

**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
$\rho$	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
$\lambda$ 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 Físicoquímicas 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 Lavanda .....	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 – 1 Diagrama 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 Tecnológico Experimental.....	74