20°C

Temperatura final del agua de la torre: 92°C

Temperatura de entrada de agua de refrigeración: 20°C

Temperatura de salida de agua de refrigeración: 21°C

Temperatura final de condensados: 15°C

Volumen final de aceite esencial condensado: 6ml.

Caudal del agua de refrigeración: 112,5ml/s.

El balance de materia es la suma de todas las entradas y salidas materiales durante un proceso o de una parte del mismo.

Todos los balances están basados en la ley de conservación de masa y energía, que nos indica que la materia que entra en un proceso debe ser igual al saliente.

Para realizar el balance de materia se debe primero realizar unos cálculos previos, que

se presentan a continuación:

- Masa de vapor: para calcular el valor de la masa de vapor se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad del Aceite Esencial.

m = masa de vapor

v = volumen de vapor

Para determinar Volumen de Vapor

$$V_{\text{vapor}} = V_{\text{agua inicial}} - V_{\text{agua final}}$$

$$V_{\text{vapor}} = 4000\text{ml} - 2700\text{ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 1300\text{ml}$$

Despejando la masa de la fórmula se obtiene:

$$m_{\text{vap.}} = \rho * v$$

$$m_{\text{vap.}} = 0,9956 \text{ gr/ml} * 1300\text{ml}$$

$$m_{\text{vap.}} = 1294,2 \text{ gr} \rightarrow 1,294\text{Kg}$$

- Flujo de vapor:

$$F_{\text{vap}} = \frac{m_{\text{vap}}}{\text{Tiempo de extracción}}$$

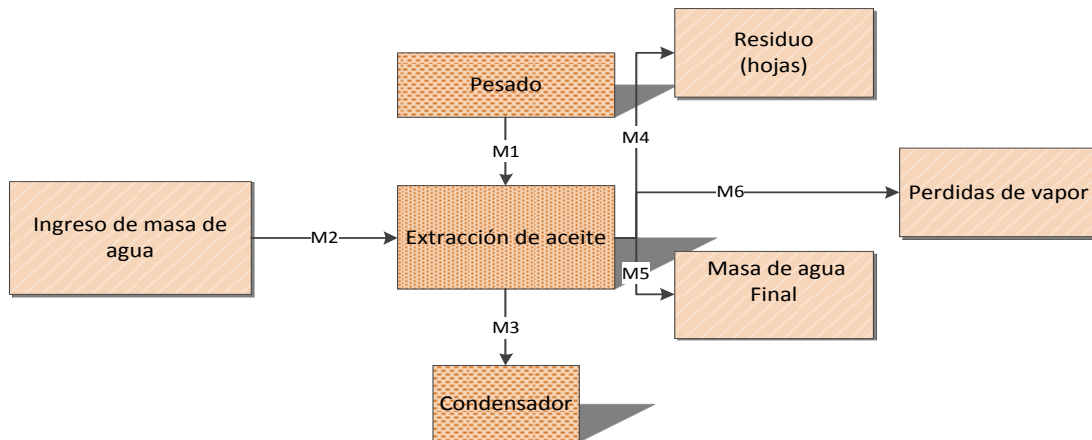
$$F_{\text{vap}} = \frac{1294,2 \text{ gr}}{90 \text{ min,}}$$

$$F_{\text{vap}} = 14,38\text{gr/min} \rightarrow 0,0143 \text{ kg/min}$$

Una vez realizados los cálculos previos se pasa a realizar el balance de materia durante la extracción de aceite esencial de Romero.

Diagrama 3- 2

Diagrama de bloques de Balance de materia durante la extracción



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Donde:

M1: Masa de Romero 0,39 kg

M4: Residuo final (hojas) 0,41 kg

M2: Masa de agua cargada a la torre 3,96 kg

M5: Agua final dentro de la torre 2,7 kg

M6: Pérdidas de vapor en la torre

M3: Masa mezcla de vapores 1,12 kg

Para realizar el cálculo de las pérdidas de la torre de extracción se realiza el balance de materia en el equipo.

$$M1 + M2 = M3 + M4 + M5 + M6$$

$$M6 = (M1 + M2) - (M3 + M4 + M5)$$

$$M6 = (0,39 + 3,96) - (1,12 + 0,41 + 2,7)$$

$$M6 = 4,35 - 4,23$$

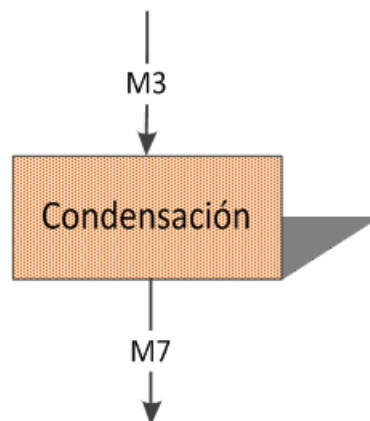
$$M6 = 0,12 \text{ kg.}$$

El resultado obtenido 0,12kg es el valor de vapor que se pierde en el equipo; puede existir este tipo de pérdidas por muchas razones, como ser cuando se destapa el equipo, o por fugas por mal cerrado de tapa. Se puede observar que las pérdidas son mínimas.

A continuación, se realiza balance de materia en el condensador y después en la separación de fases

Diagrama 3- 3

Balance de materia en el condensador.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Donde:

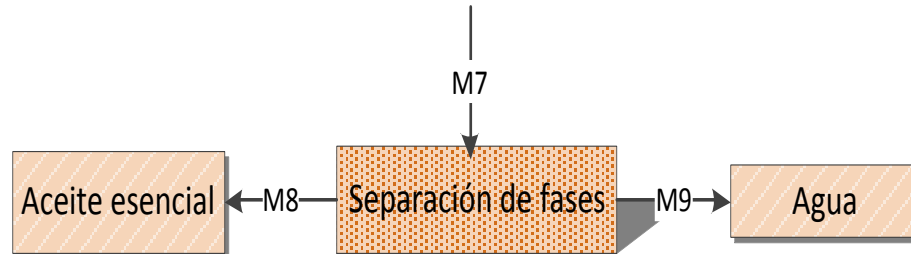
M3: Masa mezcla de vapores 1,12 kg M7: Masa de condensados

$$M3 = M7$$

$$M3 = 1,12 \text{ kg} = M7$$

En el balance de condensación el valor de vapor que entra al equipo es el mismo que los condensados a la salida.

Diagrama 3- 4
Balance de materia separación de fases



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Donde:

M7: Masa de condensados 1,12 kg M9: Masa de agua condensada

M8: Masa de aceite esencial 0,00552 kg

$$M7 = M8 + M9$$

$$1,12\text{kg} = 0,00552\text{ kg} + M9$$

$$M9 = 1,12\text{kg} - 0,00552\text{ kg}$$

$$M9 = 1,1144\text{ kg}$$

Tabla III- 23

Datos obtenidos del balance de materia

Corriente	Masa (kg)	Corriente	Masa (kg)
M1 Masa de Romero	0,39	M6 Pérdidas de vapor en la torre	0,12
M2 Masa de agua cargada a la torre	3,96	M7 Masa de condensados	1,12
M3 Masa mezcla de vapores	1,12	M8 Masa de aceite esencial	0,00552
M4 Residuo final (hojas)	0,41	M9: Masa de agua condensada	1,1144
M5 Agua final dentro de la torre	2,7		

Fuente; Elaboración propia, 2019

Entradas= Salidas

$$M1 + M2 = M3 + M4 + M5 + M6$$

$$0,39 + 3,96 = 1,12 + 0,41 + 2,7 + 0,12$$

$$4,35 = 4,35$$

3.9.2 Balance de Energía

Durante todo el proceso de extracción de aceite esencial de Romero se observa que se presentan tres etapas considerables para el balance de energía que son: calentamiento, generación de vapor y condensación

Para realizar estos cálculos se necesitan el calor sensible y el calor latente respectivamente; no se consideran las pérdidas de calor hacia el exterior.

Tabla III- 24

Datos obtenidos del balance de Energía

Etapa de calentamiento	Etapa de Generación de vapor	Etapa de condensación
calor sensible Q=285,16 kcal	Potencia Térmica= 695,41 kcal/h Q extracción= 1043,115 kcal Q _T = 1328,235 kcal	$\lambda_{\text{vap}} = 834,516 \text{ kcal/ kg}$ Q ced = 985,398kcal Q rec = 1209, 654 kcal

Fuente; Elaboración propia, 2019

En la etapa de calentamiento existe cambio de temperatura, no hay cambio de fase; de este modo se determina que se trata de calor sensible:

$$Q = m * C_p. * (T_2 - T_1)$$

Donde:

Q: calor sensible

T₂: Temperatura de vapor 92°C

m: masa de agua cargada en la torre 3,96 kg T₁: temperatura inicial del agua 20°C

C_p.: Calor específico del agua 1 kcal/kg* °C

$$Q = 3,96 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (92^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q = 285,12 \text{ Kcal}$$

Durante la etapa de generación de vapor se genera calor latente; para poder determinar su valor, es necesario primero determinar la potencia térmica de la hornalla a GLP:

$$\text{Potencia} = \frac{Q \text{ calentamiento}}{\text{Tiempo de calentamiento}}$$

$$\text{Potencia} = \frac{285,12 \text{ kcal}}{0,41 \text{ h}}$$

$$P = 695,41 \text{ kcal/h}$$

Determinación de calor latente durante la generación de vapor:

$$Q \text{ extracción} = P * t \text{ extracción}$$

$$Q \text{ extracción} = 695,41 \text{ kcal/h} * 1,5 \text{ h}$$

$$Q \text{ extracción} = 1043,115 \text{ kcal}$$

Calor total requerido para toda la extracción:

$$Q_T = \text{Calor sensible} +$$

$$Q_T = 285,12 \text{ kcal} + 1043,115 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 1328,235 \text{ kcal}$$

Balance de energía durante la condensación; en este sector ocurre transferencia de calor.

Calor cedido se debe a que el vapor al estar condensado está en contacto con el agua de refrigeración elevando así su temperatura, y Calor recibido por el agua de refrigeración.

$$Q \text{ ced} = m_{\text{vap}} * \lambda_{\text{vap}} + m_{\text{vap}} + C_p * (T$$

cond – T_{vap})

Donde:

Q ced: Calor cedido

T_{cond}: 19°C

λ_{vap} : Calor latente de vaporización

T_{vap}: 92°C

Cp: Calor específico del agua 1kcal/kg* °C m_{vap}: masa de vaporización 1,294kg

Calor latente de Vaporización del agua:

$$\lambda_{\text{vap}} = \frac{Q_{\text{vap}}}{m_{\text{vap}}}$$

$$\lambda_{\text{vap}} = \frac{1043,115 \text{ kcal}}{1,244 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{\text{vap}} = 834,516 \text{ kcal/ kg}$$

$$Q_{\text{ced}} = (1,294 \text{ kg} * 834,516 \text{ kcal/kg}) + (1,294 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg} * ^\circ\text{C} * (19^\circ\text{C} - 92^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{ced}} = 1079,86 \text{ kcal} + (1,294 \text{ kcal} * (-73^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{ced}} = 1079,86 \text{ kcal} - 94,462 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{ced}} = 985,398 \text{ kcal}$$

El calor recibido por el agua de refrigeración es un calor sensible debido a que no sufre ningún tipo de cambio de fase:

$$Q_{\text{rec}} = m_{\text{agua de ref.}} * C_p * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

Donde:

Q _{rec} : calor recibido	T _{salida} : Temperatura de salida del refrigerante 21°C
m _{agua ref} : masa de agua de refrigerante 604,827 kg	T _{entrada} : Temperatura de entrada del refrigerante 20°C
Cp.: Calor específico del agua 1 kcal/kg* °C	

$$Q_{\text{rec}} = 604,827 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg} * ^\circ\text{C} (21^\circ\text{C} - 19^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{rec}} = 604,827 \text{ kcal}/^\circ\text{C} * 2^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{rec}} = 1209,654 \text{ kcal}$$

La cantidad de combustible utilizado durante la extracción se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{\text{comb}} = \frac{P * T_{\text{tot}}}{\text{Poder calorífico}}$$

Donde:

Vcomb: Volumen de combustible usado	T total: Tiempo total de la extracción
P: Potencia de la hornilla 695,41 kcal/h	Poder calorífico del gas GLP: 11440kcal/kg

$$T_{\text{total}} = t_{\text{calentamiento}} + t_{\text{extracción}}$$



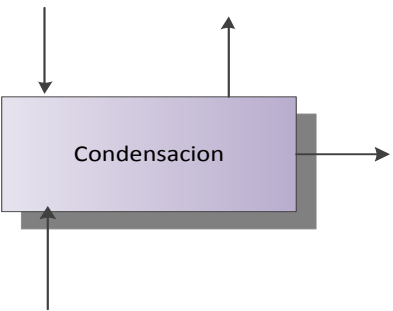
$$T_{\text{total}} = 0,41 \text{ h} + 1,5 \text{ h}$$

$$T_{\text{total}} = 1,91 \text{ h}$$

$$V_{\text{comb}} = \frac{695,41 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 1,91 \text{ h}}{11.440 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}$$

$$V_{\text{comb}} = 0,12 \text{ kg por extracción.}$$

Tabla III- 25
Resumen de los balances

Entrada	Proceso	Salida
Hojas de Romero 390g 4 litros de agua Calor 		Mezcla de vapores
Agua de refrigeración Mezcla de vapores		Agua de refrigeración 6ml de aceite esencial de Romero 1211,30ml de hidrolatos

Fuente; Elaboración propia,2019

3.10 Rendimiento del Proceso de extracción de aceite esencial de Romero

Para establecer el porcentaje de rendimiento que tiene la extracción de aceite esencial de Romero dentro del LOU frente a otros procesos se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento}_{\text{proceso}} = \frac{\text{Rendimiento práctico}}{\text{Rendimiento teórico}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{proceso}} = \frac{6,1\text{ml}}{7,5\text{ml}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento}_{\text{proceso}} = 81,3\%$$

El valor del rendimiento teórico fue extraído de una tesis de Investigación denominada “Extracción y caracterización del aceite esencial del Romero Rosmarinus Officinalis”

de la localidad de Tarma- Perú (2011) (Ver Referencia Bibliográfica)

Se puede observar que el rendimiento obtenido es mayor al 75% lo cual nos muestra que el proceso realizado tiene un rendimiento óptimo.

3.11 Propuesta de Aplicación del aceite esencial de Romero

El aceite esencial de Romero tiene gran variedad de aplicaciones en la industria, como se vio en el Cap. I Marco Teórico; una de las aplicaciones es en la gastronomía, para sazonar los alimentos y aderezos.

Se prepara queso a partir de leche fresca y durante el proceso de desuerado y moldeado se puede adicionar a la cuajada unas gotas de aceite esencial de Romero (0,025 ml de aceite de Romero por cada 1000g de cuajada aproximadamente) mezclar y dejar reposar, continuar con el proceso de obtención de queso.

El producto final es un queso con olor y un suave sabor a Romero.

3.12 Análisis de Costos

A continuación, se realizará un análisis de costos de todo lo invertido, para obtener un costo aproximado para la realización del proyecto

Los costos para la extracción de aceite esencial de Romero son a escala de laboratorio por el proceso de investigación que se realizó

Los parámetros que se tomarán en cuenta son:

- ✓ Costos de materiales
- ✓ Costos de materia prima
- ✓ Costos de energía eléctrica
- ✓ Costo de material de escritorio
- ✓ Costo investigación.

Tabla III- 26
Costos de materiales

Código	Detalle	Descripción	Precio (Bs.)
1	Tubos de ensayo	Para almacenar la mezcla aceite- agua obtenidos	15
2	Frascos ámbar	Para guardar y almacenar el aceite esencial de Romero	36
3	Plastoformo	Para el condensador	50
4	Pegamento	Para pegar las adaptaciones hechas al equipo	15
5	Tapones de frasco	Para tapar los tubos de ensayo	4
6	otros	Arreglo de torre de extracción	100
Total ₁ =			220

Fuente; Elaboración propia,2019

Tabla III- 27
Costos de Materia Prima

Código	Descripción	Precio (Bs.)
7	Ramas de Romero	700
8	transporte	50
9	hielo	30
Total ₂ =		780

Fuente; Elaboración propia,2019

Para toda la fase de experimentación se utilizó aproximadamente 30 kilos de ramas de Romero teniendo como precio final de 23 bs por kilo

Tabla III- 28

Consumo de agua y gas

Código	Detalle	Descripción	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs.)
10	Gas	1,278 m ³	22,5	22,5
11	Agua	6,075 m ³	3,18bs/m ³	32,6
Total ₃ =				55,1

Fuente; Elaboración propia,2019

Para el proceso de extracción se compró solo una garrafa de 10kg que contiene 220000 calorías que equivale al poder calorífico de 24,4 m³ de gas natural.

Dentro del costo de agua se adicionan 13,30 bs que es el costo fijo de alcantarillado

Tabla III- 29

Costo del material de escritorio

Código	ACTIVIDAD O MATERIAL	PRECIO UNITARIO (Bs.)	COSTO TOTAL (Bs.)
12	Análisis de laboratorio	1000	300(*)
13	Anillados	25	100
14	Empastado.	50	200
15	Adquisición de información digital y/o impresa.	500	500
Total ₄ =			1100

Fuente; Elaboración propia,2019

(*) Aplicando descuento de convenio interinstitucional

Tabla III- 30
Costo Investigación

Detalle	PRECIO UNITARIO (Bs.)	COSTO TOTAL₅ (Bs.)
Costo de la investigación. mano de obra	140bs/h	12000

Fuente; Elaboración propia,2019

Tabla III- 31
Costo Total

Sub total	Costo (Bs)
Total ₁	220
Total ₂	780
Total ₃	55,1
Total ₄	1100
Total ₅	12000
TOTAL	14.155,1

Fuente; Elaboración propia,2019

El costo total final de toda la presente investigación es de 14.155,1 bolivianos, los cuales fueron cubiertos en su totalidad por la tesista.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, se concluye lo siguiente:

- Se obtuvo aceite esencial de Hojas de Romero por el método de arrastre de vapor utilizando la torre de extracción perteneciente al laboratorio de operaciones unitarias.
- Para la caracterización de la materia prima se acudió al herbario universitario para obtener la taxonomía, se determinó el porcentaje de humedad que tienen las hojas de Romero que es 56,68% usando el analizador infrarrojo SARTORIUS 100.
- El proceso de extracción de aceite esencial de Romero se realizó usando las siguientes variables de operación: presión atmosférica, temperatura constante 92°C con una carga de 390 g de hojas de Romero repartidas en tres canastos puestos uno sobre otro; se usa una potencia media de hornalla a gas natural para no sobrepasar la capacidad de enfriamiento del condensador
- Se validó el proceso experimental con la obtención de aceite esencial de Romero siguiendo las etapas del proceso de extracción correspondiente en bibliografía.
- Se determinó como variables de proceso el tamaño de hoja, tiempo de extracción y cantidad de masa introducida a la torre.
Siendo los valores óptimos para la extracción de aceite esencial:
tamaño de hoja: 1,5 cm
tiempo de extracción: 90 minutos
cantidad de masa: 130g. en cada canastillo
- El rendimiento del aceite esencial de Romero dentro del laboratorio es de 1,47 ml/100g, el rendimiento determinado en bibliografía varía de entre 0,8 a 1,83

ml/100g respectivamente; se puede afirmar que el aceite esencial obtenido entra al rango de promedios.

- El aceite obtenido tiene un color amarillo pálido, olor herbáceo, fresco y aspecto oleoso, resultados que coinciden con bibliografía, por lo que se concluye que el aceite de Tarija cumple con las características propias del aceite de Romero.
- Habiendo realizado el análisis cromatográfico a dos muestras de aceite esencial de Romero uno condensado en un equipo de Bronce recubierto de estaño y el otro condensado en un equipo de Vidrio se llega a la conclusión que no hay variación que afecte a la muestra de aceite, tampoco que los mismos puedan contaminarse con los metales; resultados se pueden observar en Anexos
- Se realizó una comparación del aceite esencial de Romero obtenido en laboratorio con otro que está dentro del mercado a la venta y se pudo observar que el aceite que está en el mercado no contiene ningún componente característico del Romero, es decir, este aceite es un engaño, del mismo modo los resultados se encuentran en la parte de Anexos
- De acuerdo a los resultados obtenidos de la cromatografía se encuentran 8 componentes mayoritarios en el aceite obtenido: Mirceno Pineno, Alcanfor, Eucaliptol, α - Pineno, 2,2-Etano-3 metileno biciclo (2.2.1) heptano, β Terpineno, iso cariofileno, limoneno, de los cuales hay 6 compuestos que están registrados en la lista de componentes característicos del aceite esencial de Romero.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a personal docente y estudiantil de la Carrera de Ingeniería Química promover un proyecto de ampliación del equipo de extracción y diversificar las materias primas, para que así se puedan comercializar los aceites obtenidos dentro del laboratorio.
- Durante el proceso de extracción de aceite esencial en la etapa de condensación el agua de refrigeración debe trabajar con temperaturas inferiores a las del ambiente con el objetivo de tener una condensación óptima de la mezcla vapor-aceite ya que los aceites son muy volátiles
- Se recomienda la instalación de un sistema de recirculación del agua refrigerante que ingresa al condensador ya que el consumo de agua por cada extracción es elevado, aplicando esta recirculación. Los costos en cuestión a inversión y durante el proceso disminuirán de manera considerable.
- Se recomienda utilizar los datos expuestos en la investigación para desarrollar un estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de extracción de aceite esencial o de otra forma la propuesta de la instalación de una planta piloto extractora de aceite esencial de Romero y demás plantas medicinales del medio.
- Realizar una investigación más profunda sobre las aplicaciones y usos del aceite esencial de Romero