



**CAPITULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas de base lipídica encontradas prácticamente en todas las plantas; son muy numerosos y están ampliamente distribuidos en las distintas partes de la planta: raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Los aceites esenciales son componentes heterogéneos de terpenos, sesquiterpenos, ácidos, ésteres, fenoles, lactonas; separables por métodos químicos o físicos, como la destilación, la refrigeración, la centrifugación, entre otros (Vásquez et al., 2001)

##### 1.1.1. Clasificación de los Aceites Esenciales

La clasificación de los aceites esenciales está basada en función a diferentes criterios los cuales son la consistencia, origen y naturaleza química.

##### 1.1.1.1. Origen de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales se pueden clasificar según su origen, como:

- **Naturales:** se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas; su rendimiento es bajo por lo que tienen costos muy altos.
- **Artificiales:** se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecida con linalol o la esencia de anís enriquecida con anetol. (Guillermo E. Arias M., 2014)
- **Sintéticos:** son mezclas de varios productos obtenidos mediante procesos químicos. Son más económicos y por lo tanto son muy utilizados en la preparación de sustancias aromatizantes y saborizantes, como esencias de vainilla, limón, fresa, etc.

##### 1.1.1.2. Consistencia de los Aceites Esenciales

De acuerdo a su consistencia, los aceites esenciales se pueden clasificar en:

- **Bálsamos:** son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización. (Guillermo E. Arias M., 2014)
- **Esencias:** son líquidos a temperatura ambiente.
- **Resinas:** son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja de origen fisiológico o fisiopatológico. Por ejemplo, la colofonia, obtenida por separación de la oleoresina trementina conteniendo ácidos abióticos y derivados.

### 1.1.2. Análisis Físicoquímicos de un Aceite Esencial

Entre los análisis físicoquímicos más importantes que se deben realizar a un aceite esencial, en este caso aceite esencial de lavanda, 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).

- **Análisis Organoléptico:** 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.
- **Rotación Óptica:** es la propiedad que presentan algunas sustancias líquidas o solutos en solución, de rotar el plano de polarización de la luz polarizada que incide sobre la misma (FARMACOPEA MERCOSUR, 2014).

## 1.2. 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).

### Tabla I – 1

**Rendimiento de Aceite Esencial de Lavanda Obtenido Mediante Hidrodestilación en Laboratorio de la Especie *Lavandula Angustifolia* en los Años 2 y 5 de Cultivo**

<b>Año De Cultivo</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
Rendimiento de aceite esencial por hidrodestilación (mL de aceite/100 g de peso seco)	3.35 – 3.45	3.65 – 4.00

**Fuente:** David Herraiz. et al, 2013

### **1.3. ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA**

El aceite esencial de lavanda se obtiene a partir de las flores o sumidades floridas de las plantas que pertenecen al género *Lavandula*, su principal constituyente es el “linalol”, en estado libre del 30 al 40 % y bajo la forma de compuesto en los ácidos acético, butílico, valeriánico, y caproico. Además, está comprobada la presencia de limoneno, alfa – pineno, cariofileno, geraniol, nerol, y cineol, ésteres en pequeña proporción. Por tanto, se puede decir que posee abundancia de ésteres (Adolfo Marey, 1949).

Es un líquido oleoso aromático, y es un compuesto biosintetizado en un órgano de la planta de lavanda como metabolito secundario; es decir, sus flores. Pueden ser extraídos por diferentes métodos, pero el más utilizado es la destilación por arrastre con vapor. Es un producto que se utiliza como base en la cosmetología, medicina y terapias alternativas.

El rendimiento del aceite esencial de lavanda con respecto a las flores, depende de la naturaleza del suelo, la madurez de las flores, la estación, el momento de recolección, etc. (Adolfo Marey, 1949).

#### **1.3.1. Aplicaciones y Usos del Aceite Esencial de Lavanda**

El aceite esencial de lavanda es el aceite más conocido en todo el mundo. Las flores de lavanda son las más utilizadas por su agradable aroma y diferentes propiedades. Se puede encontrar como base en la elaboración de los siguientes productos:

- Lociones Corporales
- Colonias
- Perfumes
- Geles
- Cremas para la piel
- Jabones
- Productos para baño
- Aceites para bebés
- Píldoras Tranquilizantes
- Medicamentos Tópicos: crema, lociones, ungüentos
- Líquidos limpia pisos
- Ambientadores
- Productos Veterinarios
- Conservantes de pinturas artísticas

### **1.3.2. Beneficios del Aceite Esencial de Lavanda**

El aceite esencial de lavanda es rico en alcoholes y en esteres, por lo que resulta útil a la hora de combatir enfermedades tales como la depresión, ansiedad, y estrés ya que ayuda a relajar la mente, resultando interesante su aplicación en momentos de mayor tensión. También es muy útil para personas muy nerviosas o inquietas debido a que contrarresta los efectos gracias a sus propiedades sedantes.

En la piel, el aceite esencial de lavanda se destaca por ser un gran regenerador de las células cutáneas; es muy usado para combatir el acné, pieles deshidratadas y agredidas, así como también para pieles sensibles.

Por otro lado, este aceite también produce efectos anti-inflamatorios por lo que es utilizado como un método para tratar quemaduras, inflamaciones, soriasis y heridas.

### 1.3.3. Composición Química del Aceite Esencial de Lavanda

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.

**Tabla I – 2**

#### **Rangos de Algunos Componentes de un Aceite Esencial de Lavanda de Calidad**

<b>Componente</b>	<b>Rango % (Norma ISO 3515)</b>
Linalol	25 – 38
Acetato de Linalilo	25 – 45
Alcanfor	Máx. 0.5
Terpinen-4-ol	2 – 6
Acetato de Lavandulilo	Mín. 2
Lavandulol	Mín. 0.3
Limoneno	Máx. 0.5

**Fuente:** Manuel Vergara, 2005

### 1.3.4. Propiedades Químicas y Físicas del Aceite Esencial de Lavanda

Tabla I – 3

#### Propiedades Físicas y Químicas

Aceite Esencial de Lavanda			
Código CAS	8000-28-0 / 90063-37-9	Punto de Inflamación (°C)	65 – 76
Estado Físico	Líquido	pH	-
Color	Amarillo Claro	Punto de Ebullición (°C)	185 – 188
Olor	Característico, herbáceo, fresco	Presión de Vapor (hPa a 20 °C)	0.1
Peso Específico	0.8854	Rotación Óptica	-12° / + 2°
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.88	Índice de Refracción (a 20 °C)	1.45 – 1.47
Acidez (en ácido acético por litro de agua recogida durante la destilación) (g)	0.4716	Esteres (%)	40.4

**Fuente:** Plant Be, 2019; Adolfo Marey, 1949

La acidez disminuye en el curso del desarrollo, la proporción de alcohol libre y de linalol total disminuye en la esencia hasta el completo desarrollo de la flor, mientras que la proporción de éster aumenta, después cuando las flores están marchitas el aceite se enriquece en linalol y reduce el contenido del éster. Con esto se comprueba que los ésteres se originan por acción directa del ácido sobre el alcohol; durante el desarrollo parte del linalol es esterificado y parte es deshidratado formándose terpenos (Adolfo Marey, 1949).

### 1.3.5. Ficha de Seguridad del Aceite Esencial de Lavanda

La intoxicación por un uso o consumo inapropiado / indebido de aceites esenciales es posible y se recomienda mucha prudencia al respecto. Unos pocos mililitros de aceite esencial poseen una concentración de principios activos y otras sustancias equivalentes a muchos kilogramos de la planta en su estado original natural. Se debe mantener fuera del alcance de los niños (Plant Be, 2019).

**Tabla I – 4**

#### Ficha de Seguridad del Aceite Esencial de Lavanda

<b>Identificación del Producto</b>	Aceite Esencial de Lavanda
<b>Identificación del Tipo</b>	Lavandula Angustifolia
<b>Origen</b>	España
<b>Grado/Categoría</b>	Terapéutico/ Farmacéutico
<b>Consumo Interno</b>	Prescripción Facultativa
<b>Uso Alimentario</b>	Producto potencialmente apto como aditivo alimentario de uso industrial/ profesional
<b>Oral</b>	No apto. Prescripción Facultativa
<b>Tópico</b>	Apto
<b>Difusor</b>	Apto
<b>Niños</b>	Apto. No usar los primeros 3 meses de embarazo
<b>Uso Alimentario</b>	Solo profesionales – Usar con precaución

**Fuente:** Plant Be, 2019

## **1.4. USOS DE LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DE LA DESTILACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA**

### **1.4.1. Hidrolatos**

También reciben en el nombre de agua floral, aguas aromáticas, hidrosoles, entre otros. Son aguas vegetales, es decir producto de la destilación y se pueden considerar extractos parciales de las plantas de las que derivan (IFA,2020).

Los hidrolatos contienen numerosas sustancias valiosas solubles en agua, así como pequeñas cantidades de aceite, del 0,02% al 0,5%. Por lo tanto, los hidrolatos, incluido el hidrolato de lavanda, tienen efectos sedantes, además de efectos refrescantes y se utilizan en el tratamiento del insomnio y el dolor de cabeza; el hidrolato de lavanda tiene efectos beneficiosos sobre la piel y se utiliza en el tratamiento de enfermedades de la piel y quemaduras (Stanojević et al. 2011).

### **1.4.2. Residuos de Materia Prima**

Los residuos de la materia prima que quedan en la torre de destilación también poseen un olor particular a la flor, ya que se considera que aún quedan trazas de aceite esencial, haciéndolo recomendable como abono orgánico.

Los aceites esenciales se utilizan en la agricultura con propósito de combatir los patógenos vegetales como *Botrytis cinerea* (Thanassoulopoulos y Laidou 1997; Reddy y col. 1998; Pavela 2005) o *Rhizopus stolonifer* (Reddy et al. 1998). El aceite esencial de *Lavandula Angustifolia* ofrece una alternativa al herbicida sintético ya que inhibe la germinación de *Xanthium strumarium L.* Los ingredientes de los aceites de lavanda como la cumarina y la 7-metoxicumarina muestran fuertes efectos fitotóxicos sobre el raigrás anual (*Lolium rigidum*) (Stanojević et al. 2011).

## **1.5. MERCADO DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA**

Para las plantas aromáticas existe una falta de información detallada, como estadísticas sobre el volumen de producción y consumo, valores en las importaciones y exportaciones. Los datos son siempre estimaciones y ponderaciones sobre la base de la información esporádica y parcial. Por esta razón, se encuentra información muy variada y poco estandarizada (Forero-Peñezuela et. al, 2017).

Una de las principales causas de este fenómeno, es que la mayor parte de la producción de especies aromáticas proviene de países en vías de desarrollo, donde la información económica tiende a ser ocasional e incompleta. En las aduanas muchos de estos productos aparecen agrupados o mezclados, y no se encuentran separados por especie o producto, por lo que dificulta la diferenciación precisa de las cantidades en la que cada aceite esencial está presente (Forero-Peñezuela et. al, 2017).

Se estima que el 75% de la producción mundial de aceites esenciales se derivan de especies perennes leñosas, y más de la mitad de esta producción son cítricos. El 25% restante proviene de especies herbáceas, y hay una pequeña contribución de las especies silvestres, que no llega a más del 1 o 2%. A nivel mundial, diez aceites esenciales representan el 85% del mercado: naranja, limón, menta, citronela-de-java, cedro, eucalipto, especies con citral como may chang y limonaria, lavanda, lavandín y pinos (Forero-Peñezuela et. al, 2017).

En relación a las importaciones mundiales de aceite esencial, en la tabla I-5, se expresan el valor de los montos importados por los principales países en los últimos cinco años.

### 1.5.1. Mercado Consumidor del Aceite Esencial de Lavanda

**Tabla I-5**

#### Principales Países Importadores por Año de Aceite Esencial de Lavanda

<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Monto (\$us Miles)</b>
2014	Marruecos	49.00
	Barbados	28.30
	Filipinas	23.30
	Japón	3.49
2015	Barbados	30.80
	Japón	22.30
	Filipinas	4.70
	Kwait	2.14
2016	Barbados	19.50
	Filipinas	9.19
	Singapur	3.90
2017	Barbados	13.10
2018	Barbados	22.70

**Fuente:** Observatory of Economic Complexity, 2018

Según los montos de dinero indicados para cada país durante el año 2014, Marruecos es el mayor importador de aceite esencial de lavanda. Sin embargo, en los siguientes años se puede observar que el mayor importador es Barbados, llegando a ser el único que tiene participación en los dos últimos años.

### 1.5.1.1. Importaciones de Aceites Esenciales en Bolivia

De acuerdo a la investigación realizada, no existen datos de importación específicamente para aceite esencial de lavanda en Bolivia, sin embargo, si existen datos de importaciones de aceites esenciales en general.

En la tabla I- 6 se presenta el valor de las importaciones de aceites esenciales por año en Bolivia.

**Tabla I- 6**

#### Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia

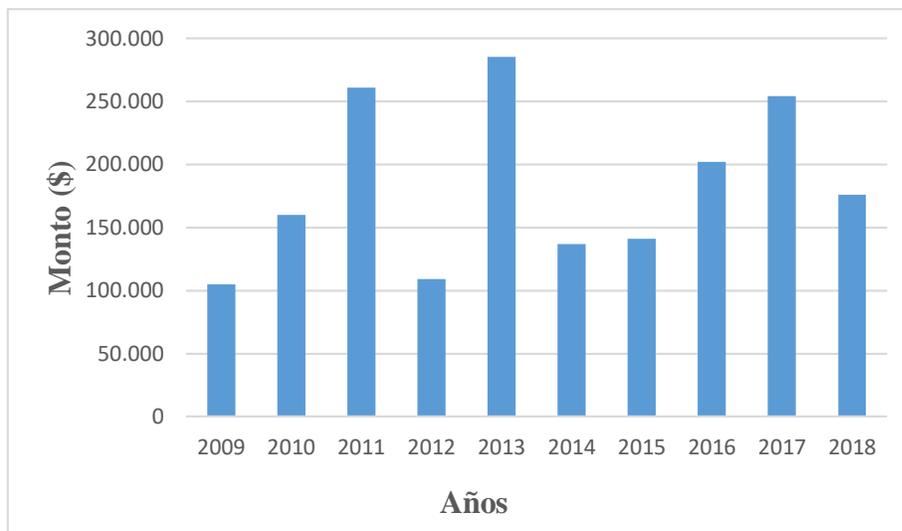
Año	Monto (\$us Miles)
2009	105.00
2010	160.00
2011	261.00
2012	109.00
2013	285.00
2014	137.00
2015	141.00
2016	202.00
2017	254.00
2018	176.00

**Fuente:** Observatory of Economic Complexity, 2018

Con los datos indicados, en 2018, Bolivia tenía un monto de \$ 176 000 como valor de las importaciones de aceites esenciales. Asimismo, presenta un mayor monto en el año 2013. A partir del cual se observa una disminución, la cual puede atribuirse a la elaboración de aceites esenciales de forma artesanal.

Gráfico 1-1

## Evolución del Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia



**Fuente:** Observatory of Economic Complexity, 2018

A partir de los datos anteriormente mostrados, se realizó una proyección del valor de las importaciones de aceites esenciales por año en Bolivia para los siguientes diez años, mediante el método de proyección de la Tasa Promedio, aplicando la siguiente relación:

$$M_n = M_o (1 + i)^n$$

Donde:

$M_n$  = Monto del año proyectado

$M_o$  = Monto inicial

$i$  = Variación porcentual (obtenido de la suma algebraica de las variaciones porcentuales dividido entre los años de variación)

$n$  = Años para la proyección

Por ejemplo, cálculo para la proyección del año 2019:

$$M_{2019} = M_{2018} (1 + 0.23)^1$$

$$M_{2019} = 176\ 000 (1 + 0.23)^1 = 216\ 480 \$$$

Así sucesivamente se puede calcular la proyección para los siguientes, obteniéndose la siguiente tabla I-7.

**Tabla I-7**

**Proyección Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia**

<b>Años</b>	<b>Monto Proyectado (\$)</b>
2019	216 480
2020	266 270
2021	327 513
2022	402 840
2023	495 494
2024	609 457
2025	749 633
2026	922 048
2027	1 134 119
2028	1 394 966

**Fuente:** Elaboración Propia,2020

Los montos proyectados indican que Bolivia, en 2028, tendría un valor de importaciones de aceites esenciales de \$ 1 394 966; lo que significa un aumento en la demanda de estos productos.

**1.5.2. Mercado Competidor de Aceite Esencial de Lavanda**

En lo que respecta al mercado competidor del aceite esencial de lavanda, en la tabla I-8 se muestra la lista de los principales países exportadores por año a nivel mundial.

**Tabla I-8**

**Principales Países Exportadores por Año de Aceite Esencial de Lavanda**

<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Monto (\$us Miles)</b>
2014	Francia	28.00
	España	26.00
	Estados Unidos	15.40
	India	13.40
	Alemania	4.31
2015	Filipinas	24.40
	Reino Unido	15.50
	Estados Unidos	15.10
	Suiza	4.90
2016	Reino Unido	15.70
	Estados Unidos	9.58
	Filipinas	3.90
	Suiza	3.33
2017	Estados Unidos	6.89
	Suiza	3.50
	Reino Unido	2.71
2018	Estados Unidos	11.40
	Reino Unido	11.30

**Fuente:** Observatory of Economic Complexity, 2018

De los montos de dinero indicados para cada país, mismos que representan el valor de las exportaciones, en el año 2018, Estados Unidos fue el mayor exportador de aceite esencial de lavanda.

La variabilidad de año a año está influenciada por problemas en el cultivo de la materia prima para la producción de aceite esencial de lavanda, debido a diferentes tipos de plagas. Sin embargo, de acuerdo a la investigación realizada, Estados Unidos lidera como exportador de aceite esencial de lavanda debido a que compra la materia prima de otros países como Bulgaria que cuenta con grandes cultivos de flores de lavanda actualmente (Enion Bonchev, 2021).

#### **1.5.2.1. Evolución de la Industria de Aceites Esenciales en Bolivia**

La evolución de aceites esenciales en Bolivia arranca con el programa Agroquímico en el año 1983 con investigaciones relacionadas al aprovechamiento de los recursos vegetales existentes localmente con el fin de obtener aceites esenciales. Se detecta que la producción, en comparación a otro tipo de productos agroindustriales, ofrece algunas ventajas (SAIPA, 1996).

- Posibilidad de incorporar a los agricultores a las etapas primarias de los procesos, permaneciendo de esta manera parte del valor agregado generado en áreas rurales.
- Oferta de productores no perecibles con alto valor por unidad de peso, que tengan por este motivo posibilidades de acceder a mercados alejados.
- Perspectivas favorables por la demanda mundial, por lo general ascendente de productos naturales.

Bolivia en el año 2018 genera \$ 1 650 millones según datos del Observatory of Economic Complexity, exportando aceite esencial. El principal mercado es EE. UU 43,6%, de la producción de aceites esenciales, le sigue Irlanda 32,8%, Países Bajos 22,5%, Francia 1%.

Tabla I-9

## Valores de Exportaciones por Año de Aceites Esenciales en Bolivia

Año	Monto (\$us Millones)
2018	1.65
2017	2.87
2016	4.11
2015	4.57
2014	3.58
2013	2.86
2012	1.08
2011	2.47
2010	3.54
2009	2.02

Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2018

### 1.6. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA LAVANDA (*LAVANDULA ANGUSTIFOLIA*)

Las flores o sumidades floridas de las plantas que pertenecen al género *Lavandula* son hierbas perennes, sub – arbustivas o arbustivas con hojas numerosas en la base. Las flores se encuentran en espigas de cimas y cada cima tiene de una a cinco flores, las espigas cilíndricas, con brácteas frecuentemente imbricadas y a veces apenas superando el cáliz de forma tubuloso ovoideo, es dentado presentando cuatro dientes más o menos iguales, o dos anteriores más angostas. (Adolfo Marey, 1949)

La flor de lavanda crece en terrenos ricos en cretas y arcillas en las laderas de las montañas. Son plantas de origen europeo, de la región mediterránea, crecen en forma abundante en los Alpes Bajos de Dauphiné y Cevennes, en las montañas de Liguria

Etruria y varios otros lugares. De estas regiones fue llevada a Inglaterra, desarrollándose grandes cultivos en Mitchan, Ampthill, y Canterbury. (Adolfo Marey, 1949)

En América su cultivo no se realiza a gran escala, pero es posible en regiones de clima templado y de buena altura, en la República Argentina se cultiva con finalidades industriales desde el año 1939 en San Rafael y Tuyunán (Mendoza), en Río Negro y en la provincia de Buenos Aires.

### 1.6.1. Taxonomía

**Tabla I – 10**

**Clasificación Taxonómica**

<b>Reino</b>	Vegetal.
<b>Phylum</b>	Telemophytae.
<b>División</b>	Tracheophytae.
<b>Subdivisión</b>	Anthophyta.
<b>Clase</b>	Angiospermae.
<b>Subclase</b>	Dicotyledoneae
<b>Grado Evolutivo</b>	Tetracíclicos
<b>Grupo de Ordenes</b>	Escrophulariales
<b>Orden</b>	Escrophulariales
<b>Familia</b>	Labiatae
<b>Nombre científico</b>	Lavandula sp.
<b>Nombre común</b>	Lavandula

**Fuente:** Herbario UAJMS, 2021.

### 1.6.2. Composición Química de la Flor de Lavanda (*Lavandula agustifolia*)

El contenido de agua de la mayoría de las plantas aromáticas y medicinales frescas oscila entre el 60 % y el 80 % (Dossier Técnico, 2006). En cuanto a la composición de las flores de lavanda, se puede apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla I – 11**

**Composición Química de la Flor de Lavanda**

<b>Alcoholes Terpénicos Libres (30 – 40 %)</b>	<b>Ésteres de Linalol (35 % de la esencia)</b>	<b>Aceite Esencial (0.8 % en la planta fresca)</b>	<b>Derivados Terpénicos (1%)</b>
Linalol	Acetato	Carbuos Terpénicos	Ácido Ursólico
Borneol	Butirato	Ocimeno	Cumarina
		Diterpeno	Ácido Cumárico
		Camfeno	Ésteres de Umbeliferona
		Cariofileno	Cedreno
		Geraniol	Luteolina
			Ácido Labiático

**Fuente:** Leejaewhan, 2014

### 1.6.3. Tipos de Lavanda

Actualmente existe alrededor de 35 especies de lavanda y más de 100 variedades de la misma, las cuales muestran diferencias en hábitos de crecimiento, caracteres morfológicos, incluyendo la forma de la hoja, distribución de las flores, los verticilos y composición química.

Se pueden clasificar en tres principales variedades: espliego, lavanda y lavandín

#### 1.6.3.1. Espliego

El espliego (*lavandula latifolia*) es una especie mediterránea, la cual es una planta silvestre procedente de Europa. Es un arbusto con tallos florales ramificados y más largos que los de la lavanda fina o verdadera (*lavandula angustifolia*); las flores son más pálidas y las hojas más largas y anchas que las de la lavanda verdadera. Se cultiva aproximadamente entre los 700 y 1000 metros de altura, bajo un clima mediterráneo semiárido de inviernos fríos y veranos secos. El espliego vive sobre suelos calizos, pobres en materia orgánica, pedregosos, secos y que drenen bien. Esta especie se puede multiplicar por esqueje y por semilla, por lo cual su recolección se recomienda hacer durante a mediados del mes de agosto, cuando se encuentra en plena floración. Esta especie es utilizada fundamentalmente para la obtención de su aceite esencial sobre todo en el Sistema Ibérico y en las Sierras Béticas.

**Figura 1 – 1**

#### **Espliego (*Lavandula Latiofila*)**



**Fuente:** Infoagro, s.f.

### 1.6.3.2. Lavanda

La lavanda (*lavandula angustifolia*, antes conocida como *lavandula officinalis*), también conocida como lavanda verdadera, fina o lavanda inglesa. Es un arbusto perenne el cual es nativo del sur de Europa y la zona mediterránea, donde se cultiva ampliamente. Su periodo de floración es correspondiente a los meses de junio a julio y nace espontáneamente en altitudes aproximadamente de 500 a 1800 m. de altura. La lavanda crece en suelos de tipo pedregoso, terrazas fluviales, arenosas, matorrales secos o claros de encinares o pinares en sustratos calizos o arenosos. Este arbusto tiene hojas lineales, estrechas de verde pálido con llamativas flores de azul – violeta. El uso de esta planta se ha incrementado en los últimos años debido a su agradable aroma y a las diversas propiedades de su aceite esencial.

**Figura 1 – 2**

#### **Lavanda (*Lavandula Angustifolia*)**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 1.6.3.3. Lavandín

Es considerado el híbrido natural y estéril de la lavanda y el espliego, es denominado como lavandín ó lavanda holandesa (*lavandula x intermedia*, también *lavandula*

*hybrida*). En el lugar donde coexisten las dos especies de lavanda se produce su cruzamiento. El lavandín es un arbusto aromático, más vigoroso y productivo que las especies que le dan lugar. La forma de esta planta es más desarrollada y en forma de bola. Los tallos florales tienen un largo aproximado de 60 a 80 cm y la espiga es grande, puntiaguda y de color violeta y se caracteriza por poseer dos espiguillas laterales situadas en la base. El lavandín contiene un alto rendimiento de aceite esencial, aunque su esencia es menos valorada por la industria de perfumes. Los lavandines se clasifican en varias especies las cuales se diferencian principalmente por estar mejor adaptados de acuerdo al tipo de suelos.

**Figura 1 – 3**

**Lavandín (*Lavandula x Intermedia*)**



**Fuente:** DECLÉOR, 2020

### **1.7. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL A PARTIR DE FLORES DE LAVANDA**

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

### **1.7.1. Extracción con Disolventes Orgánicos**

En el método de extracción con disolventes volátiles, la muestra seca y molida se pone en contacto con disolventes orgánicos tales como alcohol y cloroformo, entre otros.

Estos disolventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniendo al final una oleoresina o un extracto impuro. Se utiliza a escala de laboratorio porque a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los disolventes, porque se obtienen esencias contaminadas con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos disolventes orgánicos volátiles, (Peredo L.H.A y Col., 2009).

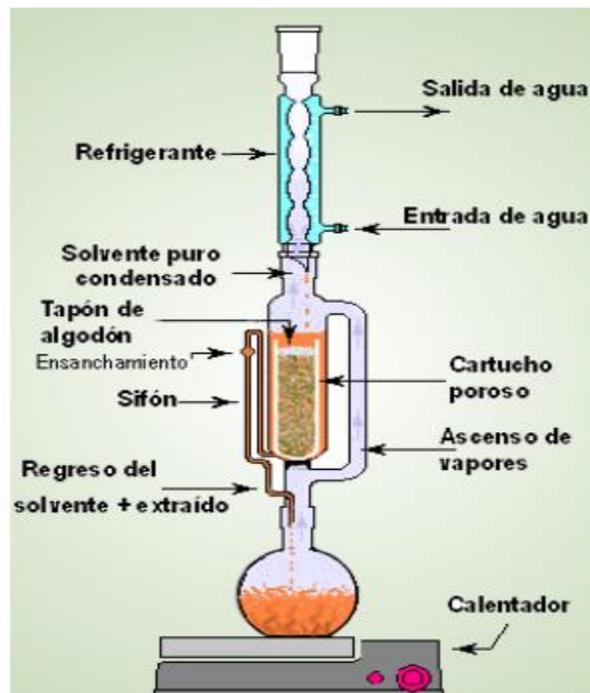
Algunos disolventes utilizados en este método de extracción tienen restricciones en cuanto a los residuos máximos que pueden dejarse cuando los aceites esenciales son la materia prima en las industrias de los perfumes o alimentos. Estos límites varían de acuerdo a las diferentes legislaciones. Los disolventes derivados del petróleo, como éter di etílico, ciclo hexano, hexano, acetato de metilo, propanol, etc., son tóxicos al inhalarlos y al contacto con la piel, y dependiendo del tiempo de exposición será la gravedad de los efectos. Los extractos obtenidos con este tipo de disolventes suelen ser más oscuros, ya que llegan a arrastrar algunos pigmentos, su solubilidad en alcohol diluido es menor y se recuperan muchos compuestos de tipo aromático. El disolvente con el aceite esencial se filtra y se evapora a presión atmosférica y/o vacía. Los restos de disolvente deben separarse a temperatura baja. (Peredo L.H.A y Col., 2009).

En este tipo de procedimientos se obtienen masas viscosas, según la materia prima, que contienen el aceite esencial, grandes cantidades de ceras, resinas y pigmentos, que se eliminan realizando extracciones con alcohol, enfriando a  $-13^{\circ}\text{C}$ , filtrando y evaporando el alcohol. Los métodos más usados a nivel laboratorio son extracción por reflujo y mediante equipo Soxhlet. Otro tipo de extracción por disolventes mayormente usada a nivel laboratorio, es la maceración o extracción alcohólica, en la cual la materia orgánica reposa en soluciones de alcohol por periodos de tiempo definidos. Los aceites esenciales son recuperados evaporando el alcohol, generalmente en rota-vapores.

La extracción con disolventes tiene importantes desventajas. Además de que requiere de periodos de tiempo relativamente largos, los aceites esenciales obtenidos contienen trazas de los disolventes utilizados; limitando su uso en la industria de los alimentos, la industria cosmética o farmacéutica, (Peredo L.H.A y Col., 2009).

**Figura 1 – 4**

**Método de Extracción con Disolventes Orgánicos (Soxhlet)**



**Fuente:** Carlos Núñez, 2008

**1.7.2. Enfleurage o Maceración**

En este método se utiliza las grasas naturales con puntos de ablandamiento alrededor de 40 °C normalmente manteca de cerdo refinada, blanqueada y desodorizada. Se extiende en bandejas “chasís” en profundidad y sobre ellas se colocan los pétalos de flores desde donde se van a extraer los principios odoríficos. El contacto dura aproximadamente entre 3 a 5 días, luego el material vegetal es retirado y reemplazado por uno fresco; esta operación se repite hasta obtener la saturación de la grasa. Seguidamente la grasa impregnada se lava con alcohol libre de congéneres (alcohol de perfumería), el alcohol se filtra y se destila al vacío hasta recuperar un 80 % del

volumen de alcohol como mínimo. El residuo que queda en el fondo es llamado absoluto.

### **Figura 1 – 5**

#### **Método de Enfleurage**



**Fuente:** Passion Provence, 2020

#### **1.7.3. Extracción con Dióxido de Carbono en Condiciones Supercríticas**

La extracción con dióxido de carbono supercrítico combina los mejores aspectos de la destilación con vapor de agua y la extracción con solventes derivados del petróleo. Cuando el CO<sub>2</sub> es puesto bajo presiones elevadas de por lo menos 72.9 atm y temperatura tan bajas como 31.1°C, se convierte en un fluido supercrítico con las propiedades de permeabilidad de un gas, pero con las propiedades de solvatación de un líquido.

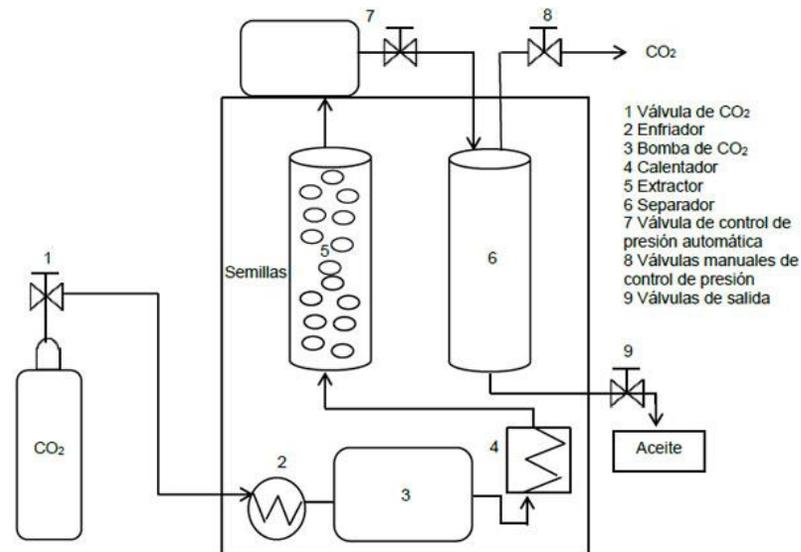
En consecuencia, este proceso extrae una gama más amplia de compuestos aromáticos volátiles que no se ven afectados por el calor ni interactúan químicamente con el CO<sub>2</sub> inerte. Luego de sumergir la materia vegetal en el gas licuado, este se devuelve a condiciones de presión atmosférica retornando a su estado gaseoso, (Alejandro Foronda, 2003).

Es una técnica de extracción en la que no se usa disolventes, rápida, casi sin pérdidas y que se puede acoplar a cromatografía de gases. Las desventajas son el alto costo, la

fragilidad de la fibra y la limitación a muestras líquidas o compuestos volátiles, (José Reyes, 2018).

**Figura 1 – 6**

**Esquema de Extracción con CO<sub>2</sub> en Condiciones Supercríticas**



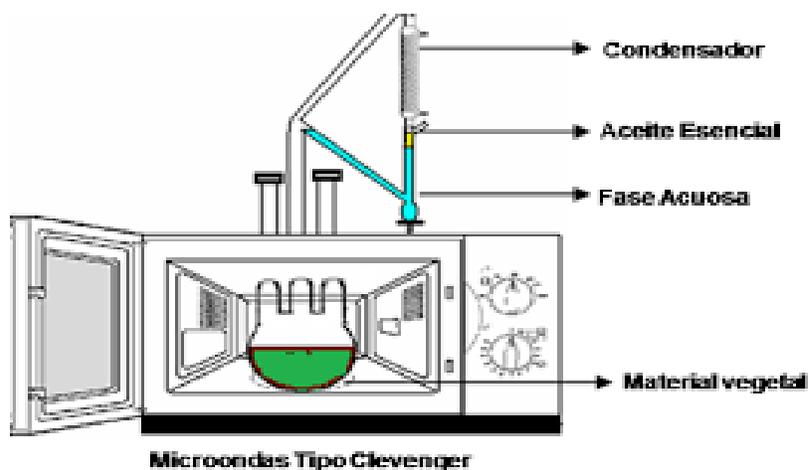
**Fuente:** Ana Pantoja, et. al, 2017

**1.7.4. Extracción Asistida por Radiación de Microondas**

Es un método que se ha ido desarrollando en los últimos años, el cual consiste en sumergir el material vegetal en un medio disolvente y utilizar la radiación de microondas, que causan movimientos de moléculas por migración de iones y rotación de dipolos, lo que permite un rápido calentamiento del agua contenida en el material vegetal, debido a la presión de vapor generada por este calentamiento se rompen las estructuras celulares, que contienen la esencia, la cual migra hacia el disolvente (Edison López, 2009).

**Figura 1 – 7**

**Método de Extracción Asistida por Radiación de Microondas**



**Fuente:** Tapiero – Cuellar, J.L. s.f.

### 1.7.5. Destilación por Arrastre con Vapor

La destilación por arrastre con vapor de agua es el método más utilizado para la extracción de aceite esenciales actualmente. Este, es un proceso de separación en el cual se utiliza el vapor de agua para vaporizar los componentes volátiles de la materia vegetal.

El procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de vapor a través de la materia prima, para que de esa manera arrastre consigo los aceites esenciales. Seguidamente, estos vapores se enfrían y condensan, dando lugar al destilado líquido formado por dos fases inmiscibles, la acuosa y la orgánica, la cual es el aceite esencial. Las mismas se pueden separar mediante decantación, debido a la diferencia de densidad que existe entre ambas.

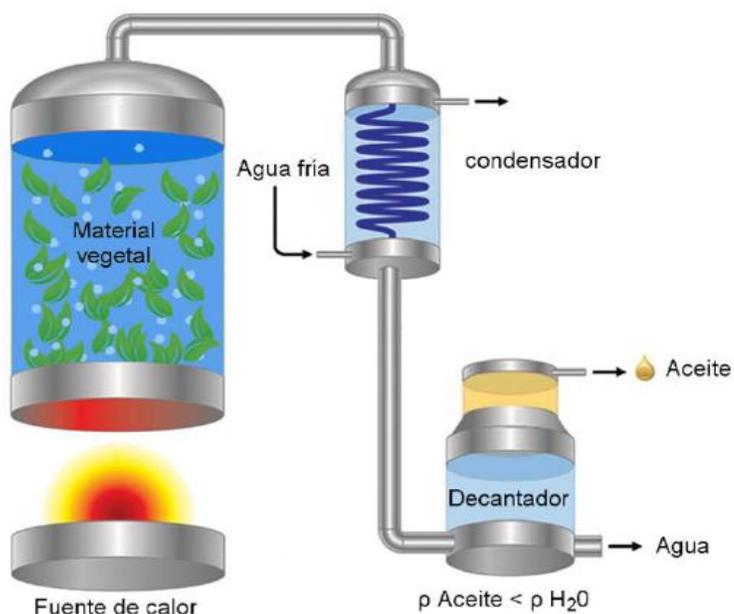
Se pueden diferenciar tres tipos de destilación: hidrodestilación o destilación con agua, destilación por arrastre con vapor de agua y destilación con vapor saturado o con agua y vapor. Desde el punto de vista teórico son similares, pese a eso existen diferencias en cuanto a la práctica y resultados que se obtienen, a causa de algunas reacciones que se dan lugar durante la destilación.

Las diferencias fundamentales entre los tres tipos, son la disposición de la materia vegetal y el lugar de producción del vapor de agua:

- **Hidrodestilación:** el principio consiste en llevar a estado de ebullición una suspensión acuosa del material vegetal aromático, por lo que los vapores generados pueden ser condensados y colectados; el aceite es posteriormente separado ya que este es inmisible en agua.

**Figura 1 – 8**

**Hidrodestilación**

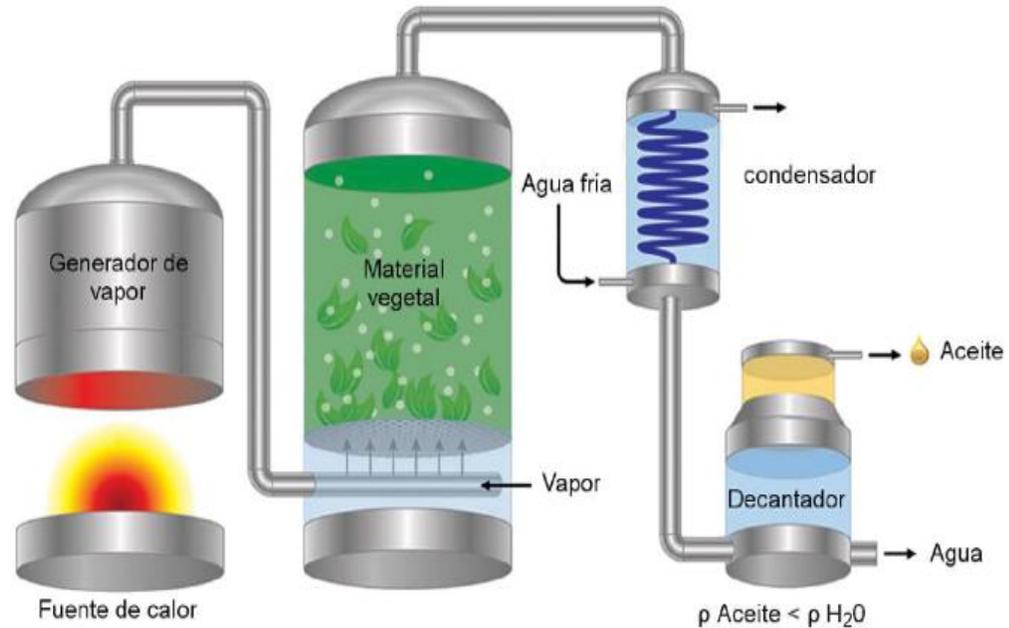


**Fuente:** José Barotto, 2017

- **Destilación por Arrastre con Vapor de Agua:** es uno de los métodos más sencillos, y se considera como el más seguro. Está basado en que la mayor parte de las sustancias aromáticas de una materia vegetal pueden ser arrastradas mediante el vapor de agua. Su fundamento consiste en una vaporización a temperaturas superiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto del paso de una corriente de vapor de agua.

Figura 1-9

## Destilación por Arrastre con Vapor de Agua

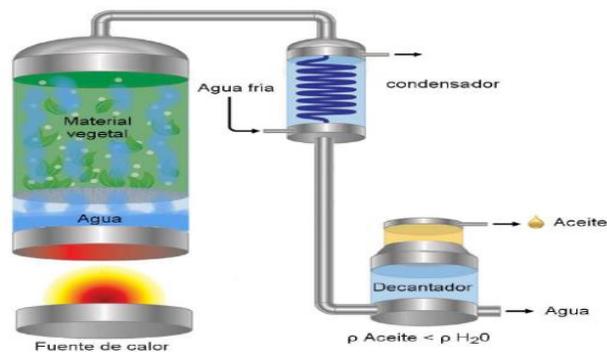


Fuente: José Barotto, 2017

- **Destilación con Vapor Saturado:** en este método el vapor es generado dentro del mismo cuerpo del extractor, aunque está separado del material vegetal, el cual se encuentra suspendido por un tramado (falso fondo) que impide el contacto del material vegetal con el medio líquido en ebullición.

Figura 1 – 10

## Destilación con Vapor Saturado



Fuente: José Barotto, 2017

## 1.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR

Los factores que influyen en la extracción por arrastre con vapor son los siguientes (Israel Vera,2012):

- **Tiempo de Secado del Material:** La materia prima vegetal genera hongos que transfieren un olor terroso mohoso al aceite, debido a la formación de ácidos grasos, por esto si el material no se procesa pronto (3 días) se dispone en literas para su oreo.
- **Tiempo de Extracción:** Pasado un tiempo ya no se extrae más aceite y el vapor posterior causa el arrastre por solubilidad o emulsión del aceite, presentando una disminución en el rendimiento.
- **Presión de Vapor:** si la presión de vapor de arrastre es muy alta (máximo 0.4 atm), se presenta una hidrólisis en el aceite disminuyendo su calidad y rendimiento.
- **Factor de Empaquetamiento:** si el material queda muy suelto, el proceso termina muy pronto, presentando un alto consumo energético; si queda muy apretado, el vapor se acanala disminuyendo el rendimiento del aceite.
- **Condensación Interior:** se evita realizando una purga previa a los 30 minutos de iniciado el proceso y además manteniendo el tanque bien aislado.
- **Tiempo de Residencia en el Florentino:** sobre todo si el diámetro es muy pequeño produce arrastre del aceite.

**CAPITULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPITULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

En el presente trabajo de investigación se utiliza como materia prima las flores de Lavanda, producida en el Municipio “El Puente” perteneciente a la provincia Méndez del Departamento de Tarija.

Se identifica como nombre científico (*Lavandula Angustifolia*) recolectada y cosechada en la estación de primavera entre los meses de septiembre y octubre del año 2020.

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 las flores, el año de cultivo de las plantas de lavanda, (Adolfo Marey, 1949).

El cultivo de flores de lavanda en el Municipio de El Puente se encuentra en su tercer año de cultivo, es un cultivo de media hectárea aproximadamente, ubicados a 2.235 m.s.n.m. El clima es templado y moderadamente seco, con una buena exposición de los rayos solares, el método de riego que se utiliza para cada plantín es por goteo, lo que favorece al crecimiento de las plantas.

**Figura 2 – 1****Mapa de Localización de las Flores de Lavanda en el Municipio de El Puente**

**Fuente:** Google Maps, 2020

**2.1.1. Descripción Física de la Materia Prima****Figura 2 – 2****Planta de Lavanda**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Las características consideradas en la descripción física de las flores de lavanda son la forma, color, aroma y textura. Los procedimientos empleados y valores obtenidos, se muestran a continuación:

- **Forma:** las flores se encuentran en espigas de cimas, las espigas son cilíndricas, con brácteas frecuentemente imbricadas y apenas superando el cáliz de forma tubuloso ovoideo, es dentado presentando cuatro dientes maso menos iguales.
- **Color:** por simple inspección visual se determina el color de las flores de azul – violeta.
- **Aroma:** se acerca un puñado de flores a la nariz y se siente un olor aromático, intenso, herbáceo, característico a lavanda.
- **Textura:** se agarra una espiga de flores en la mano y mediante el contacto directo con la piel se determina su textura. Las flores son suaves y blandas.

#### **2.1.2. Determinación del Porcentaje de Humedad en las Flores de Lavanda**

Para la determinación de humedad de la Flor de Lavanda en estado 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 flor de Lavanda
- 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 21.8 min el peso se mantiene y la pérdida de peso no varía, siendo el resultado final 10.36 % de humedad en la muestra, valor aproximado para las flores

secas de lavanda, debido a la variación de humedad que existe en el transcurso de la ejecución de cada experimento.

**Figura 2 – 3**

**Muestra y Resultado del % de Humedad de Flores de Lavanda**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 2.2.1. Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda

Para seleccionar el método a efectuar, previamente se toman en cuenta los métodos más conocidos y que pueden ser aplicados a la planta de lavanda para obtener su aceite esencial, los métodos son:

- Hidrodestilación
- Destilación por Arrastre con Vapor de Agua
- Destilación con Vapor Saturado o con Agua y Vapor

La calificación designada se realiza en base a la Escala de Likert. En la siguiente tabla II-1 se presentan las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el método, siendo el adecuado aquel que acumule el puntaje más alto.

Tabla II – 1

## Escala de Calificación Likert

Escala de Puntuación	Puntuación
Excelente	5
Muy buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla II – 2

## Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda

Factor a Evaluar	Comentarios del Evaluador	Calificación		
		Hidrodes-tilación	Destilación por Arrastre con Vapor de Agua	Destilación con Vapor Saturado
Calidad del producto que se desea obtener	En la hidrodestilación, los compuestos oxigenados como fenoles tienen tendencia a ser solubles en agua, así que no pueden ser recuperados fácilmente. La destilación por arrastre con vapor de agua es un tipo especial de destilación para materiales sensibles a la temperatura como los compuestos aromáticos naturales. En la	2	5	3

	destilación con vapor saturado, la mayoría de los componentes volátiles extraídos del material vegetal quedan atrapados en el balón extractor, debido a la baja temperatura del vapor y a su baja velocidad de producción.			
Aplicabilidad en las flores de Lavanda	Durante una hidrodestilación, algunos esteres son sensibles al hidrólisis y pueden polimerizar. La destilación con vapor de agua, se emplea en el aislamiento de aceites esenciales, por ejemplo, para usar en perfumes. Al no estar en contacto directo el material vegetal con el vapor, durante una destilación con vapor saturado, se dificulta el arrastre de los componentes volátiles.	2	5	4
Disponibilidad de equipos	Para la hidrodestilación se utilizan materiales y equipos de fácil acceso en laboratorio. La destilación por arrastre con vapor de agua utiliza vapor generado fuera del sistema, lo que significa que necesita un equipo adecuado para canalizarlo. Algo similar ocurre con la	5	4	3

	destilación con vapor saturado.			
Costo	El montaje y equipamiento para una hidrodestilación es mucho más económica comparada con los métodos de arrastre con agua o vapor saturado.	5	3	3
Entorno e Impacto Ambiental	Al ser una operación lenta, la hidrodestilación implica mayor consumo de energía. Una destilación con vapor de agua o saturado aunque sea más rápida, conlleva un gasto elevado de agua sino se aprovecha la misma.	4	3	2

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

Tabla II – 3

## Matriz de Decisión para el Método Experimental de Extracción de Aceite

Factor Evaluado	Valoración porcentual %	Hidrodestilación		Destilación por Arrastre con Vapor de Agua		Destilación con Vapor Saturado	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Calidad del producto que se desea obtener	30	2	12	5	30	3	18
Aplicabilidad en las flores de Lavanda	25	2	10	5	25	4	20
Disponibilidad de equipos	20	5	20	4	16	3	12
Costo	15	5	15	3	9	3	9
Entorno e Impacto Ambiental	10	4	8	3	6	2	4
<b>TOTAL</b>	100		65		<b>86</b>		63

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Tomando en cuenta los resultados de la tabla anterior, el método seleccionado es “DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR DE AGUA” para la obtención de aceite esencial de lavanda, por tener mayor aplicabilidad (al emplearse en el aislamiento de aceites esenciales), disponibilidad de equipamiento y asegurar una buena calidad del producto obtenido (especial para materiales sensibles a la temperatura como los compuestos aromáticos naturales).

## **2.3. DISEÑO FACTORIAL**

Experimentar significa variar deliberadamente las condiciones habituales de trabajo para encontrar mejores maneras de proceder, y ganar al mismo tiempo un conocimiento más profundo sobre el comportamiento de productos y/o procesos. El problema básico del diseño de experimentos reside en decidir qué conjunto de pruebas pondrán de manifiesto, de forma más clara y con menor esfuerzo, los diversos aspectos de interés del problema.

### **2.3.1. Selección de Variables del Proceso Factorial**

La etapa principal del proceso de obtención de Aceite Esencial de Lavanda mediante extracción por arrastre de vapor con agua, es la extracción, en la cual se puede controlar variables que influyen en la velocidad de extracción, tales como: la temperatura de extracción, el tiempo de extracción y el factor empaquetamiento de materia prima (explicados en la sección 2.7). Dado que la temperatura de extracción, es la temperatura de ebullición del agua, las variables que se varían para conocer cuáles son los parámetros que permiten el mayor rendimiento de aceite esencial obtenido, son el tiempo de extracción y el factor de empaquetamiento de materia prima. Según referencia bibliográfica, el tiempo de extracción de aceites esenciales varía alrededor de 2 y 3 horas (Piedrasanta Ramón, 2007).

Respecto al factor de empaquetamiento de materia prima en cada bandeja (dependiendo de la capacidad del equipo), se colocará de manera que permita ver cómo afecta en el paso del vapor de agua.

### **2.3.2. Diseño Factorial $3^k$**

El diseño factorial  $3^k$  es un arreglo de  $k$  factores que tiene tres niveles cada uno. Se usa letras mayúsculas para denotar los factores y las interacciones de estos factores. Se hace referencia a los tres niveles de los factores como bajo, intermedio y alto.

Hay varias notaciones diferentes que se usan para representar estos niveles de los factores: una posibilidad es representar los niveles de los factores con los dígitos 0

(bajo), 1 (intermedio) y 2 (alto). Cada combinación de tratamientos del diseño  $3^k$  se denota por  $k$  dígitos, donde el primer dígito indica el nivel del factor A, el segundo dígito indica el nivel del factor B, ..., y el dígito  $k$ -ésimo indica el nivel del factor K.

En el sistema de diseños  $3^k$ , cuando los factores son cuantitativos, es común denotar los niveles bajo, intermedio y alto con  $-1$ ,  $0$  y  $+1$ , respectivamente. Con esto se facilita el ajuste de un modelo de regresión que relaciona la respuesta con los niveles de los factores. Por ejemplo, considere el diseño  $3^k$  donde  $x_1$  represente el factor A y que  $x_2$  represente el factor B. Un modelo de regresión que relaciona  $y$  con  $x_1$  y  $x_2$  que se basa en este diseño es:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \varepsilon$$

La adición de un tercer nivel de los factores permite que la relación entre la respuesta y los factores del diseño se modele como un modelo cuadrático (Jesús Gamboa, et al, 2010).

El diseño más simple del sistema  $3^k$  es el diseño  $3^2$ , el cual tiene dos factores, cada uno con tres niveles.

La Tabla II - 4 muestra los niveles de variación de las variables del proceso de extracción de aceite esencial de Lavanda, también llamadas factores.

**Tabla II – 4**

**Codificación de las Variables**

Variables	Nivel		
	Bajo	Medio	Alto
Factor de empaquetamiento de materia prima (masa de materia prima/ volumen de la bandeja)	-1	0	+1
Tiempo de extracción (h)	-1	0	+1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 2.3.2.1. Cálculo del Factor de Empaquetamiento

Se refiere a la relación de la masa de la materia prima respecto al volumen de la bandeja en el equipo, que influye en el paso del vapor de agua y este a su vez en el rendimiento de aceite esencial.

$$F = \frac{m}{V_B}$$

Donde:

F= factor de empaquetamiento

m = masa de flores secas de lavanda por bandeja

$V_B$  = volumen de cada bandeja

- **Determinación del Volumen de la Bandeja**

Para determinar el factor de empaquetamiento, es necesario conocer el volumen de la bandeja que va en la torre de destilación. Al tratarse de un objeto cilíndrico, se calcula de la siguiente manera:

$$V_B = \pi(r)^2h$$

Donde:

$V_B$  = volumen de la bandeja

D = diámetro

r = radio

h = altura

Datos: D = 18 cm      r = 9 cm      h = 13 cm

$$V_B = \pi(9)^2(13) = 3\,308.097 \text{ cm}^3$$

- **Cálculo del Factor de Empaquetamiento**

Una vez determinado el volumen de la bandeja (el cual es el mismo para las tres bandejas), se procede con el calcula del factor de empaquetamiento para cada caso, según lo planteado en el diseño experimental:

**Primer caso:**

$$m_1 = 50 \text{ g} ; V_B = 3\,308.097 \text{ cm}^3$$

$$F_1 = \frac{50 \text{ g}}{3308.097 \text{ cm}^3} = 0.015 \text{ g/cm}^3$$

**Segundo caso:**

$$m_2 = 100 \text{ g} ; V_B = 3308.097 \text{ cm}^3$$

$$F_2 = \frac{100 \text{ g}}{3308.097 \text{ cm}^3} = 0.030 \text{ g/cm}^3$$

**Tercer caso:**

$$m_3 = 150 \text{ g} ; V_B = 3\,308.097 \text{ cm}^3$$

$$F_3 = \frac{150 \text{ g}}{3308.097 \text{ cm}^3} = 0.045 \text{ g/cm}^3$$

**Tabla II - 5**

**Valores Asignados para los Tres Niveles de cada Factor**

Variables	Nivel		
	Bajo	Medio	Alto
Factor de empaquetamiento de materia prima (masa de materia prima/ volumen de la bandeja)	0.015	0.030	0.045
Tiempo de extracción (h)	2	2.5	3

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

El número de experimentos a realizar son:

$$3^k$$

Donde:

3: Número de niveles

k: Número de factores

El número de experiencias es:  $3^2 = 9$

Como se realizarán dos repeticiones entonces:

Nº de Experimentos  $9 * 2 = 18$

En la siguiente tabla se presentan todas las posibles combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

**Tabla II – 6**

**Diseño Factorial para el Proceso de Extracción**

<b>Nº de Exp.</b>	<b>Factor de Empaquetamiento</b>	<b>Tiempo de Extracción (h)</b>	<b>Rendimiento de Aceite Esencial Obtenido (%)</b>	<b>Rendimiento de Aceite Esencial Obtenido (%)</b>
1	+1	+1	R1	R10
2	+1	0	R2	R11
3	+1	-1	R3	R12
4	0	+1	R4	R13
5	0	0	R5	R14
6	0	-1	R6	R15
7	-1	+1	R7	R16
8	-1	0	R8	R17
9	-1	-1	R9	R18

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

**R:** Rendimiento, variable respuesta a medir.

#### 2.4. PRUEBAS PRELIMINARES

Antes de comenzar con las pruebas en estado fresco de la materia prima, se determina el porcentaje de humedad de la misma en el equipo infrarrojo del LOU, dando como resultado 69.41 % de agua contenida en 6.778 g de flores frescas de lavanda en un tiempo de 55.2 min y una temperatura de 105 °C. El resultado obtenido se encuentra dentro del rango permisible para flores de lavanda en estado fresco, de acuerdo a bibliografía.

**Figura 2 – 4**

#### Muestra y Resultado del % de Humedad en Estado Fresco de Flores de Lavanda



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Para poder verificar el buen funcionamiento del equipo a utilizar y al mismo tiempo observar el aceite esencial de lavanda que se obtiene, se realizan las pruebas preliminares:

#### Prueba 1

Se realiza pruebas con la materia prima en estado fresco, obteniendo de una muestra de 300 g de lavanda aproximadamente 0.8 mL de aceite esencial, es decir, un rendimiento de 0.24 %. Trabajando durante un tiempo de 3 horas, y un volumen de agua de 5 litros.

### **Figura 2 – 5**

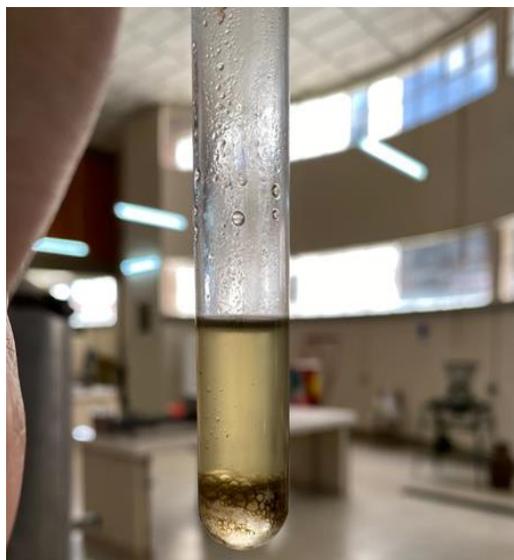
#### **Aceite Esencial Obtenido de 300 g de Muestra de Flores de Lavanda en Estado Fresco**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### **Prueba 2**

Se realiza la prueba con la materia prima en estado seco, obteniendo de 300 g de muestra de lavanda 5.8 mL de aceite, es decir, un rendimiento de 1.72 %. Trabajando durante un tiempo de 3 horas y un volumen de agua de 5 litros.

**Figura 2 – 6****Aceite Esencial Obtenido de 300 g de Muestra de Flores de Lavanda en Estado Seco**

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

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 Lavanda influye de gran manera en el rendimiento de producto obtenido. Siendo 1.48 %, la diferencia entre la extracción con flores en estado fresco y seco. Por consiguiente, se opta por trabajar con flores de lavanda en estado seco.

## **2.5. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

### **2.5.1. Equipos y Materiales Utilizados en la Obtención de Aceite Esencial de Lavanda**

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”.

### 2.5.1.1. Descripción de los Equipos Utilizados

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

Tiene forma cilíndrica con 65 cm de altura y 20 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).

**Figura 2 – 7**

#### **Equipo de Destilación**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **Canastillos del Equipo de Destilación:** el equipo de destilación está compuesto por tres canastillos internos, hechos de acero inoxidable, donde la materia prima es introducida. Las dimensiones de cada canastillo son 13 cm de altura y 18 cm de diámetro.

**Figura 2 – 8**

**Canastillos del Equipo de Destilación**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **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 fuente de gas natural.

**Figura 2 – 9****Cocinilla**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **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.

**Figura 2 – 10****Intercambiador de Calor Tubular**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **Balanza Electrónica:** consiste en un equipo compuesto de una pantalla digital, de la marca GIBERTINI, se utilizó para pesar las muestras de flores de Lavanda en cada bandeja de la torre y tiene las siguientes especificaciones:

Capacidad: 510 g

Exactitud: 0.01 g

Potencia: 60 W

**Figura 2 – 11**

**Balanza electrónica**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **Balanza Analítica:** consta de una pantalla digital, y es utilizada para el pesaje de la muestra de materia prima durante la etapa de secado natural. Es de la marca KERN, con las siguientes especificaciones:

Capacidad: 120 g

Exactitud: 0.1 mg

Potencia: 220 W

**Figura 2 – 12**  
**Balanza analítica**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

- ❖ **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: 10 g

Potencia: 400 W

**Figura 2 – 13**  
**Secador Infrarrojo**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 2.5.1.2. Material de Laboratorio Utilizado

En la siguiente tabla II – 7 se detalla el material utilizado

**Tabla II – 7**

#### **Material de Laboratorio**

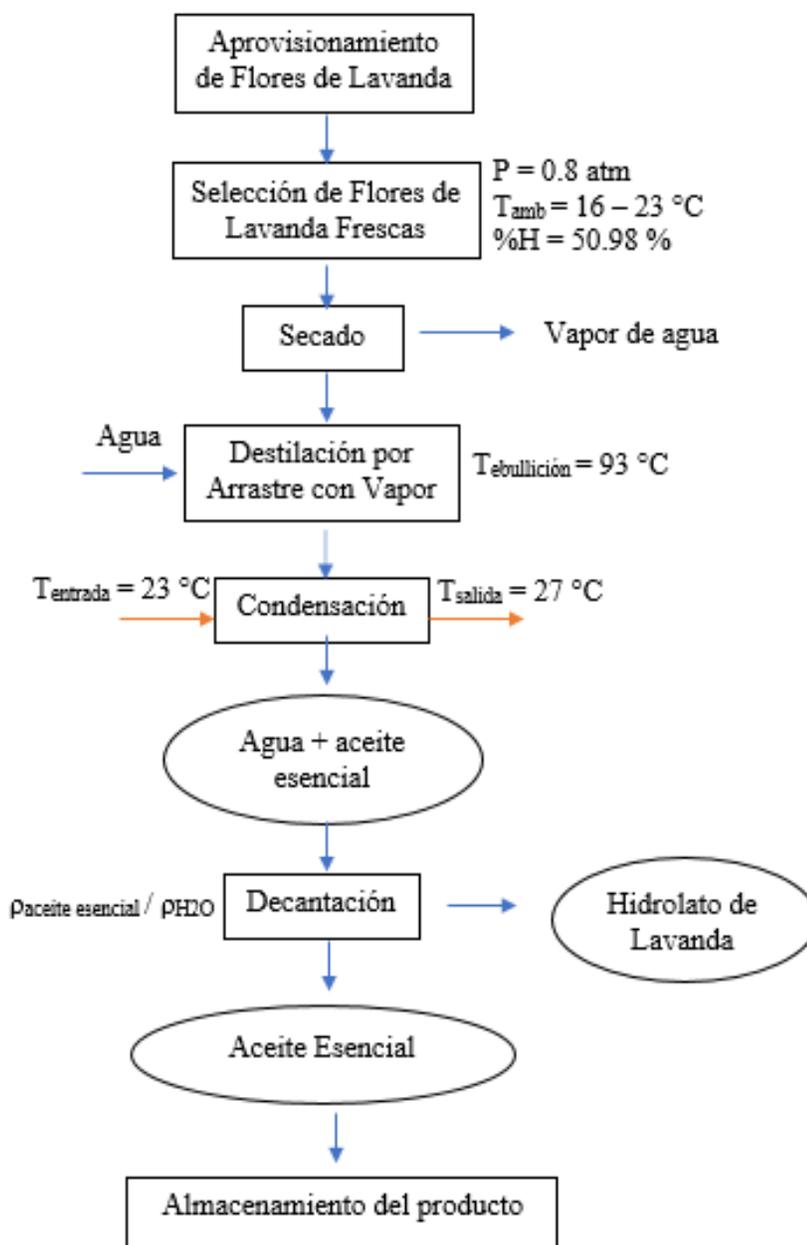
<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>
Vaso Florentino	1000 mL	1
Embudo de decantación		1
Termómetro	Digital	
Pinza de doble nuez	-	1
Mangueras	-	2
Bandejas de aluminio	-	
Jeringa	10 mL	9
Varilla de vidrio	-	
Codo	Acero inoxidable	1
Codo	PVC	1
Tapón	Goma	3
Guantes		
Frasco de vidrio	12 mL	18
Cepillo	-	1
Jarra graduada	2000 mL	1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

## 2.5.2. Descripción del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda

Diagrama II – 1

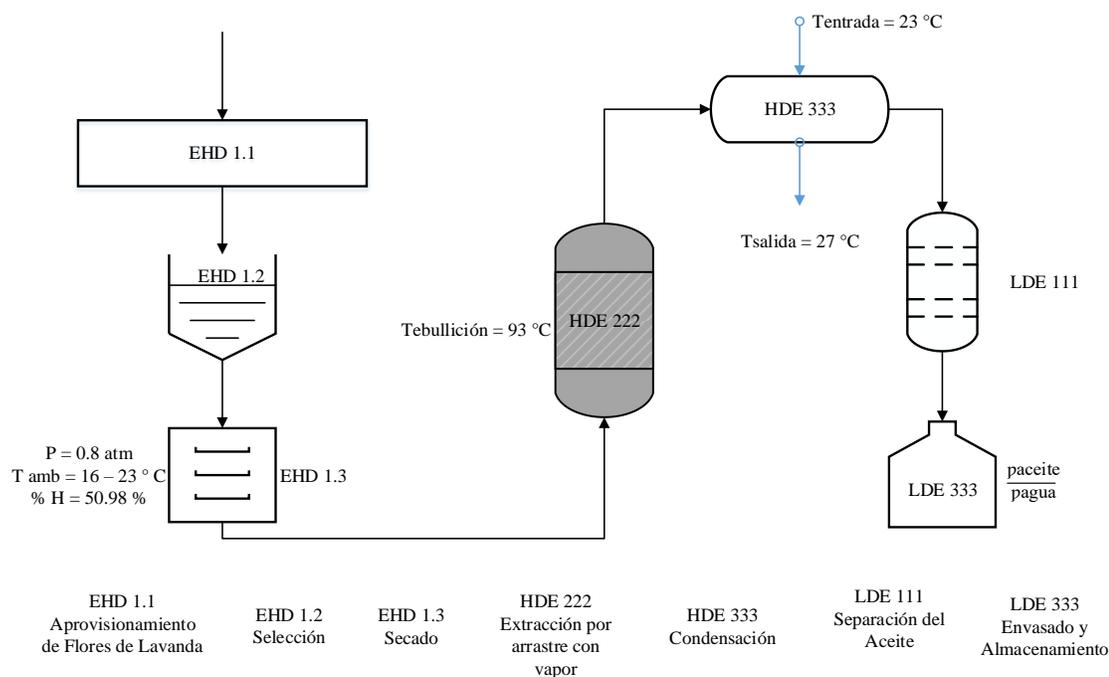
Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda



Fuente: Elaboración Propia, 2020

## Diagrama II – 2

### Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

#### 2.5.2.1. Aprovisionamiento de la Materia Prima

La materia prima utilizada para la parte experimental está constituida por flores de Lavanda (*Lavándula Angustifolia*), la cual se cultiva en el Municipio El Puente, provincia Méndez. Donde se recurrió para su recolección con la finalidad de obtener flores recién cosechadas.

**Figura 2 – 14****Plantaciones de Flores de Lavanda**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

**2.5.2.2. Selección de la Materia Prima**

Se desgrana las espigas de forma manual, para facilitar la selección de las flores.

**Figura 2 – 15****Cosecha de Flores de Lavanda**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 2.5.2.3. Secado

Se procede al secado de la materia prima, utilizando bandejas de aluminio, dispuestas en un espacio cubierto donde reciben el calor natural diario. Pesando una muestra representativa, cada día hasta peso constante.

**Figura 2 – 16**

#### **Secado de las Flores de Lavanda**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

#### **2.5.2.3.1. Determinación de la Humedad de la Materia Prima**

Se determina la humedad de la materia prima en estado fresco (recién recolectada) y la misma en estado seco (secado natural).

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

$$\% H = \left( \frac{m_i - m_s}{m_i} \right) * 100 \quad \text{Ec. (2-1)}$$

Donde:

$m_s$  = masa de sólido seco

$m_i$  = masa inicial

Por ejemplo, para el secado natural a temperatura ambiente, se tiene:

$m_s = 3.88$  g

$m_i = 10.03$ g

$$\% H = \left( \frac{12.35 - 3.88}{12.35} \right) * 100 = 68.31 \%$$

Este cálculo de porcentaje de humedad nos indica cuanto de humedad contenía la muestra al momento de iniciar el secado y la humedad que tiene al final del mismo.

#### **2.5.2.3.2. Secado de la Materia Prima (Secado natural)**

Para determinar la humedad de la materia prima secada de forma natural, se dejó secar bajo temperatura ambiente. El lote a analizar tenía una masa inicial de 12.35 g, teniendo en cuenta los siguientes datos:

**Tabla II – 8**

**Datos de la Pérdida de Peso Respecto a Tiempo**

<b>t (h)</b>	<b>Pérdida de Peso (g)</b>	<b>%H</b>
0	12.35	68.58
8	7.08	45.18
16	7.03	44.78
32	5.26	26.29
48	5.22	25.61
56	4.29	9.60
72	4.23	8.32

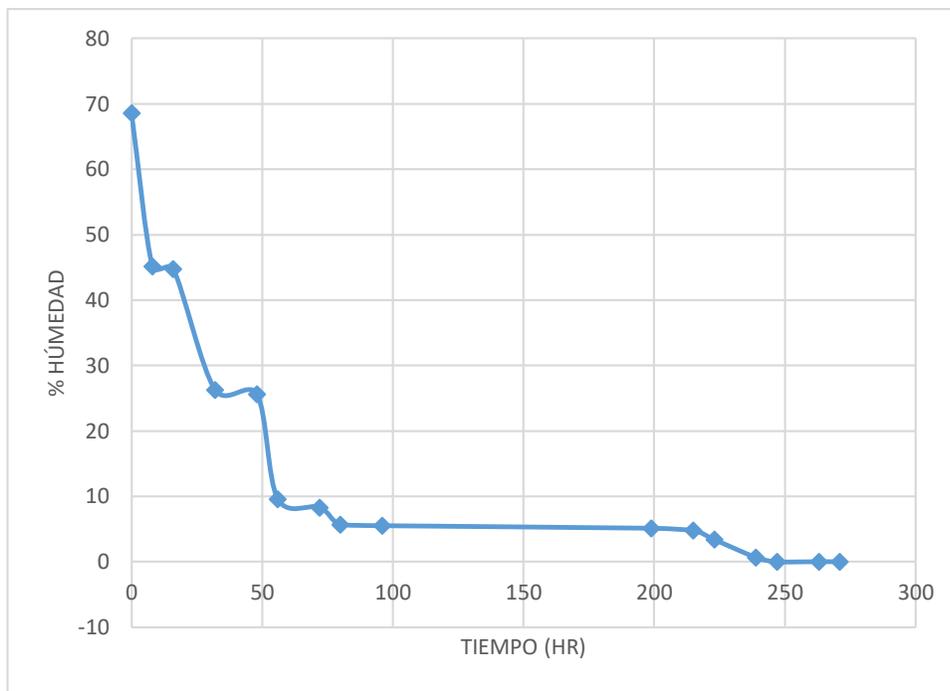
t (h)	Pérdida de Peso (g)	%H
80	4.11	5.71
96	4.11	5.50
199	4.09	5.11
215	4.07	4.76
223	4.02	3.39
239	3.91	0.67
247	3.88	0.00
263	3.88	0.00
271	3.88	0.00

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Utilizando la ecuación 2 -1 se determina el porcentaje de humedad que entra con 68.58 % de humedad y según van pasando los días va disminuyendo su porcentaje hasta que es constante

A continuación, tenemos la curva de secado natural:

Gráfico II – 1

**Curva de Secado (Natural) de Flores de Lavanda**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

En el gráfico II-1 se puede apreciar que la mayor pérdida de humedad se realiza en el primer día y hasta el octavo día y medio, posteriormente la pérdida de peso disminuye linealmente con el tiempo de secado formando una sola pendiente recta donde la velocidad de secado permanece constante.

#### **2.5.2.3.3. Determinación de Humedad de Flores de Lavanda en Estado Fresco**

En la tabla II- 9 se presenta los datos de la pérdida de peso y el porcentaje de humedad evaporada de la materia prima en estado fresco (recién recolectada), realizado en el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100.

Tabla II - 9

## Datos de la Pérdida de Peso y Humedad Evaporada

<b>t(min)</b>	<b>%H</b>	<b>Pérdida de Peso (g)</b>
2	6.11	6.33
4	12.26	5.91
6	17.90	5.51
8	23.53	5.14
10	28.85	4.78
12	33.15	4.50
14	37.49	4.21
16	41.50	3.94
18	45.27	3.69
20	48.38	3.47
22	51.45	3.28
24	54.22	3.09
26	56.60	2.93
28	58.65	2.79
30	60.26	2.68
32	61.87	2.75
33	63.22	2.48
36	64.56	2.39
38	65.90	2.33
40	66.44	2.27

<b>t(min)</b>	<b>%H</b>	<b>Pérdida de Peso (g)</b>
42	67.27	2.22
44	67.89	2.17
46	68.39	2.14
48	68.77	2.12
50	69.08	2.09
52	69.25	2.08
54	69.37	2.08
55.2	69.41	2.07

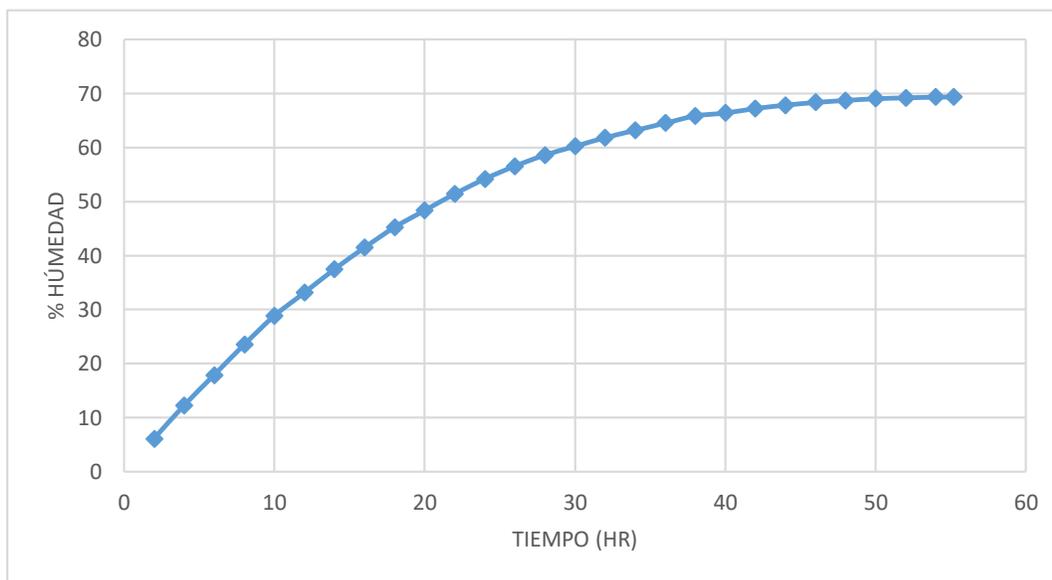
**Fuente:** SARTORIUS – MA100, 2020

De acuerdo a los datos registrados en el secador infrarrojo, se determina el porcentaje de humedad que inicia con 69.41%, la pérdida de peso ya no se incrementa a partir de los 50 min llegando a su porcentaje constante.

En el gráfico II - 2 se presenta la curva del porcentaje de humedad evaporada con respecto al tiempo de secado con los datos de la tabla II - 9.

Gráfico II – 2

**Curva del Porcentaje de Humedad Evaporada con Respecto al Tiempo de Secado de Flores de Lavanda**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

En el gráfico II – 2 se observa que la humedad de la muestra va disminuyendo conforme se va secando el sólido hasta alcanzar un equilibrio donde ya no puede perder más humedad de la que contiene la muestra; esta es la humedad de equilibrio.

#### **2.5.2.3.4. Determinación de Humedad de Flores de Lavanda en Estado Seco**

En la tabla II - 10 se presenta los datos de la pérdida de peso y el porcentaje de humedad evaporada de la materia prima en estado seco (deshidratado a temperatura ambiente), realizado en el equipo Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100.

Tabla II – 10

## Datos de Pérdida de Peso y Humedad Evaporada

t(min)	%H	Pérdida de Peso (g)
2	2.73	5.192
4	4.97	5.075
6	6.53	4.991
8	7.54	4.923
10	8.33	4.878
12	8.84	4.852
14	9.36	4.822
16	9.76	4.798
18	10.90	4.778
20	10.32	4.765
21.8	10.36	4.763

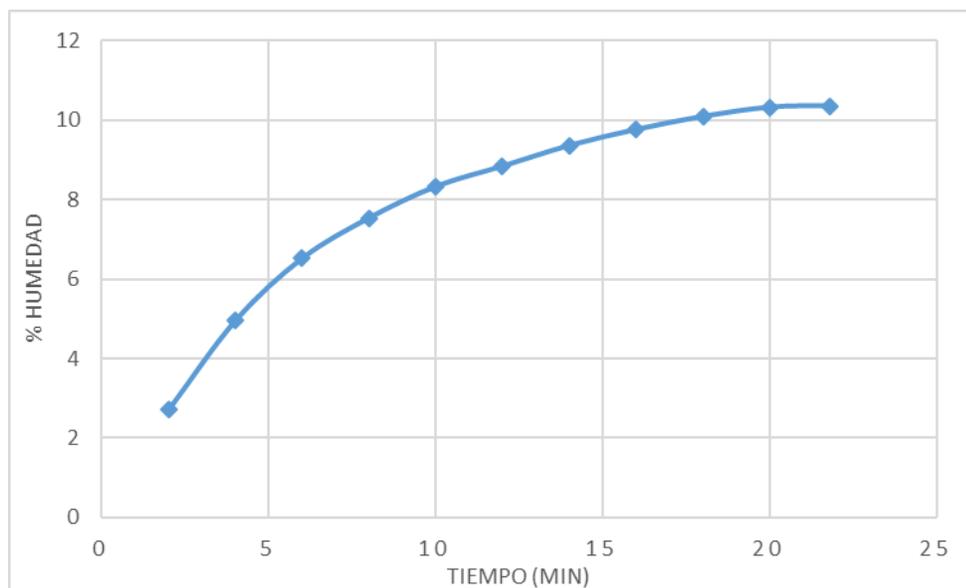
**Fuente:** SARTORIUS – MA100, 2020

De acuerdo a los datos registrados en el secador infrarrojo, determina el porcentaje de humedad que inicia con 10.36%, la pérdida de peso ya no se incrementa a partir de los 21.8 min llegando a su porcentaje constante.

En el gráfico II - 3 se presenta el porcentaje de humedad evaporada con respecto al tiempo de secado con los datos de la tabla II - 10.

Gráfico II – 3

**Curva del Porcentaje de Humedad Evaporada con Respecto al Tiempo de Secado de Flores de Lavanda**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

En el gráfico II - 3 se observa que la humedad de la muestra va disminuyendo conforme se va secando el sólido hasta alcanzar un equilibrio donde ya no puede perder más humedad de la que contiene la muestra; esta es la humedad de equilibrio.

En la tabla II - 11 se presenta los resultados de los porcentajes de humedad y el tiempo que se llevó acabo.

**Tabla II– 11**  
**Resultados de Porcentajes de Humedad**

<b>VEGETAL</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>TEMP (°C)</b>	<b>MÉTODO O EQUIPO</b>
<b>ESTADO FRESCO</b>	68.58	16 260	16 - 30	Secado a temperatura ambiente
<b>ESTADO FRESCO</b>	69.41	55.2	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100
<b>ESTADO SECO</b>	10.36	21.8	105	Secador Infrarrojo marca SARTORIUS-MA100

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

En la tabla II – 11 se observa los resultados por ambos métodos la humedad son casi los mismos, el porcentaje de humedad en el equipo infrarrojo es 69.41 % a una temperatura de 105°C y el de secado natural a temperatura ambiente de 16 - 30 °C es de 68.58 %. El método de secado que se utilizó para la parte experimental del aceite esencial de lavanda es el de secado natural a temperatura ambiente, el cual consiste en la pérdida de peso hasta un peso constante, como se observa en la tabla II-10 se determinó en el secador infrarrojo que el porcentaje de humedad de la materia prima en estado seco es de 10.36 % (valor aproximado, por la variación de humedad que existe entre la ejecución de cada experimento). Con pocas excepciones, el contenido de agua en los vegetales debe variar entre 8 y 14%. (Fernando Huayta, 2017).

#### **2.5.2.4. Extracción de Aceite Esencial de Lavanda**

Una vez armado el equipo de extracción, se inicia midiendo el volumen de agua a colocar en la torre (5.5 litros). Luego se pesa la materia prima para cada canastillo (de

acuerdo al diseño experimental), seguidamente se introducen los mismos en el extractor y se conecta al intercambiador de calor tubular. Verificando que no existan fugas.

A continuación, se enciende la hornilla con una potencia media para dar inicio al calentamiento del agua que contiene la cámara de extracción. Una vez iniciada la etapa de calentamiento se habilita el paso del agua de refrigeración y se controla el aumento de temperatura en la torre de extracción.

La extracción del aceite esencial por arrastre de vapor, comienza con la ebullición del agua dentro de la torre,  $93\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0.94\text{ atm}$  (temperatura de ebullición del agua a la presión atmosférica de Tarija).

**Figura 2 – 17**

### **Extracción de Aceite Esencial de Lavanda**



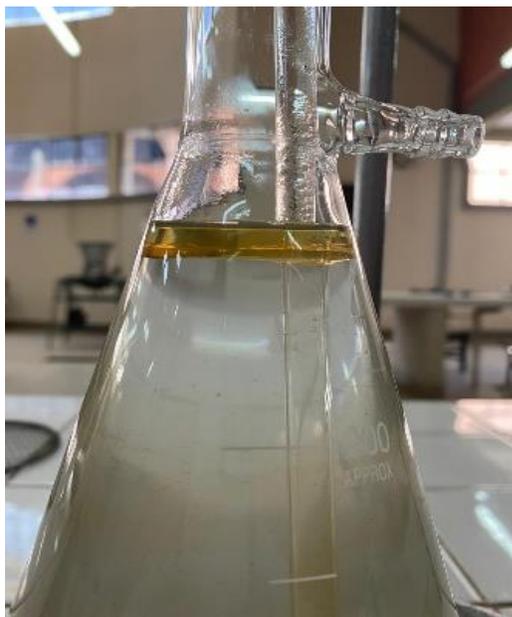
**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 2.5.2.5. Condensación

Iniciada la generación de vapor dentro del equipo de extracción, la mezcla vapor de agua-aceite esencial pasa al intercambiador de calor, donde se condensa, utilizando agua como refrigerante.

**Figura 2 – 18**

**Agua + Aceite Condensado**



**Fuente:** Elaboración Propia 2020

### 2.5.2.6. Decantación

La mezcla condensada es recolectada en un vaso florentino, para posteriormente ser trasladada a una ampolla de decantación, en la cual, gracias a la diferencia de densidades, la mezcla se separa en dos fases. La parte superior es el aceite esencial y la inferior, el agua destilada (hidrolatos).

**Figura 2 – 19****Decantación**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

**2.5.2.7. Almacenamiento**

El producto obtenido, aceite esencial de Lavanda, se caracteriza por ser volátil, sensible a la luz, al aire y al calor. Por tanto, se utiliza un frasco de vidrio ámbar con tapa hermética. Finalmente, se almacena el producto en un lugar fresco y oscuro.

**Figura 2 – 20****Almacenamiento**

**Fuente:**

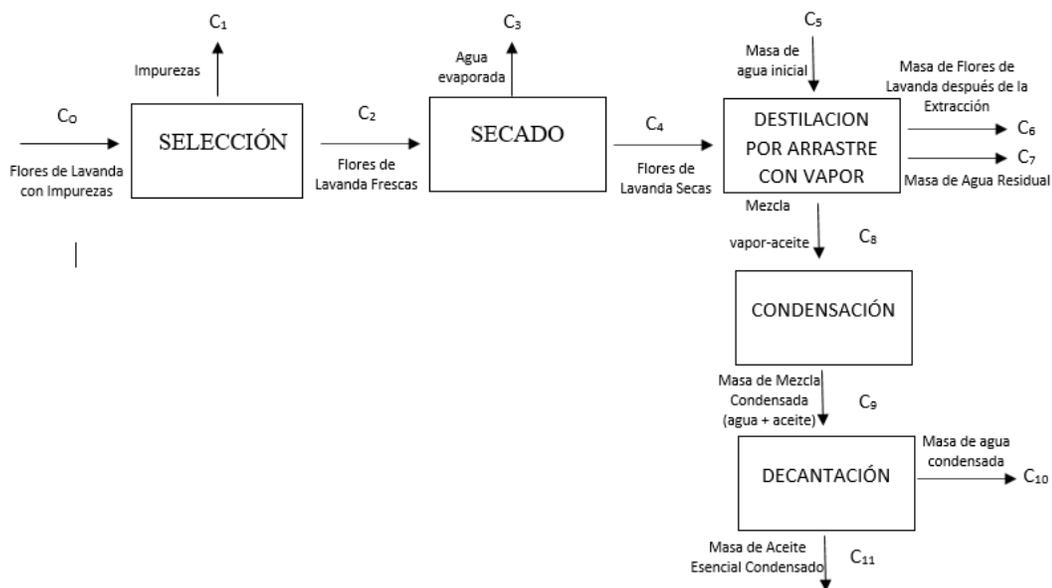
Elaboración Propia, 2020

### 2.5.3. Balance de Materia del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda

Con el objetivo de brindar mayor información de cada etapa del proceso y su relación con las demás, en el Diagrama II-3 se detalla un diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite esencial de lavanda.

**Diagrama II-3**

**Diagrama de Bloques del Proceso Tecnológico Experimental**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

La descripción de las corrientes principales y de servicio del diagrama de bloques se realiza en la Tabla II-12

Tabla II- 12

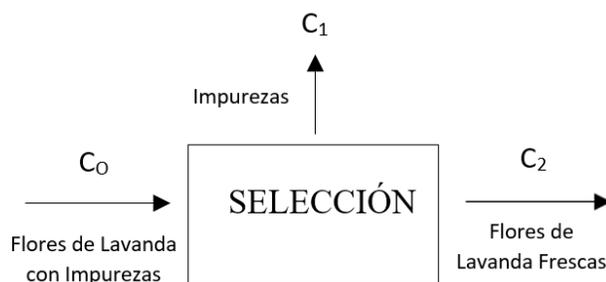
**Descripción de las Corrientes Principales del Proceso Tecnológico Experimental  
de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda**

<b>Corriente</b>	<b>Contenido</b>	<b>Descripción</b>	<b>Etapas asociada (como salida)</b>	<b>Etapas asociada (como entrada)</b>
C <sub>0</sub>	Materia Prima	Corriente de flores de lavanda recolectadas más impurezas.	-	Selección
C <sub>1</sub>	Impurezas	Corriente de impurezas presente en las flores de lavanda recolectadas.	Selección	-
C <sub>2</sub>	Materia Prima	Corriente de entrada de flores de lavanda frescas seleccionadas en la etapa previa.	-	Secado
C <sub>3</sub>	Agua	Corriente de masa de agua evaporada de flores de lavanda frescas durante la etapa de secado.	Secado	-
C <sub>4</sub>	Materia Prima	Corriente de flores de lavanda secadas cargadas a la torre de destilación.	-	Destilación
C <sub>5</sub>	Agua	Corriente de masa de agua inicial cargada a la torre de destilación	-	Destilación
C <sub>6</sub>	Materia Prima	Corriente de masa de flores de lavanda, después de la extracción	Destilación	-

Corriente	Contenido	Descripción	Etapla asociada (como salida)	Etapla asociada (como entrada)
C <sub>7</sub>	Agua	Corriente de masa de agua residual de la destilación de flores de lavanda.	Destilación	-
C <sub>8</sub>	Micela	Corriente de una mezcla de vapor y aceite	-	Condensación
C <sub>9</sub>	Micela	Corriente de masa de mezcla condensada (agua + aceite)	-	Decantación
C <sub>10</sub>	Subproducto	Corriente de masa de agua condensada	Decantación	-
C <sub>11</sub>	Producto	Corriente de masa de aceite esencial de flores de lavanda	Decantación	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

➤ **Etapa 1 – Selección**



Conociendo la masa de flores que ingresan a la etapa de selección C<sub>0</sub>, y el porcentaje que representan las impurezas desechadas 28.3 %, se obtiene la masa de flores de lavanda frescas de la siguiente manera:

$$C_0 = C_1 + C_2 \quad \text{Ec. (2-1)}$$

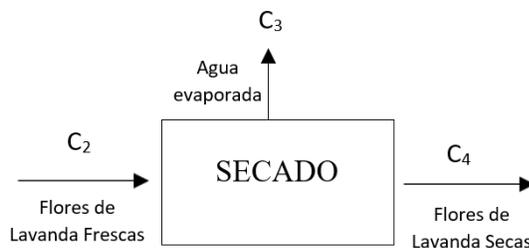
$$C_0 = 500.73 \text{ g}$$

$$\text{Impurezas} = 28.3 \%$$

$$C_1 = C_0 * 0.283 = 500.73 \text{ g} * 0.283 = 141.71 \text{ g}$$

$$C_2 = C_0 - C_1 = 500.73 - 141.71 \text{ g} = 359.02 \text{ g}$$

➤ **Etapa 2 – Secado**



Conocida la masa de flores de lavanda frescas,  $C_2$  que ingresan a la etapa de secado y el porcentaje de agua evaporada 58.22 %, se determina la masa de flores secas que ingresaran a la torre de destilación:

$$C_2 = C_3 + C_4 \quad \text{Ec. (2-2)}$$

Datos:

$$C_2 = 359.02 \text{ g}$$

Agua evaporada durante el secado = 58.22 %

Primero se realiza el cálculo de la cantidad en gramos del agua evaporada durante la etapa de secado, que corresponde a la siguiente expresión:

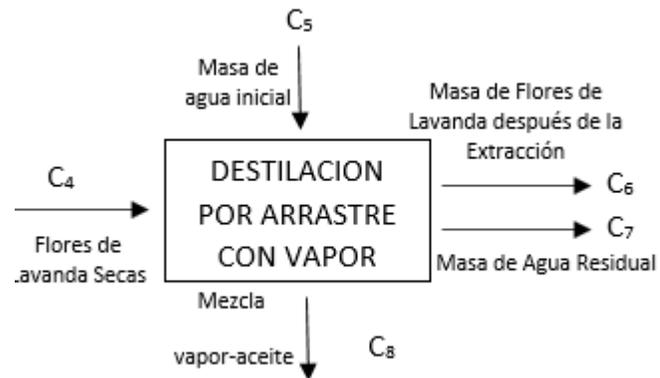
$$C_3 = C_2 * 0.5822 = 359.02 \text{ g} * 0.5822 = 209.02 \text{ g}$$

Reemplazando datos:

$$C_4 = C_2 - C_3 = 359.02 \text{ g} - 209.02 \text{ g} = 150.00 \text{ g}$$

La masa de flores de lavanda secas  $C_4 = 150 \text{ g}$ , corresponde a la cantidad más óptima (considerando el factor de empaquetamiento  $0.015 \text{ g/cm}^3$ ), según los resultados del análisis estadístico.

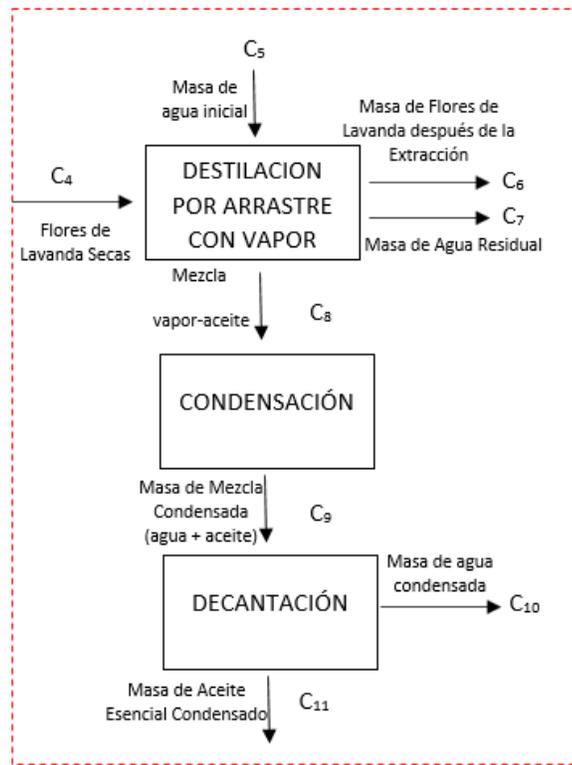
➤ **Etapa 3 – Destilación por Arrastre con Vapor**



$$C_4 + C_5 = C_6 + C_7 + C_8 \quad \text{Ec. (2-3)}$$

Para determinar la mezcla de vapor agua-aceite  $C_8$ , es necesario conocer la masa de agua residual que queda en la torre de destilación  $C_7$ . Para lo cual, se plantea el balance parcial para el agua.

**Balance parcial del Agua**



$$C_5 = C_6 + C_7 + C_{10} \quad \text{Ec. (2-4)}$$

Entonces queda,

$$C_5 \cdot x_5 = C_6 \cdot x_6 + C_7 \cdot x_7 + C_{10} \cdot x_{10} \quad \text{Ec. (2-5)}$$

Donde:

$x_5$  = fracción másica de agua inicial

$x_6$  = fracción másica de agua residual en las flores de lavanda

$x_7$  = fracción másica de agua residual en la torre de destilación

$x_{10}$  = fracción másica de agua condensada

- Se puede determinar la masa de agua inicial que ingresa a la torre de destilación  $C_5$ , a través del volumen y densidad conocidos:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. (2 - 6)}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad

$V$  = Volumen

m = masa

Aplicando la Ec. (2-6),

$$\rho_{H_2O} = \frac{C_5}{V_{ia}} \quad \text{Ec. (2 - 7)}$$

Datos:

$$\rho_{H_2O} = 0.9978 \text{ g/mL}$$

$$V_{ia} = 5\,500 \text{ mL}$$

Despejando  $C_5$ , y reemplazando los datos queda:

$$C_5 = \rho_{H_2O} * V_{ia}$$

$$C_5 = 0.9978 \text{ g/mL} * 5\,500 \text{ mL} = 5\,487.90 \text{ g}$$

- Conocida la masa de flores de lavanda después de la extracción  $C_6$  (obtenido por pesaje después de una extracción de 3 horas, tiempo que permite el mayor rendimiento experimental), se puede conocer la cantidad de agua residual absorbida por las mismas, a través de la determinación de la humedad utilizando el secador infrarrojo. Siendo esta 32.46 %.

Dato:

$$C_6 = 216.03 \text{ g}$$

$$x_6 = 32.46 \% = 0.3246$$

- Al igual que para la corriente  $C_5$ , se calcula la masa de agua condensada  $C_{10}$ , mediante el volumen medido y la densidad conocida.

Datos:

$$\rho_{H_2O} = 0.9978 \text{ g/mL}$$

$$V_{ac} = 1\,329.59 \text{ mL}$$

Reemplazando los datos queda:

$$C_{10} = 0.9978 \text{ g/mL} * 1\,329.59 \text{ mL} = 1\,326.67 \text{ g}$$

Aplicando la Ec. (2-5) del balance parcial para el agua, despejando  $C_7$  y reemplazando los datos; se tiene:

$$C_7 = \frac{C_5 * x_5 - C_6 * x_6 - C_{10} * x_{10}}{x_7}$$

$$C_7 = \frac{(5\,487.9\text{ g} \cdot 1) - (216.03\text{ g} \cdot 0.3246) - (1\,326.67\text{ g} \cdot 1)}{1}$$

$$C_7 = 4\,091.11\text{ g}$$

Valor que se asemeja a la masa de agua residual (4 071.02 g), que queda en la torre de destilación una vez concluida la etapa, calculada a partir del volumen medido (4080 mL).

### **Cálculo de la Masa de Agua para Generar Vapor en la Torre de Destilación**

Para determinar la masa de agua para generar vapor en la torre de destilación, se deben realizar los siguientes cálculos previos:

- Cálculo del volumen de agua residual en la torre de destilación

Conociendo la masa de agua residual  $C_7$ , se emplea la siguiente relación para su cálculo:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{C_7}{V_{\text{ar}}} \quad \text{Ec. (2 - 8)}$$

Donde:

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  = Densidad del agua

$V_{\text{ar}}$  = Volumen de agua residual en la torre en la torre de destilación

$C_7$  = Masa de agua residual en la torre de destilación

$$V_{\text{ar}} = \frac{C_7}{\rho_a} = \frac{4\,091.11\text{ g}}{0.9978\text{ g/mL}} = 4\,100.13\text{ mL}$$

- Cálculo del volumen de agua para generar vapor en la torre de destilación

$$V_{\text{va}} = V_{\text{ia}} - V_{\text{ar}} \quad \text{Ec. (2-9)}$$

Donde:

$V_{\text{va}}$  = Volumen de agua para generar vapor en la torre de destilación

$V_{\text{ia}}$  = Volumen inicial de agua cargada a la torre de destilación

$V_{\text{ar}}$  = Volumen de agua residual en la torre de destilación

Reemplazando:

$$V_{\text{va}} = 5500\text{ mL} - 4100.13\text{ mL} = 1399.87\text{ mL}$$

Por último, se calcula la masa de agua para generar vapor en la torre de destilación con la siguiente expresión:

$$\rho_{H_2O} = \frac{m_v}{V_{va}} \quad \text{Ec. (2 - 10)}$$

Donde:

$\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua

$m_v$  = Masa de vapor de agua para generar vapor en la torre de destilación

$V_{va}$  = Volumen de agua para generar vapor en la torre de destilación

Despejando y reemplazando:

$$m_v = 1\,399.87 \text{ g} * 0.9978 \text{ g/mL} = 1\,396.79 \text{ g} = 1.40 \text{ kg}$$

### Cálculo del Flujo de Vapor Generado en la Torre de Destilación

$$F_v = \frac{m_v}{t_e} \quad \text{Ec. (2 - 11)}$$

Donde:

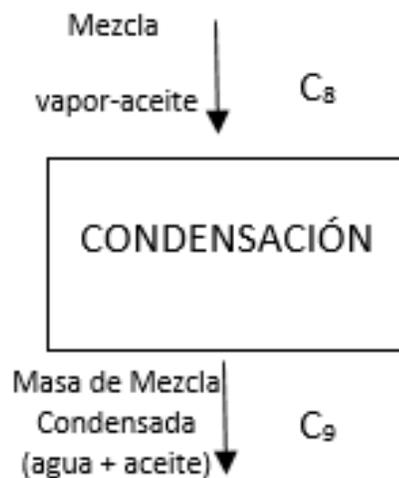
$F_v$  = Flujo de vapor generado en la torre de destilación

$m_v$  = Masa de vapor de agua generada en la torre de destilación

$t_e$  = Tiempo de extracción

$$F_v = \frac{1.40 \text{ Kg}}{180 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = 1.31 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

### ➤ Etapa 4 – Condensación



$$C_8 = C_9$$

$$\text{Ec. (2-12)}$$

Utilizando la Ec. (2-3), se obtiene la masa de mezcla de vapor de agua-aceite  $C_8$ , despejando y reemplazando datos:

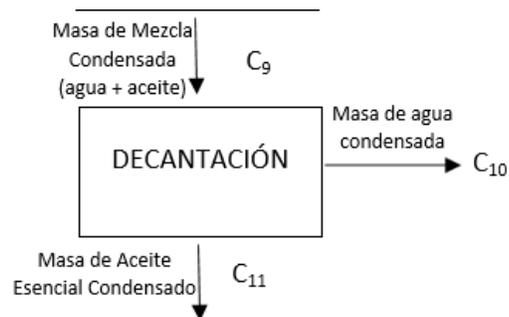
$$C_8 = C_4 + C_5 - C_6 - C_7$$

$$C_8 = 150 \text{ g} + 5\,487.90 \text{ g} - 216.03 - 4\,091.11 \text{ g}$$

Por tanto, la masa de la mezcla condensada  $C_9$ , es:

$$C_8 = C_9 = 1\,330.76 \text{ g}$$

### ➤ **Etapas 5 – Decantación**



$$C_9 = C_{10} + C_{11} \quad \text{Ec. (2-13)}$$

Conocida las corrientes  $C_9$  y  $C_{10}$ , se determina la masa de aceite esencial obtenido  $C_{11}$ :

$$C_{11} = C_9 - C_{10} \quad \text{Ec. (2-14)}$$

Despejando y reemplazando:

$$C_{11} = 1\,330.76 \text{ g} - 1\,326.67 \text{ g}$$

$$C_{11} = 4.09 \text{ g}$$

### **Cálculo del Rendimiento del Proceso**

$$\% R = \frac{C_{11}}{C_0} * 100 \quad \text{Ec. (2 - 15)}$$

Donde:

$C_{11}$  = Masa de aceite esencial obtenido

$C_0$  = Masa de flores de lavanda inicial

$$\% R = \frac{4.09 \text{ g}}{500.73 \text{ g}} * 100 = 0.81 \%$$

#### 2.5.4. Balance de Energía del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Flores de Lavanda

##### ➤ Etapa de Calentamiento

Para empezar la destilación, se debe lograr la generación de vapor por lo que se necesita llegar al punto de ebullición del agua dentro de la torre. Por tanto, existe una etapa de calentamiento, la cual en este caso se logra utilizando una hornalla a base de gas natural.

En esta etapa solo hay un cambio de temperatura por lo que se trata de calor sensible, el cual se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q_s = m * c_p * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. (2 - 16)}$$

Es decir;

$$Q_s = C_5 * c_{pH_2O} * (T_v - T_i)$$

Donde:

$Q_s$  = Calor sensible

$C_5$  = Masa de agua inicial cargada a la torre de extracción

$c_{pH_2O}$  = Calor específico del agua

$T_v$  = Temperatura de vapor del agua

$T_i$  = Temperatura inicial del agua

Datos:

$$C_5 = 5\,487.90 \text{ g} = 5.49 \text{ kg}$$

$$c_{pH_2O} = 1 \text{ kcal} / \text{kg} * ^\circ\text{C}$$

$$T_v = 93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando datos, queda:

$$Q_s = 5.49 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * \text{ }^\circ\text{C}} * (93 - 22)^\circ\text{C} = 389.79 \text{ kcal}$$

### ➤ Etapa de Generación de Vapor

Al momento de alcanzar el punto de ebullición empieza a generarse vapor, por lo tanto, existe un cambio de fase, es decir un calor latente.

Para determinar el calor latente es necesario calcular primero la potencia de la hornalla de gas natural, para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento:

$$t_c = 35 \text{ min}$$

$$P_{\text{ter}} = \frac{Q_s}{t_{\text{cal}}} \quad \text{Ec. (2 - 17)}$$

Donde:

$P_{\text{ter}}$  = Potencia térmica de la hornalla a gas natural

$Q_s$  = Calor sensible

$t_c$  = Tiempo de calentamiento

$$P_{\text{ter}} = \frac{389.79 \text{ kcal}}{35 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}} = 668.211 \text{ Kcal/h}$$

- Cálculo del calor latente durante la generación de vapor

$$Q_L = P_{\text{ter}} * t_{\text{ext}} \quad \text{Ec. (2 - 18)}$$

Donde:

$Q_L$  = Calor latente durante la generación de vapor

$P_{\text{ter}}$  = Potencia térmica de la hornalla de gas natural

$t_{\text{ext}}$  = Tiempo de extracción

El tiempo de extracción es 3 horas, por ser el más óptimo de acuerdo a los resultados del análisis de varianza. Remplazando:

$$Q_L = 668.211 \text{ kcal/h} * 3 \text{ h} = 2 004.63 \text{ kcal}$$

Entonces, el calor total requerido para toda extracción, es igual a la suma del calor sensible y el calor latente:

$$Q_T = Q_s + Q_L \quad \text{Ec. (2 - 19)}$$

Donde:

$Q_T$  = Calor total requerido

$Q_s$  = Calor sensible

$Q_L$  = Calor latente durante la generación de vapor

$$Q_T = 389.79 \text{ kcal} + 2 004.63 \text{ kcal} = 2 394.42 \text{ kcal}$$

#### ➤ **Etapa de Condensación**

En esta etapa se da lugar la transferencia de calor.

#### **Cálculo del Calor Cedido:**

El calor cedido es el calor que cede la mezcla de vapores de agua-aceite al agua de refrigeración en la etapa de condensación, esto corresponde a la sumatoria del calor latente y calor sensible de vaporización.

Por tanto, para realizar el cálculo del calor cedido, es necesario calcular antes el calor latente de vaporización del agua a 93 °C:

$$\lambda_v = \frac{Q_L}{m_v} \quad \text{Ec. (2 - 20)}$$

Donde:

$\lambda_v$  = Calor latente de vaporización del agua

$Q_L$  = Calor latente durante la generación de vapor

$m_v$  = Masa de vapor de agua generada en la torre de destilación

Datos:

$m_v = 1.40$  kg (determinado en la etapa de destilación del balance de materia)

$Q_L = 2\,004.63$  kcal

Reemplazando en la Ec. (2 - 20), da:

$$\lambda_v = \frac{2\,004.63 \text{ kcal}}{1.40 \text{ kg}} = 1\,431.88 \text{ Kcal/Kg}$$

Entonces, el calor cedido se puede obtener a partir de la ecuación siguiente:

$$Q_c = Q_{L_v} + Q_{S_v} = m_v * \lambda_v + m_v * c_{pH_2O} * (T_c - T_v) \quad \text{Ec. (2-21)}$$

Donde:

$Q_c$  = calor cedido

$Q_{L_v}$  = calor latente de vaporización

$Q_{S_v}$  = calor sensible de vaporización

$m_v$  = Masa de vapor de agua generada en la torre de destilación

$\lambda_v$  = Calor latente de vaporización del agua

$c_{pH_2O}$  = Calor específico del agua

$T_c$  = Temperatura de condensados

$T_v$  = Temperatura de vapor del agua

Datos:

$T_c = 24$  °C

$T_v = 93$  °C

Reemplazando:

$$Q_c = 1.40 \text{ kg} * 1\,431.88 \text{ kcal/kg} + 1.40 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/Kg} * ^\circ\text{C} * (24 - 93)^\circ\text{C}$$

$$Q_c = 1\,908.03 \text{ kcal}$$

### **Cálculo del Calor Ganado:**

Para lograr el cambio de fase y poder obtener la mezcla líquida agua-aceite, se necesita una etapa de refrigeración la cual se logra utilizando agua como refrigerante.

Para ello es necesario calcular la masa de agua refrigerante requerida para condensar la mezcla de vapor agua-aceite, misma que se determina a partir del flujo de agua refrigerante.

### **Cálculo de la Masa de Agua Refrigerante:**

- Cálculo del caudal de agua refrigerante

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. (2 - 22)}$$

Donde:

Q = caudal de agua refrigerante

V = volumen

t = tiempo

Para conocer el caudal de agua que ingresa a la etapa de condensación se cronometró (3 veces) el tiempo requerido para el paso de 500 mL de agua. Tiempo promedio igual a 15.40 segundos.

$$Q = \frac{500 \text{ mL}}{15.40 \text{ s}} = 32.47 \text{ mL/s}$$

- Cálculo del volumen de agua refrigerante

$$V_a = Q * t_{\text{ext}} \quad \text{Ec. (2 - 23)}$$

Donde:

V<sub>a</sub> = Volumen de agua refrigerante

$Q$  = caudal de agua refrigerante

$t_{\text{ext}}$  = Tiempo de extracción

Una vez calculado el caudal de agua refrigerante, se puede determinar el volumen de agua utilizado en las 3 horas que dura la extracción.

$$V_a = 32.47 \text{ mL/s} * 3 \text{ h} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$V_a = 350676 \text{ mL} = 350.676 \text{ L}$$

Es decir, para el procesamiento de 150 g de flores secas, se obtiene 4.09 g de aceite esencial (en 3 horas de extracción) y se consume 350.676 L de agua como refrigerante; considerado este un valor elevado, lo cual influye en los costos.

Entonces conociendo el volumen de agua utilizada como refrigerante, se puede determinar la masa de la misma de acuerdo a la Ec. (2-24), considerando 0.9978 g/mL como densidad del agua:

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a} \quad \text{Ec. (2 - 24)}$$

Donde:

$m_a$  = Masa de agua refrigerante

$V_a$  = Volumen de agua refrigerante

$\rho_a$  = Densidad del agua

Despejando y reemplazando:

$$m_a = V_a * \rho_a$$

$$m_a = 350676 \text{ mL} * 0.9978 \text{ g/mL}$$

$$m_a = 349904.51 \text{ g} = 349.90 \text{ kg}$$

Finalmente, conocida la masa de agua refrigerante se puede calcular el calor ganado por la misma.

$$Q_g = m_a * c_{pH_2O} * (T_s - T_e) \quad \text{Ec. (2 - 25)}$$

Donde:

$Q_g$  = Calor ganado

$m_a$  = Masa de agua refrigerante

$c_{pH_2O}$  = Calor específico del agua

$T_s$  = Temperatura en la salida del condensador

$T_e$  = Temperatura en la entrada del condensador

$$Q_g = 349.90 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg} * ^\circ\text{C} * (27 - 23)^\circ\text{C}$$

$$Q_g = 1\,399.60 \text{ kcal}$$

### **Volumen de Combustible Consumido:**

La cantidad de gas natural consumido se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{GN} = \frac{P_{ter} * t_T}{P_{calf}}$$

Donde:

$V_{GN}$  = Volumen de gas natural

$t_T$  = Tiempo total (tiempo de calentamiento más tiempo de extracción)

$P_{ter}$  = Potencia térmica de la hornalla

$P_{calf}$  = Poder calorífico del gas natural

Datos:

$$P_{ter} = 668.211 \text{ kcal/h}$$

$$P_{calf} = 8\,540 \text{ kcal/m}^3$$

$$t_c = 35 \text{ min}$$

$$t_{ext} = 3 \text{ horas}$$

Entonces:

$$t_T = 35 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} + 3 \text{ h}$$

$$t_T = 3.58 \text{ h}$$

$$V_{GN} = \frac{P_{ter} * t_T}{P_{calf}} = \frac{668.211 \text{ kcal/h} * 3.58 \text{ h}}{8540 \text{ Kcal/m}^3} = 0.28 \text{ m}^3$$

### 2.5.5. Análisis Estadístico del Diseño Experimental

Los resultados del análisis estadístico, derivan del diseño experimental presentado en la sección (2.3.2.). Para la obtención de estos resultados, se utilizó el programa SPSS 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows, mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases que involucra el análisis de datos, generando resultados más representativos y confiables.

Los resultados obtenidos de cada combinación tiempo de extracción-factor de empaquetamiento “t-f”, favorecieron el diseño experimental, lográndose determinar las variables más significativas para el proceso de extracción.

La variable respuesta de los datos experimentales, se puede expresar a través del rendimiento de aceite obtenido o masa de aceite obtenido. Para objeto de análisis estadístico, se tomó como variable respuesta el rendimiento de aceite esencial obtenido, debido a que es el parámetro que indica clara y directamente, el rendimiento del proceso y la cantidad de producto obtenido.

En la tabla (II-13), se presentan los resultados obtenidos experimentalmente durante el proceso de extracción de aceite esencial de lavanda. Donde el rendimiento se obtuvo de acuerdo al siguiente cálculo (Ej. para el experimento 7):

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a}$$

Donde:

$\rho_a$  = Densidad del aceite esencial

$m_a$  = Masa de aceite esencial

$V_a$  = Volumen de aceite esencial

Datos:

$$\rho_a = 0.889 \text{ g/mL}$$

$$V_a = 4.6 \text{ mL}$$

Despejando y reemplazando datos queda:

$$m_a = \rho_a * V_a$$

$$m_a = 0.889 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 4.6 \text{ mL} = 4.09 \text{ g}$$

Conocida la masa de aceite obtenido en el experimento 7, se puede determinar el rendimiento porcentual (%p/p) relacionando esta con la masa de flores secas colocadas para la extracción (150 g).

$$\% R_a = \frac{m_a}{m_{fs}} * 100$$

Donde:

%R = Rendimiento porcentual de aceite obtenido

$m_a$  = Masa de aceite esencial

$m_{fs}$  = Masa de flores secas

$$\% R_a = \frac{4.09}{150} * 100 = 2.73 \%$$

### Tabla II – 13

#### Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Factor de Empaquetamiento	Tiempo de Extracción (h)	Volumen (mL)	Rendimiento (%)	Volumen (mL)	Rendimiento (%)
1	0.045	3	11.9	2.35	11.3	2.23
2	0.045	2.5	8.5	1.68	8.2	1.62
3	0.045	2	9.5	1.60	8.7	1.52
4	0.030	3	7.8	2.31	7.3	2.16
5	0.030	2.5	6.7	1.99	6.4	1.90
6	0.030	2	6.2	1.84	5.8	1.72
7	0.015	3	4.6	2.73	4.1	2.43
8	0.015	2.5	3.5	2.07	3.8	2.25
9	0.015	2	3.2	1.90	3.3	1.96

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020.

El aceite esencial de flores de lavanda se obtuvo en el proceso de extracción, empleando tres diferentes factores de empaquetamiento denotados por +1, como el mayor valor, 0 valor intermedio y -1 el menor valor; combinando los mismos con los distintos tiempos de extracción. El mayor porcentaje de aceite se obtuvo trabajando con el menor factor de empaquetamiento y con el mayor tiempo de extracción, siendo este rendimiento de 2.73 %

#### 2.5.5.1. Cálculo del Análisis de Varianza

El análisis de varianza expresa las principales variables que influyen en el proceso de extracción, es decir, sobre la variable respuesta (rendimiento). De este modo, se dan las transformaciones de las interacciones entre las variables que influyen sobre dicho rendimiento, y la significancia de los mismos. En la tabla II - 14 se muestran los datos con los cuales se efectuó el del análisis de varianza de un diseño 3 x 3.

Tabla II – 14

Datos para el Cálculo del Análisis de Varianza

Tiempo	Factor de Empaquetamiento	t-f	Rendimiento
1	1	1	2.35
0	1	0	1.68
-1	1	-1	1.60
1	0	0	2.31
0	0	0	1.99
-1	0	0	1.84
1	-1	-1	2.73
0	-1	0	2.07
-1	-1	1	1.90
1	1	1	2.23
0	1	0	1.62
-1	1	-1	1.52
1	0	0	2.16
0	0	0	1.90
-1	0	0	1.72
1	-1	-1	2.43
0	-1	0	2.25
-1	-1	1	1.96

Fuente: SPSS 18.0

La tabla II – 15 muestra el número de ensayos realizados, siendo 6 ensayos con cada factor y tiempo fijados respectivamente.

**Tabla II – 15**

**Factores Inter-Sujetos**

		N
Tiempo	-1.00	6
	0.00	6
	1.00	6
Masa	-1.00	6
	0.00	6
	1.00	6

**Fuente:** SPSS 18.0

En la tabla II - 16 se exponen los resultados del análisis de varianza, aplicados a los datos experimentales del proceso de obtención de aceite esencial de lavanda.

**Tabla II – 16**

**Pruebas de los Efectos Inter-Sujetos**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1.685 <sup>a</sup>	6	0.281	19.791	0.000
Intersección	37.516	1	37.516	2643.356	0.000
Tiempo	1.128	2	0.564	39.726	0.000
Factor de Empaquetamiento	0.458	2	0.229	16.151	0.001

TiempoFactor	0.017	2	0.008	0.583	0.575
Error	0.156	11	0.014		
Total	74.885	18			
Total corregida	1.841	17			

R cuadrado = 0.915 (R cuadrado corregida = 0.869)

Variable dependiente: Rendimiento

**Fuente:** SPSS 18.0

Los resultados arriba mostrados, indican que todas las variables, excepto la interacción Tiempo-Factor, influyen sobre el rendimiento de aceite obtenido. Debido a que, el nivel de significancia es menor al 5 % o 0.05, es decir, existe una posibilidad de que las variables sean significativas sobre el proceso de extracción de aceite esencial de lavanda, con una confianza del 95 %.

La tabla II – 17 presenta las variables introducidas y eliminadas a través del programa, la variable eliminada es la interacción Tiempo-Factor al no ser significativa.

**Tabla II – 17**

**Variables Introducidas/Eliminadas**

<b>Modelo</b>	<b>Variables introducidas</b>	<b>Variables eliminadas</b>	<b>Método</b>
1	Factor, Tiempo <sup>a</sup>		Introducir

Variable dependiente: Rendimiento

**Fuente:** SPSS 18.0

Tabla II - 18

## Ajustes de Datos para el Modelo Lineal General

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación
1	0.926 <sup>a</sup>	0.857	0.838	0.13235

VARIABLES predictoras: (Constante), Factor de Empaquetamiento, Tiempo

VARIABLE dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 18.0

Tabla II -19

## ANOVA (b)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	1.579	2	0.789	45.065	0.000 <sup>a</sup>
Residual	0.263	15	0.018		
Total	1.841	17			

VARIABLES predictoras: (Constante), Factor de Empaquetamiento, Tiempo

Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 18.0

**Tabla II – 20**

**Coefficientes (a)**

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	T	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0 % para B	
	B	Error Tipo	Beta			Límite inferior	Límite superior
1							
Constante	2.014	0.031		64.577	0.000	1.948	2.081
Tiempo	0.306	0.038	0.781	8.005	0.000	0.224	0.387
Factor Emp	-0.195	0.038	-0.498	-5.104	0.000	-0.276	-0.114

Fuente: SPSS 18.0

En la tabla II – 20 se determinó que el modelo matemático ajustado para el proceso de obtención, que correlaciona el rendimiento de aceite obtenido con las variables, tiempo y factor de empaquetamiento, para el caso estudiado es el siguiente:

$$\text{Rendimiento} = 2.014 + 0.306 \text{ Tiempo} - 0.195 \text{ Factor de Empaquetamiento}$$

Por lo cual, el rendimiento está en función al tiempo de extracción y al factor de empaquetamiento. Por tanto, mientras mayor sea el tiempo de extracción y menos compactada este la materia prima, se incrementa el rendimiento de aceite obtenido.

En la siguiente tabla II - 21, se realiza la comparación de los resultados del rendimiento obtenido de manera experimental respecto del rendimiento obtenido mediante el modelo matemático, mismos que son llevados al gráfico II-4, donde se puede observar de mejor manera la similitud entre ambos.

**Tabla II – 21**

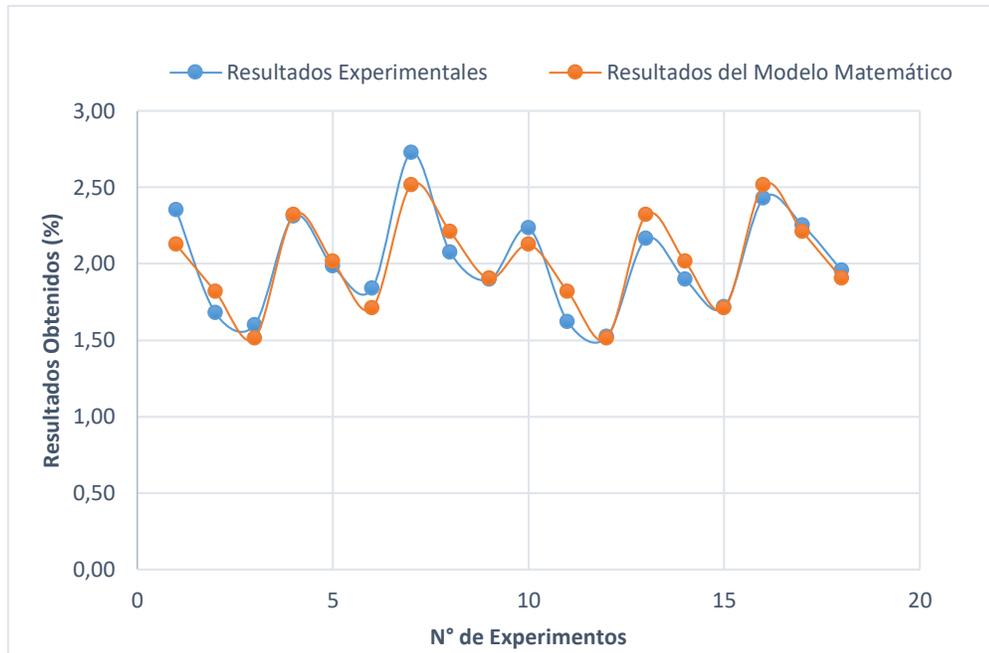
**Resultados del Volumen Experimental y Obtenido con el Modelo Matemático**

<b>Factor de Empaquetamiento</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Rendimiento Experimental</b>	<b>Rendimiento Modelo Matemático</b>
1	1	2.35	2.125
1	0	1.68	1.81
1	-1	1.60	1.51
0	0	2.31	2.32
0	0	1.99	2.01
0	0	1.84	1.71
-1	-1	2.73	2.52
-1	0	2.07	2.21
-1	1	1.90	1.90
1	1	2.23	2.13
1	0	1.62	1.82
1	-1	1.52	1.54
0	0	2.16	2.32
0	0	1.90	2.01
0	0	1.72	1.71
-1	-1	2.43	2.52
-1	0	2.25	2.21
-1	1	1.96	1.90

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

#### **Gráfico II – 4**

**Curva de Comparación de Resultados Obtenidos Experimentalmente y en el  
Modelo Matemático**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

**Tabla II – 22**

**Estadísticos Sobre los Residuos (a)**

	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>N</b>
--	---------------	---------------	--------------	------------------------------	----------

Valor pronosticado	1.5136	2.5153	2.0144	0.30474	18
Valor pronosticado tip.	-1.643	1.643	0.000	1.000	18
Error típico de valor pronosticado	0.031	0.062	0.053	0.010	18
Valor pronosticado corregido	1.4889	2.5396	2.0095	0.30482	18
Residual					
Residuo tip.	-1.9944	0.22472	0.00000	0.12432	18
Residuo estud.	-1.507	1.698	0.000	0.939	18
Residuo eliminado	-1.624	1.925	0.017	1.035	18
Residuo eliminado estud.	-0.23161	0.28893	0.00497	0.15127	18
Dist. de Mahalanobis		2.144	0.030	1.091	18
Distancia de Cook	-1.728	2.833	1.889	0.972	18
Valor de influencia centrado	0.000	0.353	0.074	0.104	18
	0.000	0.167	111	0.057	18
	0.000				

Variable dependiente: Rendimiento

**Fuente:** SPSS 18.0

Del análisis estadístico se puede concluir lo siguiente:

- ✓ El modelo elegido es correcto, por lo que la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza del 95 %.
- ✓ El factor que más influye en el proceso de obtención de aceite, es el tiempo, seguido por el factor de empaquetamiento. Debido a que, mientras mayor sea el tiempo de extracción y menos compactada este la materia prima, mejor es el rendimiento.

## 2.6. ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO

Los parámetros fisicoquímicos del producto final se realizaron en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Químicas, dependiente de la Universidad Mayor de San

Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Ciencias Químicas en la ciudad de La Paz.

Los análisis realizados al aceite esencial de Lavanda procedente del Municipio del Puente, fueron los siguientes:

- Determinación del color, olor y apariencia
- Determinación de densidad
- Determinación de índice de refracción
- Determinación de rotación óptica
- Determinación de los componentes del aceite esencial obtenido

### 2.6.1. Resultados de los Análisis del Producto Final

**Tabla II-23**

#### Análisis Organoléptico

Parámetro	Resultado
Color	Amarillo claro
Olor	Característico a Lavanda, fresco
Apariencia	Líquido transparente

**Fuente:** Instituto de Investigaciones Químicas “UMSA”, 2020.

**Tabla II – 24**

#### Características Físicoquímicas del Aceite Esencial de Lavanda

Parámetro	Resultado
Índice de refracción	1.4641

Rotación óptica (19 °C)	-10.10 °
Densidad relativa (19 °C)	0.889

**Fuente:** Instituto de Investigaciones Químicas “UMSA”, 2020.

Los resultados indicados en las tablas II-23 y II-24, serán comparados más adelante con las referencias bibliográficas que se tienen.

## 2.7. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

En la tabla II-25 se muestran los principales compuestos identificados en el perfil cromatográfico realizado al aceite esencial de Lavanda.

**Tabla II-25**

### Resultados del Perfil Cromatográfico

Compuesto	Tiempo de Retención (min)	Abundancia (%)
Linalol	12.278	34.57
Acetato de Linalilo	15.965	18.35
Alcanfor	13.584	9.68
Terpinen-4-ol	14.399	4.00
Acetato de Lavandulilo	16.743	2.71
Lavandulol	13.897	0.54
Limoneno	10.520	1.53

**Fuente:** Instituto de Investigaciones Químicas “UMSA”, 2020.

**CAPITULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.COMPARACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA

Las características fisicoquímicas y el perfil cromatográfico de aceite esencial de Lavanda obtenido en la experimental del presente proyecto de investigación y las que se encuentran como referencia bibliográfica; se detallan a continuación en la tabla III-1 y la tabla III-2, respectivamente.

**Tabla III -1**

#### Comparación del Aceite Esencial de Lavanda

<b>Aceite Esencial de Lavanda <i>Lavándula Angustifolia</i></b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Datos Bibliográficos</b>	<b>Experimental</b>
Color	Amarillo claro	Amarillo claro
Olor	Característico, herbáceo, fresco	Característico a Lavanda, fresco
Apariencia	-	Líquido transparente
Índice de Refracción	1.45 – 1.47	1.4641
Rotación Óptica	-12/+2°	-10.10°
Densidad Relativa	0.88	0.889

**Fuente:** Plant Be, 2019; Adolfo Marey, 1949; Instituto de Investigaciones Químicas “UMSA”, 2020.

De los resultados arriba comparados se puede observar, que los parámetros determinados cumplen con las características que según referencia bibliográfica debe presentar un aceite esencial de Lavanda.

Tabla III -2

## Comparación Perfil Cromatográfico del Aceite Esencial de Lavanda

Aceite Esencial de Lavanda <i>Lavándula Angustifolia</i>		
Parámetro	Datos Bibliográficos (%)	Experimental (%)
Linalol	25 – 38	34.57
Acetato de Linalilo	25 – 45	18.35
Alcanfor	Máx. 0.5	9.68
Terpinen-4-ol	2 – 6	4.00
Acetato de Lavandulilo	Mín. 2	2.71
Lavandulol	Mín. 0.3	0.54
Limoneno	Máx. 0.5	1.53

**Fuente:** Instituto de Investigaciones Químicas “UMSA”, 2020.

Al comparar los resultados experimentales con los parámetros establecidos por la Norma ISO 3515:2002 Oil of Lavander (*Lavándula Angustifolia Mill.*), se observa que efectivamente el compuesto en mayor abundancia es el Linalol, en este caso con 34.57 %, también, se comprueba que los demás compuestos se encuentran dentro del rango permitido. Con excepción del Limoneno y el Alcanfor; el limoneno otorga un elevado poder aromatizante al aceite obtenido, el contenido mínimo permisible de alcanfor se debe a que puede presentar efectos nocivos como irritación de las vías áreas, congestión bronquial, cirrosis hepática, y asfixia, sin embargo, el alcanfor también otorga las propiedades analgésicas y rubefacientes al aceite esencial. De acuerdo a estudios realizados, se conoce que es posible extraer el alcanfor por evaporación y destilación de aceites esenciales y utilizarlo de forma individual ya que tiene diferentes propiedades y beneficios (Manuel Valera, 1995).

### 3.2. COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA (*LAVANDULA ANGUSTIFOLIA*) CON ACEITES OBTENIDOS EN OTROS PAISES

A continuación, en la tabla III- 3, se presenta los rendimientos obtenidos por otros proyectos de aceite esencial de lavanda en comparación con el obtenido en la ciudad de Tarija.

**Tabla III- 3**

#### Comparación de Resultados de Rendimiento

<b>Autores</b>	<b>(Tarija - Bolivia)</b>	<b>(La Mancha - España)</b>	<b>( Sstochi - Rusia)</b>	<b>(Konya - Turquía)</b>
<b>Rendimiento (%)</b>	2.73	2.98 – 3.07	1.98	2.1 – 2.6

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020; David Hernández. et al, 2013; Marey, 1949; Atalay, A. T., 2008.

En la tabla III -3 se observa que el rendimiento experimental del presente trabajo es superior que el de Rusia y Turquía, (Marey, 1949; Atalay, A. T., 2008). Se encuentra dentro del rango del rendimiento de aceite esencial de lavanda obtenido en España.

Para la lavanda, el rendimiento en esencia va disminuyendo a partir de la fecundación, siendo mínimo cuando las semillas están maduras, pero la calidad de la esencia aumenta al irse incrementando en ésta el porcentaje de ésteres.

El rendimiento y calidad de la esencial de lavanda de una plantación depende de diferentes factores como la variedad, el eco tipo o clon artificial seleccionado, la altitud, clima, suelo de la plantación, las labores, la edad de las de las plantas, la fertilización, el año climático, el momento de cosecha y el sistema de destilación utilizado. En cualquier caso, la elección de la planta y las labores juegan un papel decisivo (Natalia José, 2007).

En el presente trabajo, la lavanda fue recolectada y cosechada en la estación primaveral entre los meses de septiembre y octubre del año 2020, a inicios de la temporada de floración de la planta.

### 3.3. COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE (*LAVANDULA ANGUSTIFOLIA*) CON ACEITES OBTENIDOS EN OTROS PAISES

Tabla III – 4

#### Comparación de Resultados del Perfil Cromatográfico con Otros Países

Aceite Esencial de Lavanda <i>Lavándula Angustifolia</i>					
Parámetro	Bolivia	Turquía	España	Serbia	Argentina
Linalol	34.57	38.10	26.10	19.17	45.30
Acetato de Linalilo	18.35	11.40	32.70	11.23	6.70
Alcanfor	9.68	4.11	0.51	19.89	-
Terpinen-4-ol	4.00	3.27	3.20	0.56	-
Acetato de Lavandulilo	2.71	-	4.70	2.24	-
Lavandulol	0.54	-	0.20	0.45	-
Limoneno	1.53	1.29	5.60	0.15	-

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020; David Hernández. et al, 2013; Marey, 1949; Atalay, A. T., 2008.

Respecto al componente de mayor abundancia, el porcentaje de Linalol que contiene el aceite esencial de flores de lavanda obtenido en Tarija-Bolivia, se considera óptimo comparado con el de los otros países. El contenido de Acetato de Linalilo es aceptable, excepto por España, país que cumple con el rango según la norma ISO.

En cuanto a la presencia de Alcanfor se puede evidenciar que las condiciones climáticas para el cultivo de las flores de lavanda, influye en el aumento de este componente. Por ejemplo, Málaga-España (8 m.s.n.m.), es el único país que llega a cumplir con límite máximo permisible.

En relación al porcentaje de Terpinen-4-ol, Bolivia presenta un valor bastante aceptable a diferencia de los otros países.

En cuanto a los compuestos restantes, las condiciones de cultivo de las flores de lavanda es un factor que influye significativamente en sus cantidades presentes en el aceite esencial. Favorable para el caso de Lavandulol y Limoneno en climas fríos y altitudes elevadas. Contrario a lo que ocurre con el Acetato de Lavandulilo.

### 3.4. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO

Tabla III – 5

#### Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavada

Nº de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Factor de Empaquetamiento	Tiempo de Extracción (h)	Volumen (mL)	Rendimiento (%)	Volumen (mL)	Rendimiento (%)
1	0.045	3	11.9	2.35	11.3	2.23
2	0.045	2.5	8.5	1.68	8.2	1.62
3	0.045	2	9.5	1.60	8.7	1.52
4	0.030	3	7.8	2.31	7.3	2.16
5	0.030	2.5	6.7	1.99	6.4	1.90
6	0.030	2	6.2	1.84	5.8	1.72
7	0.015	3	4.6	2.73	4.1	2.43
8	0.015	2.5	3.5	2.07	3.8	2.25
9	0.015	2	3.2	1.90	3.3	1.96

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

En tabla III – 4 vista en la sección 3.5.4, se observan los resultados experimentales obtenidos en el proceso de extracción de aceite esencial de lavanda, donde se prueba la influencia de los parámetros, factor de empaquetamiento y tiempo de extracción sobre el rendimiento del aceite.

Los datos indicados, muestran claramente que pese a que se obtiene un rendimiento de aceite esencial de 2.73 % en 3 h de extracción, el factor empaquetamiento es determinante.

### 3.4.1. Condiciones de Operación Recomendadas para el Proceso de Extracción

De los datos experimentales expuestos en la tabla III- 5 se elaboró el gráfico III-1, empleando los datos obtenidos en la extracción con el menor factor de empaquetamiento, con lo cual se obtuvieron los mejores rendimientos de aceite.

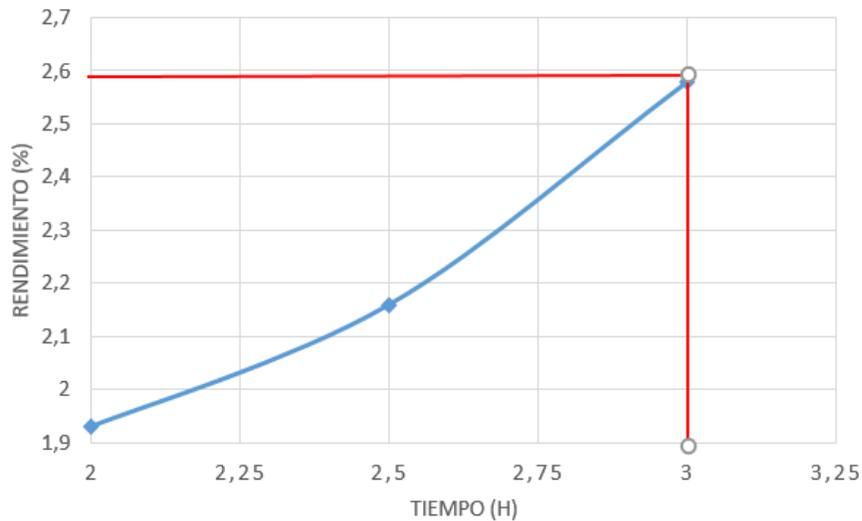
**Tabla III - 6**

**Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda  
Empleando el Factor de Empaquetamiento de 0.015**

<b>N° de Exp.</b>	<b>Factor de Empaquetamiento</b>	<b>Tiempo de Extracción (h)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
7	0.015	3	2.58
8	0.015	2.5	2.16
9	0.015	2	1.93

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Gráfico III-1

**Rendimiento de Aceite Esencial de Lavanda Empleando el Factor de Empaquetamiento de 0.015**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

Se promediaron los resultados experimentales obtenidos con su respectiva repetición tomando el menor factor de empaquetamiento. En el gráfico III-1 se puede observar un aumento considerable del rendimiento durante el tiempo de extracción de 2.5 horas a 3 horas; en los 30 minutos de diferencia existe un 16 % de incremento, lo cual justifica que se sigue extrayendo aceite durante ese intervalo de tiempo, por lo que se considera que las condiciones óptimas un tiempo de extracción de 3 horas, un factor de empaquetamiento 0.015 y una temperatura de 93 ° C temperatura de ebullición del agua en la ciudad de Tarija.

Tabla III - 7

**Condiciones de Operación Recomendadas para el Proceso de Obtención de Aceite  
Esencial de Lavanda**

<b>Tiempo de Extracción (h)</b>	<b>Factor de Empaquetamiento</b>	<b>Temperatura de Extracción (°C)</b>
3	0.015	93

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

Respondiendo a los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación, basados en los resultados, las conclusiones son las siguientes:

- Para la caracterización de la materia prima, se analizaron las propiedades físicas, químicas y taxonómicas de las flores de lavanda. Se determinó su porcentaje de humedad después de realizada la etapa de secado; utilizando un secador infrarrojo. Siendo el resultado aproximado 10.36 %, mismo que se encuentra dentro del rango óptimo para realizar una extracción de aceite esencial asegurando un buen rendimiento del producto obtenido.
- Referente a la extracción de aceite esencial de lavanda mediante destilación con arrastre de vapor de agua, resulta más adecuado trabajar con la materia prima en estado seco, con el menor factor de empaquetamiento (0.015) y con el mayor tiempo de extracción (3 horas), por permitir un mayor rendimiento de aceite obtenido, a 93 °C.
- Los resultados del diseño factorial, utilizando el programa estadístico SPSS 18.0, indican que las variables tiempo de extracción y factor de empaquetamiento, influyen significativamente sobre el rendimiento obtenido de aceite esencial de lavanda (2.73 %). Lo cual no sucede con la variable de interacción tiempo - factor. El rendimiento del proceso es de 0.81 % de aceite esencial de lavanda, como resultado del balance de materia realizado considerando las etapas previas a la destilación.
- La determinación de los parámetros fisicoquímicos del aceite esencial obtenido (índice de refracción 1.4641; rotación óptica  $-10.10^\circ$  y densidad relativa 0.889), fueron comparados con los resultados referenciales, donde se observa que todos se encuentran dentro de los parámetros que caracterizan un buen aceite esencial de Lavanda.

- En la comparación del perfil cromatográfico con aceites esenciales de lavanda, obtenidos en otros países, como referencia de calidad. Se observa, que las condiciones de cultivo de la planta, es un factor que influye en la proporción de cada compuesto. Permitiendo las condiciones de Tarija-Bolivia, obtener un aceite esencial de buena calidad, con respecto al producido en otros países. Tal como es el caso del Linalol (34.57%), el cual mejora de acuerdo a las condiciones de altura de su cultivo.

El rendimiento experimental es de 2.73 % de aceite esencial de flores de lavanda secas, un valor aceptable, según la comparación realizada con rendimientos obtenidos en otros países.

#### **4.2.RECOMENDACIONES**

- Para disminuir el consumo de agua como refrigerante y/o evitar la pérdida excesiva de este recurso, puede considerarse las siguientes recomendaciones:
  - Trabajar en un sistema en contracorriente, por ser más eficiente que un sistema en paralelo al permitir mayor transferencia de calor.
  - Tener en cuenta, que el tipo de condensador utilizado sea el más eficiente en cuanto a intercambio de calor se refiere y del material del cual está construido.
  - Trabajar en un sistema continuo para recuperar el agua que sale de la condensación y utilizarla dentro de la torre de destilación, aprovechando además su energía calorífica.

Para este caso en particular, se puede reutilizar parte del agua para la generación de vapor dentro de la torre de destilación (en la siguiente extracción), y recolectar el resto para otros usos evitando así el desperdicio de este recurso.
- Tomar las precauciones necesarias para disminuir la influencia de las condiciones climáticas, al momento de realizar la etapa de secado. Así también, durante el almacenamiento de la materia prima.
- Verificar que la torre de destilación no presente fugas de vapor durante la extracción del aceite esencial. Realizar una limpieza antes de cada extracción (con el objetivo

de evitar que el vapor se adhiera a las paredes del equipo). Todo esto, con el fin de asegurar un buen rendimiento del producto obtenido.

- Para reducir los costos de consumo de energía, se recomienda trabajar con un flujo de agua de refrigeración relativamente alto (recuperando la misma, mediante un sistema de recirculación).
- Se recomienda como alternativa de investigación, elaborar un proyecto en el cual se pueda extraer alcanfor por evaporación y destilación a partir de aceite esencial de flores de lavanda, para poder mejorar la calidad del aceite esencial y aprovechar las propiedades individuales del alcanfor.



