

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Aceite Esencial

Un aceite esencial es un líquido hidrofóbico concentrado compuesto por una mezcla compleja de constituyentes, generalmente volátiles, que se originan en el metabolismo secundario de un vegetal. Al ser biosintetizados, su composición química no es estable, sino que varía de acuerdo con diversos factores que afectan el desarrollo de la planta, así como también según el órgano considerado y la forma de extracción, entre otros. El término esencial hace referencia al hecho de que estos aceites contienen la esencia de la fragancia característica de la planta de la que se deriva.

En síntesis, son productos volátiles de composición química extremadamente compleja, y con una enorme variabilidad en lo que se refiere a su calidad, propiedades y estabilidad.

#### 1.1.1 Clasificación

Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios. (Montoya. C, 2010)

##### 1.1.1.1 Clasificación por su Consistencia

Por su consistencia se dividen en: esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas.

Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente (esencias de romero, menta, salvia, limón, albahaca).

Los Bálsamos son de consistencia más espesa, poco volátiles, y propensos a polimerizarse (bálsamos de Copaiba, bálsamo de Perú, bálsamo de Tolú, estoraque, etc.).

Las Oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, balata, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavel, etc.)

### **1.1.1.2 Clasificación por su Origen**

En cuanto al origen los Aceites Esenciales se clasifican en: naturales, artificiales y sintéticos.

Los Aceites Esenciales Naturales se obtienen directamente de la planta y no se someten posteriormente a ninguna modificación fisicoquímica o química, son costosos y de composición variada. Los artificiales se obtienen por enriquecimiento de esencias naturales con uno de sus componentes; también se preparan por mezclas de varias esencias naturales extraídas de distintas plantas como mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín. Los aceites esenciales Sintéticos son mezclas de diversos productos obtenidos por procesos químicos. Son más económicos y por lo tanto se utilizan mucho en la preparación de sustancias aromatizantes y saborizantes, como esencias de vainilla, limón, fresa. (Montoya C.,2010)

### **1.1.1.3 Clasificación según la naturaleza Química de los componentes mayoritarios**

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales' monoterpenoides, sesquiterpenoides y fenilpropanoides.

Los aceites esenciales ricos en monoterpenos se denominan aceites esenciales monoterpenoides (p.ej. hierbabuena, albahaca, menta, romero, salvia, etc.). Los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides (p.ej. copaiba, pino, ciprés, etc.). Los ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides (p.ej. clavo, canela, anís, etc.).

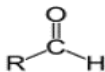
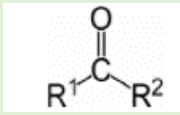


### **1.1.2 Composición Química de los Aceites Esenciales**

Los aceites esenciales contienen principalmente compuestos orgánicos líquidos, los cuales son más o menos volátiles. Su composición química es: (Piedrasanta, 1997)

- **Esteres:** principalmente de ácido benzoico, acético salicílico y cinámico.
- **Alcoholes:** linalol, geraniol, citronelol, terpinol, mentol, borneol.

- **Aldehídos:** citral, citronelal, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainilla.
- **Ácidos:** benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico todos en estado libre.
- **Fenoles:** eugenol, timol, carvacrol.
- **Cetonas:** carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil cetona, metil heptenona.
- **Esteres:** cineol, éter interno (eucaliptol), anetol, safrol.
- **Lactonas:** cumarina.
- **Terpenos:** canfeno, pineno, limoneno, felandreno, cedreno.
- **Hidrocarburos:** cimeno, estireno (feniletileno).

**Cuadro I- 1 Propiedades Químicas de los Aceites Esenciales**

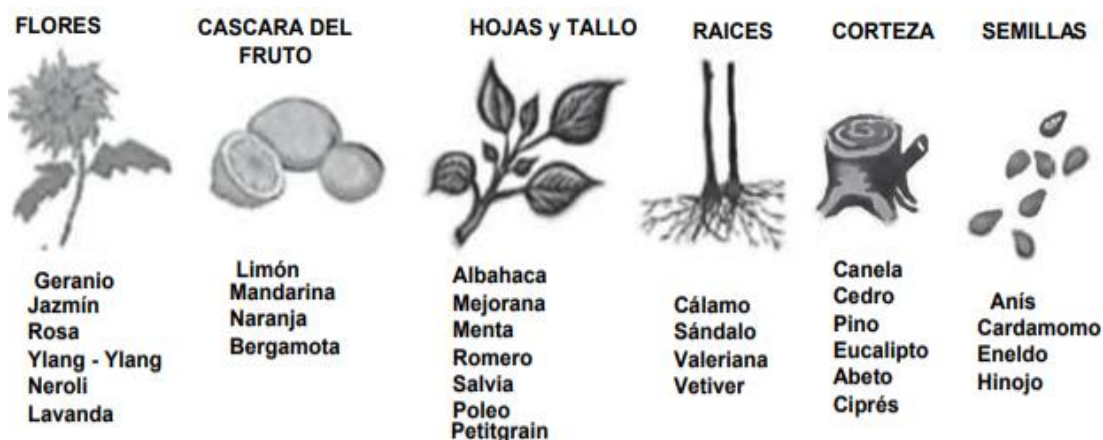
Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	$R-OH$	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tónico, espasmolítico.
Aldehído		Citral, citronela	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona		Alcanfor, pulegona, mentona, tujona	Mucolítico, regenerador celular, antiespasmódico.
Éster		Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éteres	$R-O-R$	Cineol, ascaridol.	Expectorante, estimulante.
Éter fenólico	Anillo-O-C	Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante.
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano, estimulante, inmunológico.
Hidrocarburos	Solo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante, descongestionante, antivírico, antitumoral.

Fuente: (Montoya C.,2010)

Los Aceites Esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, de las 295 familias de plantas, de 60 a 80 producen Aceites Esenciales, entre las cuales 38 crecen en los trópicos, 8 en los climas templados y tropicales, 17 en clima templado y 24 familias de plantas habitan en diferentes climas. Los Aceites Esenciales se obtienen tanto de plantas cultivadas como de plantas silvestres. Las principales plantas que contienen Aceites Esenciales se encuentran en las fanerógamas distribuidas en unas sesenta familias como: compuestas, labiadas, lauráceas, mirtáceas, rosáceas, rutáceas, umbelíferas, pináceas. La cantidad y composición del aceite esencial varía de una especie a otra y dentro de los mismos géneros de la planta (Montoya C.,2010).

Los Aceites Esenciales, se encuentran en la planta entera o en diferentes partes de la planta, como se muestra a continuación en forma gráfica:

**Figura 1- 1 Partes de las Plantas en las que se Encuentran los Aceites Esenciales**



Fuente: (Montoya C.,2010)

### 1.1.3 Análisis Físicoquímicos de un Aceite Esencial

Entre los análisis físicoquímicos más importantes que se deben realizar a un aceite esencial, se encuentran los siguientes:

- **Humedad:** se refiere a la pérdida de masa, comprende el contenido de agua, materias volátiles y el aumento de masa debido a la oxidación.

- **Densidad:** es una propiedad característica, significa que es específica de cada material y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella; lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades. La densidad de una sustancia es una medida que nos dice cuánta materia hay de esa sustancia en cierto espacio.

Es la relación entre el peso y el volumen que ocupa el aceite, y en este caso es afectada por la temperatura (Leocadia Pérez,2008).

- **Cromatografía:** es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas cuyo objetivo es separar e identificar los distintos componentes.
- **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. Este parámetro está relacionado con la estimación de la pureza de sustancias (Danger T. García et. al, 2017).

La medición de índice de refracción permite ayudar conjuntamente con otros índices a identificarlos o diferenciarlos de otros aceites. Los índices de refracción tanto de aceites como de ácidos grasos, aumentan conforme aumenta la longitud de las cadenas de hidrocarburos y el número de enlaces dobles de las cadenas (Leocadia Pérez,2008).

- **Características Organolépticas:** las características o propiedades organolépticas de un cuerpo son todas aquellas que pueden percibirse de forma directa por los sentidos (todos ellos, no solo la vista), sin utilizar aparatos o instrumentos de estudio.

#### 1.1.4 Rendimiento de los Aceites Esenciales

Es la cantidad de producto obtenido en una reacción química. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar).

El rendimiento fraccional, rendimiento relativo o rendimiento porcentual, que sirve para medir la efectividad de un procedimiento de síntesis, es calculado al dividir la cantidad de producto obtenido en moles por el rendimiento teórico en moles.

La mayoría de las plantas contienen de 0.01 a 10 % de contenido de aceite esencial. La cantidad media que se encuentra en la mayoría de las plantas aromáticas es alrededor de 1 a 2 %.

Regularmente el contenido de aceites esenciales aumenta después de la lluvia y alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta, y ha comenzado una deshidratación antes de la humedad relativa alta de la noche (SENA, 2004).

### **1.1.5 Usos y Aplicaciones de los Aceites Esenciales**

El consumo de aceites esenciales en la industria es muy variado y se emplean como aromatizantes, ambientadores y artículos de limpieza. Se emplean en la elaboración de jabones, champús, licores, cremas, desodorantes y hasta alimentos. (Montoya C.,2010)

**Cuadro I- 2 Industrias que usan Productos Aromáticos Naturales y Aceites Esenciales**

<b>Industrias</b>	<b>Aplicaciones</b>
Alimenticia	Salsas, condimentos, bebidas refrescantes, alimentos procesados y enlatados.
Cosmética	Perfumes, dentrífricos, cremas, lociones.
Licorera	Aperitivos y saborizantes.
Farmacéutica	Veterinaria, antisépticos, analgésicos, aromaterapia y homeopatía.
Uso doméstico	Desodorantes, desinfectantes del ambiente y jabones.
Agroquímica	Bioinsecticidas y aleoquímicos
Textil	Elaboración de enmascaradores de olores y tratamiento con mordientes después del teñido.

<b>Industrias</b>	<b>Aplicaciones</b>
Petroquímica y Minería	Utiliza esencias no terpenos derivados de ellas como vehículos flotantes y lubricantes.
Pinturas	Enmascaradores de olores, disolvente biodegradable
Química Fina	Precursores químicos, por ejemplo, citral, safrol, trementina.

Fuente: (Días, 2017)

### 1.1.6 Almacenamiento de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales 100% naturales no se ponen rancios como los aceites vegetales grasos. Legalmente un aceite esencial se puede almacenar durante un máximo de 5 años.

Los aceites esenciales pueden deteriorarse y perder sus cualidades aromáticas a través del tiempo si algunos principios básicos de almacenamiento no son respetados; se presenta a continuación algunos consejos que pueden ayudar a almacenar y conservar mejor estos aceites:

- Los aceites esenciales son altamente sensibles a la luz y al calor, por tanto, se deben conservar alejados del paso de la luz y protegidos en frascos de cristal oscuro o de aluminio que no permitan el paso de los UV. Idealmente en un lugar oscuro y fresco (la temperatura ideal es entre 5 °C – 35 °C). Para una máxima durabilidad, pueden guardarse en el refrigerador.
- Para evitar la pérdida molecular por volatilización, es conveniente minimizar su contacto con el aire: ser extremadamente cuidadosos al manipularlos y mantener sus envases siempre muy bien cerrados, cerrar el frasco herméticamente con una tapa rosca, a presión o un corcho para que el aceite no se evapore ni entre en contacto con el aire que puede modificar sus propiedades. (PRANARÔN, 2018)



### **1.1.7 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 deben ser utilizados con mucho cuidado y 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 de Poleo (*Mentha Pulegium*)**

El aceite esencial de poleo es una sustancia líquida, obtenida a partir de las hojas de *Mentha Pulegium*, es de color amarillo o amarillo algo naranjado con olor aromático muy pronunciado algo picante y muy parecido al de la menta, pero no tan dulce como esta es sabor picante, amargo, astringente y persistente, que finalmente recordando a la sensación de frescura que produce el mentol. Teniendo como componente mayoritario la pulegona.

El aceite esencial de Poleo fue sometido a una serie de estudios que han demostrado una diferencia de su constituyente mayoritario dependiendo de la región de cultivo, reportando que los aceites esenciales de poleo de Bulgaria presentan un contenido de pulegona de (42,9 - 45,4 %), de Uruguay 73,4 %, de Túnez 41,8 %, de Argentina 85 %, de Egipto 88 %, de Andalucía España 92 % y de Irán con 38 %, siendo el resultado más inferior a los reportados anteriormente.

### **1.2.1 Usos, Aplicaciones y Beneficios del Aceite Esencial de Poleo**

El aceite esencial de poleo es estimulante del apetito y de la digestión, antiespasmódico, colagogo, carminativo, antiséptico y parasiticida (BATLLORI, 1990).

Tomando en cuenta la aplicación del aceite esencial de poleo: en alimentos, medicina y los beneficios para la salud, que entre otros tiene: propiedades que se pueden aplicarse para su uso externo como interno.

En su uso interno está indicado en: inapetencia, digestiones lentas, espasmos gastrointestinales, meteorismo, disquinesia biliar, colecistitis, jaquecas (ARTECHE & *al.*, 1994: 275).

En uso externo se utiliza el aceite en disolución alcohólica o en linimentos, para fricciones estimulantes y lavar heridas (FERNÁNDEZ & NIETO, *l.c.*: 120).

En la industria alimenticia y confitera se utiliza en la elaboración de golosinas, dentífricos como refrescante, colutorio bucal, comidas y bebidas (BICCHY & FRATTINI, 1980).

En perfumería, debido a su olor aromático y ligeramente amargo, se emplea como componente de muchos perfumes económicos y también para perfumar desodorantes, shampoo, detergentes y jabones (BATLLORI, *l.c.*).

Quizá menos conocido, pero no por ello menos eficaz. El aceite esencial de poleo tiene propiedades antibacterianas, funciona como un eficaz antibacteriano, lo cual ayuda mucho a evitar infecciones. Gracias a esto es utilizado también para la limpieza en el hogar ya que es más potente que productos desinfectantes, también es utilizado como repelente y hasta insecticida por su alto contenido tóxico contra los insectos, un masaje de este aceite mezclado con otro aceite portador puede resultar ser un muy buen repelente natural.

### **1.2.2 Efectos Adversos y Contraindicaciones del Aceite Esencial de Poleo**

Según PERIS & *al.* (1995) y ARTECHE & *al.* (1994), el aceite esencial debe manejarse con cuidado ya que, por su riqueza en pulegona, tiene una marcada acción neurotóxica,

además de hepatotóxica. Se recomiendan tratamientos discontinuos y no prescribir a niños menores de dos años (puede ocasionar depresión cardiorrespiratoria).

A continuación, se presenta las contraindicaciones del aceite esencial de Poleo

- El uso del aceite está totalmente contraindicado en mujeres embarazadas o en periodo de lactancia.
- También se encuentra contraindicada en personas con anemia e hipoglicemia.
- Por vía oral, en dosis altas, el aceite esencial de poleo puede causar dolor abdominal, náuseas, vómitos, sensación de escozor en la garganta, fiebre, letargia, confusión, delirio, ataques de apoplejía, alucinaciones auditivas y visuales, incremento del pulso y de la presión sanguínea, congestión bilateral pulmonar, acidosis, coagulación intravascular diseminada, fallo hepático y renal.

Debido a que esta esencia es ampliamente utilizada en la industria y dada la toxicidad de la pulegona a continuación, se presenta la siguiente tabla las concentraciones máximas permitidas en productos alimenticios, farmacéuticos y de limpieza mediante el reglamento Técnico Mercosur sobre Aditivos Aromatizantes/Saborizantes.

**Cuadro I- 3 Concentración Máxima de la Pulegona en Productos**

<b>Componente</b>	<b>Producto</b>	<b>Contenido máximo mg/kg</b>
Pulegona	Producto de confitería	250
	Micropastillas para refrescar el aliento	2000
	Goma de mascar	350
	Bebidas no alcohólicas	20
	Bebidas alcohólicas	100
	Producto de limpieza	100

Fuente: (Mercosur/Aditivos Aromatizantes/Saborizantes., 2016)

### 1.2.3 Composición Química del Aceite Esencial de Poleo

La composición química de cualquier tipo de aceite esencial depende de la planta de origen, sin embargo, se toman en cuenta otros factores que influyen en su composición

como ser: características del suelo, altura, luz, humedad, método de extracción y variedad o especie utilizada.

El aceite esencial de poleo contiene fundamentalmente cetonas, destacando entre ellas la pulegona (85-96%), cetona terpénica no saturada, cuya porción más o menos elevada determina la calidad de la esencia. Otras cetonas presentes en menor concentración son: l-mentona, d-isomentona, piperitona, piperitenona, isopiperitenona. Además, han sido identificados alcoholes (mentol, 3-octanol, linalol, isomentol, neomentol, neoisomentol); ésteres, como el acetato de mentilo, e hidrocarburos (alfa y beta-pineno, limoneno, p-cimeno, dipenteno, canfeno). Influyendo en la proporción de cada componente el estado de desarrollo de la planta, así como los factores climáticos y ecológicos (BATLLORI, 1990).

**Cuadro I- 4 Composición del Aceite Esencial de Poleo en España**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
LIMONENO	1.05%
MENTONA	2.75%
Trans-ISOPULEGONA	1.01%
PULEGONA	84.85%
PIPERITENONA	2.63%

Fuente: (Lozano, 2019)

Sin embargo, es importante recalcar que la calidad del aceite esencial de poleo está en función al contenido de pulegona ya que la importancia fundamental de este aceite proviene de su empleo para la producción sintética de mentol, ya que el componente principal, la pulegona, es materia prima muy conveniente para la obtención del mentol sintético.

### 1.2.4 Propiedades Físicas y Químicas del Aceite Esencial de Poleo

**Cuadro I- 5 Propiedades Físicas y Químicas**

<b>Aceite Esencial de Poleo</b>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,930-0.944
Índice de Refracción	1.480-1.488
Rotación	(+18° / -25°)
Punto de inflamación	75 ° C
<b>Propiedades Organolépticas</b>	
Aspecto	Líquido Transparente
Color	De amarillo a amarillo pálido
Olor	Característico, Mentolado, amargo, fuerte

Fuente: (Lozano, 2019)

### 1.3 Usos de los Subproductos y Residuos de la Destilación de Aceite Esencial de Poleo

#### 1.3.1 Hidrolatos

El hidrolato también denominado hidrosol, aguas florales, entre otros. Es el agua residual que se forma por condensación del vapor que ha atravesado la materia vegetal durante el proceso de obtención de un aceite esencial por destilación de arrastre de vapor, es un producto acuoso de la destilación (Perdomo D. 2015).

Los hidrolatos contienen numerosas sustancias valiosas solubles en agua, así como pequeñas cantidades de aceite, del 0,02% al 0,05%. Por lo tanto, los hidrolatos, incluido el hidrolato de poleo, tiene propiedades calmantes y antiinflamatorias: para reducir inflamaciones o hinchazones causados por contusiones o picaduras de insectos, calmantes en casos de picor y prurito además de ser usado como ambientadores.

En la industria fitosanitaria los hidrolatos obtenidos durante el proceso de extracción se utilizan para repeler y controlar plagas, con ellos se preparan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, desodorizantes, desinfectantes (SENA, 2010).

### **1.3.2 Residuos de la Materia Prima**

Los residuos de la materia prima que quedan en la torre de destilación también poseen un olor particular, haciéndolo recomendable como abono orgánico con esto se ayudaría a tener cultivos sanos ya que no afectaría al desgaste de las plantas como actualmente lo hace el abono químico con las tierras.

## **1.4 Descripción y Caracterización Del Poleo (*Mentha Pulegium*)**

### **1.4.1 Origen del Poleo**

Conocida y utilizada en la medicina desde milenios, esta hierba es originaria de Europa, América, África del Norte y Asia Occidental. Es de la familia de las Labiadas que pertenece al mismo género que las mentas. Dioscórides, el gran médico y botánico griego del siglo I D.C. dice de él que “tiene fuerza de calentar, de adelgazar y de digerir”. “Pulegium” proviene de “pulex” que significa “pulga”, ya que el aroma o el humo de sus hojas quemadas la usaban los antiguos griegos y romanos para ahuyentar a estos insectos y “Mentha” proviene de “Míntha”, ninfa de la mitología griega, a quien la celosa Perséfone transformó en planta.

### **1.4.2 Descripción del Poleo**

El Poleo o menta poleo (*mentha pulegium*) Es una hierba aromática similar a la hierba buena, perenne de la familia de las Labiadas que pertenece al mismo género que las mentas, tiene un aroma fresco y mentolado alcanza una altura de 30 a 40 cm. Sus tallos, delgados y largos de forma cuadrangular, las hojas son lanceoladas, brillantes de color verde medio oscuro, ligeramente vellosas, dentadas y se disponen opuestas a lo largo del tallo, flores de color rosadas a blanca o lila, muy aromáticas, floreciendo en verano y otoño.

Toda la planta contiene aceite esencial (0,5%-1%) a base de pulegona, una cetona no saturada contiene también mentona, limoneno y otras cetonas.

Crece en sitios húmedos, aunque, en ocasiones, aparece también en otros más secos, la siembra o plantación se reproduce por semilla en otoño y primavera. Muy variable en cuanto al hábitat, forma de la hoja e indumento, en cuanto a cuidados requiere de riegos regulares durante la época vegetativa, en los inviernos fríos es conveniente resguardar, pues la planta es sensible a las heladas.

Si la planta se va a destilar para obtener su aceite esencial, el corte se hará a principios de otoño o a fines del verano, a partir del segundo año de cultivo puede darse otro corte en septiembre, la planta se corta a unos 10 cm del suelo, con hoz o guadaña en las pequeñas plantaciones, o con la barra de corte en cultivos de gran extensión. También pueden utilizarse maquinas segadoras especiales, provistas de aspas, cizalla, cinta transportadora y remolque.

**Fotografía 1- 1 Planta de Poleo (*Mentha Pulegium*)**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 1.4.3 Taxonomía

**Cuadro I- 6 Clasificación Taxonómica**

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Phylum</b>	Telemophytæ

<b>División</b>	Tracheophytae
<b>Sub división</b>	Anthophyta
<b>Clase</b>	Angiospermae
<b>Sub clase</b>	Dicotyledoneae
<b>Grado Evolutivo</b>	Metachlamydeae
<b>Grupo de Órdenes</b>	Tetracíclicos
<b>Orden</b>	Escrophulariales
<b>Familia</b>	Labiatae
<b>Nombre Científico</b>	<i>Mentha Pulegium</i>
<b>Nombre Común</b>	Poleo

Fuente: (Herbario Universitario T.B., 2021)

### 1.5 Procesos de Obtención de Aceite Esencial

Según la variedad del material vegetal, parte de la planta a emplear y estabilidad del aceite esencial que se pretenda obtener, se emplean diversos procedimientos físicos y químicos de extracción, donde su correcta aplicación será lo que determine la calidad del producto final. De esta manera se puede clasificar en métodos directos, destilación y extracción con solventes (SENA, 2000).

**Cuadro I- 7 Clasificación de los Procesos de Extracción de Aceites Esenciales**

<b>TIPO DE MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>PRODUCTOS OBTENIDOS</b>
a) Métodos Directos	Extrucción	Aceites Esenciales Cítricos
	Exudación	Resinas
b) Destilación	Arrastre con Vapor de Agua	Aceites Esenciales
	Destilación	
	Maceración	



<b>TIPO DE MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>PRODUCTOS OBTENIDOS</b>
c) Extracción con solventes	Solventes Volátiles	Aceites Esenciales
	Solventes Fijos (Grasas y Aceites)	Aceites Esenciales

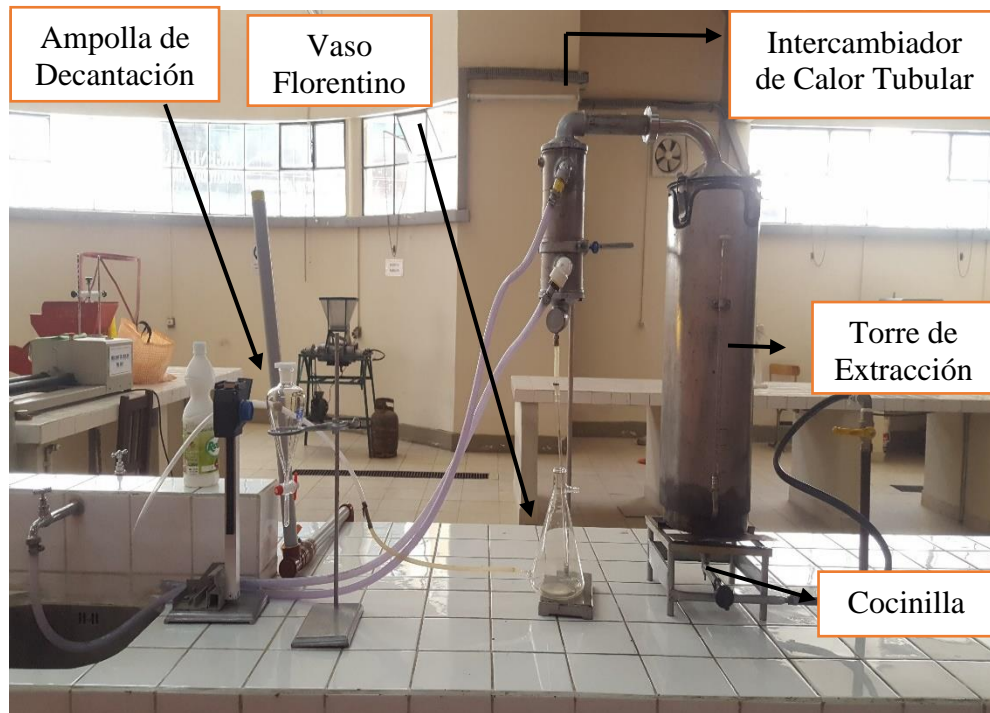
Fuente: (SENA, 2000)

A continuación, se describen brevemente los diferentes procesos más utilizados para la extracción de aceite esencial de Poleo.

### **1.5.1. Destilación Por Arrastre con Vapor**

La destilación por arrastre con vapor es un proceso físico de separación que usa el calentamiento de materiales líquidos hasta el punto donde uno o varios de sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriando este vapor, se pueden separar componentes líquidos a través de la condensación. (Balboa L, 2016)

**Fotografía 1- 2 Equipo de Destilación por Arrastre con Vapor existente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU**



Fuente: Elaboración propia, 2021

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

#### **1.5.1.1 Hidrodestilación o Destilación con Agua**

En este método, el material está completamente sumergido en agua, el cual es hervido aplicando calor por fuego directo, camisa de vapor, camisa de vapor cerrada, serpentín de vapor cerrado o serpentín de vapor abierto. La característica principal de este proceso es que hay contacto directo entre agua hirviendo y material de la planta aromática a extraer (Cardenas L., 2014).

**Figura 1- 2 Hidrodestilación Simple o Destilación con Agua**



Fuente: (Barotto J., 2017)

### **Ventajas**

- Es de infraestructura económica.
- Configuración Simple.
- Es un método muy utilizado en extracción de aceites esenciales.

### **Desventajas**

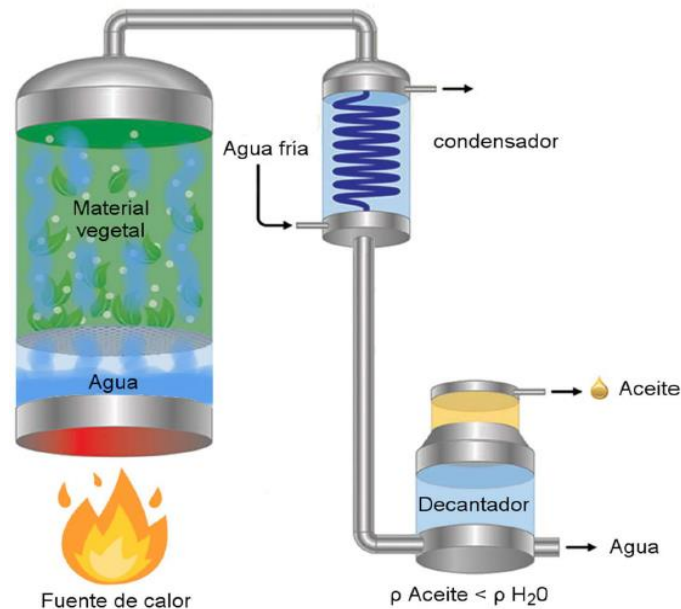
- La hidrodestilación es un proceso más lento que cualquier otro tipo de destilación por arrastre con vapor de agua.
- Si se llega a sobrecalentar se puede quemar la materia prima.

#### **1.5.1.2. Destilación por Arrastre con Vapor de Agua**

En la destilación por arrastre con vapor de agua, el vapor es generado dentro del destilador, aunque está separada del material de la planta aromática a procesar. Es ampliamente usado al igual que la hidrodestilación. Además, no ocasiona mucho gasto de capital que la hidrodestilación. También, el equipo usado es generalmente similar al

que se usa en la hidrodestilación, pero el material de la planta es soportado por encima del agua hirviendo con una rejilla perforada. (Cardenas L., 2014)

**Figura 1- 3 Destilación por Arrastre con Vapor de Agua**



Fuente: (Barotto J., 2017)

### **Ventajas**

- La destilación por arrastre con vapor de agua es más rápida que la hidrodestilación, es más eficiente energéticamente.
- Configuración Simple.
- Infraestructura económica.

### **Desventajas**

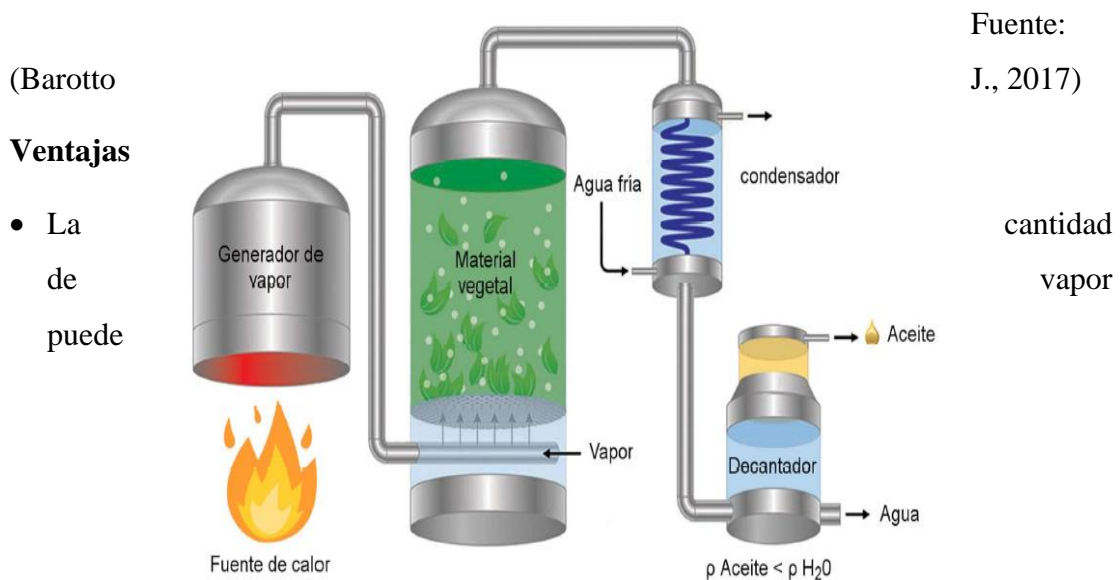
- Exceso de temperatura de vapor puede degradar la calidad de aceite esencial.
- Riesgo de que la extracción no llegue a completarse.

#### **1.5.1.3. Destilación con vapor Seco o Sobrecalentado**

La destilación con vapor seco es una operación unitaria de extracción de aceite esencial del material aromático con vapor generado fuera del destilador en un generador de vapor externo generalmente llamado "caldera". Como en la destilación por arrastre con

vapor de agua, el material de la planta es soportado en una cuadrícula agujereada por encima de la entrada del vapor. Una ventaja real de generación del vapor externo es que la cantidad de vapor puede controlarse fácilmente. Como el vapor es generado en una caldera externa, el material de la planta no es calentado por encima de 100 °C, consecuentemente, no debería experimentar degradación térmica. La destilación con vapor seco es el proceso más ampliamente aceptado para la producción de aceites esenciales (Cardenas L, 2014).

**Figura 1- 4 Destilación con Vapor Seco o Sobrecalentado**



controlarse fácilmente.

- No hay descomposición térmica de componentes de aceite.
- Aceite esencial Puro
- Tiempo de extracción más puro

#### **Desventajas**

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

### 1.5.1.4 Ventajas y Desventajas de los Métodos de Destilación

**Cuadro I- 8 Comparación de Métodos**

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Hidrodestilación Simple o Destilación con Agua	-Configuración simple y económica. -Método muy utilizado en extracción de aceites esenciales.	-Es un proceso muy lento. -El sobrecalentamiento puede quemar la materia prima.
Destilación por arrastre con vapor de agua	-Es más rápida que la hidrodestilación, es más eficiente energéticamente. -Configuración simple. -Infraestructura económica.	-Exceso de temperatura de vapor puede degradar la calidad del aceite esencial. -Riesgo de que la extracción no llegue a completarse.
Destilación con Vapor Seco o Sobrecalentado	-La cantidad de vapor puede controlarse fácilmente. -No hay descomposición térmica de componentes de aceite. -Aceite esencial puro. -Tiempo de extracción más puro.	-Su infraestructura es costosa. -Las temperaturas altas pueden causar hidrólisis de los ésteres y la polimerización de terpenos presentes en los aceites esenciales.

Fuente: Elaboración propia, 2021

### 1.6 Selección de proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas Poleo

En el presente trabajo de investigación se utilizará el método de destilación por arrastre con vapor, existen tres formas de destilación por arrastre con vapor, las cuales se explicaron exhaustivamente en el marco teórico de la presente investigación, de las cuales se va a utilizar la destilación por arrastre con vapor de agua se eligió este método considerando la accesibilidad y disponibilidad del equipo además que a través de este la destilación se la realiza más rápida, es más eficiente energéticamente, tiene una

configuración Simple e infraestructura económica (lo cual es una limitante ante la disponibilidad de tecnología y equipamiento). Además, tomando en cuenta que es un método que tiene buen rendimiento por su sencillez, buena calidad del producto y bajo costo de operación.

### **1.7 Descripción del proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

- **Recolección de la materia prima:** Se recolecta la materia prima de la comunidad de Cañón Oculto del departamento de Tarija, alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta y de acuerdo a bibliografía se tiene entendido que es donde contiene más cantidad de aceite esencial.
- **Pre-tratamiento de la materia prima:** Consiste en separar materiales extraños como tierra, raíces, tallos y otros componentes no deseados que impidan o alteren la extracción del aceite esencial.
- **Secado de la materia prima:** El secado de las hojas de poleo se realiza bajo sombra a condiciones ambiente de temperatura y presión en una estructura metálica con bandejas en su interior donde se depositarán las mismas durante varios días hasta alcanzar un porcentaje de humedad constante.
- **Reducción de tamaño:** Se realiza la reducción de las hojas secas en tres niveles de tamaños con ayuda de tijeras para determinar la influencia de esta variable en el rendimiento.
- **Tamizado:** Una vez realizada la reducción se procede al tamizado con el objetivo de separar el tamaño de partícula a usar en el experimento de las demás partículas que no son requeridas y están presentes.
- **Pesado de la materia prima:** La masa de hojas de poleo es una variable para la extracción de aceite esencial, empleándose tres niveles de masas. La balanza utilizada para pesar las hojas de poleo es la que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).
- **Extracción de aceite esencial:** Fijadas las variables y condiciones de operación del equipo, se inicia la destilación que se realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química.

- **Decantación:** el producto que se obtiene de la extracción por arrastre con vapor de agua es aceite esencial y agua y posteriormente en una ampolla de separación ambos se separan debido a la diferencia de densidad teniendo como rechazo el agua y así obtener un aceite esencial puro.
- **Envasado y almacenado:** La recepción y almacenamiento del aceite esencial de poleo se realiza 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.
- **Control de Calidad:** el primer control de calidad que se va a realizar es de los parámetros organolépticos, esto con la finalidad de saber si el aceite esencial presenta alguna alteración como ser la dilución; otros parámetros usados para el control de calidad de los aceites esenciales son, determinaciones físicas (índice de refracción, densidad), determinaciones cromatográficas.



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

## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Procedencia de la Materia Prima

En el presente trabajo de investigación se utiliza como materia prima las hojas de Poleo, que crece en lugares húmedos de preferencia al sol, recolectada de la comunidad de Cañon Oculto perteneciente a la provincia de Gran Chaco del departamento de Tarija.

Se realiza una identificación de la especie mediante una taxonomía en el en el herbario universitario (T.D.) de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Se identifica como nombre científico (*Mentha Pulegium*) recolectada y cosechada en la estación de otoño entre los meses de mayo y junio del año 2021.

Existen muchos factores que influyen en la calidad del aceite antes de comenzar el proceso de extracción. Entre ellos están la altura, clima, humedad, naturaleza del suelo, la madurez de la planta, el año de cultivo de la planta, (Adolfo Marey, 1949).

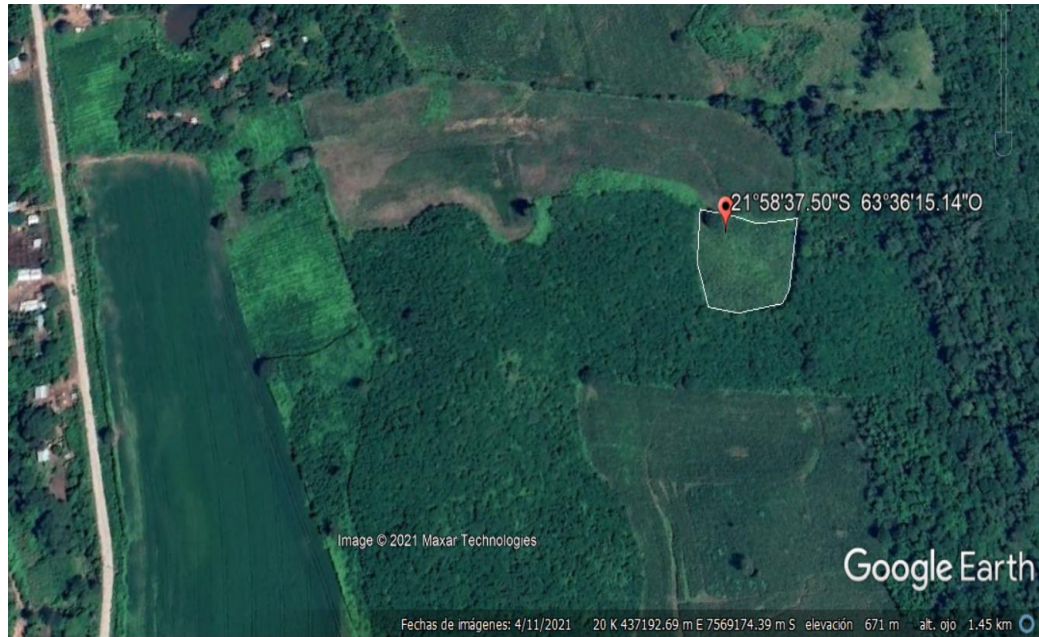
La Planta de poleo en la comunidad de Cañon Oculto se encuentra en su cuarto año de cultivo, de media hectárea aproximadamente de los cuales 300 m<sup>2</sup> son cultivos de poleo, ubicados a 678 m.s.n.m. El clima es cálido, con una buena exposición de los rayos solares.

#### Cuadro II- 1 Mapa de Localización del Poleo en la Comunidad de Cañon Oculto

Comunidad	Coordenadas Geográficas	
	Latitud Sur	Latitud Oeste
Cañon Oculto	21°58'37.50"S	63°36'15.14"O

Fuente: Elaboración propia, 2021

**Figura 2- 1 Mapa de Localización del Poleo en la comunidad de Cañon Oculto**



Fuente: Google Earth, 2021

## **2.2 Caracterización de la Materia Prima**

El procedimiento para caracterizar la materia prima es el siguiente:

Se realiza el análisis organoléptico de las hojas de poleo recolectadas y se determina el porcentaje de humedad en las hojas frescas y secas.

### **2.2.1 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo**

#### **Fotografía 2- 1 Materia prima – Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

Las características consideradas que se toman en cuenta para el análisis organoléptico de las hojas de Poleo son la forma, textura, color, aroma y sabor. Los procedimientos empleados y valores obtenidos, se muestran a continuación.

- **Forma:** se realiza una inspección visual de las hojas y se determina su forma. Se observa que las hojas tienen forma lanceolada, ligeramente dentadas y alargadas.
- **Textura:** se agarra una hoja y mediante el contacto directo con la piel se determina su textura. En su estado fresco la hoja es suave y blandas mientras que en su estado seco es más rígida.
- **Color:** por simple inspección visual se determina el color de las hojas, observándose la cara y envés de la hoja de color verde.
- **Aroma:** se acerca las hojas a la nariz y se siente un olor aromático, característico olor a menta.
- **Sabor:** presenta un sabor picante y amargo.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis organoléptico de las hojas de Poleo de Tarija.

**Cuadro II- 2 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo**

<b>Característica</b>	<b>Evaluación</b>
Forma	Lanceolada, ligeramente dentadas, alargadas
Textura	Suave, blanda
Color	Verde
Aroma	Característico olor a menta
Sabor	Picante, amargo

Fuente: Elaboración propia, 2021

### **2.2.2 Determinación del porcentaje de humedad de las hojas de Poleo**

Para la determinación de humedad de las hojas de poleo en estado fresco y seco, se utilizó el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100; el cual se programa a una temperatura de 105°C para realizar el correspondiente secado. El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

- Encender el equipo de secado
- Colocar el plato de aluminio y tarar
- Pesar 5 gramos de Hojas de poleo (fresco;seco)
- Iniciar el proceso de secado, anotar la variación de la humedad con el tiempo hasta que este sea constante
- Registrar el resultado final de porcentaje de humedad

Al cabo de los 50,6 minutos del secado el porcentaje de humedad no varía dando como resultado final 77,81 % de humedad evaporada en la muestra fresca y de 11,48 % de humedad evaporada en la muestra seca en un tiempo de 27,4 minutos. En el capítulo III que corresponde a resultados y discusión se presenta la curva de % de humedad evaporada vs. tiempo de secado construida con los datos obtenidos del secador durante el proceso.

#### **Fotografía 2- 2 Muestra y Resultado del % de Humedad de las Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### **2.3 Descripción del método de Investigación**

En la presente investigación se utilizó la técnica de destilación por arrastre con vapor de agua, esta técnica es ampliamente utilizada en el mundo para la extracción de aceites esenciales de una serie de plantas aromáticas.

La destilación por arrastre con vapor de agua, consiste en el paso directo del vapor a través de la materia prima, el mismo que arrastra el aceite esencial, esto gracias a la diferencia en los puntos de ebullición de los componentes de dicho aceite, el vapor una vez que atraviesa la materia prima y arrastra su aceite esencial sale de la cámara como una mezcla de vapor de agua y aceite esencial, pasa por un refrigerante donde es condensado y finalmente recibido en un vaso florentino.

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

### **2.4 Diseño Factorial**

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene por objeto definir el número de pruebas que se van a realizar en una investigación manipulando dos o más variables independientes (factores) del sujeto de estudio, de tal manera que sea posible observar los cambios que se producen en la variable respuesta.

El estudio se realizará mediante un diseño con un arreglo factorial de  $3^2$ , correspondientes a la combinación de dos factores con tres niveles cada uno y se evalúa su influencia sobre una variable respuesta. Se repite la experiencia dos veces para validar los resultados.

#### **2.4.1 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, Flujo de vapor, método de extracción.

### **Tipo de materia prima**

Se refiere a las características genéticas de la planta, ya que existe diferencia aún dentro de las mismas especies; además la materia prima también está influida por el lugar de origen de la planta, la época de producción, por la maduración o edad de la planta además de las condiciones ambientales que se tienen en cada lugar.

### **Tiempo de secado**

A partir de bibliografía se ha evidenciado que las hojas de Poleo presentan mínimas cantidades de aceite esencial cuando están frescas; una vez podadas y secadas bajo condiciones ambiente de temperatura se pretende obtener un mejor rendimiento en base a cantidad de aceite esencial de Poleo, 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% - 14% según datos bibliográficos.

### **Flujo de vapor**

El flujo de vapor es una variable muy importante en la extracción de aceites esenciales, el vapor se distribuye uniformemente de abajo hacia arriba entrando en contacto con la materia vegetal y así poder arrastrar el aceite esencial que esta contiene, una cantidad excesiva de flujo de vapor podría apelmazar la materia vegetal de esta manera influyendo de manera directa en el rendimiento. Debido a que en el presente trabajo de investigación se utilizará el método de destilación por arrastre con vapor de agua por la disponibilidad del equipo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias "LOU", donde la generación de vapor se produce dentro de la cámara del destilador, a condiciones de presión atmosférica, 0,94 atm que es la presión atmosférica de Tarija y temperatura de ebullición que es de 93 °C temperatura a la que ebulle el agua en Tarija, a diferencia del método de destilación con vapor seco o sobrecalentado donde el vapor es generado en una caldera externa fuera del destilador donde es comprimido el vapor a distintas presiones diferentes de la atmosférica teniendo en cuenta la temperatura de no sobrepasar los 100 °C ya que existe un riesgo de una degradación de la materia vegetal

siendo una ventaja real de este método la generación de vapor externo a distintas presiones donde la cantidad de vapor puede controlarse fácilmente, condiciones en las que si se podría tomar como variable el flujo de vapor y ver las influencia de esta en cada uno de los ensayos a distintos niveles de presiones.

### **Cantidad de masa de materia prima**

Como se mencionó anteriormente, las hojas de Poleo son la materia prima para la obtención del aceite esencial. Este variable se refiere al uso de diferentes pesos de materia prima, para evaluar como varía el rendimiento del aceite obtenido con cada uno de ellos, ya que la cantidad de masa influye en la transferencia de calor del vapor hacia la materia vegetal; por tanto, el desprendimiento de los aceites esenciales, siendo en algunos casos directamente proporcional al rendimiento en cuanto a la cantidad de masa que se introduce. Razón por la cual se selecciona esta variable para trabajar en el diseño factorial de la presente investigación.

### **Tamaño de partícula**

Se selecciona el tamaño de partícula como variable del diseño factorial para determinar la influencia que este pueda tener con el rendimiento, utilizando distintos tamaños de partícula y evaluar cómo afecta el área de contacto en partículas más finas entre la fase vapor y la especie vegetal en el rendimiento del aceite esencial.

### **Tiempo de extracción**

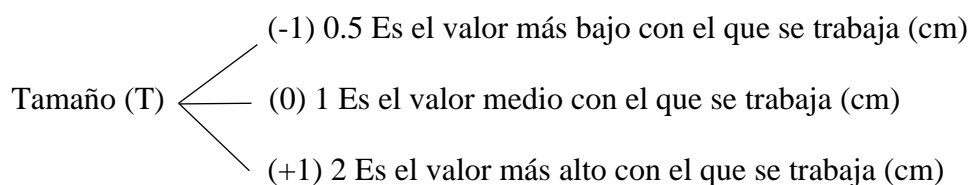
Es una variable muy importante debido a que se extrae gradualmente el aceite de la planta, existe un tiempo óptimo dentro del cual se obtiene gran cantidad de aceite, transcurrido este tiempo la extracción es mínima; esta variable será determinada dentro del laboratorio al momento de realizar la parte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

## **2.4.2 Variables y niveles del diseño factorial**

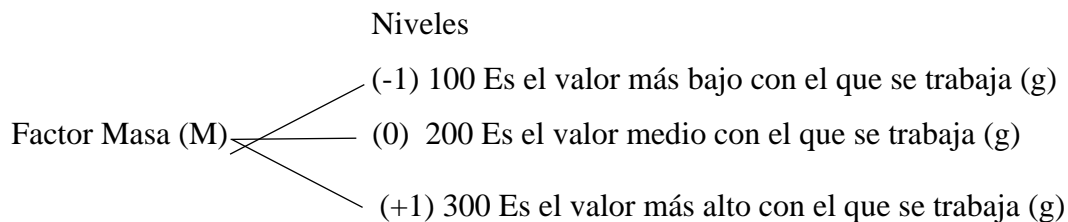
- **Tamaño:** Esta variable se refiere a tres niveles de tamaño que corresponden a las hojas de Poleo, las cuales son variables que modifican a la variable respuesta el volumen de aceite obtenido, debido a que varía el área de contacto con el vapor.

Niveles





- **Masa:** Esta variable se refiere a la masa de hojas de Poleo a emplear en la torre de destilación, la variable tendrá tres niveles de masa (g) de hojas de Poleo.



- **Variable respuesta:** Es el volumen (ml) obtenido del aceite esencial de hojas de Poleo (*Mentha Pulegium*)

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial de  $3^2$  (Tres niveles, dos Variables)

Nº Variables = 2

Niveles = 3

Nº de Experimentos =  $3^2 = 9$

Como se realiza dos repeticiones entonces:

Nº de Experimentos =  $9 * 2 = 18$  repeticiones

**Tabla II- 1 Diseño Factorial para el Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Poleo**

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN			
Nº	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta	Nº	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta
			Volumen (ml)				Volumen (ml)
1	-1	-1		1	-1	-1	
2	-1	0		2	-1	0	
3	-1	+1		3	-1	+1	
4	0	-1		4	0	-1	

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN			
N°	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta	N°	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta
			Volumen (ml)				Volumen (ml)
5	0	0		5	0	0	
6	0	+1		6	0	+1	
7	+1	-1		7	+1	-1	
8	+1	0		8	+1	0	
9	+1	+1		9	+1	+1	

Fuente: Elaboración propia, 2021

**Tabla II- 2 Datos del Diseño Factorial para el Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Poleo**

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN			
N°	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta	N°	Masa (g)	Tamaño (cm)	Variable respuesta
			Volumen (ml)				Volumen (ml)
1	100	0,5		1	100	0,5	
2	100	1		2	100	1	
3	100	2		3	100	2	
4	200	0,5		4	200	0,5	
5	200	1		5	200	1	
6	200	2		6	200	2	
7	300	0,5		7	300	0,5	
8	300	1		8	300	1	
9	300	2		9	300	2	

Fuente: Elaboración propia, 2021

## 2.5 Proceso Tecnológico para la Extracción de Aceite Esencial de Poleo

Una vez determinados las variables y niveles a utilizar, se procede a detallar completamente todos los pasos que se siguen hasta la obtención del producto final; aceite esencial de hojas de Poleo (*Mentha Pulegium*) cultivado en el departamento de Tarija.

## 2.6 Equipos y Materiales Utilizados en la Obtención de Aceite Esencial de Poleo

La parte experimental de la presente investigación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias “LOU”, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

### 2.6.1 Descripción de los Equipos Utilizados

**Torre de Extracción:** denominado también Torre de Destilación o Extractor, en un recipiente en el cual se carga la materia prima, misma que se destila mediante arrastre con vapor de agua.

Tiene forma cilíndrica con 64 cm de altura y 19.2 cm de diámetro. Está instalado de forma vertical, compuesto por un visor de nivel, hecho de acero inoxidable y recubierto con aislante (fibra de vidrio).

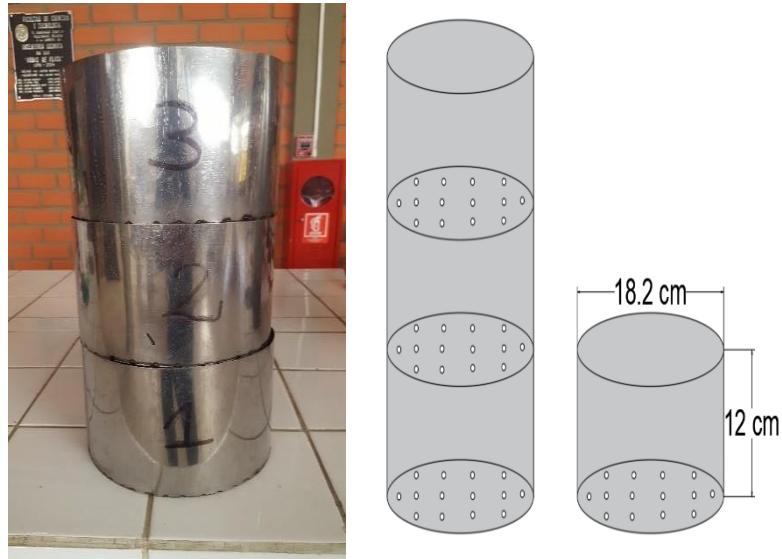
**Fotografía 2- 3 Torre de Extracción, Dimensionamiento**



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Canastillos de la Torre de Extracción:** el equipo está compuesto por tres canastillos internos, hechos de acero inoxidable, donde la materia prima es introducida. Las dimensiones de cada canastillo son 12 cm de altura y 18.2 cm de diámetro.

**Fotografía 2- 4 Canastillos para la Extracción, Dimensionamiento**



Fuente: Elaboración propia, 2021

**Cocinilla:** para suministrar el calor necesario para que el agua alcance su punto de ebullición, se utilizó una cocinilla de una hornalla conectada a una garrafa (GLP), 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.

**Fotografía 2- 5 Cocinilla**



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Intercambiador de Calor Tubular:** equipo hecho de carcasa de aluminio fundido/bronce, con tubos de Cobre-Níquel. Empleado en la etapa de condensación del aceite esencial, utilizándose mangueras de plástico para la circulación del agua de refrigeración.

**Fotografía 2- 6 Intercambiador de Calor Tubular**



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Balanza Analítica:** consiste en un equipo compuesto de una pantalla digital, de la marca GIBERTINI calibrada antes de su uso, se utilizó para pesar las muestras de hojas de poleo en cada canastillo de la torre y tiene las siguientes especificaciones:  
Capacidad: 510 g  
Mínimo: 1 g  
Exactitud: 0.01 g  
Potencia: 220 W

**Fotografía 2- 7 Balanza Analítica**



Fuente: Elaboración

propia, 2021

- **Secador Infrarrojo:** consta de una pantalla digital y es utilizado para conocer el porcentaje de humedad de la materia prima en estado seco y fresco. Es de la marca SARTORIUS-MA100, con las siguientes especificaciones:

Capacidad: 15 g

Mínimo: 5 g

Potencia: 400 W

### Fotografía 2- 8 Secador Infrarrojo



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Tamiz Vibratorio:** es una máquina de tamizado que vibra alrededor de su centro, ajustado a una determinada velocidad durante un tiempo determinado, clasifica el

tamaño de partícula requerido para la extracción. Es de la marca Orto Alresa, con las siguientes especificaciones:

Potencia: 80 W

Capacidad: 8 tamiz

Mínimo: 1 tamiz

Frecuencia: 50 Hz

**Fotografía 2- 9 Tamiz Vibratorio**



Fuente: Elaboración propia, 2021

## 2.6.2 Material de Laboratorio Utilizado

**Cuadro II- 3 Material de Laboratorio**

N°	Material	Especificación	Cantidad
1	Vaso Florentino	1000 ml	1
2	Ampolla de decantación	Material de vidrio	1
3	Frascos de vidrio para almacenar el aceite	Material de vidrio ámbar 30 ml	2
4	Termómetro	0-200 °C	2
5	Pinza de doble nuez	-	2
6	Mangueras	-	2
7	Soporte Universal	-	2
8	Tapón	Goma	2

N°	Material	Especificación	Cantidad
9	Jeringas	12 ml	10
10	Guantes	-	-
11	Jarra graduada	2000 ml	1
12	Pipeta	5 ml	1

Fuente; Elaboración propia, 2021

### 2.6.3 Calibración del Material de Laboratorio

Se realiza la calibración de los instrumentos de medición para los parámetros como ser volumen, masa y longitud con el objeto de tener mayor fiabilidad en las mediciones de cada ensayo del diseño factorial.

Cabe recalcar que la calibración se realizó bajo la supervisión del encargado del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) ya que el laboratorio no cuenta con presupuesto disponible para la calibración certificada de sus instrumentos

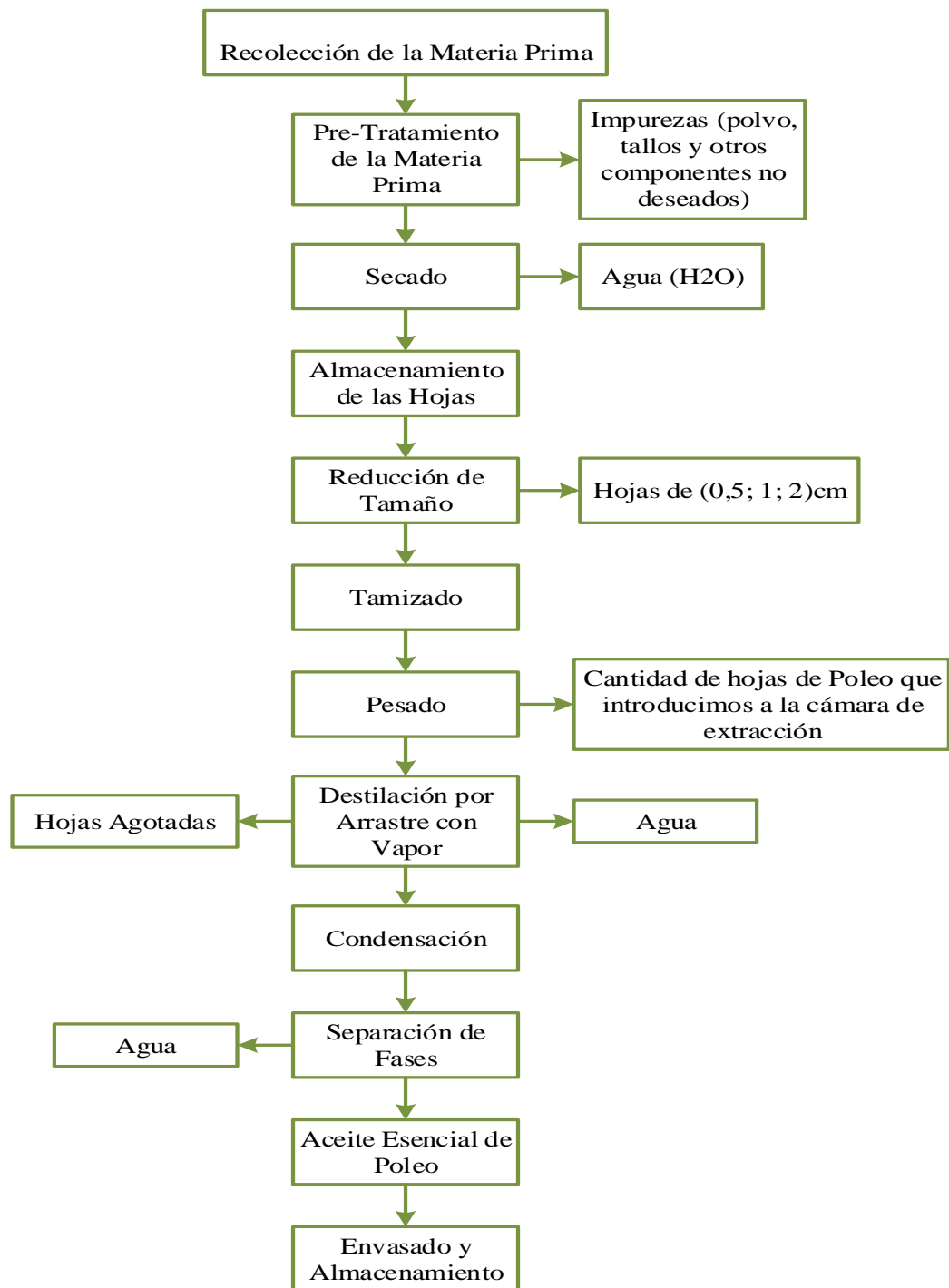
Los resultados se presentan y detallan en los Anexos de la presente investigación.

### 2.7 Etapas del Proceso de Extracción

Las etapas del proceso de extracción de aceite esencial de hojas de Poleo se presentan en los siguientes diagramas de bloques y de flujo, se describe cada una de ellas desde la cosecha de la materia prima hasta el almacenamiento del producto. 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. Para realizar las pruebas experimentales y garantizar la calidad de la materia prima, se tuvo el cuidado de acompañar la recolección de la misma, tal como se muestra en el diagrama de bloques.

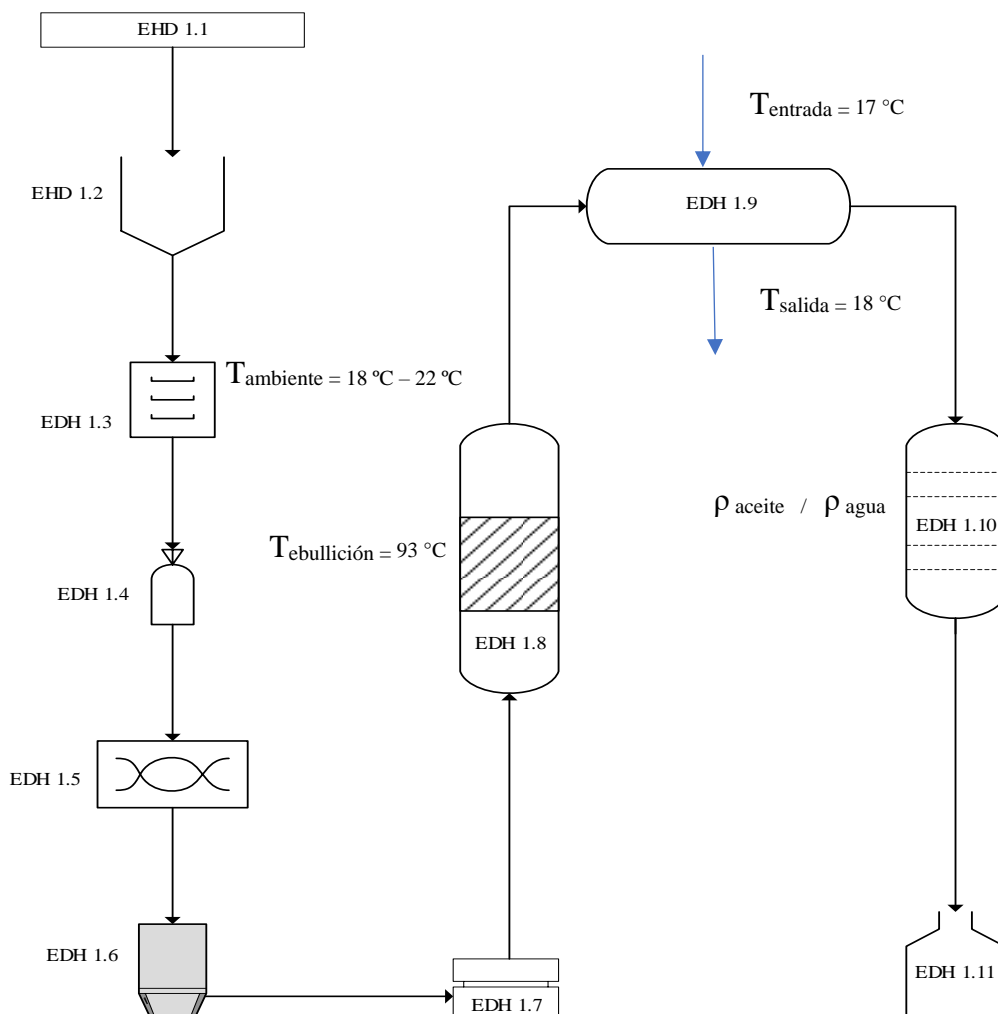
**Figura 2- 2 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**





Fuente: Elaboración propia, 2021

**Figura 2- 3 Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

<b>EHD 1.1</b>	<b>EDH 1.2</b>	<b>EDH 1.3</b>	<b>EDH 1.4</b>	<b>EDH 1.5</b>	<b>EHD 1.6</b>
Recolección de la Materia Prima	Pre-Tratamiento de la Materia Prima	Secado	Almacenamiento de las Hojas	Reducción de Tamaño	Tamizado

<b>EDH 1.7</b>	<b>EDH 1.8</b>	<b>EDH 1.9</b>	<b>EDH 1.10</b>	<b>EDH 1.11</b>
Pesado de la Materia Prima	Destilación por Arrastre con Vapor	Condensación	Separación del Aceite	Envasado y Almacenamiento

### 2.7.1 Recolección de la Materia Prima

La materia prima utilizada para la parte experimental son las hojas de poleo (*Mentha Pulegium*) la cual se cultiva en la comunidad de Cañon Oculto, provincia Gran Chaco. Donde se recurrió para su recolección alrededor del medio día cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta y de acuerdo a bibliografía se tiene entendido que es donde contiene mas aceite esencial, mismas que una vez recolectadas son trasladadas directamente para el proceso de secado evitando su deterioro y garantizando la calidad de la materia prima.

**Fotografía 2- 10 Cosecha de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.2 Pre-Tratamiento de la Materia Prima

Posteriormente a la cosecha se hace una limpieza de las especies vegetales separando materiales extraños como raíces, tierra, hojas marchitas y otros componentes no deseados, esto para poder lograr un proceso eficiente durante la extracción.

**Fotografía 2- 11 Materia Vegetal Tratada**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.3 Secado

El secado de las hojas de poleo se realiza bajo sombra a condiciones ambiente de temperatura en una estructura metálica con bandejas en su interior donde se depositaron las mismas durante 15 días, pesando una muestra representativa cada día hasta alcanzar un porcentaje de humedad constante, con el objeto de obtener un mayor rendimiento en la extracción.

**Fotografía 2- 12 Secado de las Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.4 Almacenamiento de las Hojas

Una vez transcurrido el tiempo de secado se procede para su posterior guardado y almacenaje para evitar que estas puedan empolvarse, así como también que insectos se aprovechen de estas y se las coman y las contaminen.

**Fotografía 2- 13 Embolsado de las Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### **2.7.5 Reducción de Tamaño**

Dentro del diseño factorial se propone trabajar con tres tamaños diferentes, reduciendo las hojas en tamaños de (0,5 cm ;1 cm; 2 cm), con ayuda de tijeras para determinar la variación que esta pueda tener en el rendimiento del aceite esencial.

**Fotografía 2- 14 Reducción de Tamaño de la Hoja de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.6 Tamizado

Una vez realizada la reducción se procede al tamizado, se realiza con el fin de separar el tamaño de partícula requerido para la extracción de las demás partículas que no son requeridas y están presentes. Para tal efecto se emplea un tamiz vibratorio de la marca Orto Alresa, con los tamices de abertura 5; 4; 10; 20 mm y una bandeja de recepción.

El procedimiento y uso del equipo es el siguiente:

- Pesar la cantidad de hojas a ser tamizadas (100 g; 200 g; 300 g).
- Cargar la muestra al tamiz superior poner la tapa asegurando todo el equipo.
- Programar la intensidad del mismo en rpm (30 rpm).
- Programar el tiempo de tamizado 5 minutos, encender y poner en marcha.
- Al término de dicho tiempo separar los tamices y seleccionar el que contenga el tamaño requerido.
- Repetir el procedimiento hasta completar la cantidad de hojas picadas de 0,5 cm; 1 cm y 2 cm necesaria para cargar a los canastos del equipo de destilación y proceder a la extracción.

**Fotografía 2- 15 Tamiz Vibratorio**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.7 Pesado de la Materia Prima

La etapa posterior al tamizado es el pesado de las hojas, la masa de hojas de poleo es una variable para la extracción de aceite esencial, empleándose masas de (100 g; 200 g; 300 g), La balanza utilizada para pesar las hojas es la que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), cuyas especificaciones fueron descritas anteriormente.

**Fotografía 2- 16 Pesado de las Hojas**



Fuente: elaboración propia, 2021

### 2.7.8 Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo

#### 2.7.8.1 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 Poleo para un buen rendimiento durante la extracción, estas pueden ser frescas o secas.

A si también realizar una limpieza profunda del equipo y verificar el buen funcionamiento del mismo.

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 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 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 Poleo Fresco:** se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una cantidad de masa de Poleo de 300 gramos durante un tiempo de destilación de 2 horas, obteniéndose 0,3 ml de aceite esencial aproximadamente.

**Fotografía 2- 17 Aceite Esencial Obtenido en la prueba con Hojas de Poleo en Estado Fresco**



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Prueba con hojas de Poleo 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

masa de Poleo de 300 gramos durante un tiempo de destilación de 2 horas, se obtiene 1.1 ml de aceite esencial aproximadamente.

**Fotografía 2- 18 Aceite Esencial Obtenido en la prueba con Hojas de Poleo en Estado Seco**



Fuente: Elaboración propia, 2021

- **Prueba con tallos de Poleo:** se carga el equipo con un volumen de 4 litros de agua y una masa de 300 gramos de tallos con un tiempo de destilación de 2 horas y el resultado fue que se aprecia minúsculas gotas de aceite esencial en la superficie del destilado en una cantidad muy difícil de cuantificar por lo que se define que el valor es cercano a cero.

Las pruebas realizadas previamente a la ejecución de la parte experimental de la presente investigación, comprueban que el porcentaje de humedad en la extracción del aceite esencial de hojas de Poleo influye de gran manera en el rendimiento de producto obtenido. Por consiguiente, se concluye trabajar con hojas de Poleo en estado seco por el mayor volumen de aceite esencial que se obtiene.

### 2.7.8.2 Modificación al equipo de Extracción de Aceite Esencial

Se hace una modificación del intercambiador de calor tubular ya que este no refrigera a la temperatura considerable para que condense todos los vapores, es por este motivo que el intercambiador se lo introduce en una cámara de plastoform (poliestireno expandido EPS) revestido con papel aluminio, 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 Intercambiador de calor.

**Fotografía 2- 19 Modificación del Intercambiador de Calor**



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.8.3 Condiciones de Operación

El equipo de destilación opera bajo las siguientes condiciones, las cuales se aplican para todos los experimentos realizados.

- **Temperatura:** la temperatura con la que trabaja la torre extracción durante todos los ensayos es de 93 °C (temperatura a la que embulle el agua en Tarija), aumentando gradualmente hasta quedar constante a esta temperatura, que es donde inicia la extracción del aceite esencial de hojas de Poleo.

- **Presión:** el equipo trabaja a 0,94 atm durante todo el proceso de extracción de aceite esencial que es la presión atmosférica en el departamento de Tarija.
- **Volumen de Agua en la Torre de Extracción:** de acuerdo a las pruebas realizadas la masa de agua necesaria para extracción de aceite esencial en un tiempo de 2 horas es de 1,7 litros, pero se carga el equipo con 4 litros esto para poder controlar el nivel de agua.
- **Potencia de la Hornalla:** Para determinar la potencia de la hornalla se hace dos pruebas antes de iniciar con las pruebas de extracción de aceite esencial, en dos niveles; medio y alto. Ya que la potencia de la hornalla influye directamente sobre el flujo de vapor generado dentro de la torre de extracción y este a su vez directamente sobre el rendimiento de aceite esencial.

En el nivel medio se observa un rendimiento óptimo y un tiempo promedio, a diferencia del nivel de potencia alto donde por la cantidad de agua este al ebullición alcanza al primer canastillo y remoja la materia prima afectando así en el rendimiento y en el tiempo de extracción.

El nivel de potencia debe mantenerse constante en todos los ensayos y durante todo el tiempo de extracción para evitar alteraciones en los resultados del rendimiento

#### **2.7.8.4 Proceso de Extracción del Aceite Esencial**

Una vez determinadas las condiciones de operación, el procedimiento para la extracción de aceite esencial de hojas de poleo es el siguiente:

Se carga con 4 litros de agua a la torre de extracción, después se introducen los canastillos con la cantidad de hojas de Poleo de acuerdo al diseño factorial previamente visto, se tapa la cámara; a continuación se conecta al intercambiador de calor tubular y se abre la llave para que comience a circular por su interior el refrigerante, encendemos la hornalla al nivel de potencia medio para iniciar el calentamiento del agua dentro de la torre de extracción, registrando la hora de encendido, cuando el agua llega al punto de ebullición que significa el fin de la etapa de acondicionamiento y el inicio de la etapa de extracción, el vapor asciende por la cámara pasando a través de

los canastillos y hojas de Poleo, arrastrando consigo el aceite esencial en una mezcla de vapores de agua y aceite esencial.

Fotografía 2- 20 Equipo de Destilación



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.8.5 Condensación

Durante la etapa de condensación, la mezcla de vapores de agua y aceite esencial que sale de la Torre de extracción ingresa al intercambiador de calor tubular donde se condensa utilizando agua como refrigerante y se produce el cambio de fase de los vapores de agua y aceite esencial a fase líquida. La mezcla líquida de agua y aceite esencial se recoge a la salida del intercambiador de calor en un vaso florentino.

#### Fotografía 2- 21 Agua + Aceite Esencial



Fuente: Elaboración propia, 2021

### 2.7.8.6 Decantación

En el vaso florentino se obtiene una mezcla líquida de aceite esencial y agua, que por la diferencia de densidades se separa en dos fases; el aceite esencial en la parte superior y el agua (hidrolato) en la parte inferior, para posteriormente ser trasladada a una ampolla de decantación para su posterior separación y medición del volumen con la ayuda de una pipeta de 5 ml.

**Fotografía 2- 22 Decantación**

Fuente: Elaboración propia, 2021

#### **2.7.8.7 Almacenamiento**

El producto obtenido, aceite esencial de hojas de Poleo, se caracteriza por ser volátil, sensible a la luz y al calor. Por tanto, se utiliza para su envasado un frasco de vidrio ámbar con tapa hermética tipo gotero de 30 ml. Finalmente se almacena el producto en un lugar fresco y oscuro.

**Fotografía 2- 23 Envasado del Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

Fuente: Elaboración propia, 2021



### 2.7.8.8 Residuo

Una vez concluida la extracción se pesan los canastillos con las hojas de Poleo, con el fin de calcular la cantidad de agua condensada, que corresponde a la diferencia de peso entre los canastillos con residuo húmedo y los canastillos con la carga inicial, después las hojas quedan como residuo, las cuales se las hace secar y se las utiliza como abono.

**Fotografía 2- 24 Residuo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

## 2.8 Caracterización del Producto obtenido: Aceite Esencial de Hojas de Poleo

Los análisis de caracterización y controles de calidad que se realiza al producto obtenido son: Análisis organoléptico, análisis fisicoquímicos y perfil Cromatográfico.

### 2.8.1 Análisis Organoléptico

Entre las características organolépticas a evaluar el producto obtenido son:

- **Color:** Por simple observación se registra el color del aceite, el cual es amarillo claro.
- **Olor:** Se acerca el frasco que contiene el aceite a la nariz para percibir el olor, este es un olor aromático mentolado y picante.
- **Aspecto:** Líquido limpio, transparente.

En el cuadro II-4 se presentan los resultados del análisis organoléptico del aceite esencial de hojas de Poleo.

#### Cuadro II- 4 Análisis Organoléptico del Aceite Esencial de Hojas de Poleo

Característica	Evaluación
Color	Amarillo claro
Olor	Mentolado, picante, dulce
Aspecto	Líquido limpio, transparente

Fuente: Elaboración propia, 2021

En el capítulo III correspondiente a Resultados y Discusión se comparan estos resultados con los datos de bibliografía sobre aceite obtenido en otros lugares

#### 2.8.2 Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos a determinar en el aceite esencial de hojas de Poleo son:

- Densidad.
- Índice de refracción.

Estos análisis fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo “CEANID”, laboratorio de la de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho, según las normas establecidas por este centro. Los resultados de estos análisis se detallan en el capítulo III de Resultados y Discusión.

#### 2.8.3 Perfil Cromatográfico

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 0.5% de solución de muestra en Diclometano

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 Caracterización de la Materia Prima

Los análisis realizados a la materia prima, hojas de Poleo, son el análisis organoléptico y la determinación de humedad que presentan dichas hojas.

##### 3.1.1 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo

El análisis organoléptico se basa en la descripción de las características físicas que se realiza a una muestra donde se miden e interpretan las respuestas de las personas, basadas exclusivamente en la percepción de los sentidos.

Las características que se toman en cuenta para determinar en las hojas de Poleo son el color, aroma, sabor, forma y textura.

En el cuadro III-1 se presentan los resultados del análisis organoléptico de las hojas de Poleo; del mismo modo, en el cuadro III-2 se adicionan y comparan con los datos de bibliografía de otras partes del mundo.

**Cuadro III- 1 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo**

Característica	Evaluación
Forma	Lanceolada, ligeramente dentadas, alargadas
Textura	Suave, blanda
Color	Verde
Aroma	Característico olor a menta
Sabor	Picante, amargo

Fuente: Elaboración propia, 2021

De acuerdo a los resultados obtenidos en las muestras de hojas de Poleo estudiadas estas presentan una textura suave, blanda con forma de sus hojas lanceolada, ligeramente dentadas, alargadas con una tonalidad de color verde, un aroma característico a menta y sabor picante, amargo. De la cual se puede determinar que las hojas de Poleo cultivadas en el departamento de Tarija presentan características

similares de acuerdo a su especie cabe mencionar que estas pueden variar respecto a otras cultivadas en otras zonas debido a que las condiciones ambientales que se tiene en cada lugar no son las mismas.

**Cuadro III- 2 Comparación del Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo frente a otros de Bibliografía**

CARACTERÍSTICA	TARIJA (Cañon Oculto)	COLOMBIA	ESPAÑA
Forma	Lanceolada, ligeramente dentadas, alargadas	Oval-lanceoladas, con algunos dientes en la base	Oval, algo Denticuladas, estrecha
Aroma	Característico Olor a menta	Agradable, suave, fresco, a menta o mentol	Olor muy fuerte y aromático
Color	Verde	Verde	Verde medio oscuro
Textura	Suave, blanda	Suave, blanda	Blanda, pelosa
Sabor	Picante, amargo	Amargo, fresco	Agradable

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se puede observar en el cuadro III-2 que tanto en el color, aroma y sabor no hay diferencia significativa. Pero si se pudo observar diferencia en la textura y forma de la hoja, según la información obtenida en el país de España presenta textura pelosa y forma ovada, mientras que en Colombia y el departamento de Tarija su textura es suave y lanceolada. De la cual se puede concluir que las hojas de poleo del departamento de Tarija mantienen una similitud en cuanto a la estructura de la planta comparando con las especies de otros países, salvando las condiciones ambientales que se tiene como el clima, altitud, tipo de suelo, que le pueden dar ciertas características diferentes en cuanto a su composición.

### 3.1.2 Determinación del Porcentaje de Humedad

Se realizó la determinación de humedad de las hojas de Poleo en dos estados de la planta, frescas cosechadas a pocas horas y de las hojas secas al ambiente por un tiempo de 15 días.

El análisis de humedad se realizó en el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la universidad, este equipo nos muestra en la pantalla el porcentaje de humedad evaporada al transcurrir el tiempo, la temperatura de secado es 105°C, utilizando una muestra de 5g.

#### 3.1.2.1 Secado de las Hojas de Poleo (secado natural)

Para determinar el porcentaje de humedad de las hojas de poleo se dejó secar de forma natural en una estructura metálica con bandejas en su interior a condiciones ambientales de temperatura por un lapso de 15 días. El lote a analizar tenía una masa inicial de 10,02 g, teniendo en cuenta el siguiente cálculo:

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%H = \left( \frac{m_i - m_{ss}}{m_i} \right) * 100 \quad \text{Ec. (3-1)}$$

Donde:

$m_{ss}$  = Masa sólido seco

$m_i$  = Masa inicial

Por ejemplo:

Para el secado natural a temperatura ambiente, se tiene:

$$m_{ss} = 2,34 \text{ g}$$

$$m_i = 10,02 \text{ g}$$

$$\%H = \left( \frac{10,02 \text{ g} - 2,34 \text{ g}}{10,02 \text{ g}} \right) * 100 = 76,646 \%$$

En la tabla III-1 se exponen los datos del secado natural de las hojas de Poleo.

**Tabla III- 1 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas de Poleo**

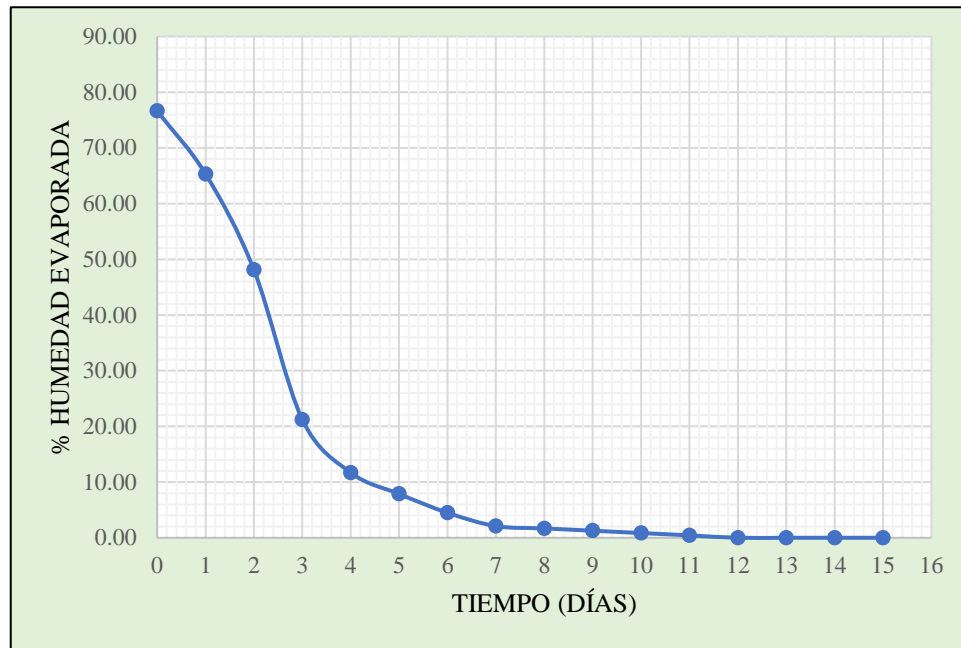
Nº	Tiempo (días)	Pérdida de Peso (g)	% H evap.
1	0	10,02	76,65
2	1	6,75	65,33
3	2	4,51	48,12
4	3	2,97	21,21
5	4	2,65	11,70
6	5	2,54	7,87
7	6	2,45	4,49
8	7	2,39	2,09
9	8	2,38	1,68
10	9	2,37	1,27
11	10	2,36	0,85
12	11	2,35	0,43
13	12	2,34	0,00
14	13	2,34	0,00
15	14	2,34	0,00
16	15	2,34	0,00

Fuente: Elaboración propia, 2021

Utilizando la ecuación 3-1 se determina el porcentaje de humedad que entra con 76,65% de humedad y según van pasando los días va disminuyendo su porcentaje hasta que es constante. A continuación, Con los datos de la tabla III-1 se construye la curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de secado.



**Gráfico 3- 1 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

En el gráfico 3-1 se puede apreciar que la mayor pérdida de humedad se realiza en los primeros cuatro días de secado y a partir del décimo día la pérdida de humedad disminuye linealmente con el tiempo, formando una pendiente recta donde el porcentaje de humedad evaporada permanece constante.

### 3.1.2.2 Determinación del Porcentaje de humedad de las Hojas de Poleo en Estado Fresco

En la tabla III-2 se exponen los datos de variación del porcentaje de humedad evaporada con el tiempo, de las hojas de Poleo frescas.

**Tabla III- 2 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas Frescas de Poleo**

Nº	Tiempo (minutos)	% H evap.
1	0	77,81
2	2	77,77

Nº	Tiempo (minutos)	% H evap.
3	4	77,55
4	6	77,21
5	8	76,70
6	10	76,06
7	12	75,32
8	14	74,44
9	16	73,46
10	18	72,36
11	20	71,04
12	22	69,67
13	24	68,09
14	26	66,29
15	28	64,35
16	30	62,00
17	32	59,44
18	34	56,49
19	36	52,99
20	38	48,74
21	40	43,66
22	42	37,63
23	44	30,92
24	46	23,89
25	48	16,23
26	50	8,58
27	50,6	0,00
28	52	0,00
29	53	0,00

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a partir de los 50,6 minutos el porcentaje de humedad evaporada es constante, el proceso se detiene y se anotan los siguientes resultados que aparecen en la pantalla del equipo.

**Tabla III- 3 Resultados del Análisis de Humedad de las Hojas Frescas de Poleo**

<b>Variables</b>	<b>Valor</b>
<b>% Humedad</b>	77,81
<b>Peso inicial de las hojas de poleo</b>	5,004 g
<b>% Peso seco</b>	22,19
<b>Pérdida de peso</b>	3,89 g
<b>Peso final de las hojas de poleo</b>	1,109 g

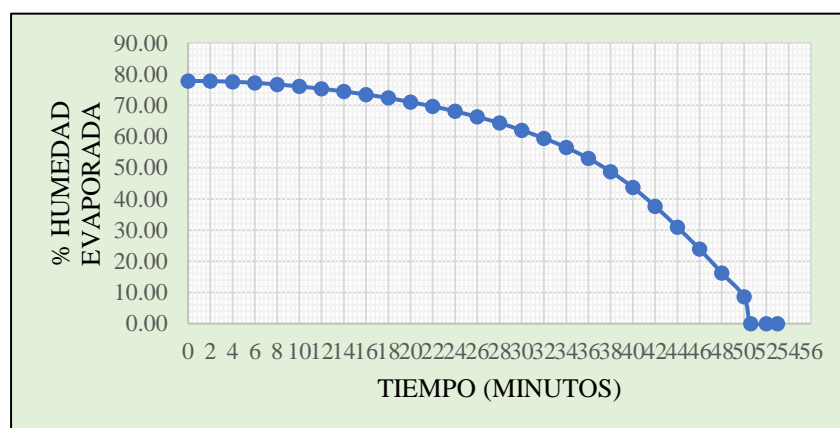
Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-3 podemos ver que el porcentaje de humedad para las hojas frescas de Poleo es de 77,81 lo que equivale al 3,89 g de pérdida de peso en la muestra. Peso que fue perdiendo la muestra durante el proceso de secado, hasta que en el minuto 50,6 el porcentaje de humedad se mantiene constante y por ende el proceso de evaporación se detiene.

Con respecto al porcentaje de peso seco 22,19% este equivale a 1,109 g del peso final de las hojas de Poleo, 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 evaporada vs tiempo de secado.

**Gráfico 3- 2 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas Frescas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

Se puede observar en el gráfico 3-2 que después de iniciado el proceso de secado, el porcentaje de humedad disminuye con el tiempo hasta llegar a ser constante volviéndose una línea recta a partir del minuto 50,6 donde se registra el resultado final de 77,81% de humedad que equivale a 3,89 g de pérdida de peso en la muestra.

### 3.1.2.3 Determinación del Porcentaje de humedad de las Hojas de Poleo en Estado Seco

En la tabla III-4 se exponen los datos de variación del porcentaje de humedad evaporada con el tiempo, de las hojas de Poleo secas.

**Tabla III- 4 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas Secas de Poleo**

Nº	Tiempo (minutos)	% H evap.
1	0	11,48
2	2	11,44
3	4	11,33
4	6	11,18
5	8	11,03
6	10	10,85
7	12	10,56
8	14	10,15
9	16	9,66
10	18	8,85
11	20	7,92
12	22	6,69
13	24	5,22
14	26	3,57
15	27,4	0
16	28	0
17	30	0

Fuente: Elaboración propia, 2021

Se puede observar que a partir de los 27,4 minutos el porcentaje de humedad evaporada es constante, el proceso se detiene y se anotan los siguientes resultados que aparecen en la pantalla del equipo.

**Tabla III- 5 Resultados del Análisis de Humedad de las Hojas Secas de Poleo**

<b>Variabes</b>	<b>Valor</b>
<b>% Humedad</b>	11,48
<b>Peso inicial de las hojas de poleo</b>	5,003 g
<b>% Peso seco</b>	88,52
<b>Pérdida de peso</b>	0,574 g
<b>Peso final de las hojas de poleo</b>	4,428 g

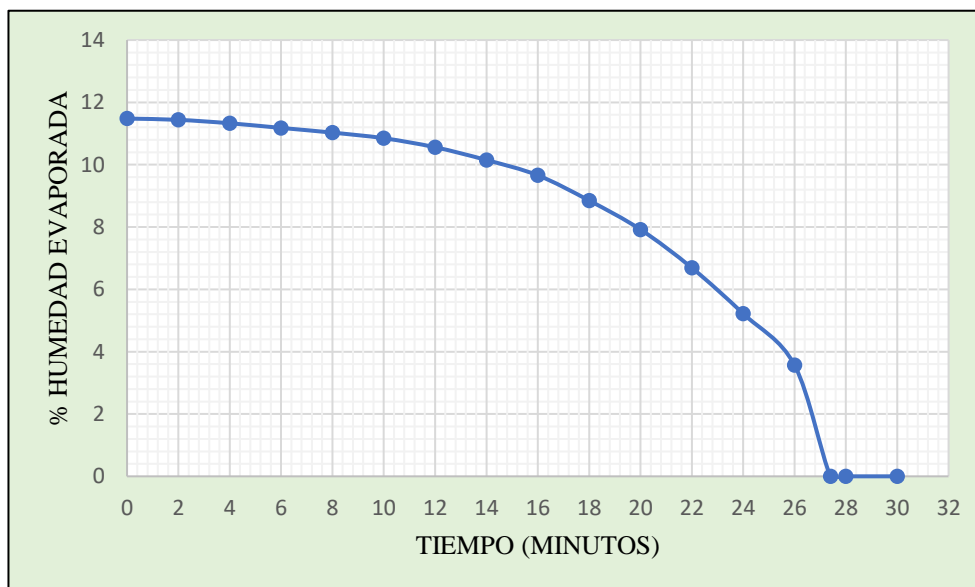
Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-5 podemos ver que el porcentaje de humedad para las hojas secas de Poleo es de 11,48 lo que equivale al 0,574 g de pérdida de peso en la muestra. Peso que fue perdiendo la muestra durante el proceso de secado, hasta que en el minuto 27,4 el porcentaje de humedad se mantiene constante y por ende el proceso de evaporación se detiene.

Con respecto al porcentaje de peso seco 88,52% este equivale a 4,428 g del peso final de las hojas de Poleo, esta es la cantidad de muestra que queda al evaporarse el agua de la muestra inicial.

Con los datos de la tabla III-4 se construye la curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de secado.

**Gráfico 3- 3 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas Secas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

Se puede observar en el gráfico 3-3 que después de iniciado el proceso de secado, el porcentaje de humedad disminuye con el tiempo hasta llegar a ser constante volviéndose una línea recta partir del minuto 27,4 donde se registra el resultado final de 11,48% de humedad que equivale a 0,574 g de pérdida de peso en la muestra.

#### 3.1.2.4 Resultados del análisis de Humedad de las Hojas de Poleo

**Tabla III- 6 Resultados de Porcentajes de Humedad de las Hojas de Poleo**

<b>ESTADO DE LAS HOJAS</b>	<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD %</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>MÉTODO O EQUIPO</b>
<b>ESTADO NATURAL</b>	76,65	21600	18-22	Secado a temperatura ambiente
<b>ESTADO FRESCO</b>	77,81	50,6	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS MA 100

<b>ESTADO DE LAS HOJAS</b>	<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD %</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>MÉTODO O EQUIPO</b>
<b>ESTADO SECO</b>	11,48	27,4	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS MA 100

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-6 se observa los resultados que para por ambos métodos la humedad son casi los mismos, el porcentaje de humedad en el equipo infrarrojo es 77,81% a una temperatura de 105°C y el de secado natural a temperatura ambiente es de 76,65%. El método de secado que se utilizó para la parte experimental del aceite esencial de hojas de poleo es el de secado natural a temperatura ambiente, el cual consiste en la pérdida de peso al evaporarse la humedad con el tiempo hasta llegar a un peso constante, como se observa en la tabla III-4 que llegó a un valor de 11,48%, porcentaje de humedad que se encuentra dentro de los parámetros establecidos de bibliografía ya que el contenido de agua en los vegetales debe variar entre 8 y 14%. (Osorio E.J., 2009).

### **3.2 Resultados de las Pruebas Preliminares**

#### **3.2.1 Determinación del Tiempo de Extracción**

Dentro del laboratorio se determinó el tiempo óptimo de extracción de aceite esencial de Hojas de Poleo con el que se trabajara todos los ensayos del diseño factorial, en la tabla III- 7 se detallan los datos obtenidos

**Tabla III- 7 Tiempo de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

<b>Tiempo de Extracción (min)</b>	<b>Volumen de Aceite Esencial recibido (ml)</b>
0	0
30	0,30
60	0,50
90	0,90
120	1,15
150	1,15

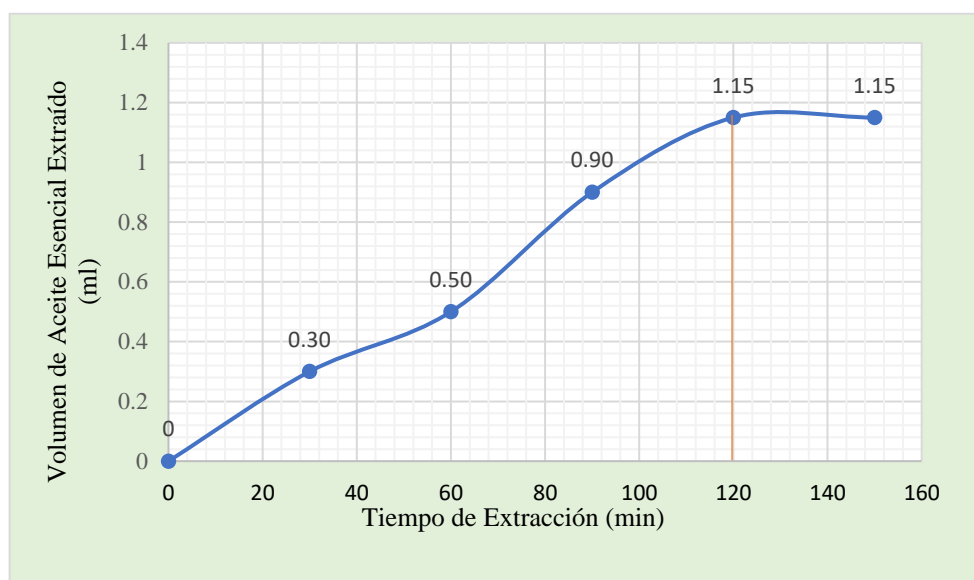
Tiempo de Extracción (min)	Volumen de Aceite Esencial recibido (ml)
Total de Aceite Extraído	1,15

Fuente: Elaboración propia, 2021

De la tabla III-7 se observa que hasta el minuto 120 se extrae aceite esencial, pero al minuto 150 la cantidad de aceite extraído es 0 ml, por esta razón se da por finalizado el proceso de extracción, lo que significa el agotamiento de la materia prima en 2 horas de iniciado el proceso.

Con los datos de la tabla III- 7 se realiza una curva tiempo de extracción vs. Volumen de aceite esencial obtenido para determinar la pendiente máxima que se logra y así obtener el tiempo óptimo para la extracción.

**Gráfico 3- 4 Determinación del Tiempo Óptimo de Extracción de Aceite Esencial de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

De acuerdo a la gráfica, se observa que en los primeros 30 minutos de extracción se va obteniendo pocas cantidades de aceite llegando a alcanzar un 26,09% del total extraído, la mayor cantidad de volumen de aceite esencial se logra hasta el minuto 120, a partir de ahí la extracción disminuye considerablemente, obteniendo 0 ml de aceite extraído



es de esta forma que no es recomendable seguir extrayendo aceite esencial ya que sería un gasto energético excesivo innecesario por lo que se da por finalizado la extracción en un tiempo de 2 horas.

### 3.3 Resultados Obtenidos de la Fase Experimental

#### 3.3.1 Rendimiento del Aceite Esencial de Hojas de Poleo

Se realizaron pruebas con hojas de Poleo secas (15 días de secado), teniendo una humedad final de 11,48% y con hojas frescas. La masa de las hojas frescas y secas fue de 300 g. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

**Tabla III- 8 Datos de Extracción con Hojas de Poleo Frescas**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Volumen (ml) de aceite extraído (por 300 g de muestra)</b>	<b>Volumen (ml) de aceite acumulado</b>
0	0	0
30	0,10	0,10
60	0,05	0,15
90	0,05	0,20
120	0,10	0,30

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la siguiente tabla se muestran los datos que corresponden a la extracción con hojas de Poleo secas.

**Tabla III- 9 Datos de Extracción con Hojas de Poleo Secas**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Volumen (ml) de aceite extraído (por 300 g de muestra)</b>	<b>Volumen (ml) de aceite acumulado</b>
0	0	0
30	0,30	0,30
60	0,20	0,50
90	0,30	0,80
120	0,30	1,10

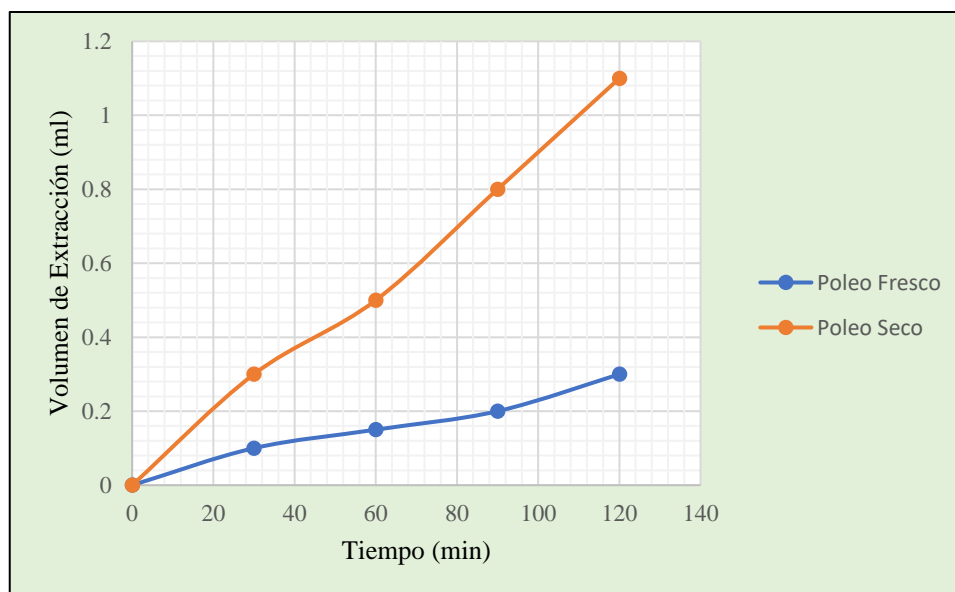
Fuente: Elaboración propia, 2021

En las pruebas para ambos casos de hojas de Poleo fresco y seco se utilizaron las mismas variables de masa y tamaño de partícula.

De la tabla III-8 y la tabla III-9 se puede observar que el volumen de aceite esencial de hojas de Poleo obtenido varía de la hoja fresca a la hoja seca obteniendo esta última más cantidad de aceite esencial, cabe recalcar que las hojas de Poleo frescas tienen un porcentaje de humedad del 77,81% que corresponde a la cantidad de agua que contiene estas hojas lo que equivale a una pérdida de peso de 233,43 g, teniendo un peso final de 66,57 g de masa de hojas de Poleo fresco en cada extracción, y las hojas de Poleo secas presentan un porcentaje de humedad mínimo del 11,48% lo que equivale a una pérdida de peso de 34,44 g, teniendo como peso final 265,56 g de masa en estado seco en cada extracción, si bien se obtiene mayor volumen de aceite con hojas en esta seco no se obtiene mayor rendimiento en este ya que existe una diferencia de masa al momento de extraer el aceite esencial, a pesar de que en estado fresco se obtiene mayor rendimiento no resulta viable extraer en este estado, ya que para igualar las cantidades de volumen de aceite que se obtiene en estado seco se necesitaría extraer en fresco cuatro veces por cada extracción en seco lo que se generaría un mayor gasto de energía como por ejemplo el gasto de agua como refrigerante que tiene un consumo por extracción de 1231 L, llegando a niveles de más de 4000 L en cuatro extracciones siendo un consumo excesivo y costo elevado, además tomando en cuenta que el costo de secado de la materia prima es cero por lo que se determina que la opción más viable de extraer aceite esencial es usar hojas de Poleo secas ya que posee una mínima cantidad de agua y favorece a la extracción.

En la siguiente gráfica se presenta una comparación del volumen extraído con los datos de la tabla III-8 Y III-9.

**Gráfico 3- 5 Comparación de Volúmenes Extraído en Estado Fresco y Seco de las Hojas de Poleo**



Fuente: Elaboración propia, 2021

De acuerdo a la curva mostrada se puede apreciar que durante la experiencia el volumen extraído con hojas de poleo en estado fresco es mínimo en comparación al extraído con hojas de Poleo en estado seco esto se debe que al disminuir el porcentaje de agua que presentan las hojas de Poleo será superior la relación que hay entre el aceite esencial y el peso de las mismas.

### 3.3.2 Resultados Experimentales Obtenidos en Base al Diseño Factorial

Para el diseño realizado se toma como rendimiento el volumen obtenido siendo este la variable respuesta de cada combinación (masa, tamaño).

En la tabla III-10 se presenta los resultados de las variables del proceso de extracción de aceite esencial de hojas de Poleo.

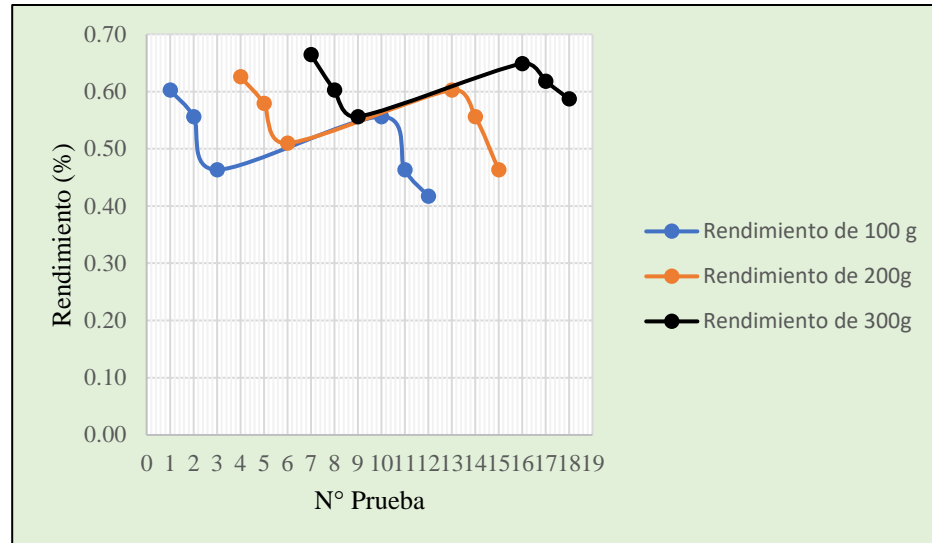
**Tabla III- 10 Resultados Experimentales Obtenidos del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de las Hojas de Poleo Secas.**

<b>PRIMERA REPETICIÓN</b>				
<b>N° de Prueba</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Tamaño (cm)</b>	<b>Variable respuesta</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
			<b>Volumen (ml)</b>	
1	100	0,5	0,65	0,60
2	100	1	0,60	0,56
3	100	2	0,50	0,46
4	200	0,5	1,35	0,63
5	200	1	1,25	0,58
6	200	2	1,10	0,51
7	300	0,5	2,15	0,66
8	300	1	1,95	0,60
9	300	2	1,80	0,56
<b>SEGUNDA REPETICIÓN</b>				
10	100	0,5	0,60	0,56
11	100	1	0,50	0,46
12	100	2	0,45	0,42
13	200	0,5	1,30	0,60
14	200	1	1,20	0,56
15	200	2	1	0,46
16	300	0,5	2,10	0,65
17	300	1	2	0,62
18	300	2	1,90	0,59

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-10 se presenta los volúmenes de las dos repeticiones del diseño experimental, donde se observa que se obtuvo el mayor volumen de aceite esencial en la primera repetición que es en la prueba 7 con 2,15 ml; también podemos observar que se obtuvo menor volumen en la segunda repetición en la prueba 12 con 0,45 ml.

A continuación, en el gráfico 3-6, se presenta el rendimiento que se obtiene en el proceso de extracción para diferentes masas de 100 g, 200 g y 300 g con respecto a las 18 pruebas.

**Gráfico 3- 6 Rendimiento (%) Vs N° Prueba**

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la gráfica 3-6 se observa que los mayores rendimientos se obtuvieron con la masa de 300 g, alcanzando un rendimiento de 0,66 %, mientras que el menor rendimiento 0,60 % se obtiene para la masa de 100 g. Esto supone que mientras se tenga una mayor cantidad de masa en los canastillos de extracción, se obtiene un mayor rendimiento. También se observa que el rendimiento es mayor a un tamaño de partícula menor; para esto se tomaron 3 tamaños de muestra de 1cm, 2cm y 0,5 cm en cual se obtuvo mayor rendimiento lo cual indica que mientras más pequeño sea el tamaño de partícula mayor será el área de contacto entre la especie vegetal (hojas de Poleo) y el flujo de vapor que va a arrastrar el aceite esencial.

### 3.3.3 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 con hojas secas de poleo en relación a la masa de las muestras utilizadas y al tamaño de hojas de poleo utilizadas en el proceso.

### 3.3.3.1 Tamaño Vs Volumen Obtenido con Hojas Secas

En el desarrollo de la parte experimental se trabaja con tres tamaños de muestra de 0,5 cm, 1 cm y 2 cm.

A continuación, en la tabla III-11, se presenta los datos de volumen obtenido y el tiempo de extracción del aceite esencial de Poleo tomando en cuenta los tres tamaños de muestra, usando los datos de las extracciones con 300 g.

**Tabla III- 11 Datos de Rendimiento de los Tres Tamaños de Muestra**

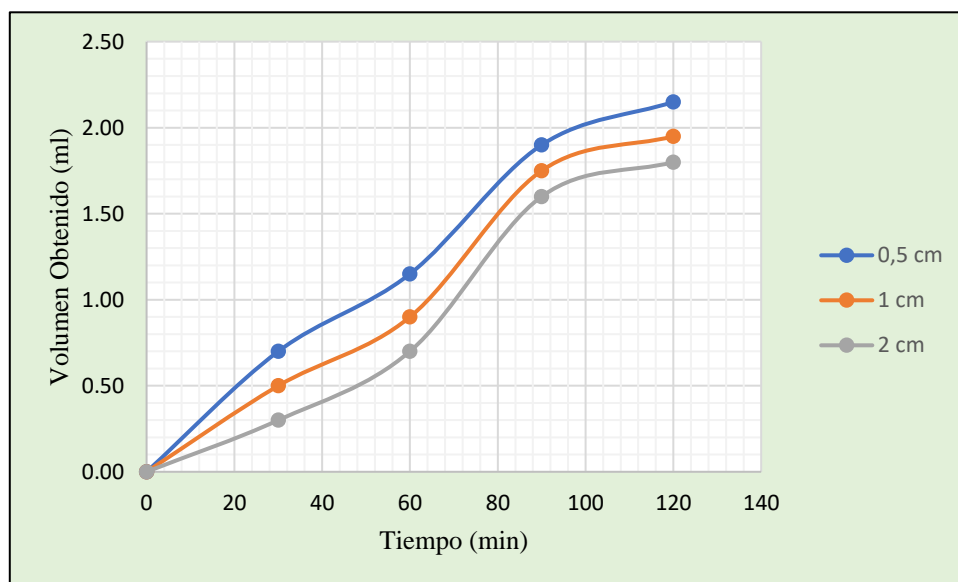
<b>Tamaño (cm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Volumen obtenido (ml) (por 300 g de muestra)</b>
0,5	0	0
	30	0,70
	60	1,15
	90	1,90
	120	2,15
1	0	0
	30	0,50
	60	0,90
	90	1,75
	120	1,95
2	0	0
	30	0,30
	60	0,70
	90	1,60
	120	1,80

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como puede observarse en la tabla III-11, que la mayor cantidad de aceite fue extraída en los primeros 90 minutos, siendo que en los siguientes treinta minutos se tiene un mínimo de 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, ya que se percibía todo el ambiente los aromas dispersos de los componentes más volátiles producidos durante la extracción.

Posteriormente se presenta la gráfica 3-7 realizando una comparación del volumen obtenido Vs tiempo con relación al tamaño de partícula.

**Gráfico 3- 7 Volumen Obtenido vs Tiempo con Relación al Tamaño de Partícula**



Fuente: Elaboración propia, 2021

En la gráfica 3-7 se observa que para el tamaño de partícula de 0,5 cm, el volumen obtenido es mayor en cualquier intervalo de tiempo, obteniendo un volumen máximo de 2,15 ml, mientras que para el tamaño de partículas de 1cm el volumen máximo es de 1,95 ml y de 2 cm de 1,80 ml se siendo el menor rendimiento, lo cual indica que las partículas de menor tamaño ofrecen una mejor superficie de contacto que las partículas de mayor tamaño y se alcanza un mayor volumen de aceite, por lo que es recomendable trabajar con partículas de menor tamaño con mayor cantidad de masa en un tiempo aproximado de 120 min para lograr extraer la mayor cantidad de aceite esencial que puedan contener las hojas de Poleo.

### 3.3.3.2 Masa Vs Volumen Obtenido con Hojas Secas

Esta variable presenta tres niveles que son 100 g, 200 g y 130 g 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 0,5 cm se construye la siguiente tabla.

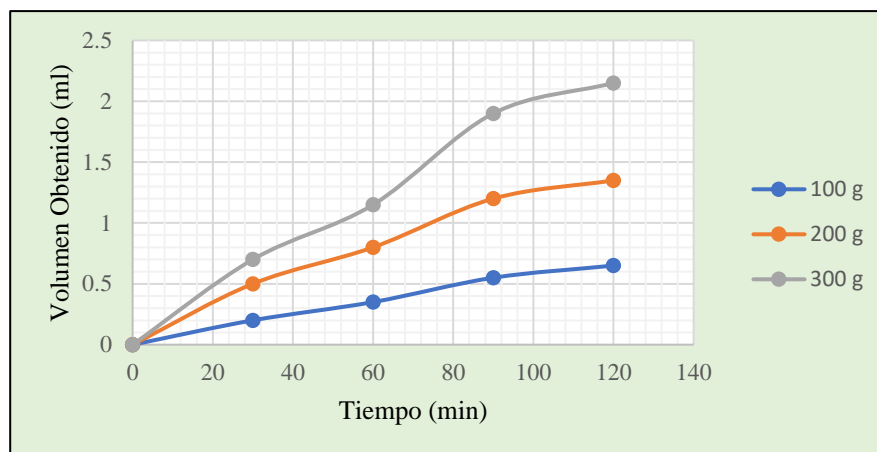
**Tabla III- 12 Datos de Volumen Obtenido con Relación a las Masas**

<b>Masa (g)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Volumen obtenido ml (a 0,5 cm de tamaño)</b>
100	0	0
	30	0,20
	60	0,35
	90	0,55
	120	0,65
200	0	0
	30	0,50
	60	0,80
	90	1,20
	120	1,35
300	0	0
	30	0,70
	60	1,15
	90	1,90
	120	2,15

Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, se construye la gráfica de volumen obtenido vs tiempo en relación con la masa.

**Gráfico 3- 8 Volumen Obtenido Vs Tiempo (con relación a la masa)**



Fuente: Elaboración propia, 2021



En la gráfica se observa que hay mayores volúmenes obtenidos con una masa de 300g, en cualquiera de los intervalos de tiempo, el cual alcanza un volumen de 2,15 ml mientras que para la masa de 200 g, se obtiene un volumen de menor cantidad que es de 1,35 ml, y 0,65 ml para la masa de 100 g, lo cual indica y se recomienda trabajar con masa de mayor cantidad y con una partícula de menor tamaño (0,5cm) y dentro de los tiempos para así evitar el consumo energético excesivo, que por supuesto implica un costo económico.

### 3.3.3.3 Cálculo del rendimiento de obtención del aceite esencial de Hojas de Poleo Secas

El rendimiento es la cantidad de producto (en gramos) que se obtiene en relación a la cantidad de muestra utilizada (en gramos).

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

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

Para dicho cálculo se toma en cuenta la mejor extracción de aceite esencial de Poleo obtenido la cual se presenta en la siguiente tabla III-15

**Tabla III- 13 Datos para el Cálculo de Rendimiento**

Masa (g)	Densidad del Aceite (g/ml)	Volumen de Aceite Obtenido (ml)
300	0,9270	2,15

Fuente: Elaboración propia, 2021

Con estos datos se obtiene la masa del aceite esencial, obtenida con la siguiente relación:

$$m = \rho * V = (0,9270 \frac{g}{ml}) * 2,15 \text{ ml} = 1,99 \text{ g}$$

Con este dato de masa de aceite se procede al cálculo del rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa del aceite esencial}}{\text{Masa de la materia prima}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1,99 \text{ g}}{300 \text{ g}} \times 100\%$$

**Rendimiento= 0,66%**

A continuación, En la tabla III-14 se presenta el rendimiento del aceite esencial de hojas de Poleo obtenido en el departamento de Tarija comparado con el de bibliografía.

**Tabla III- 14 Comparación del Rendimiento de Aceite Esencial Extraído**

<b>AUTORES</b>	<b>(Tarija-Bolivia)</b>	<b>Datos Bibliográficos</b>
<b>RENDIMIENTO (%)</b>	0,66	0,5 - 1

Fuente: Elaboración propia, 2021

De la anterior tabla se puede observar que el rendimiento obtenido durante la extracción de aceite esencial en la presente investigación es de 0,66%, encontrándose dentro de los parámetros establecidos para este aceite con respecto al de bibliografía que es de 0,5 a 1%

El rendimiento de una investigación a puede variar por diversos aspectos como ser por el método que se utiliza, especie de la planta, el habitat, tipo de suelo, época de cosecha, edad de la planta, además de las condiciones ambientales de cada lugar.

En la presente investigación, el poleo ha sido recolectada y cosechada en la estación de otoño entre los meses de mayo y junio del año 2021 en el inicio de la floración de la planta.

### **3.4 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 determina la influencia de los factores masa y tamaño y sus interacciones sobre la variable respuesta (volumen).

La tabla III-15 muestra los datos de las variables analizadas en la etapa experimental de acuerdo al diseño factorial  $3^2$  (dos factores con tres niveles respectivamente) y un total de 18 experiencias.

**Tabla III- 15 Niveles de Variación de los Factores**

Niveles	Factores	
	Masa (g)	Tamaño (cm)
Inferior	100	0,5
Medio	200	1
Superior	300	2

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la siguiente tabla se muestra los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado.

**Tabla III- 16 Datos Experimentales de la Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

PRIMERA REPETICIÓN			
N° de Prueba	Masa (gr)	Tamaño (cm)	Variable respuesta
			Volumen (ml)
1	100	0,5	0,65
2	100	1	0,60
3	100	2	0,50
4	200	0,5	1,35
5	200	1	1,25
6	200	2	1,10
7	300	0,5	2,15
8	300	1	1,95
9	300	2	1,80
SEGUNDA REPETICIÓN			
10	100	0,5	0,60
11	100	1	0,50
12	100	2	0,45
13	200	0,5	1,30
14	200	1	1,20
15	200	2	1

<b>SEGUNDA REPETICIÓN</b>			
16	300	0,5	2,10
17	300	1	2
18	300	2	1,9

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-17 se especifica el análisis de varianza aplicado, para probar la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento.

**Tabla III- 17 Análisis de Varianza “ANOVA”**

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: VOLUMEN					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6,357	8	,795	317,847	,000
Intersección	27,876	1	27,876	11150,222	,000
MASA	6,181	2	3,091	1236,222	,000
TAMAÑO	,164	2	,082	32,722	,000
MASA * TAMAÑO	,012	4	,003	1,222	,367
Error	,023	9	,003		
Total	34,255	18			
Total corregida	6,379	17			

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 y tamaño son menores a 0,05. Se define que son significativos en el proceso de extracción de aceite esencial de hojas de Poleo con una confianza del 95 % y serán variables utilizadas para realizar el cálculo del modelo matemático.

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- 18 Variables introducidas/ eliminadas**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	TAMAÑO, MASA <sup>a</sup>	.	Introducir
a. Todas las variables solicitadas introducidas			
b. variable dependiente: VOLUMEN			

Fuente: SPSS 18

La tabla III-19 muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 18 con el diseño experimental realizado.

**Tabla III- 19 Coeficientes**

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	1,244	,014		89,009	,000	1,215	1,274
	MASA	,717	,017	,983	41,853	,000	,680	,753
	TAMAÑO	-,117	,017	-,160	-6,813	,000	-,153	-,080
a. Variable dependiente: VOLUMEN								

Fuente: SPSS 18

De este modo el modelo matemático resultante es:

Volumen:  $1,244 + 0,717\text{masa} - 0,117\text{tamaño}$

Del análisis estadístico se puede concluir que el factor masa y tamaño son significativos en el proceso de extracción de aceite esencial.

**Tabla III- 20 Resultados Experimentales Obtenidos en Base al Diseño Factorial vs Resultados del Modelo Aplicado en el programa SPSS 18**

<b>PRIMERA REPETICIÓN</b>					
<b>N° de Prueba</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Tamaño (cm)</b>	<b>Variable respuesta</b>	<b>Volumen del Modelo</b>	<b>Error</b>
			<b>Volumen (ml)</b>		
1	100	0,5	0,65	0,63	0,03
2	100	1	0,60	0,55	0,05
3	100	2	0,50	0,48	0,03
4	200	0,5	1,35	1,33	0,02
5	200	1	1,25	1,23	0,02
6	200	2	1,10	1,05	0,05
7	300	0,5	2,15	2,13	0,02
8	300	1	1,95	1,98	-0,03
9	300	2	1,80	1,85	-0,05
<b>SEGUNDA REPETICIÓN</b>					
10	100	0,5	0,60	0,63	-0,02
11	100	1	0,50	0,55	-0,05
12	100	2	0,45	0,48	-0,02
13	200	0,5	1,30	1,33	-0,03
14	200	1	1,20	1,23	-0,03
15	200	2	1	1,05	-0,05
16	300	0,5	2,10	2,13	-0,02
17	300	1	2	1,98	0,02
18	300	2	1,90	1,85	0,05

Fuente: MINITAB 18

De la tabla III-20 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 primera repetición que es la prueba 7 con 2,15 ml, y de acuerdo a los volúmenes del modelo el mayor volumen también se encuentra en la prueba 7 con un volumen de 2,13 ml; del mismo modo, se puede observar el error que existe entre los volúmenes obtenidos dentro del laboratorio y los volúmenes del modelo.

### 3.5 Resultados de los Análisis del Producto Obtenido

#### 3.5.1 Características Organolépticas

En el siguiente cuadro se presentan una comparación de las características organolépticas del aceite esencial de hojas de Poleo obtenido frente a otros datos de bibliografía.

**Cuadro III- 3 Comparación del Aceite Esencial Obtenido con los de Bibliografía**

Características	Aceite Obtenido en Tarija	Aceite de España (Lozano., 2019)	Aceite de Argentina (Ernesto L. Bechstein., 1953)
Color	Amarillo claro	Amarillo a amarillo pálido	Amarillo oscuro algo anaranjado
Olor	Mentolado, picante, dulce	Característico mentolado, amargo, fuerte	Aromático pronunciado parecido al de la menta, dulce
Aspecto	Líquido limpio, transparente	Líquido transparente	Líquido límpido

Fuente: Elaboración propia, 2021

Del cuadro III-3 se puede observar que el aceite esencial obtenido en el departamento de Tarija presenta un color amarillo claro, olor mentolado, dulce y un aspecto limpio, transparente. Características que tienen mucha similitud con el extraído en otras regiones, con esto se puede determinar que el aceite esencial obtenido se encuentra dentro de los parámetros esperados que debe presentar un aceite esencial de esta especie.

#### 3.5.2 Análisis Físicoquímicos

En la tabla siguiente se muestran los resultados de densidad e índice de refracción del aceite esencial obtenido comparado con otros datos de bibliografía.

**Tabla III- 21 Comparación de Parámetros Fisicoquímicos del Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

<b>Características</b>	<b>Aceite Obtenido en Tarija</b>	<b>Aceite de España (Lozano., 2019)</b>	<b>Aceite de Argentina (Ernesto L. Bechstein., 1953)</b>
Densidad g/ml (20 °C)	0,9270	0,930 – 0,944	0,9314
Índice de Refracción (20 °C)	1,4788	1,480 – 1,488	1,4860

Fuente: Elaboración propia, 2021

Con los datos de la tabla III-21 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 hojas de Poleo cultivado en el departamento de Tarija cumple con los perfiles de un aceite de Calidad de esta especie, cabe mencionar que pueden existir pequeñas variaciones en la densidad e Índice de refracción ya que es debido a la temperatura con que se trabaja y materiales volumétricos exactos que se utiliza, todo el informe brindado por el CEANID se encuentra en la sección de Anexos.

### **3.5.3 Perfil Cromatográfico**

El perfil cromatográfico para el aceite esencial de hojas de Poleo 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-22 se presentan los resultados del análisis de los principales compuestos del aceite esencial de Hojas de Poleo; del mismo modo, en la tabla III- 23 se adicionan y comparan con los datos obtenidos dentro del laboratorio con los de bibliografía de distintos lugares del mundo.



**Tabla III- 22 Componentes del Aceite esencial de Hojas de Poleo Cultivado en el Departamento de Tarija**

ITEM	COMPUESTO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	ABUNDANCIA (%)
1	Limoneno	19,031	3,62
2	Mentona	19,857	4,33
3	Pulegona	22,175	92,05
<b>TOTAL</b>			<b>100</b>

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”

Como observamos en la tabla, realizando un perfil cromatográfico se asimila que el mayor componente en abundancia es la Pulegona con 92,05%, seguido de la Mentona con 4,33% y Limoneno 3,62%. Los resultados del perfil cromatográfico se encuentran en la sección de Anexos.

**Tabla III- 23 Comparación del Aceite esencial de Hojas Poleo Cultivado en el Departamento de Tarija frente a otros de bibliografía**

COMPUESTO	Aceite Esencial Obtenido en Tarija	Aceite de España (Lozano., 2019)	Aceite de Argentina (Ernesto L. Bechstein., 1953) (%)	Aceite de Uruguay (Marcelo S., 2011)
	% Abundancia	% Abundancia	% Abundancia	% Abundancia
Mentona	4,33	2,75	15,1	1,60
Isomentona				23,60
Isopulegona				1,28
neo-Mentol				2,20
Pulegona	92,05	84,85	83,2	62,6
Piperitenona		2,63		0,20
Piperitona				0,70
Limoneno	3,62	1,05		
Trans-Isopulegona		1,01		
1- $\alpha$ -pineno			1,70	

Fuente: Elaboración propia, 2021

De la tabla anterior se puede observar los componentes del aceite esencial de Poleo 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 y componentes en los aceites esenciales de Poleo, esto se debe a que el aceite contenido en las hojas de Poleo varía de acuerdo a la zona donde se lo siembra, edad de la planta condiciones climáticas así también de la época en la que se lo cosecha y método de extracción que se utiliza.

El componente con mayor porcentaje de abundancia en el departamento de Tarija es la pulegona con 92,05 %, tiene una proporción de abundancia mayor en comparación a los obtenidos en España, Argentina y Uruguay respectivamente. Dada que la calidad de este aceite esencial está en función al contenido de pulegona ya que su principal aplicación de este aceite se debe a su alto contenido en pulegona dada la facilidad con que se transforma en mentol. Por esta circunstancia, esta esencia es la principal materia prima usada para la fabricación de mentol sintético por las industrias de confitería, farmacéutica, cosmética y alimenticia que, debido a su aroma, sabor y propiedades refrescantes, el mentol se lo utiliza en productos como caramelos, chicles, lápices labiales, pomadas antipicor, bebidas, pastas de dientes, colutorios, perfumes, descongestionantes nasales etc.

De la cual se puede concluir que el aceite esencial de poleo obtenido en Tarija es de mayor calidad en comparación a los obtenidos en España, Argentina y Uruguay.

El segundo compuesto representativo es la mentona el cual tiene gran uso dentro de la industria, en la fabricación de productos cosméticos, farmacéuticos y de perfumería debido a su olor característico aromático y sabor a menta por el cual es más valorado, y en menor abundancia el limoneno el cual tiene un valor importante en el mercado debido a su amplio uso en la industria de productos de limpieza del hogar, industria alimentaria y cosmética, en parte porque su aroma es agradable, también es usado por las industrias farmacéutica y alimentaria como aromatizante y para dar sabor, siendo usado, por ejemplo, en la obtención de sabores artificiales de menta y en la fabricación

de dulces, goma de mascar y bebidas además de ser utilizado en insecticidas para repeler o hormigas, moscas, pulgones ya que no es toxico para los seres humanos, animales, ni perjudicial para la jardinería y medio ambiente.

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

### **3.6 Balance de Materia y Energía de la Obtención de Aceite Esencial de Hojas de Poleo**

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materia y energía de un proceso. Los balances, se basan en las leyes de la conservación de la masa y energía.

De acuerdo a la tabla III-10 del capítulo III: Resultados y Discusión, el mejor rendimiento es de 2,15 ml que corresponde a la experiencia realizada con hojas de tamaño a 0,5 cm y 300 g. Entonces se usan todos los datos registrados para dicha experiencia, los cuales se muestran a continuación en la tabla III-24.

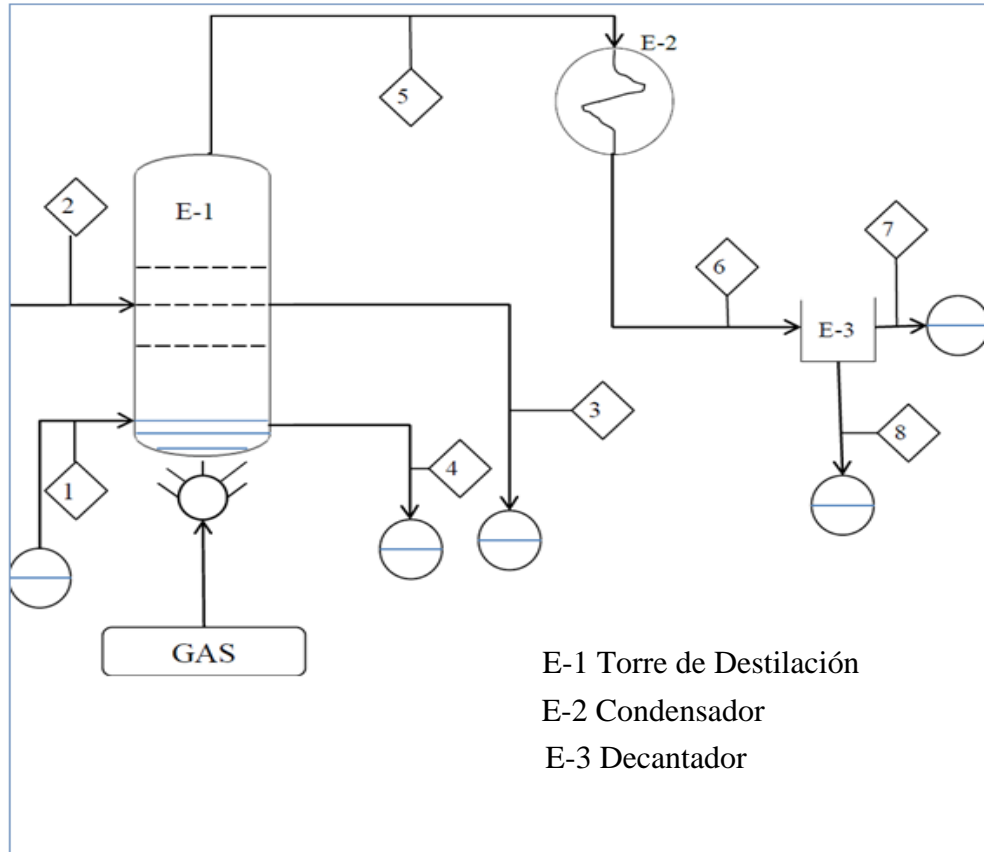
**Tabla III- 24 Datos para el Balance de Materia y Energía**

<b>DATOS</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad del H <sub>2</sub> O (17 °C)	0,99886	g/ml
Densidad del aceite (20 °C)	0,9270	g/ml
Volumen de H <sub>2</sub> O inicial	4000	ml
Tiempo de calentamiento	27	min
Tiempo de extracción	120	min
Masa de la materia vegetal inicial	300	g
Masa de la materia vegetal (después del destilado)	311,623	g
Tamaño de partícula (mayor rendimiento)	0,5	cm
Temperatura Inicial del H <sub>2</sub> O	17	°C
Temperatura de vapor	93	°C
Temperatura en la entrada del condensador	17	°C
Temperatura en la salida del condensador	18	°C
Temperatura de condensados	20	°C
Volumen de H <sub>2</sub> O condensado (hidrolato)	1650	ml
Volumen de aceite condensado	2,15	ml
Caudal de H <sub>2</sub> O refrigeración	139,57	ml/s
Calor específico del H <sub>2</sub> O	1	kcal/kg °C

Fuente: Elaboración propia, 2021

### 3.6.1 Balance de Materia en la Obtención de Aceite Esencial de Hojas de Poleo

**Figura 3- 1 Diagrama de Flujo de Equipos del Proceso de Extracción**



Fuente: Elaboración propia, 2021

M1 = Masa de agua inicial cargado a la torre

M2 = Masa de materia vegetal cargada a la torre

M3 = Masa residual vegetal

M4 = Masa de agua residual en la torre

M5 = Masa de vapor y aceite

M6 = Masa del condensado (agua + aceite esencial)

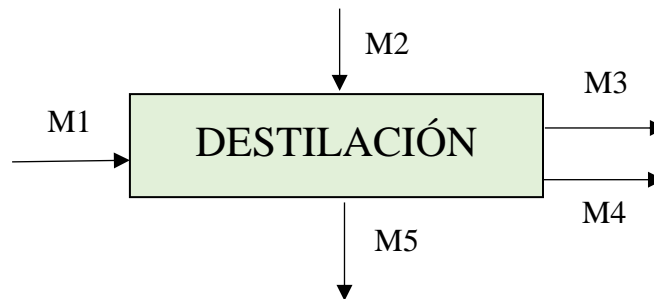
M7 = Masa de agua condensada

M8 = Masa de aceite esencial condensado

### 3.6.1.1 Balance de materia en la Torre de Destilación

En la figura 3-1 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de destilación.

**Figura 3- 2 Balance de Materia en la Etapa de Destilación**



Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde:

$M_1$  = Masa de agua inicial cargado a la torre

$M_2$  = Masa de materia vegetal cargada a la torre

$M_3$  = Masa residual vegetal

$M_4$  = Masa de agua residual en la torre

$M_5$  = Masa de vapor y aceite

Balance Global:

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_4 + M_5 \quad \text{Ec. (3.2)}$$

#### Masa de agua inicial cargado a la torre de destilación

El dato de la densidad del agua se lo toma de tablas a presión de 1 atm y temperatura de 17 °C.

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = V_{\text{agua cargado a la torre}} * \rho_{\text{agua a 17}^\circ\text{C}}$$

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = 4000 \text{ ml} * 0,99886 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{agua cargado a la torre}} = 3995,44 \text{ g} \longrightarrow 3,99 \text{ kg} = M_1$$

### **Masa de agua condensada**

Se procede a calcular la masa de agua condensada

donde  $M_7$  = Masa de agua condensada (kg)

El volumen de agua condensada (hidrolato) es el agua condensada recibida en el vaso florentino en la extracción.

$$m_{\text{agua condensada}} = V_{\text{agua condensada (hidrolato)}} * \rho_{\text{agua a } 17^\circ\text{C}}$$

$$m_{\text{agua condensada}} = 1650 \text{ ml} * 0,99886 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{agua condensada}} = 1648,12 \text{ g} \longrightarrow 1,65 \text{ kg} = M_7$$

### **Masa de aceite esencial condensado**

Se procede a calcular la masa de aceite esencial condensado donde:

$M_8$  = Masa de aceite esencial condensado (kg)

El dato de la densidad del aceite se lo toma de los análisis fisicoquímicos otorgados por el “CEANID”

$$m_{\text{aceite condensado}} = V_{\text{aceite condensado}} * \rho_{\text{aceite}}$$

$$m_{\text{aceite condensado}} = 2,15 \text{ ml} * 0,9270 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{aceite condensado}} = 1,99 \text{ g} = M_8$$

Se procede a calcular la masa de agua que queda en la torre después del proceso de destilación, donde:

$MR$  = Masa de agua retenida en el residuo después del proceso de destilación, su valor es la diferencia de la masa vegetal inicial igual a 300 g cargado a la torre, menos la masa vegetal al final del destilado que es igual a 311,623 g.

$$MR = 11,62 \text{ g} = 0,01162 \text{ kg}$$

$$M_1 = M_4 + M_8 + M_7 + MR$$

*Ec. (3.3)*

$$M_4 = M_1 - M_8 - M_7 - MR$$

$$M_4 = 3995,44 \text{ g} - 1,99 \text{ g} - 1648,12 \text{ g} - 11,62 \text{ g}$$

Masa de agua residual que queda en la torre de destilación:

$$M_4 = 2333,71 \text{ g}$$

Teniendo el dato  $M_4$  se calcula el  $M_5$  (masa de vapor y aceite) de la ecuación Ec. (3.2), la masa residual vegetal después del destilado es de 311,623 g

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

$$M_5 = 3995,44 \text{ g} + 300 \text{ g} - 311,623 \text{ g} - 2333,71 \text{ g}$$

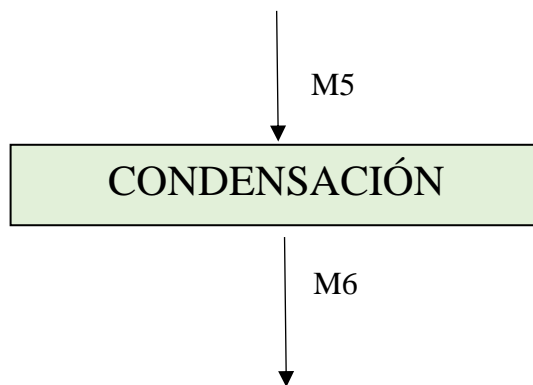
Masa de vapor y aceite esencial a la salida de la torre de destilación:

$$M_5 = 1650,11 \text{ g}$$

### 3.6.1.2 Balance de Materia en la Condensación

En la figura 3-2 se presenta el diagrama de bloque en la etapa de condensación.

**Figura 3- 3 Balance de Materia en la Etapa de Condensación**



Fuente: Elaboración propia, 2021

**Donde:**

$M_5$  = Masa de vapor y aceite

$M_6$  = Masa del condensado (agua + aceite esencial)

En esta etapa no se gana ni se pierde masa; por lo que la cantidad de M5 es igual a la de M6 ya que no existen otras corrientes de ingreso, por lo tanto, se cumple la “ley de la conservación de la materia”, todo lo que entra sale respecto a la masa.

Por tanto:

$$M_5 = M_6$$

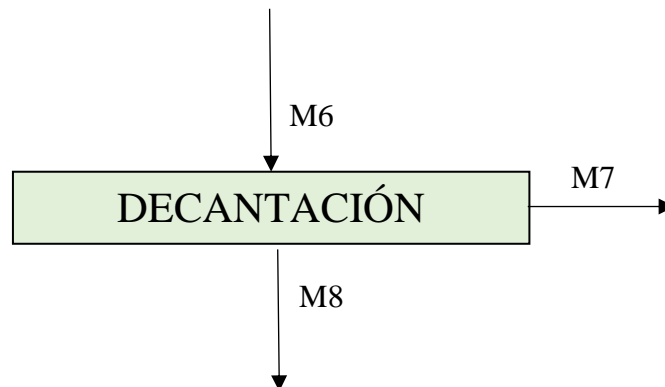
Masa de condensados después de la condensación:

$$M_6 = 1650,11 \text{ g}$$

### 3.6.1.3 Balance de Materia en la Decantación

En la decantación se realiza una separación de fases; en la figura 3-3 se presenta el diagrama de bloques en la etapa de decantación.

**Figura 3- 4 Balance de Materia en la Etapa de Decantación**



Fuente: Elaboración propia, 2021

**Donde:**

M6 = Masa del condensado (agua + aceite esencial)

M7 = Masa de agua condensada

M8 = Masa de aceite esencial condensado



Balance Global:

$$M_6 = M_7 + M_8 \quad \text{Ec. (3.4)}$$

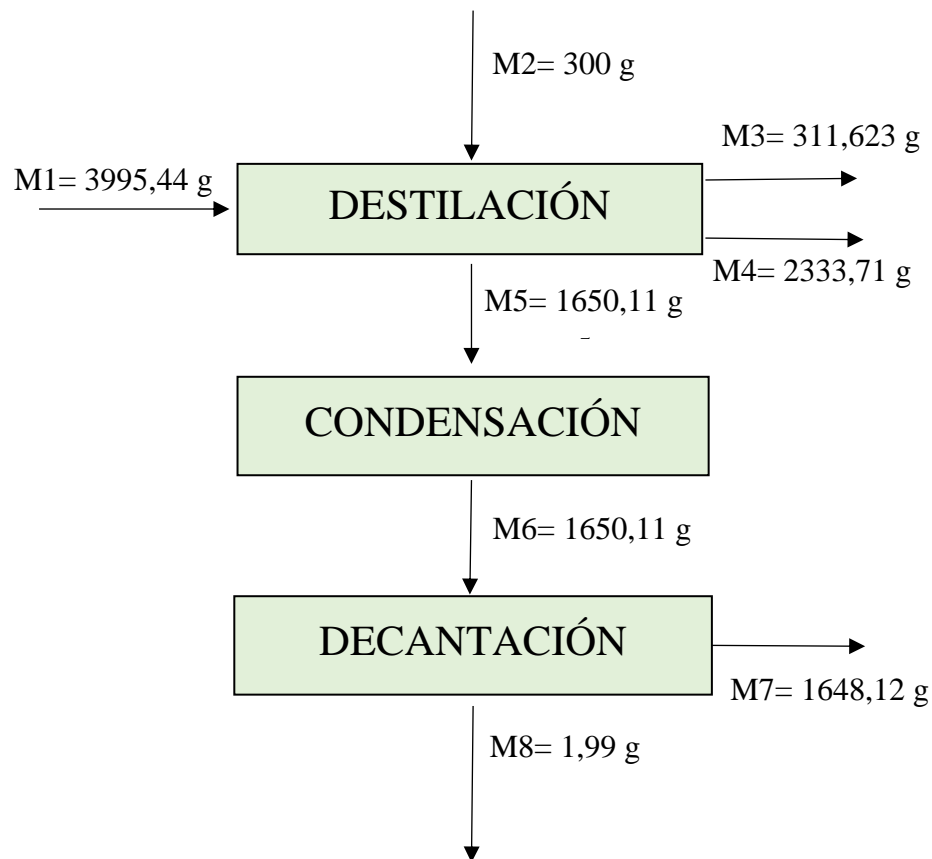
Masa de agua condensada:

$$M_7 = M_6 - M_8 = 1650,11 \text{ g} - 1,99 \text{ g}$$

$$\mathbf{M_7 = 1648,12 \text{ g}}$$

En la figura 3-4 se presenta el resumen del balance de materia de la extracción de aceite esencial de la Poleo.

**Figura 3- 5 Resumen del Balance de Materia**



Fuente: Elaboración propia, 2021

La masa de vapor generada en la torre de destilación es el siguiente:

$$V_{\text{vapor}} = V_{\text{agua inicial cargado a la torre}} - V_{\text{agua residual en la torre}} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$V_{\text{agua residual en la torre}} = \frac{m_{\text{agua residual en la torre}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{agua residual en la torre}} = \frac{2333,71 \text{ g}}{0,99886 \text{ g/ml}} = 2336,37 \text{ ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 4.000 \text{ ml} - 2336,37 \text{ ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 1663,63 \text{ ml}$$

$$m_{\text{vapor}} = V_{\text{vapor}} * \rho_{\text{agua}} = 1663,63 \text{ ml} * 0,99886 \text{ g/ml}$$

$$m_{\text{vapor}} = 1661,73 \text{ g} = 1,66 \text{ kg}$$

La masa de vapor generado en la torre de destilación es de 1661,73 g, donde 11,63 g de masa de vapor se retiene en el residuo vegetal después de la destilación.

El flujo de vapor en la torre de destilación es el siguiente:

$$F_{\text{vapor}} = \frac{m_{\text{vapor}}}{t} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$F_{\text{vapor}} = \frac{1,66 \text{ kg}}{120 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = \frac{1,66 \text{ kg}}{7200 \text{ s}}$$

$$F_{\text{vapor}} = 2,31 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

### 3.6.2 Balance de Energía en la Obtención de Aceite Esencial de Poleo

En el proceso de extracción de aceite esencial de Poleo existen tres etapas: la de calentamiento, la de generación de vapor y la condensación, a las cuales se realiza un balance de energía.

#### 3.6.2.1 Balance de Energía en la Torre de Destilación

##### Etapas de calentamiento

En esta etapa existe un cambio de temperatura, pero no de fase; por tanto, se trata de un calor sensible.

$$Q_{\text{sensible}} = m_{\text{agua cargada torre}} * C_p * (T_{\text{vapor}} - T_{\text{inicial}}) \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$Q_{sensible} = 3,99 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (93 \text{ }^\circ\text{C} - 17 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{sensible} = 303,24 \text{ Kcal}$$

### **Etapas para la generación de vapor**

Se realiza un cálculo de la potencia térmica de la hornalla a gas GLP.

$$P_{t\acute{e}rmica} = \frac{Q_{sensible}}{t_{acondicionamiento}} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$P_{t\acute{e}rmica} = \frac{303,24 \text{ Kcal}}{27 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}$$

$$P_{t\acute{e}rmica} = 673,87 \text{ Kcal/h}$$

Calor latente para la generación de vapor:

$$Q_{latente} = P_{t\acute{e}rmica} * t_{extracci\acute{o}n} \quad \text{Ec. (3.9)}$$

$$Q_{latente} = 673,87 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 2 \text{ h}$$

$$Q_{latente} = 1347,74 \text{ Kcal}$$

Calor total requerido en la destilación para la extracción:

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{latente} \quad \text{Ec. (3.10)}$$

$$Q_{total} = 303,24 \text{ kcal} + 1347,74 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = 1650,98 \text{ Kcal}$$

Calor latente de vaporización del agua a 93° C:

$$\lambda_{vaporizaci\acute{o}n} = \frac{Q_{latente}}{m_{vapor}} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$\lambda_{vaporizaci\acute{o}n} = \frac{1347,74 \text{ Kcal}}{1,66 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{vaporizaci\acute{o}n} = 811,89 \text{ Kcal/kg}$$

### 3.6.2.2 Balance de energía en el condensador

#### Caudal de agua refrigerante

Para conocer el caudal de agua que ingresa a la etapa de condensación se cronometró (3 veces) el tiempo requerido para el paso de 2000 ml de agua. Tiempo promedio 14,33 segundos.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{2000 \text{ ml}}{14,33 \text{ s}} = 139,57 \text{ ml/s}$$

#### Volumen de agua refrigerante

El dato del tiempo de refrigeración es igual al tiempo de calentamiento que es 27 minutos más el tiempo de extracción equivalente a 120 minutos.

$$V_{\text{agua refrigerante}} = \varphi_{\text{agua refrigerante}} * t_{\text{refrigeración}}$$

$$V_{\text{agua refrigerante}} = 139,57 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * 147 \text{ min} * \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$V_{\text{agua refrigerante}} = 1231007,4 \text{ ml}$$

El volumen de agua que se consume en el refrigerante es elevado ya que por cada extracción se consume 1231 L y en el tema de costos es bastante elevado, se recomienda emplear una recirculación de agua para disminuir el consumo y el costo de agua.

#### Masa de agua refrigerante

$$m_{\text{agua refrigerante}} = V_{\text{agua refrigerante}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua refrigerante}} = 1231007,4 \text{ ml} * 0,99886 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{agua refrigerante}} = 1229604,05 \text{ g} = 1229,60 \text{ kg}$$

#### Calor cedido

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

$$Q_{cedido} = Q_{latente} + Q_{sensible} \quad Ec. (3.12)$$

$$Q_{cedido} = m_{vapor} * \lambda_{vaporización} + m_{vapor} * Cp * (T_{condensado} - T_{vapor})$$

$$Q_{cedido} = 1,66 \text{ kg} * 876,84 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} + 1,66 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (20 - 93) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{cedido} = 1334,37 \text{ Kcal}$$

### Calor ganado

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

$$Q_{ganado} = m_{agua \text{ refrigeración}} * Cp * (T_{salida} - T_{entrada}) \quad Ec. (3.13)$$

$$Q_{ganado} = 1229,60 \text{ kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (18 - 17) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ganado} = 1229,60 \text{ Kcal}$$

### Porcentaje de transferencia de calor:

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{Q_{ganado}}{Q_{cedido}} * 100 \quad Ec. (3.14)$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{1229,60 \text{ Kcal}}{1334,37 \text{ Kcal}} * 100$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = 92,15 \%$$

La eficiencia del destilador es 92,15 % ya que existe una pérdida de calor en la torre de destilación y no se tiene una eficiencia del 100%.

### Volumen de combustible consumido:

**Estándar: 40% propano 60% butano**

Poder calorífico del gas GLP = 11440 kcal/kg

$$t_{total} = t_{calentamiento} + t_{extracción} \quad Ec. (3.15)$$

$$t_{total} = 0,45 \text{ h} + 2 \text{ h}$$

$$t_{total} = 2,45 \text{ h}$$

$$V_{comb} = \frac{P_{t\acute{e}rmica} * t_{total}}{poder\ calor\acute{f}ico} \quad Ec. (3.16)$$

$$V_{comb} = \frac{673,87 \frac{Kcal}{h} * 2,45 \text{ h}}{11440 \frac{Kcal}{kg}}$$

$$V_{comb} = 0,14 \text{ Kg Por extracci3n.}$$

En la tabla III-25 se presenta los resultados del balance de energa

**Tabla III- 25 Resultados del Balance de Energfa**

DATOS	VALOR	UNIDAD
Calor sensible	303,24	Kcal
Calor latente	1347,74	Kcal
Calor total	1650,98	Kcal
Calor latente de vaporizaci3n del agua a 93 °C	811,89	Kcal/kg
Calor cedido	1334,37	Kcal
Calor ganado	1229,60	kcal
% de transferencia de calor	92,15	%
Potencia t\acute{e}rmica	673,87	kcal/h
Volumen de combustible consumido por extracci3n	0,14	kg

Fuente: Elaboraci3n propia, 2021

### 3.7 Propuesta de Aplicaci3n del Aceite Esencial de Poleo

El aceite esencial de Poleo tiene gran variedad de aplicaciones en la industria, como se vio en el Cap. I Marco Te3rico; una de las aplicaciones es en la elaboraci3n de desinfectantes naturales, al tener propiedades antimicrobianas, antif\ungicas y antis\epicos hacen de este aceite ideal para la fabricaci3n de un desinfectante.

Se prepara adicionando a un recipiente 700 ml de Etanol al 70%, 300 ml de agua para reducir la concentraci3n del alcohol y finalmente se a\ñade el aceite esencial teniendo en cuenta las cantidades permitidas del aceite que equivale a 0,1 g del mismo como se

explicó en el punto de efectos y contraindicaciones del aceite esencial de Poleo en el Cap. I Marco Teórico. Se mueve la mezcla y se la vierte en un atomizador spray.

El producto final es un desinfectante natural con aroma agradable.

**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 Poleo por el método de arrastre con vapor utilizando el equipo de extracción perteneciente al laboratorio de operaciones unitarias.
- Para la caracterización de la materia prima se acudió al herbario universitario para obtener la taxonomía, la hoja de Poleo en el departamento de Tarija tiene forma lanceolada, ligeramente dentadas y alargadas de textura suave, blanda con aroma fresco a menta, se determinó el porcentaje de humedad que tienen las hojas de Poleo a pocas horas de ser cosechadas y de las hojas secas después de 15 días al ambiente este análisis se realizó utilizando el analizador infrarrojo SARTORIUS 100, dando como resultado 77,81% en materia fresca y 11,48% en materia seca
- Se determinó como variables de operación para la extracción del aceite esencial de hojas de Poleo la masa (g) y el tamaño de partícula (cm), que influyen directamente sobre el rendimiento expresado en volumen de aceite esencial. La cantidad de masa a utilizar es de 100 g, 200 g y 300 g y un tamaño de partícula de 0,5 cm, 1 cm y 2 cm un tiempo de extracción de 120 min.
- El equipo opera bajo las siguientes condiciones: presión atmosférica y a una temperatura constante de 93°C con una carga de hojas de Poleo repartida en tres canastillos puestos uno sobre otros; se usa una potencia media de la hornalla conectada a una garrafa (GLP). Los vapores provenientes de la cámara se enfrían en el condensador, y se recibe el aceite esencial a una temperatura de 20 °C
- Los mayores rendimientos del aceite esencial de Poleo se obtuvieron con masas de 300 g alcanzando un 0,66 % mientras que el menor rendimiento es de 0,60 % con una masa de 100 g. con esto se concluye que mientras se tenga una mayor cantidad de masa en los canastillos de extracción, se obtiene un mayor rendimiento siendo

la masa proporcional a este. Usando partículas de 0,5 cm se tiene un rendimiento de 0,66 %, con partículas de 1 cm se tiene 0,62 % y con 2 cm un rendimiento de 0,59 %. Lo cual indica que a menor tamaño de la muestra mayor es el rendimiento, ya que mayor será el área de contacto entre las hojas de poleo y el vapor de agua ayudando a que las glándulas se rompan con mayor facilidad lo que conduce a que se obtenga mayores concentraciones de aceite esencial.

- El aceite obtenido tiene un color amarillo claro, olor a mentolado, fresco, picante, dulce y aspecto limpio, transparente, resultados que coinciden con los de bibliografía, por lo que se concluye que el aceite de Tarija cumple con las características propias del aceite esencial de Poleo.
- La densidad del aceite es de 0.9270 g/ml y el índice de refracción es de 1.4788; comparándolos con los datos de bibliografía se determina que se encuentran dentro de los rangos.
- Dentro del análisis del perfil cromatográfico de gases, se determina la composición química del aceite esencial del cual presenta los siguientes componentes en abundancia: Pulegona con 92,05 %, Mentona 4,33 % y Limoneno 3,62 %.

El aceite esencial de Poleo se caracteriza por tener un alto porcentaje de Pulegona de hasta un 96 %, por lo que se concluye que el aceite esencial obtenido tiene la composición química característica para este tipo de aceite.

## 4.2 Recomendaciones

- En esta investigación se demuestra de acuerdo a lo obtenido en el desarrollo del presente proyecto resultados satisfactorios en cantidad y calidad de aceite, sin embargo, estos resultados son a escala experimental; sin embargo, no existe una producción en Bolivia por lo que se recomienda realizar estudios de mercado para este aceite ya que este tiene muchas aplicaciones y usos industriales, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.
- Durante el proceso de extracción de aceite esencial en la etapa de condensación el agua de refrigeración debe trabajar con temperaturas inferiores a la del ambiente con el fin de tener una condensación óptima de la mezcla vapor-aceite ya que los aceites son muy volátiles.
- Durante la extracción de aceite esencial se debe verificar que en la torre de destilación no se presenten fugas de vapor ya que afectaría el rendimiento en el proceso.
- Para disminuir el consumo de agua y/o evitar la pérdida excesiva de este recurso, 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,
- Implementación de un caldero para la generación de vapor al sistema de extracción por arrastre con vapor de agua y evaluar la influencia en el rendimiento a distintos niveles presión.
- Realizar la extracción del aceite del Poleo por otros métodos para poder ver la diferencia de su rendimiento y caracterización.
- Debido a la gran cantidad de hidrolato obtenido, esta puede ser comercializada para diferentes aplicaciones, por ejemplo: para su uso en ambientadores, debido al olor a menta agradable y fresco que tiene.