

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA  
(*Lavandula Angustifolia*) MEDIANTE EL MÉTODO  
DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR**

**Por:**

**CAMILA SOLIZ BALDIVIESO**

Modalidad de Graduación (Investigación Aplicada) presentado a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Abril de 2021

TARIJA – BOLIVIA

**V°B°**

---

M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gonzalvéz

**DECANO**

Facultad de Ciencias y Tecnología

---

M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA**

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Juan Pablo Herbas B.

---

Ing. Miguel Vargas C.

---

Ing. Natalia Ortega B.

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo estas responsabilidades del autor.

Dedicado a mis padres y a mi abuela María Luisa Calderón, por hacer de mi la persona que soy hoy, por su apoyo y amor incondicional. A mi tío Walter Calderón por sus sabios consejos y guía para encaminarme en esta carrera.

Gracias a Dios por siempre iluminar mi camino, y por darme la sabiduría y fuerza necesarias para afrontar cada obstáculo cada día.

Gracias a mis padres, por su infinito amor y esfuerzo para que pueda cumplir cada una de mis metas, por creer siempre en mí, a mi hermano por su apoyo incondicional durante esta etapa, a mi novio por apoyarme y motivarme siempre a superarme cada día.

Por último, y no menos importante doy gracias a mis docentes, en especial a mis tribunales por guiarme en este proyecto de investigación.

No es la fuerza, sino la perseverancia  
de los altos sentimientos la que hace  
a los hombres superiores

**Nietzsche**

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
mg	Miligramo
cm	Centímetro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectáreas
g	Gramos
°C	Grados centígrados
mL	Mililitros
L	Litros
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
min	Minutos
h	Hora
s	Segundos
°	Grados
\$	Dólares americanos
Bs	Bolivianos
T	Temperatura
V	Volumen
m	Masa
	Densidad
R	Rendimiento
% H	Porcentaje de humedad
Q	Caudal de agua
Q <sub>T</sub>	Calor total requerido para la extracción
Q <sub>s</sub>	Calor sensible
Q <sub>L</sub>	Calor latente
vaporización	Calor latente de vaporización
F <sub>v</sub>	Flujo de vapor generado en la torre de destilación
P <sub>ter</sub>	Potencia térmica
C <sub>p</sub>	Calor específico

t <sub>ext</sub>	Tiempo de extracción
kcal	Kilocalorías
W	Vatios
kW	Kilovatios
.	Decimal
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje

## GLOSARIO

- **Anetol:** es un compuesto aromático al que se debe el sabor distintivo a regaliz del anís, el hinojo y el anís estrellado.
- **Biosintetizado:** es un proceso de múltiples pasos, catalizado por enzimas, en el que los sustratos se convierten en productos más complejos en los organismos vivos.
- **Brácteas:** hojas modificadas situadas cerca de las flores compuestas, propias de las plantas angiospermas.
- **Colofonia:** Resina sólida, translúcida, pardusca o amarillenta, e inflamable, que se obtiene de la destilación de la trementina del pino y se emplea en cosmética, farmacia, etc.
- **Esqueje:** Tallo, rama o retoño de una planta que se injerta en otra o se introduce en la tierra para reproducir o multiplicar la planta.
- **Fluido Supercrítico:** es cualquier sustancia que se encuentre en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico, lo que hace que se comporte como un híbrido entre un líquido y un gas, es decir, puede difundir como un gas (efusión), y disolver sustancias como un líquido (disolvente).
- **Germinación:** es el proceso mediante el cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta.
- **Herbicida:** es un producto fitosanitario utilizado para eliminar plantas indeseadas.
- **Hidrosoles:** es una suspensión coloidal (hidrosol) de aceites esenciales, así como de componentes hidrosolubles obtenidos por destilación de vapor o hidrodestilación de hierbas/de plantas.
- **Imbricadas:** poner una serie de cosas iguales de manera que se superpongan parcialmente.
- **Lactona:** es un compuesto orgánico del tipo éster cíclico. Se forma como producto de la condensación de un grupo alcohol con un grupo ácido carboxílico en una misma molécula.
- **Morfológico:** la palabra morfológico es un adjetivo que se utiliza para hacer referencia a aquellos elementos, fenómenos o situaciones que tengan que ver con la morfología. La morfología es el estudio de las formas que tienen diferentes cosas.
- **Odorífico:** que tiene buen aroma.

- **Oreo:** acción de ventilar, orearse.
- **Patógeno:** que causa o produce una enfermedad
- **Plantín:** plantas en pequeñas macetas listas para su trasplante, generalmente para uso comercial.
- **Punto de Ablandamiento:** se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente.
- **Raigrás:** Es una planta forrajera que se cultiva en muchos países para usarla como alimento para el ganado bovino.
- **Sesquiterpenos:** son los terpenos de 15 carbonos (es decir, terpenoides de un monoterpenoide y medio).
- **Sumidades Floridas:** rama con flores o botones florales de las plantas.
- **Terpenos:** son una vasta y diversa clase de compuestos orgánicos derivados del isopreno (o 2-metilbuta-1,3-dieno), un hidrocarburo de 5 átomos de carbono.
- **Verticilos:** Conjunto de ramas, hojas, flores, pétalos u otros órganos que nacen al mismo nivel alrededor de un eje.

## ÍNDICE

Advertencia .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Pensamiento .....	iv
Abreviaturas y Simbología .....	v
Glosario .....	vii
Resumen .....	ix

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES .....	1
Generalidades .....	1
Identificación del Problema .....	1
Planteamiento técnico propuesto.....	2
OBJETIVOS .....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
Justificación Económica .....	3
Justificación Tecnológica.....	3
Justificación Social.....	3

Justificación Ambiental .....	4
-------------------------------	---

## CAPITULO I

### MARCO TEORICO

1.1. ACEITES ESENCIALES.....	5
1.1.1. Clasificación de los Aceites Esenciales .....	5
1.1.1.1. Origen de los Aceites Esenciales .....	5
1.1.1.2. Consistencia de los Aceites Esenciales.....	5
1.1.2. Análisis Físicoquímicos de un Aceite Esencial.....	6
1.2. RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES.....	7
1.3. ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA .....	8
1.3.1. Aplicaciones y Usos del Aceite Esencial de Lavanda .....	9
1.3.2. Beneficios del Aceite Esencial de Lavanda.....	9
1.3.3. Composición Química del Aceite Esencial de Lavanda .....	10
1.3.4. Propiedades Químicas y Físicas del Aceite Esencial de Lavanda .....	11
1.3.5. Ficha de Seguridad del Aceite Esencial de Lavanda .....	12
1.4. USOS DE LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DE LA DESTILACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA .....	13
1.4.1. Hidrolatos.....	13
1.4.2. Residuos de Materia Prima .....	13
1.5. MERCADO DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA .....	14
1.5.1. Mercado Consumidor del Aceite Esencial de Lavanda .....	15
1.5.1.1. Importaciones de Aceites Esenciales en Bolivia.....	16
1.5.2. Mercado Competidor de Aceite Esencial de Lavanda.....	18
1.5.2.1. Evolución de la Industria de Aceites Esenciales en Bolivia .....	20
1.6. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA LAVANDA (LAVANDULA ANGUSTIFOLIA) .....	21
1.6.1. Taxonomía.....	22
1.6.2. Composición Química de la Flor de Lavanda (Lavandula agustifolia) .....	23
1.6.3. Tipos de Lavanda.....	24
1.6.3.1. Espliego .....	24
1.6.3.2. Lavanda .....	25
1.6.3.3. Lavandín .....	25
1.7. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL A PARTIR DE FLORES DE LAVANDA.....	26
1.7.1. Extracción con Disolventes Orgánicos .....	27

1.7.2.Enfleurage o Maceración .....	28
1.7.3.Extracción con Dióxido de Carbono en Condiciones Supercríticas .....	29
1.7.4.Extracción Asistida por Radiación de Microondas .....	30
1.7.5.Destilación por Arrastre con Vapor.....	31
1.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR.....	34

## **CAPITULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.....	36
2.1.1.Descripción Física de la Materia Prima .....	37
2.1.2.Determinación del Porcentaje de Humedad en las Flores de Lavanda .....	38
2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	39
2.2.1.Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda .....	39
2.3. DISEÑO FACTORIAL.....	44
2.3.1.Selección de Variables del Proceso Factorial .....	44
2.3.2.Diseño Factorial 3k.....	44
2.3.2.1.Cálculo del Factor de Empaquetamiento.....	46
2.4. PRUEBAS PRELIMINARES .....	49
2.5. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS .....	51
2.5.1.Equipos y Materiales Utilizados en la Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	51
2.5.1.1.Descripción de los Equipos Utilizados.....	52
2.5.2.Descripción del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	58
2.5.2.1.Aprovisionamiento de la Materia Prima .....	59
2.5.2.2.Selección de la Materia Prima.....	60
2.5.2.3.Secado .....	61
2.5.2.3.1. Determinación de la Humedad de la Materia Prima .....	61
2.5.2.3.2. Secado de la Materia Prima (Secado natural) .....	62
2.5.2.3.3. Determinación de humedad de Flores de Lavanda en estado fresco .....	64
2.5.2.3.4. Determinación de Humedad de Flores de Lavanda en Estado Seco .....	67
2.5.2.4. Extracción de Aceite Esencial de Lavanda.....	70
2.5.2.5.Condensación.....	72
2.5.2.6.Decantación .....	72
2.5.2.7.Almacenamiento .....	73

2.5.3. Balance de Materia del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	74
2.5.4. Balance de energía del proceso tecnológico experimental de obtención de Aceite Esencial de Flores de Lavanda.....	83
2.5.5. Análisis estadístico del diseño experimental .....	90
2.5.5.1. Cálculo del análisis de varianza.....	93
2.6. ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO.....	101
2.6.1. Resultados de los Análisis del Producto Final .....	101
2.7. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO .....	102

### **CAPITULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1. COMPARACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA.....	103
3.2. COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA (LAVANDULA ANGUSTIFOLIA) CON ACEITES OBTENIDOS EN OTROS PAISES.....	105
3.3. COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE (LAVANDULA ANGUSTIFOLIA) CON ACEITES OBTENIDOS EN OTROS PAISES .....	106
3.4. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO.....	107
3.4.1. Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción .....	108

### **CAPITULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. CONCLUSIONES .....	111
4.2. RECOMENDACIONES .....	112

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

#### **ÍNDICE DE TABLAS**

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 .....	8
Tabla I – 2 Rangos de Algunos Componentes de un Aceite Esencial de Lavanda de Calidad .....	10
Tabla I – 3 Propiedades Físicas y Químicas .....	11
Tabla I – 4 Ficha de Seguridad del Aceite Esencial de Lavanda.....	12
Tabla I – 5 Principales Países Importadores por Año de Aceite Esencial de Lavanda.....	15
Tabla I – 6 Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia .....	16
Tabla I – 7 Proyección Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia .....	18
Tabla I – 8 Principales Países Exportadores por Año de Aceite Esencial de Lavanda .....	19

Tabla I – 9 Valores de Exportaciones por Año de Aceites Esenciales en Bolivia .....	21
Tabla I – 10 Clasificación Taxonómica .....	22
Tabla I – 11 Composición Química de la Flor de Lavanda .....	23
Tabla II – 1 Escala de Calificación Likert .....	40
Tabla II – 2 Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda .....	40
Tabla II – 3 Matriz de Decisión para el Método Experimental de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda .....	43
Tabla II – 4 Codificación de las Variables .....	45
Tabla II – 5 Valores Asignados para los Tres Niveles de cada Factor .....	47
Tabla II – 6 Diseño Factorial para el Proceso de Extracción .....	48
Tabla II – 7 Material de Laboratorio .....	57
Tabla II – 8 Datos de la Pérdida de Peso Respecto a Tiempo .....	62
Tabla II – 9 Datos de la Pérdida de Peso y Humedad Evaporada .....	65
Tabla II – 10 Datos de Pérdida de Peso y Humedad Evaporada .....	68
Tabla II – 11 Resultados de Porcentajes de Humedad .....	70
Tabla II – 12 Descripción de las Corrientes Principales del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	75
Tabla II – 13 Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda .....	92
Tabla II – 14 Datos para el Cálculo del Análisis de Varianza .....	93
Tabla II – 15 Factores Inter-sujetos .....	94
Tabla II – 16 Pruebas de los efectos inter-sujetos .....	95
Tabla II – 17 Variables introducidas/eliminadas .....	96
Tabla II – 18 Ajustes de Datos para el Modelo Lineal General .....	96
Tabla II – 19 ANOVA (b) .....	97
Tabla II – 20 Coeficientes (a) .....	97
Tabla II – 21 Resultados del Volumen Experimental y Obtenido con el Modelo Matemático .....	98
Tabla II – 22 Estadísticos sobre los residuos (a) .....	100
Tabla II – 23 Análisis Organoléptico .....	101
Tabla II – 24 Características Fisicoquímicas del Aceite Esencial de Lavanda .....	102
Tabla III – 1 Comparación del Aceite Esencial de Lavanda .....	103
Tabla III – 2 Comparación Perfil Cromatográfico del Aceite Esencial de Lavanda .....	104
Tabla III – 3 Comparación de Resultados de Rendimiento .....	105
Tabla III – 4 Comparación de Resultados del Perfil Cromatográfico con Otros Países .....	106
Tabla III – 5 Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavada .....	107

Tabla III – 6 Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Lavanda Empleando el Factor de Empaquetamiento de 0.015 .....	108
Tabla III – 7 Condiciones de Operación Recomendadas para el Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	110

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – 1 Espliego (Lavandula Latiofila) .....	24
Figura 1 – 2 Lavanda (Lavandula Angustifolia).....	25
Figura 1 – 3 Lavandín (Lavandula x Intermedia) .....	26
Figura 1 – 4 Método de Extracción con Disolventes Orgánicos (Soxhlet).....	28
Figura 1 – 5 Método de Enfleurage.....	29
Figura 1 – 6 Esquema de Extracción con CO2 en Condiciones Supercríticas.....	30
Figura 1 – 7 Método de Extracción Asistida por Radiación de Microondas.....	31
Figura 1 – 8 Hidrodestilación.....	32
Figura 1-9 Destilación por Arrastre de Vapor con Agua.....	33
Figura 1 – 10 Destilación con Vapor Saturado .....	34
Figura 2 - 1 Mapa de Localización de las Flores de Lavanda en el Municipio de El Puente.....	37
Figura 2 – 2 Planta de Lavanda.....	37
Figura 2 – 3 Muestra y Resultado del % de Humedad de Flores de Lavanda .....	39
Figura 2 – 4 Muestra y Resultado del % de Humedad en Estado Fresco de Flores de Lavanda .....	49
Figura 2 – 5 Aceite Esencial Obtenido de 300 g de Muestra de Flores de Lavanda en Estado Fresco	50
Figura 2 – 6 Aceite Esencial Obtenido de 300 g de Muestra de Flores de Lavanda en Estado Seco ..	51
Figura 2 – 7 Equipo de Destilación .....	52
Figura 2 – 8 Canastillos del Equipo de Destilación.....	53
Figura 2 – 9 Cocinilla .....	54
Figura 2 – 10 Intercambiador de Calor Tubular .....	54
Figura 2 – 11 Balanza Electrónica.....	55
Figura 2 – 12 Balanza Analítica.....	56
Figura 2 – 13 Secador Infrarrojo.....	56
Figura 2 – 14 Plantaciones de Flores de Lavanda.....	60
Figura 2 – 15 Cosecha de Flores de Lavanda.....	60
Figura 2 – 16 Secado de las Flores de Lavanda .....	61
Figura 2 – 17 Extracción de Aceite Esencial de Lavanda .....	71
Figura 2 – 18 Agua + Aceite Condensado.....	72
Figura 2 – 19 Decantación.....	73

Figura 2 – 20 Almacenamiento .....	73
------------------------------------	----

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I -1 Evolución del Valor de Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia .....	17
Gráfico II – 1 Curva de Secado (Natural) de Flores de Lavanda .....	64
Gráfico II – 2 Curva del Porcentaje de Humedad Evaporada con Respecto al Tiempo de Secado de Flores de Lavanda.....	67
Gráfico II – 3 Curva del Porcentaje de Humedad Evaporada con Respecto al Tiempo de Secado de Flores de Lavanda.....	69
Gráfico II – 4 Curva de Comparación de Resultados Obtenidos Experimentalmente y en el Modelo Matemático .....	99
Gráfico III - 1 Rendimiento de Aceite Esencial de Lavanda Empleando el Factor de Empaquetamiento de 0.015.....	109

### ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama II – 1Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	58
Diagrama II – 2 Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda .....	59
Diagrama II – 3 Diagrama de bloques del Proceso Tenológico Experimental.....	74

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación aplicada, está dirigido a incentivar el cultivo de flores de Lavanda en el departamento de Tarija, otorgándole valor agregado a través de su procesamiento, produciendo una alternativa agroindustrial con la obtención de un producto de buena calidad y rendimiento, como lo es el Aceite Esencial de Lavanda. Principalmente por sus variados beneficios en la salud, además de ser utilizado en el sector industrial como base para la elaboración de productos, por ejemplo, ambientadores, líquidos limpia pisos, perfumes, ungüentos, entre otros.

Para seleccionar el método de extracción mediante una matriz de decisión, se analizó previamente los diferentes métodos de destilación existentes, optándose por el método de destilación por arrastre con vapor el cual 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.

Para obtener el aceite esencial de lavanda, se siguió el procedimiento necesario para su extracción, fijando las condiciones de operación de nuestra región; proceso que se inicia cuando las flores de lavanda cosechadas son sometidas a una selección, empezando por la separación del tallo de las flores. Una vez que la materia prima es seleccionada y se encuentra libre de impurezas, se da inicio la etapa de secado, hasta alcanzar una humedad de 10.36 % (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), la cual se encuentra dentro de los parámetros óptimos para su posterior destilación donde por efecto del paso de vapor de agua, se arrastra el aceite esencial contenido en las flores de lavanda, obteniendo una mezcla de agua y aceite, la cual es separada por decantación dando como resultado el producto final, aceite esencial de lavanda. Se empleó un diseño factorial 3k y las variables seleccionadas fueron el factor de empaquetamiento y el tiempo de extracción cada una con tres niveles, y la variable respuesta fue el rendimiento de aceite esencial obtenido.

Respecto a los resultados del diseño factorial aplicado en la extracción, se obtuvo un mayor rendimiento de aceite (2.73 %), para un factor de empaquetamiento de 0.015 (150 g/cm<sup>3</sup>), un tiempo de extracción de 3 h, una temperatura de 93 °C (temperatura de ebullición del agua en Tarija).

La calidad del aceite esencial obtenido se determinó a través de los análisis fisicoquímicos, tales como densidad relativa (0.889), índice de refracción (1.4641), rotación óptica (-10.10°). Otro análisis realizado al producto fue la determinación del perfil cromatográfico cuyos resultados fueron: linalol (34.57 %), acetato de linalilo (18.35 %), alcanfor (9.68 %), terpinen-4-ol (4.00%), acetato de lavandulilo (2.71 %), lavandulol (0.54 %), limoneno (1.53 %); parámetros que se encuentran dentro de un rango aceptable según la Norma ISO 3515:2002 Oil of lavender (*Lavandula Augustifolia Mill.*). Por otro lado, se hizo la comparación tanto de calidad como del rendimiento experimental con aceites esenciales de lavanda producidos en otros países y se pudo determinar que en cuanto al resultado de rendimiento es un valor aceptable, respecto a la calidad se observa, que las condiciones de cultivo en la ciudad de Tarija, permiten obtener un aceite esencial de buena calidad, en relación al producido en otros países.

El trabajo de investigación realizado, permite evidenciar la factibilidad técnica de obtener un aceite esencial con un rendimiento aceptable, recomendando continuar con los estudios para analizar la factibilidad económica u otras alternativas de extracción que puedan viabilizar el proceso productivo en nuestra región.

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

#### Generalidades

Los aceites esenciales son compuestos naturales complejos, volátiles sintetizados por las plantas aromáticas. Los líquidos aromáticos se obtienen de las diferentes partes de la planta: flores, raíces, hojas, tallos, frutos, semillas, etc. Los componentes volátiles de dichas plantas son producto del metabolismo secundario de las mismas, en cuya composición interviene una proporción de hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los terpenos, junto con otro tipo de compuestos, generalmente oxigenados (alcoholes, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos) (Adolfo Marey, 1949).

En el desarrollo histórico de los aceites esenciales en general, se considera que los egipcios fueron los primeros en descubrir la aromaterapia, según Jean Valnet médico, utilizaron una forma primitiva de destilación para extraer los aceites esenciales de las diferentes plantas. El uso de aceites esenciales data de aproximadamente 3500 años antes de Cristo y su aplicación consistía principalmente como elementos curativos, cicatrizantes, y en distintos rituales que se llevaban a cabo.

Los métodos de obtención del aceite esencial de lavanda han evolucionado con el paso de los años y el avance de diversas tecnologías. Actualmente los métodos más utilizados para la producción comercial son la extracción con disolventes volátiles y la destilación por arrastre con vapor.

#### Identificación del Problema

La extracción de aceite esencial de lavanda en Bolivia está poco desarrollada, por falta de información, debido a que no se han realizado investigaciones sobre cuál es el método más adecuado y las condiciones más óptimas para su obtención. Como consecuencia el producto es poco conocido, desaprovechando las propiedades químicas que lo caracterizan y le otorgan un alto valor agregado. Por ejemplo, actualmente en el departamento de Tarija (Municipio de El Puente), algunos productores de flores de lavanda extraen aceite esencial (flores y tallo) de forma artesanal en estado fresco.

#### Planteamiento Técnico Propuesto

Realizar un estudio experimental, obteniendo a escala laboratorio Aceite Esencial de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*), mediante el método destilación por arrastre con vapor. Analizando cómo los factores que afectan en la extracción influyen en el rendimiento del proceso y caracterizando el producto para conocer la calidad del mismo.

### OBJETIVOS

#### Objetivo General

Obtener experimentalmente aceite esencial de lavanda (*Lavandula Angustifolia*) mediante el método destilación por arrastre con vapor.

## **Objetivos Específicos**

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y taxonómicas de la materia prima: Flores de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*), para el proceso de obtención de Aceite Esencial de Lavanda.
- Ejecutar la Fase Experimental del proceso tecnológico de obtención de Aceite Esencial de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*), mediante destilación con arrastre de vapor.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas (*análisis organoléptico, densidad, índice de refracción, rotación óptica, análisis cromatográfico*) y los parámetros de calidad del producto obtenido: Aceite Esencial de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*), mediante destilación con arrastre de vapor.
- Calcular el rendimiento del proceso tecnológico experimental de obtención de Aceite Esencial de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*) realizado mediante destilación con arrastre de vapor.
- Comparar la calidad y el rendimiento del Aceite Esencial de Lavanda (*Lavandula Angustifolia*) producido en el departamento de Tarija, con Aceites Esenciales de Lavanda producidos en otros países.

## **JUSTIFICACIÓN**

### **Justificación Económica**

Teniendo en cuenta que actualmente en Bolivia se encuentra a la venta aceite esencial de lavanda de la marca Doterra, el cual es un producto importado con un costo de 390 Bs los 10 mL de aceite, se puede elaborar dicho producto entre un 30 % a 50 % más económico, cumpliendo con todos los parámetros de calidad, e impulsando la producción nacional.

Además, la producción de la materia prima se presenta como una alternativa que contribuye al desarrollo sostenible de la zona, necesario de disponibilidad de mano de obra en la producción del material vegetal, favoreciendo un mayor crecimiento económico de los productores (cada plantín de flor de lavanda tiene un costo de US\$ 2).

### **Justificación Tecnológica**

Proporcionar la información técnica para futuros proyectos de industrias que busquen aprovechar las propiedades del aceite esencial de lavanda en campos como el farmacéutico, para la fabricación de ungüentos, pomadas, pastillas anti-estrés y antidepresivas, etc.; como materia prima para la producción de perfumes, ambientadores, jabones y detergentes. Para conseguir dichos objetivos se garantiza la conservación de las propiedades características del aceite esencial con la finalidad de que el producto llegue a los futuros consumidores sin perder sus cualidades.

### **Justificación Social**

La producción de Aceite Esencial de Lavanda trae consigo beneficios sociales, tales como:

- Proporcionar datos de nivel de laboratorio que podrían ser aplicados posteriormente en el diseño e instalación de una planta de extracción de aceite esencial de lavanda. La cual

puede generar nuevas fuentes de trabajo, tanto en la fase de construcción de equipos, instalación y funcionamiento de la misma.

- Contribuir y promover el desarrollo de los floricultores del departamento de Tarija, generando ingresos económicos a las personas productoras de la materia prima, creando así una nueva fuente de trabajo, y mejorar su calidad de vida sin interferir de forma notable en el desarrollo de sus otras actividades.

### **Justificación Ambiental**

Los impactos ambientales que genera la extracción de aceite esencial de lavanda por arrastre de vapor con agua, son mínimos y reversibles puesto que no producen cambios significativos en el ambiente, por ser operaciones de pesado, selección, secado, destilación, vaporización y condensación.

Por otra parte, los subproductos generados en el proceso como ser, los hidrolatos, pueden ser aprovechados como aguas aromatizantes por su propiedad sedante y los residuos de la materia prima, para abono orgánico.



**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, valerianico, 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

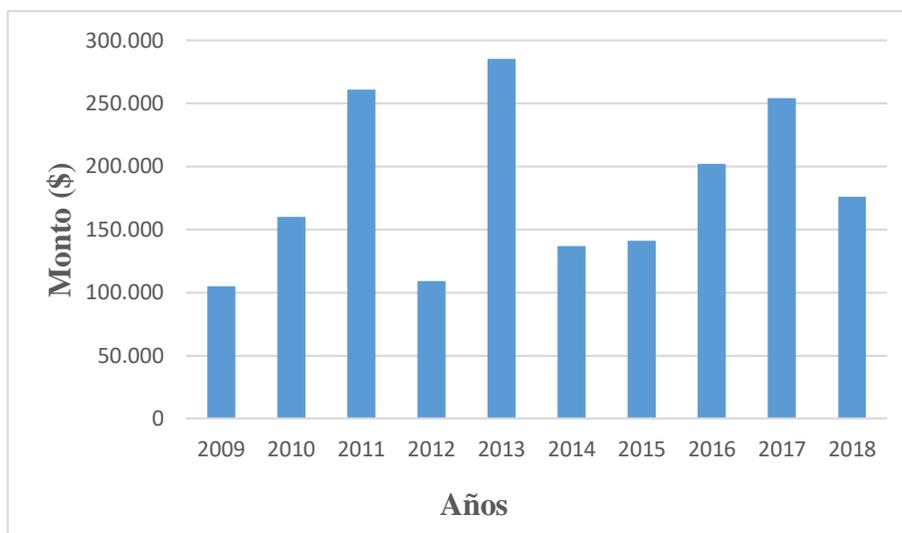
Año	Monto (\$us Miles)
2009	105.00
2010	160.00
2011	261.00
2012	109.00
2013	285.00
2014	137.00
2015	141.00
2016	202.00
2017	254.00
2018	176.00

**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).

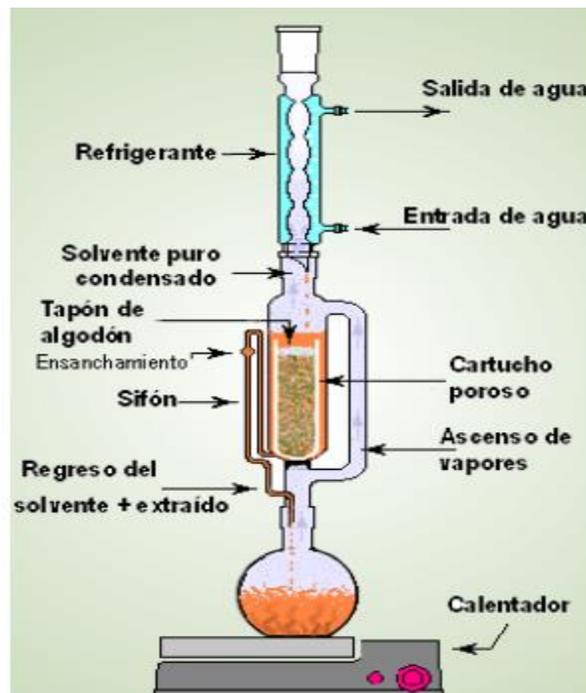
Algunos disolventes utilizados en este método de extracción tienen restricciones en cuanto a los residuos máximos que pueden dejarse cuando los aceites esenciales son la materia prima en las industrias de los perfumes o alimentos. Estos límites varían de acuerdo a las diferentes legislaciones. Los disolventes 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 “chasis” 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.

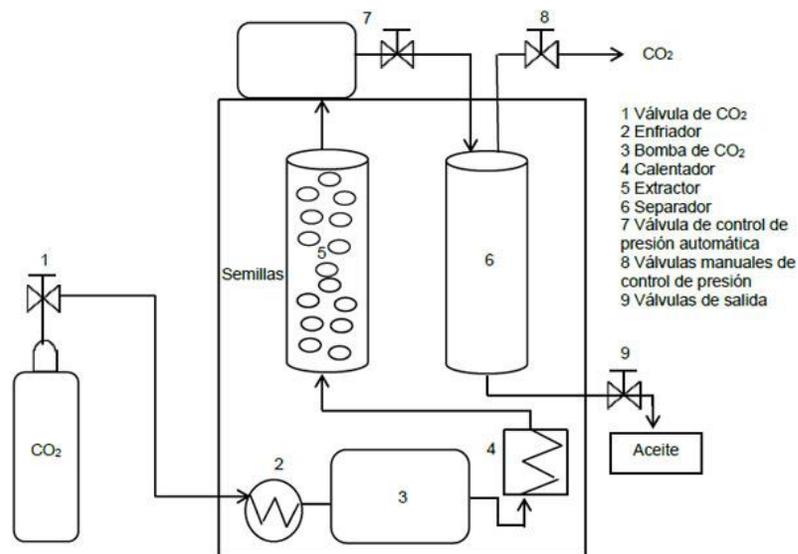
En consecuencia, este proceso extrae una gama más amplia de compuestos aromáticos volátiles que no se ven afectados por el calor ni interactúan químicamente con el CO<sub>2</sub> inerte. Luego de sumergir la materia vegetal en el gas licuado, este se devuelve a condiciones de presión atmosférica retornando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



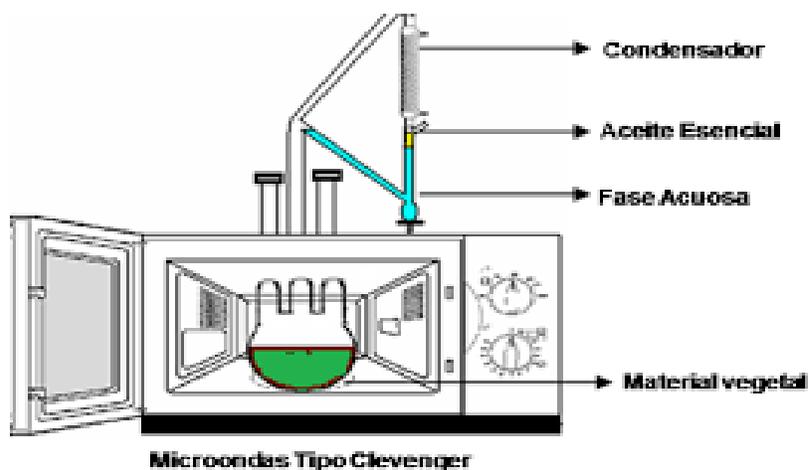
**Fuente:** Ana Pantoja, et. al, 2017

**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**

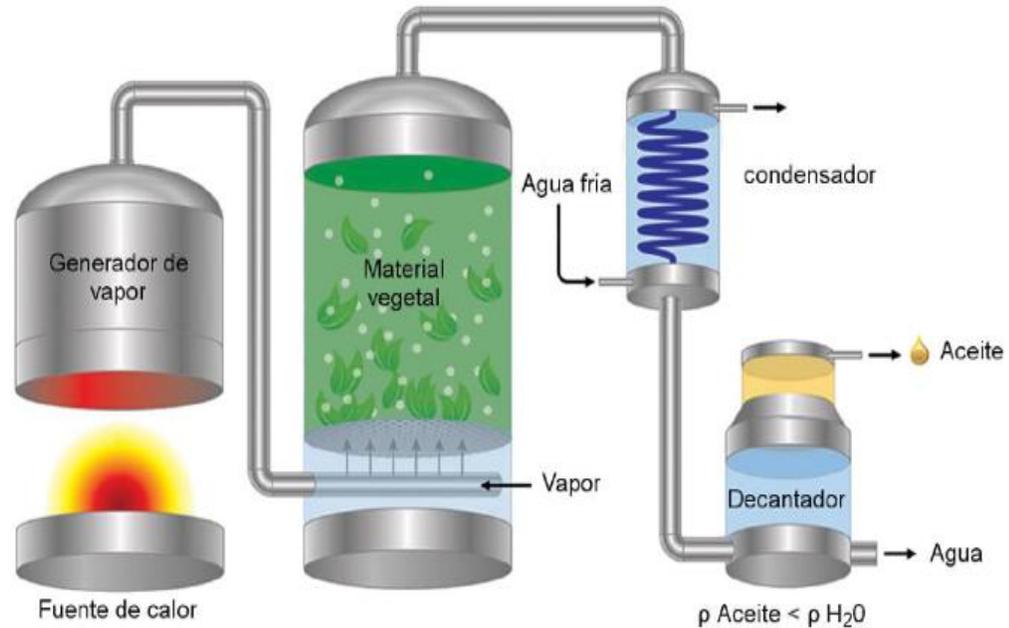


**Fuente:** José Barotto, 2017

- **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

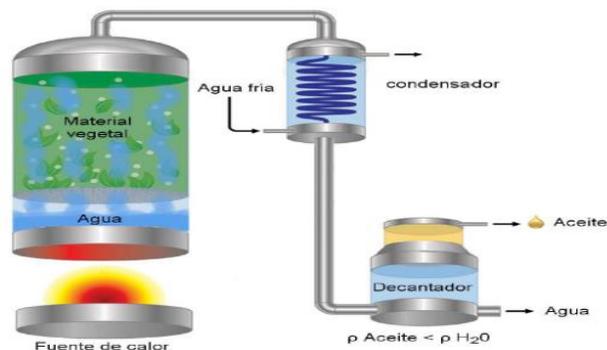


Fuente: José Barotto, 2017

- **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**

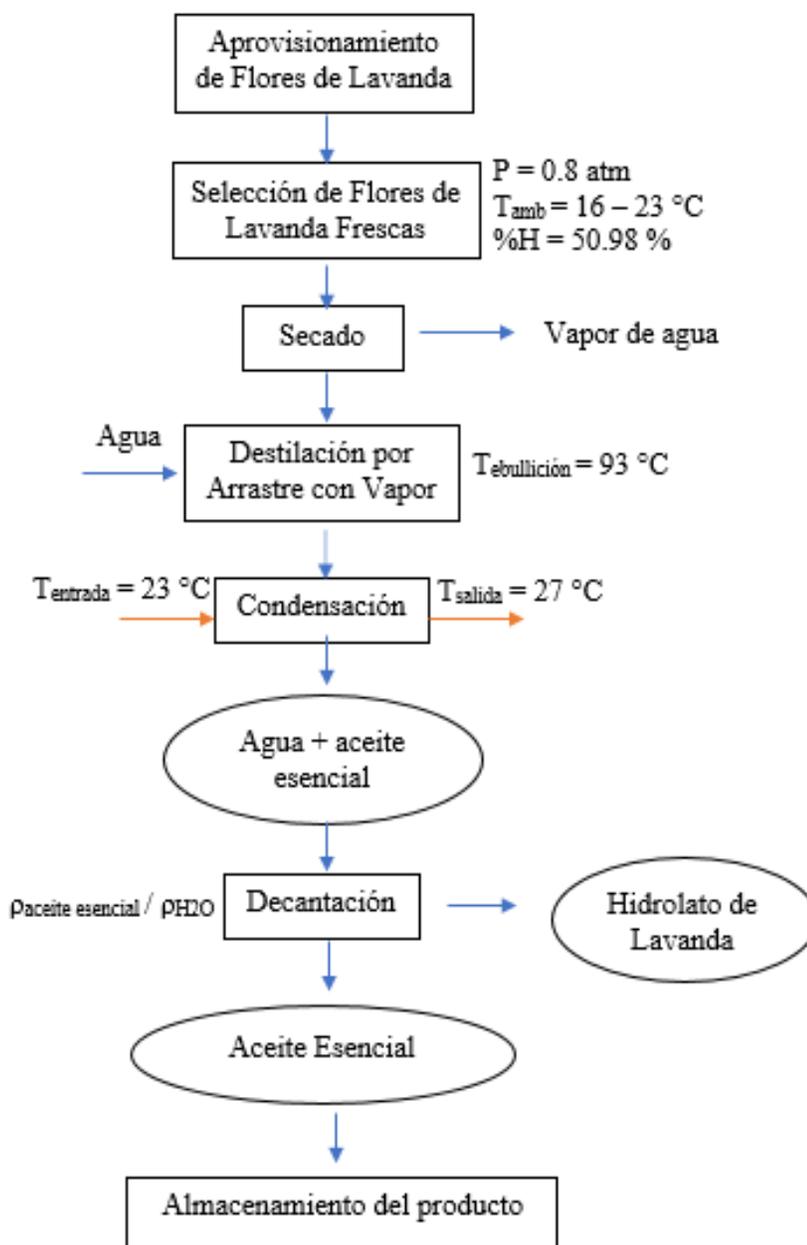
<b>Material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>
Vaso Florentino	1000 mL	1
Embudo de decantación		1
Termómetro	Digital	
Pinza de doble nuez	-	1
Mangueras	-	2
Bandejas de aluminio	-	
Jeringa	10 mL	9
Varilla de vidrio	-	
Codo	Acero inoxidable	1
Codo	PVC	1
Tapón	Goma	3
Guantes		
Frasco de vidrio	12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

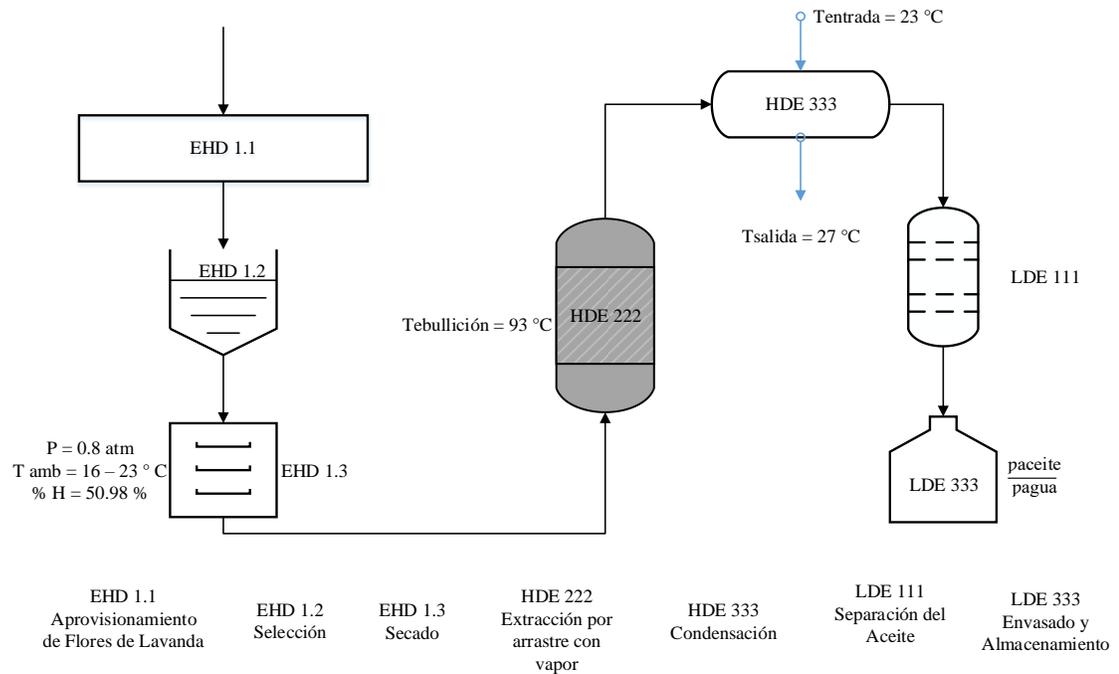
Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda



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

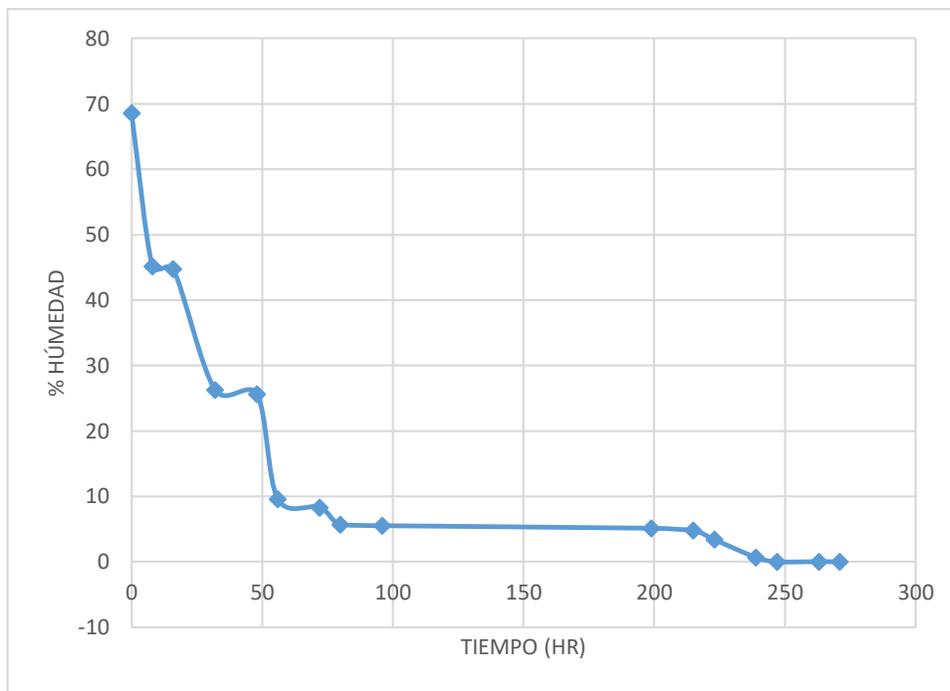
<b>t (h)</b>	<b>Pérdida de Peso (g)</b>	<b>%H</b>
80	4.11	5.71
96	4.11	5.50
199	4.09	5.11
215	4.07	4.76
223	4.02	3.39
239	3.91	0.67
247	3.88	0.00
263	3.88	0.00
271	3.88	0.00

**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

t(min)	%H	Pérdida de Peso (g)
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

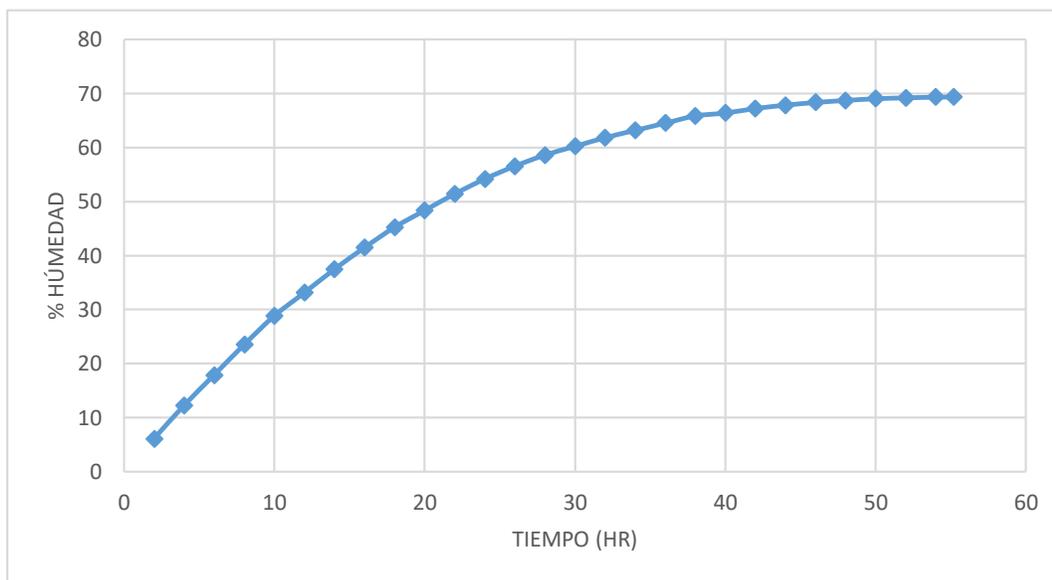
**Fuente:** SARTORIUS – MA100, 2020

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

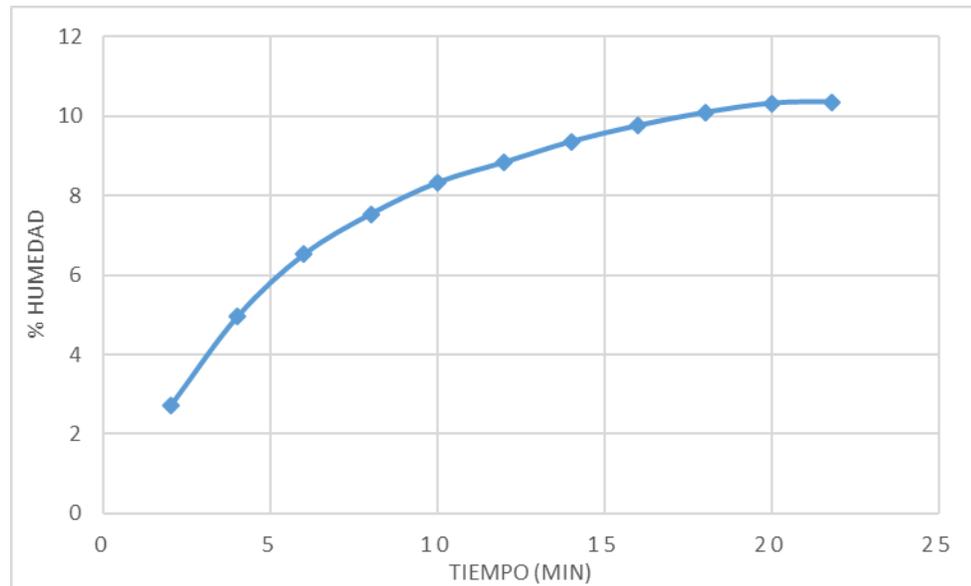
**Fuente:** SARTORIUS – MA100, 2020

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**



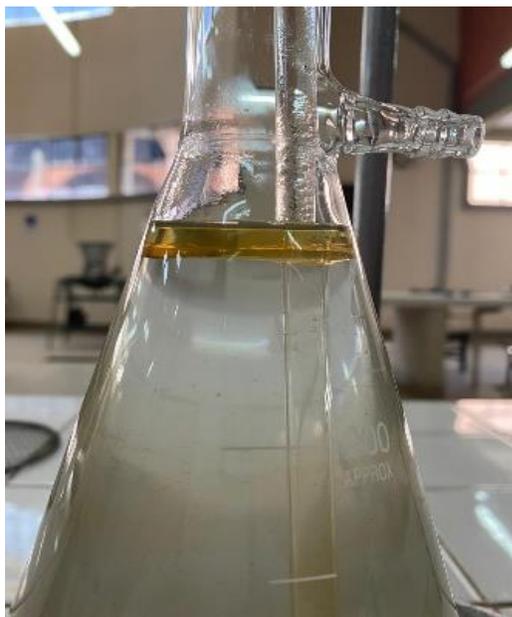
**Fuente:** Elaboración Propia, 2020

### 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:**

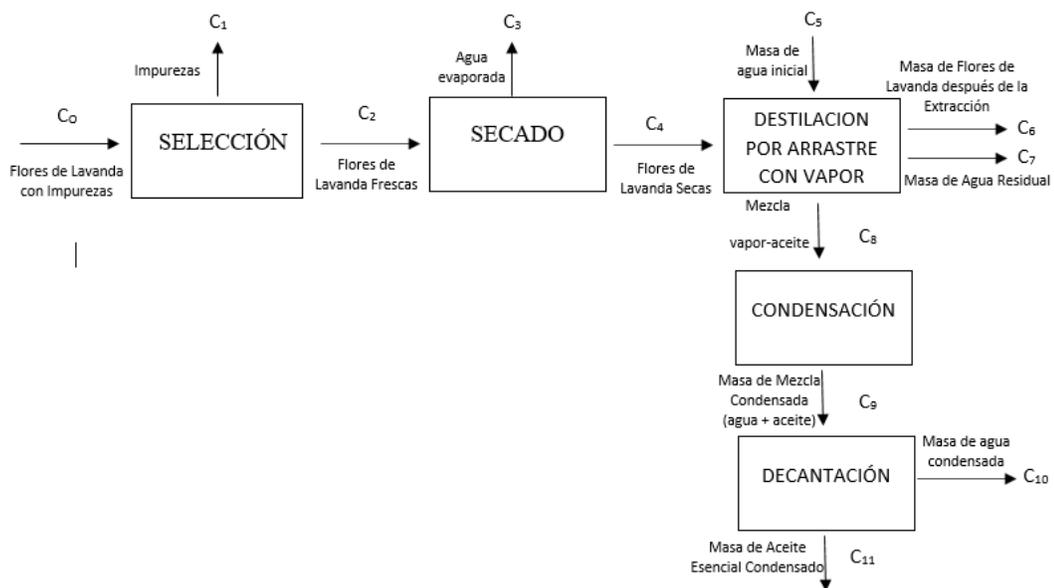
Elaboración Propia, 2020

### 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

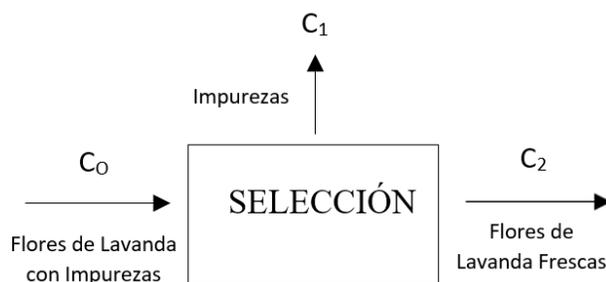
**Descripción de las Corrientes Principales del Proceso Tecnológico Experimental  
de Obtención de Aceite Esencial de Lavanda**

<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:

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

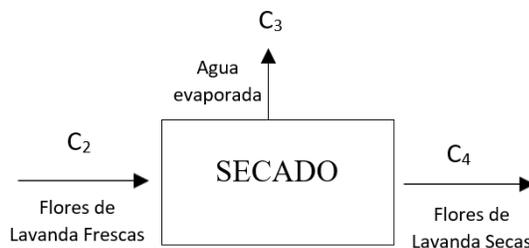
$$C_0 = 500.73 \text{ g}$$

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

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

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

➤ **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:

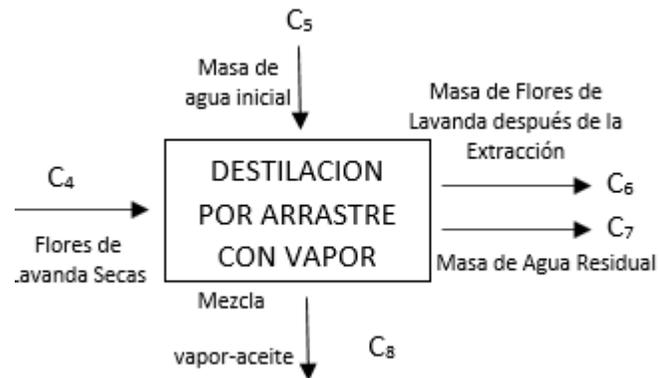
$$C_3 = C_2 * 0.5822 = 359.02 \text{ g} * 0.5822 = 209.02 \text{ g}$$

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.

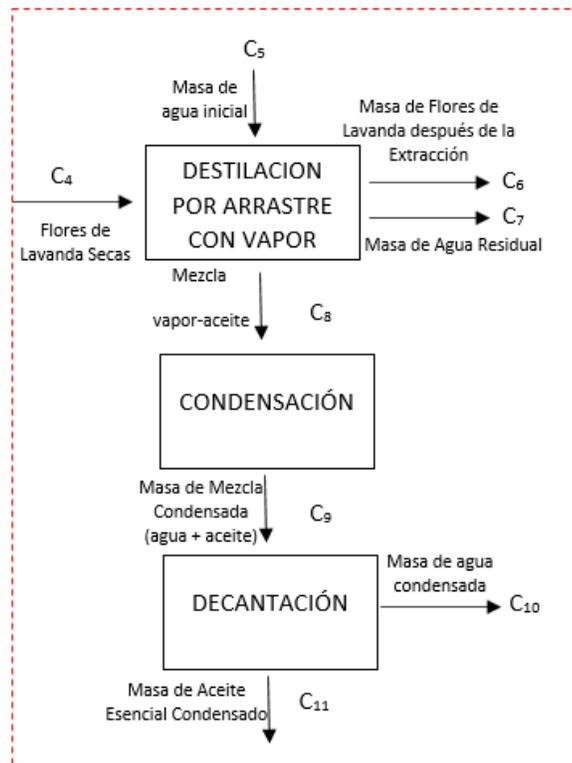
➤ **Etapa 3 – Destilación por Arrastre con Vapor**



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

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:

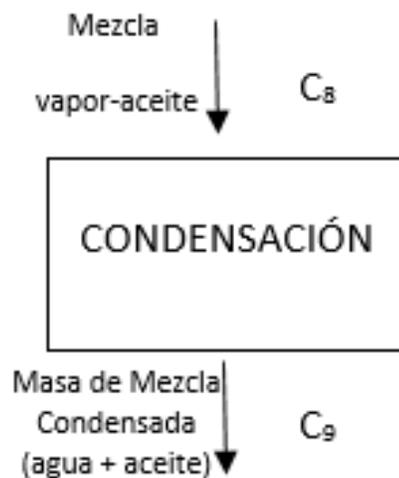
$F_v$  = Flujo de vapor generado en la torre de destilación

$m_v$  = 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:

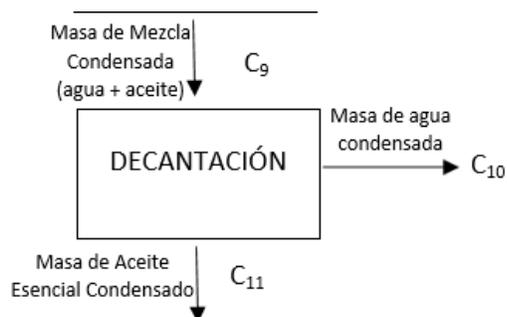
$$C_8 = C_4 + C_5 - C_6 - C_7$$

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

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:

$V_a$  = 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**

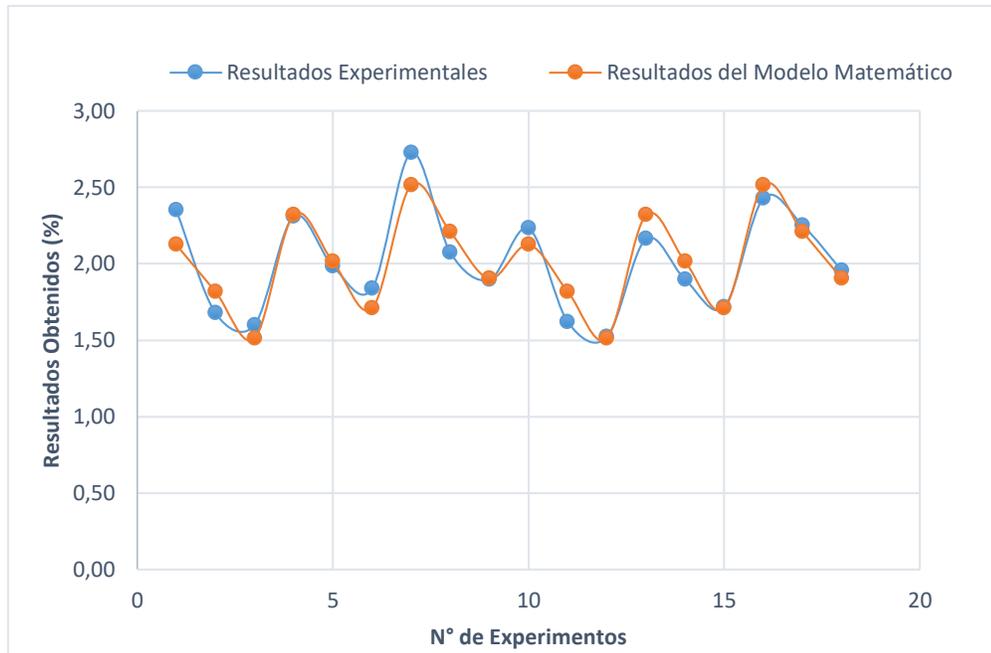
**Resultados del Volumen Experimental y Obtenido con el Modelo Matemático**

<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.

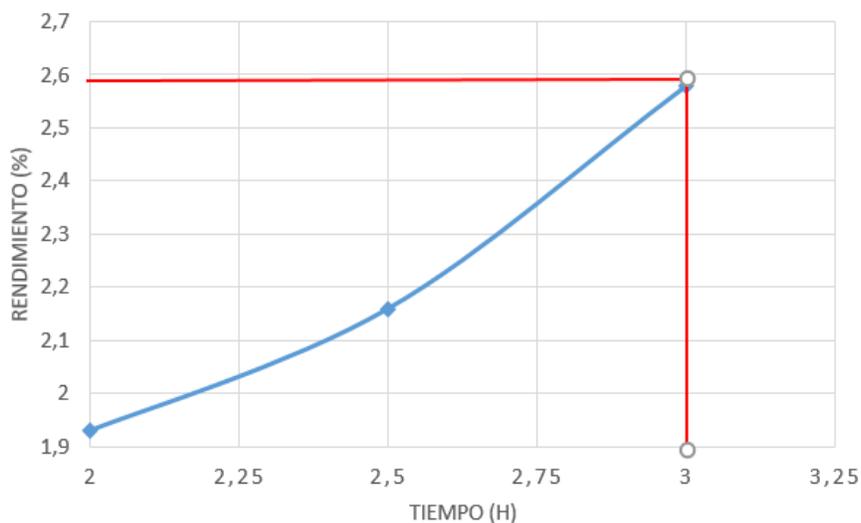
**Tabla III - 6**

**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.





## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Adolfo F. Marey, (1949).** “*Composición del Aceite de Lavandula Vera de la Provincia de Buenos Aires*”. Tesis de Posgrado presentada para obtener el grado de Doctor en Química. Universidad de Buenos Aires.

**Alejandro D. Carrasco Ruiz, (2015).** “*Caracterización y bioactividad antioxidante y anti enzimática de aceites esenciales de lavandas, tomillos y oréganos de Murcia*”. Tesis de Posgrado presentada para obtener el grado de Doctor en Bioquímica. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular – A. Facultad de Biología. Universidad de Murcia.

**Alejandro C. Foronda Valverde, (2003).** “*Estudio de la extracción supercrítica como alternativa tecnológica*”. Informe de suficiencia para optar a el grado de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera. Universidad Nacional de Ingeniería.

**Ana L. Pantoja, Andrés M. Hurtado-Benavides y Hugo A. Martínez-Correa, (2017).** “*Evaluación del Rendimiento, Composición y Actividad de Aceite de Semillas de Mora (Rubus glaucus) Extraído con CO<sub>2</sub> Supercrítico*”, en Información Tecnológica (Colombia), Volumen 28 pp 35 – 46, Febrero 2017.

**Carlos Eduardo Núñez, (2008).** “*Extracciones con equipo soxhlet*”. Fecha de consulta 04 de noviembre, de 2020, disponible y revisado en:

[www.cenunez.com.ar](http://www.cenunez.com.ar)

**D. Manuel Márquez Camarena (2015).** “*Composición Química de los Aceites Esenciales de Lavanda y Tomillo. Determinación de la Actividad Anti fúngica*”. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Agronómica y del Medio Rural. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia.

**Danger Tabio García. et. al. (2017).** “*Extracción de aceites de origen vegetal*”. Monografía. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”.

**Daniela Iris Rivera Gira, (2019).** “*Extracción Experimental de Aceite Esencial de Romero (Rosmarinus Officinalis), Departamento de Tarija*”. Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.

**Dario Rueda Del Moral, (2016).** “*Planta de Extracción de Aceites Esenciales*”. Proyecto fin de carrera Ingeniero Industrial. Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

**DECLÉOR París, (2021).** “*Benefits of Lavandin Essential Oil*”. Fecha de consulta 09 de febrero, de 2021, disponible y revisado en:

<https://www.decleor.com/en/oil-effects/firming/lavandin.html>

**Diego Orlando Paredes Punina, Fabián Danilo Quinatoa Chicaiza, (2010).** “*Desarrollo de un Sistema de Extracción de Aceites Esenciales*”. Tesis de Grado en Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Dominika Andrys, Danuta Kulpa, (2016).** *“Lavandula spp. essential oils-its use, composition and genetic basic of production”*. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae stetinensis.

**Edison López Arenales, José Manuel Carvajal Albarracín, (2009).** *“Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad para 300 kg de material vegetal”*. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Universidad Nacional de Santander.

**Enion Bonchev, (2021).** *“Bulgarian Lavander Oil”*. Fecha de consulta 10 de febrero, de 2021, disponible y revisada en:

<https://www.eniobonchev.com/products/natural-products/bulgarian-lavender-oil/>

**Ernesto Ventós, (2016).** *“Aceite Esencial de Lavanda”*. Fecha de consulta 01 de abril, de 2020, disponible y revisada en:

<https://www.ventos.com/index.php/es/producto/985/ACEITE+ESENCIAL+DE+LAVANDA>

**FARMACOPEA MERCOSUR. (2014).** *“Método general para la determinación de la rotación óptica”*.

**Fernando Huayta Quispe, (2017).** *“Determinación de humedad en alimentos y materia seca”*. Escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Juliaca.

**Guillermo E. Arias M. (2014).** *“Evaluación del rendimiento en materia seca de hojas y aceite esencial de lippia alba (mill.) n.e. br. ex britton & p. wilson, a través de cortes aplicando podas”*. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Herbario Universitario (T.B.), (2021).** *“Taxonomía del cultivo de Lavanda”*. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Herraiz D. et. al. (2013)** *“Cultivo de Lavanda: calidad y rendimientos del aceite esencial”*. Centro Agrario de Albaladejito. Consejería de Agricultura. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha.

**Infoagro, (s.f.).** *“El cultivo del espliego”*. Fecha de consulta 15 de abril, de 2020, disponible y revisado en:

[https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_espliego.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_espliego.asp)

**Ingrid Cecibel Hernández Hernández, (2017).** *“Plan de negocios para producción y exportación de aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas de ciclo corto”*

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Comercial. Facultad de Administración. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

**International Federation of Aromatherapists, IFA, (2020).** *“Hidrolatos”*. Fecha de consulta 28 de noviembre, de 2020, disponible y revisado en:

[https://ifaroma.org/es\\_ES/home/explore\\_aromatherapy/hydrolats](https://ifaroma.org/es_ES/home/explore_aromatherapy/hydrolats)

**International Organization for Standardization, ISO, (2020).** “ISO 3515:2002 Aceite de lavanda (*Lavandula Angustifolia* Mill.)”

**Irene Casado Villaverde, (2018).** “Optimización de la Extracción de Aceites Esenciales por Destilación en Corriente de Vapor”. Trabajo de Fin de Grado. Ingeniería en Tecnologías Industriales Especialidad Química y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

**Israel Vera Otalora, (2012).** “Extracción por arrastre con vapor, importancia y aplicación”. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Mayor de San Simón.

**Jesús Gamboa, (2010).** “Diseño Factorial 3<sup>k</sup>”. Fecha de consulta 25 de octubre, de 2020, disponible y revisado en:

<https://issuu.com/jesuseduardog/docs/disenofactorial3k>

**José Barotto, (2017).** “Aceites Esenciales”. Guía de Estudio.

**José Reyes Vargas, (2018).** “Extracción con Fluidos Supercríticos: Aplicaciones de Interés Farmacéutico”. Facultad de Farmacia. Departamento de Química Analítica. Universidad de Sevilla.

**Leejaewhan, (2014).** “Lavanda”. Fecha de consulta 02 de mayo, de 2020, disponible y revisado en:

<https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/Lavanda/1977859.html>

**Leocadia Flor Pérez Romero. (2008).** *Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)*. Ingeniería en Ciencias Agrarias Especialidad Ingeniería en Industrias Alimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Centro del Perú.

**Ljiljana Stanojević. et al. (2011).** “The effect of hydrodistillation techniques on yield, kinetics, composition and antimicrobial activity of essential oils from flowers of *Lavandula officinalis* L”. Faculty of Technology. University of Niš, Leskovac, Serbia. Faculty of Science and Mathematics, University of Niš, Niš, Serbi.

**Lury Yibel Forero – Peñuela. et. al. (2017).** “Análisis exploratorio de las exportaciones de aceites esenciales en Brasil: desde 2000 hasta 2015”, en: IDESIA (Chile), N° 3. Volumen 35 pp 61 – 70. Septiembre, 2017.

**Manuel Valera, Juan Francisco López Sánchez, (1995).** “Estudios de Proust sobre el Alcanfor de Murcia”. Universidad de Murcia.

**Manuel Adrián Vergara Lazen, (2005).** “Caracterización del aceite esencial de lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill.) por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa, en distintas localidades de la Décima Región de Chile”. Tesis para optar el grado de Licenciado en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.

**Natalia José, (2007).** “Producción Nacional y Comercialización de Lavanda”. Trabajo Final de Tesina. Licenciatura en Comercialización. Facultad de Ciencias Empresariales. Universidad Abierta Interamericana.

**Nimel Celedón Galán, (2012).** “*Evaluación Económica del Establecimiento de un Cultivo de Lavandula Angustifolia en la Comuna de Pucón, Región de la Araucanía*”. Tesis de Grado. Escuela de Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.

**Oscar Vásquez Ribeiro. et al. (2001).** “*Extracción y caracterización del aceite esencial de jengibre (zingiber officinale)*”, en: Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, N° 1. Volumen 1 pp 38 – 42.

**OECD (the Observatory of Economic Complexity), (2018).** “*Which countries export lavender or lavandin essential oils?*”. Fecha de consulta 31 de enero, de 2021, disponible y revisada en:

[https://oec.world/en/visualize/tree\\_map/hs92/export/show/all/6330123/2018/](https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/export/show/all/6330123/2018/)

**OECD (the Observatory of Economic Complexity), (2018).** “*Which countries import lavender or lavandin essential oils?*”. Fecha de consulta 31 de enero, 2021, disponible y revisada en:

[https://oec.world/en/visualize/tree\\_map/hs92/import/show/all/6330123/2018/](https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/6330123/2018/)

**OECD (the Observatory of Economic Complexity), (2018).** “*Where does Bolivia import Essential Oils from?*”. Fecha de consulta 31 de enero, 2021, disponible y revisada en:

[https://oec.world/en/visualize/tree\\_map/hs92/import/bol/all/63301/2018/](https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/import/bol/all/63301/2018/)

**OECD (the Observatory of Economic Complexity), (2018).** “*Where does Bolivia export Essential Oils to?*”. Fecha de consulta 31 de enero, 2021, disponible y revisada en:

[https://oec.world/en/visualize/tree\\_map/hs92/export/bol/all/63301/2018/](https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/export/bol/all/63301/2018/)

**Pablo Alfredo Irahola Schmeisser, (2011).** “*Estudio de prefactibilidad de aprovechamiento integral de los cultivos de naranja, de la comunidad Yucupi – Chimani – Puno – Urphuma, Provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz, Bolivia*”. Maestría en Bromatología y Control de Alimentos. Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas. Universidad Mayor de San Andrés.

**Passion Provence, (2020).** “*Les parfums de Grasse*”. Fecha de consulta 04 de noviembre, de 2020, disponible y revisada en:

<http://www.passionprovence.org/archives/2019/10/05/37615941.html>

**Peredo, L. H. A., García, P. E., y López, M. A. (2009).** “*Aceites esenciales: Métodos de extracción*”. Departamento de Ingeniería Química Y Alimentos. Universidad de Las Américas.

**Plant Be., (s.f.).** “*Ficha Técnica Lavanda*”. Fecha de consulta 01 de mayo, de 2020, disponible y revisada en:

<https://www.aceitesesencialesnaturales.eu/wp-content/uploads/2019/04/plant-be-lavanda-ficha-tecnica-2019.pdf>

**Ramón Benjamín Piedrasanta Batz, (2007).** “*Comparación Química y de Rendimiento del Aceite Esencial de Hoja y Raíz de Valeriana Prinophylla Standl. de dos diferentes*

*localidades de Guatemala*". Maestría Multidisciplinaria en Producción y Uso de Plantas Medicinales. Escuela de Estudios de Postgrado. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala.

**SAIPA, Sociedad Argentina para la Investigación de Productos Aromáticos, (1996).** "*Desarrollo de una industria nacional de aceites esenciales - el caso Boliviano*". Fecha de consulta 11 de febrero, de 2021, disponible y revisado en:

<http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio014-02.html>

**Santiago Tarqui Tarqui, (2020).** "*Resultados de la muestra Aceite Esencial de Lavanda*". Instituto de Investigaciones Químicas. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Universidad Mayor de San Andrés.

**Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, (2004).** "*Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales de las Plantas Medicinales y Aromáticas*". Fecha de consulta 18 de abril, de 2020, disponible y revisado en:

<https://repositorio.sena.edu.com>

**Sinahy Daniela Guerra Cruz, (2019).** "*Extracción experimental de aceite esencial de menta (Mentha sp.) en la Provincia Cercado del Departamento de Tarija*". Tesis de grado. Carrera de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.

**Tapiero – Cuellar J.L., et. al, (s.f.).** "*Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) del municipio de Viges Valle del Cauca*". Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Centro Agropecuario de Buga-Valle, Colombia. Universidad de Caldas, Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

**TRAXCO, (2014).** "*Cultivo de Lavanda*". Fecha de consulta 10 de abril, de 2020, disponible y revisada en:

<https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-de-lavanda>

**Wikifarmer., (s.f.).** "*Inicio de una Granja de Lavanda – Cultivo Profesional de Lavanda*". Fecha de consulta 28 de abril, de 2020, disponible y revisada en:

<https://wikifarmer.com/es/inicio-de-una-granja-de-lavanda-cultivo-profesional-de-lavanda/>

**ANEXO A**

**INFORMES DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES  
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS  
LA PAZ - BOLIVIA



Instituto de Investigaciones Químicas

La Paz, 29 de diciembre de 2020

Señora:  
Camila Soliz Baldivieso  
Presente:

De Mi consideración,

Por medio de la presente nota, El Laboratorio "Sala de Cromatografía" del Instituto de Investigaciones Químicas de la Carrera de Ciencias Químicas, hacemos entrega de los resultados de la muestra "Aceite esencial de Lavanda".

La Muestra aceite de *Lavandula angustifolia* entregada por su persona fue analizada por Cromatografía de Gases Acoplada a masas (GC-MS) para la identificación de sus componentes. Además de la determinación de densidad, Rotación óptica, Índice de refracción y análisis organoléptico.

Esperando haber cumplido con lo requerido, nos despedimos de la forma más atenta

Atentamente,

Lc. Santiago Tarqui Tarqui  
ANALISTA - IIQ



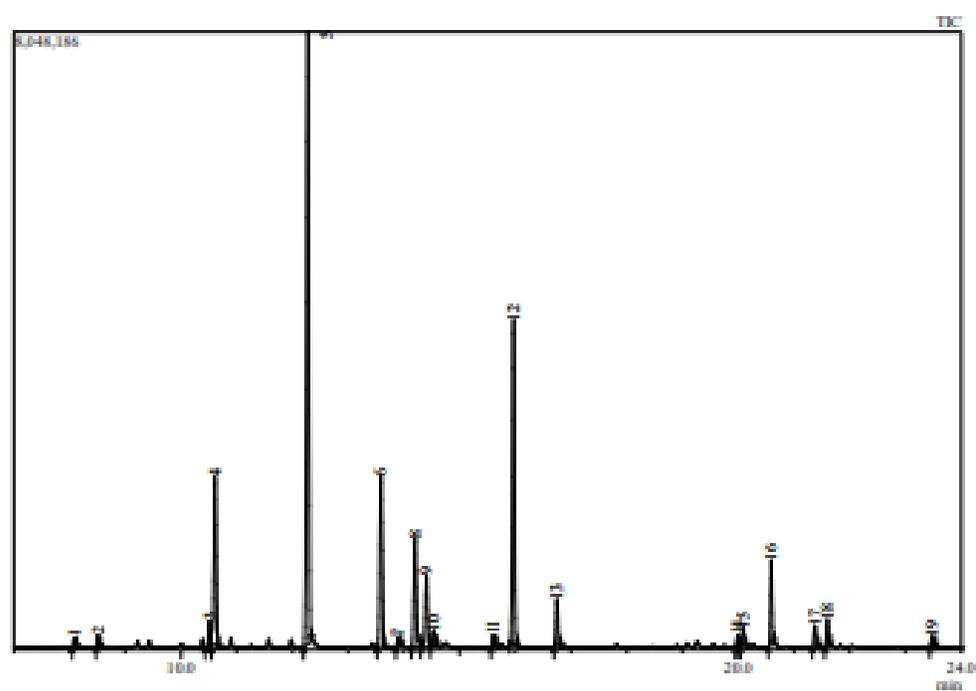


PARAMETRO	RESULTADO	Desv est
Índice de refracción	1,4641	+/-0.0001
Rotación Óptica (19°C)	-10,10°	
Densidad relativa (19°C)	0,889	+/-0.001
<b>Análisis organoléptico</b>		
• Color	Amarillo claro	
• Olor	Característico a lavanda, fresco.	
• Apariencia	Líquido transparente	

## Qualitative Analysis Report

## Sample Information " ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA"

Analyzed by : Lic. Santiago Tarqui Tarqui - IIQ  
Analyzed : 22/12/2020 12:38:29 p.m.  
Sample Type : Aceite esencial de lavanda  
Sample Name : lavandula angustifolia  
Sample ID : Aceite esencial de lavanda  
Vial # : 4  
Injection Volume : 1.00  
Data File : C:\DATOS GCMS IIQ\Datos 2020\Servicio\Lavandula\lavandula angustifolia.qgd  
Modified by : Admin  
Modified : 22/12/2020 01:13:31 p.m.



## Qualitative Analysis Report

Peak#	R.Time	Area%	Peak Report TIC	
			Height%	Name
1	8.090	0.48	0.58	alpha, Pinene
2	8.516	0.61	0.71	Camphene
3	10.520	1.47	1.53	Limonene
4	10.615	10.03	9.66	trans-Sabinene hydrate
5	12.278	35.17	34.57	Linalool
6	13.584	10.12	9.68	Alcanfor
7	13.897	0.49	0.54	Lavandulol
8	14.204	6.73	6.16	Borneo camphor
9	14.399	4.33	4.00	Terpinen-4-ol
10	14.537	1.01	0.89	Sin idetificar
11	15.604	0.77	0.66	Isobornyl acetate
12	15.965	16.98	18.35	Linyl acetate
13	16.743	2.51	2.71	Lavandulol acetate
14	19.988	0.62	0.65	Santalene
15	20.084	1.15	1.13	Caryophyllene
16	20.592	4.31	4.79	(E)-.beta.-Farnesene
17	21.380	1.23	1.24	Germacrene D
18	21.597	1.37	1.54	(R)-lavandulyl (R)-2-methylbutanoate
19	23.484	0.61	0.59	Caryophyllene oxide

## Qualitative Analysis Report

## Library

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 1 R-Time:8.000(Scan#:1019) MassPeak:251  
 RawMode: Averaged 8.985-8.085(1019-1020) BasePeak:93.16(30705)  
 RG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Exact 1 Scan



Hit# 1 Entry:6945 Library:NIST14c.lb

SE 96 Formula:C10H16 CAS:7785-70-8 MolWeight:136 RetIndex:948

Compound: (1R,2,3,6-Triethylbicyclo[2.1.1]hept-3-one 5S,1R-alpha, Pheno 5S Bicyclo[2.1.1]hept-3-one, 2,6,6-trimethyl-, (1R)- 5S,2,3,6-Triethylbicyclo[2.1.1]hept-3-one



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 2 R-Time:8.515(Scan#:1184) MassPeak:299  
 RawMode: Averaged 8.510-8.520(1180-1185) BasePeak:93.05(36174)  
 RG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Exact 1 Scan



Hit# 1 Entry:0025 Library:NIST14c.lb

SE 96 Formula:C10H16 CAS:79-82-5 MolWeight:136 RetIndex:943

Compound: Camphor 5S Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methyl- 5S,2,2-Dimethyl-3-methylbicyclo[2.2.1]heptane 5S,2,2-Dimethyl-3-methyl-



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 3 R-Time:10.520(Scan#:1505) MassPeak:132  
 RawMode: Averaged 10.515-10.525(1504-1506) BasePeak:68.05(10890)  
 RG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Exact 1 Scan



Hit# 1 Entry:6787 Library:NIST14c.lb

SE 91 Formula:C10H16 CAS:5989-54-8 MolWeight:136 RetIndex:1018

Compound: Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylbutyl)-, (S)- 5S p-Menthyl-1,8-dioxane, (S)-+ 5S (+)-Limonene 5S L-4-Limonene 5S Limonene 5S (+)-isopropyl



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#4 R.Time:10.615(Scan#:1524) MassPeak:248

RawMode:Averaged 10.610-10.620(1523-1525) BasePeak:93.10(353681)

RG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Entry:18112 Library:MS14.Lib

SI:86 Formula:C10H18O CAS:37099-16-0 MolWeight:154 RefIndex:1091

CompName:Bicyclo[3.3.0]heptan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylallyl)-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)- 5S (1R,2R,5S)-5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.3.0]heptan-2-



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#5 R.Time:12.280(Scan#:1857) MassPeak:266

RawMode:Averaged 12.275-12.285(1856-1858) BasePeak:71.05(157866)

RG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Entry:10068 Library:MS174.Lib

SI:87 Formula:C10H18O CAS:78-70-6 MolWeight:154 RefIndex:1092

CompName:Lincolol 5S L(+)-Octalin-3-ol, 3,7-dimethyl- 5S beta-Lincolol 5S Lincolol 5S Linyl alcohol 5S 2,6-Dimethyl-2,7-octalin-6-ol 5S alpha-Octalin



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#6 R.Time:13.585(Scan#:2118) MassPeak:215

RawMode:Averaged 13.580-13.590(2117-2119) BasePeak:93.10(415988)

RG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Entry:6982 Library:MS174.Lib

SI:87 Formula:C10H16O CAS:464-69-3 MolWeight:152 RefIndex:1123

CompName:(+)-3-Bornanone 5S Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-, (1R)- 5S Camphor, (1R,4R)-(+)- 5S Alcamide 5S 4-2-Bornanone 5S 4-2-Camphor



## Qualitative Analysis Report

<< Target >>

Line#7 R-Time:13.895(Scan#:2188) MassPeak:228

RawMode: Averaged (13.890-13.900)(179-218) BasePeak:65 (5/4000)

RG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Easy 18845 Library:NIST14.Lb

SI#7 Formula:C10H18O CAS:50861-27-1 MolWeight:154 RetIndex:1146

Compound: 4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylbutyl)-3S, --(1,2-epoxide) 3S 2-Isopropenyl-5-methylhex-4-en-1-ol 3S



<< Target >>

Line#8 R-Time:14.285(Scan#:2242) MassPeak:272

RawMode: Averaged (14.280-14.290)(241-281) BasePeak:95 (8/3035)

RG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Easy 18148 Library:NIST14.Lb

SI#6 Formula:C10H18O CAS:50770-0 MolWeight:154 RetIndex:1138

Compound: endo-Bornol 3S endo-2-Hydroxy-1,7-trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, endo- 3S 1,7,7-Trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, endo- 3S



<< Target >>

Line#9 R-Time:14.488(Scan#:2281) MassPeak:265

RawMode: Averaged (14.483-14.493)(258-303) BasePeak:71 (5/21288)

RG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit#1 Easy 18872 Library:NIST14.Lb

SI#5 Formula:C10H18O CAS:26126-76-2 MolWeight:154 RetIndex:1137

Compound: Cyclohexan-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylbutyl)-, (R)- 3S p-Menth-1-en-4-ol, (R)-(-)-3S (-)-Terpineol-4 of 3S (-)-4-Terpinol 3S L-terpineol-4-ol



Qualitative Analysis Report

28/12/20

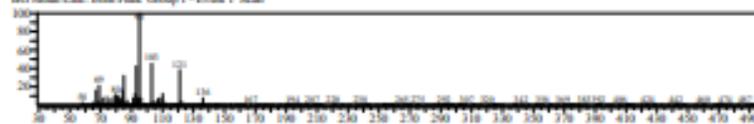
<< Target >>  
 Line# 10 R.Time:14.515(Scan# 2388) MassPeak:257  
 RawMode:Averaged (4.510-14.540(2367-2389)) BasePeak:71.05(45065)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:13428 Library:NIST04a.lh  
 SE:84 Formula:C10H20O2 CAS:2639-61-6 MolWeight:172 RefIndex:1.103  
 CompName:Butanoic acid, butyl ester SS Butyric acid, butyl ester SS n-Butyl butanoate SS n-Butyl butyrate SS n-Butyl butanoate SS 1



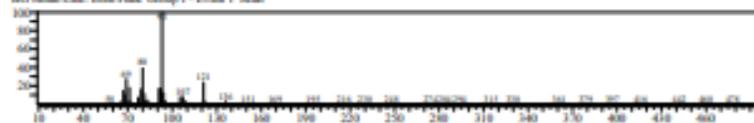
<< Target >>  
 Line# 11 R.Time:15.605(Scan# 2322) MassPeak:213  
 RawMode:Averaged (15.600-15.610(2321-2323)) BasePeak:95.18(30052)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:17807 Library:NIST04a.lh  
 SE:83 Formula:C12H20O2 CAS:125-12-2 MolWeight:196 RefIndex:1.277  
 CompName:Isobutyl acetate SS Bicyclo[2.2.1]heptan-2-yl, 1,7-dimethyl-, acetate, ester SS Isobutene, acetate SS Acetic acid, isobutyl ester SS Pictroic



<< Target >>  
 Line# 12 R.Time:15.965(Scan# 2594) MassPeak:253  
 RawMode:Averaged (15.960-15.970(2593-2595)) BasePeak:93.18(118488)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:44103 Library:NIST04a.lh  
 SE:89 Formula:C12H20O2 CAS:115-45-7 MolWeight:196 RefIndex:1.272  
 CompName:Linalyl acetate SS 1,6-Octadecan-3-yl, 3,7-dimethyl-, acetate SS Acetic acid linalyl ester SS Bergamotol SS Bergamotol SS Bergamotol ester of SS Linalyl



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#13 R\_Time:16.745(Scan#:2750) MassPeak:276  
RawData: Averaged 16.740-16.750(2749-2751) BasePeak:69.05(15627)  
BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan

Hit#1 Entry:04157 Library:NIST14c.lib

SI:96 Formula:C12H20O2 CAS:25905-14-0 MolWeight:196 RefIndex:1270

CompName:4-Hydroxyl-5-methyl-2-(1-methylhexyl)-acetate SS 2-Isopropyl-5-methyl-4-hexyl acetate # SS (-)-Lavandulyl acetate SS Lavandul



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#14 R\_Time:19.899(Scan#:3289) MassPeak:256  
RawData: Averaged 19.905-19.995(3290-3400) BasePeak:94.10(22105)  
BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan

Hit#1 Entry:19095 Library:NIST14c.lib

SI:94 Formula:C15H24 CAS:512-61-4 MolWeight:204 RefIndex:1211

CompName:Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7-dimethyl-7-(4-methyl-3-pentenyl)-, (-)- SS alpha-Santalone SS (-)-alpha-Santalone SS Santalone SS Santalone



&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#15 R\_Time:20.085(Scan#:3408) MassPeak:227  
RawData: Averaged 20.080-20.090(3417-3419) BasePeak:93.10(24196)  
BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan

Hit#1 Entry:01090 Library:NIST14c.lib

SI:92 Formula:C15H24 CAS:97-44-5 MolWeight:204 RefIndex:1494

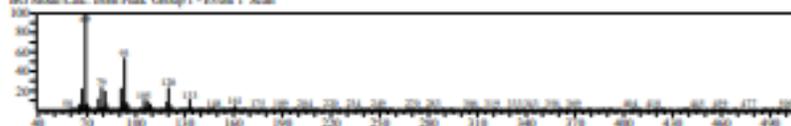
CompName:Caryophyllene SS Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methyl-, [1R\*(1R\*,4R\*,8R\*)]- SS Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trim



## Qualitative Analysis Report

<< Target >>

Line# 15 R\_Time:20.598(Scan#:3159) MassPeak:268  
 RawMode: Averaged 20.585-20.595(3158-3120) BasePeak:68.05(263572)  
 BG Mode Calc: Ion Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:49023 Library:NIST14Lib

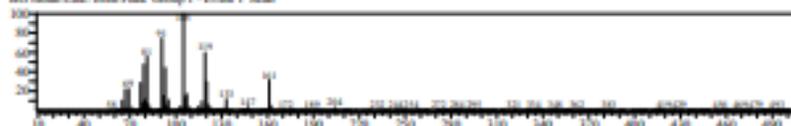
SI#4 Formula:C15H24 CAS:18794-84-8 MolWeight:204 RefIndex:1440

CompName:(E)-beta-Farnesene S5 1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl-3-methyleno-, (E)- S5 7,11-Dimethyl-3-methylene-1,6,10-dodecatriene, trans S5 (E)



<< Target >>

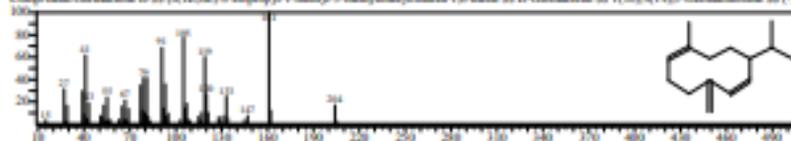
Line# 17 R\_Time:21.388(Scan#:3677) MassPeak:263  
 RawMode: Averaged 21.375-21.385(3676-3679) BasePeak:185.10(39572)  
 BG Mode Calc: Ion Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:50823 Library:NIST14Lib

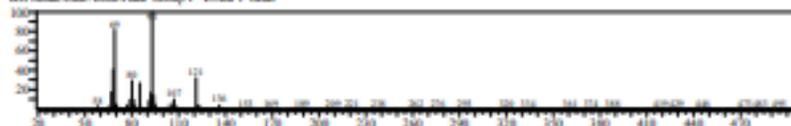
SI#1 Formula:C15H24 CAS:21986-74-5 MolWeight:204 RefIndex:1515

CompName:Germacene D S5 (S,1Z,6Z)-8-Isopropyl-1-methyl-5-methylcyclohexa-1,6-diene S5 D-Germacene S5 1(10),6(14),5-Germacatriene S5 (-)C



<< Target >>

Line# 18 R\_Time:21.595(Scan#:3720) MassPeak:276  
 RawMode: Averaged 21.580-21.600(3719-3721) BasePeak:93.05(76494)  
 BG Mode Calc: Ion Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 2 Entry:77194 Library:NIST14Lib

SI#4 Formula:C15H26O2 CAS:51117-21-6 MolWeight:238 RefIndex:0

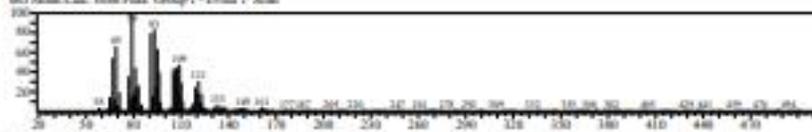
CompName:(R)-5-Methyl-2-(prop-1-en-2-yl)hex-4-en-1-yl 3-methylbutanoate S5 Butanoic acid, 3-methyl-, (2R)-5-methyl-2-(1-methylbut-3-en-1-yl)



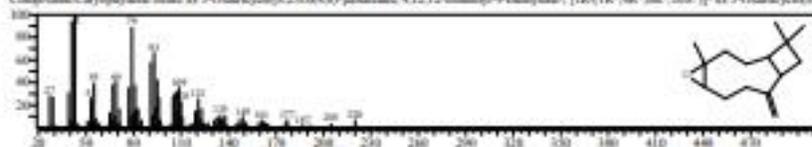
Qualitative Analysis Report

28/12/2020

<< Target >>  
Scan 15 R Time: 21.485 (Scan# 4098) MassPeak: 259  
BasePeak: Averaged 25.480-21.490 (497-499) BasePeak: 79.05 (1444)  
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry 62421 Library NIST04.Lb  
SEI: FuranolC15D4O CAS: 5130-92-6 MolWeight: 220 RetIndex: 1587  
Compound: Caryophyllene oxide SS 5-Oxatricyclo[3.2.0.0(4,6)]heptane, 4,12,12-trimethyl-9-oxo-, [1R\*,4R\*,6R\*,10S\*]- SS 5-Oxatricyclo[



Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales

Herbario Universitario (T.B.)

**Solicitante:** Camila Solís Baldovino

**Carrera:** Ing. Química

**Informe Virtual de Taxonomía:** Lavandula

**Responsable:** Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza

**Fecha:** Tarja / 04/ 02/ 21

**Reino:** Vegetal.

**Phylum:** Tracheophyta

**División:** Tracheophyta

**Subdivisión:** Anthophyta

**Clase:** Angiospermae

**Subclase:** Dicotyledoneae

**Grado Evolutivo:** Metachlamydeae

**Grupo de Ordenes:** Tetraclicales

**Orden:** Escrophalales

**Familia:** Labiales

**Nombre científico:** Lavandula sp.

**Nombre común:** Lavandula

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



**Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza**

**ENCARGADO**

**ANEXO B**  
**ESTIMACIÓN DE COSTOS**

## ANEXO B: COSTOS DEL PROYECTO

Los costos que conlleva la realización del presente proyecto de investigación se muestran a continuación en las siguientes tablas:

### Costo de Materia Prima

Detalle	Precio (Bs.)
Flores de lavanda recién cosechadas (10 Kg)	1 500.00
Transporte	50.00
<b>Total</b>	<b>1550.00</b>

### Costo de Análisis Físicoquímicos del Producto

Detalle	Precio (Bs.)
Análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC MS)	1 000.00
Índice de refracción	250.00
Rotación Óptica	250.00
Densidad	100.00
Análisis organoléptico	80.00
<b>Total</b>	<b>1 680.00</b>

### Energía Consumida por los Equipos Utilizados

Detalle	Descripción	Potencia (kW)
Balanza analítica	Pesar una muestra representativa de la materia prima	0.22
Balanza electrónica	Pesar la materia prima que ingresará en cada bandeja del extractor	0.06
Secador Infra rojo	Determinación del porcentaje de humedad de la materia prima	0.40

En la siguiente tabla se muestran los costos energéticos calculados:

#### Costos Energéticos

Detalle	Energía (kWh)	Costo (Bs.)
Balanza analítica	0.12	0.11
Balanza electrónica	0.018	0.017
Secador Infra rojo	1.08	0.97
<b>Total</b>		<b>1.097</b>

Los costos calculados están sobre la base de 0.90 bs/kWh que cobra SETAR

#### Costos de Gas Natural y Agua

- Volumen de agua consumida

$$V_A = V_t + V_r$$

Donde:

$V_A$  = Volumen de agua consumida

$V_t$  = Volumen de agua cargada en la torre de extracción

$V_r$  = Volumen de agua refrigerante

$$V_A = 5.5 \text{ L} + 350.676 \text{ L} = 356.18 \text{ L} = 0.36 \text{ m}^3$$

Detalle	Volumen (m <sup>3</sup> )	Costo (Bs.)
Gas natural	0.28	6.30
Agua	0.36	14.44
<b>Total</b>		<b>20.74</b>

Los costos calculados están sobre la base de 22.5 Bs/m<sup>3</sup> para el Gas natural y 3.18 Bs/m<sup>3</sup> para el agua (al cual se adiciona el costo fijo de alcantarillado de 13.30 Bs).

#### Costos de Materiales

Detalle	Descripción	Precio (Bs)
Frascos ámbar	20 unidades	200.00
Certificado	Revisión gramatical	50.00
Impresión	3 ejemplares	210.00
Empastado	3 ejemplares	180.00
<b>Total</b>		<b>640.00</b>

#### Costo Total

Sub total	Costo (Bs.)
Costo de materia prima	1 550.00
Costo de análisis fisicoquímicos del producto	1 680.00
Costos energéticos	1.097
Costos del material de escritorio	640.00
Costos de gas natural y agua	20.74
<b>Total</b>	<b>3 891.84</b>

## **ANEXO C**

# **FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN**



**Foto F – 1** Cultivos de Lavanda en el Municipio de El Puente



**Foto F – 2** Flores de Lavanda recolectadas



**Foto F – 3** Secado de las Flores de Lavanda



**Foto F – 4** Pesaje de las Flores de Lavanda para la Destilación



**Foto F – 5** Proceso de Destilación con Arrastre de Vapor



**Foto F – 6** Residuo de materia prima después de la destilación



**Foto F – 7** Separación del agua destilada y el aceite esencial obtenido



**Foto F – 6** Aceite Esencial de Lavanda