

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



**EXTRACCIÓN EXPERIMENTAL, POR ARRASTRE DE VAPOR,
DE ACEITE ESENCIAL DE HOJAS DE POLEO (*Mentha Pulegium*)
CULTIVADO EN TARIJA**

Por:

ALVARO DENIS FLORES CHAVEZ

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.

Marzo de 2022

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Ing. Marlene B. Simons Sanchez
VICEDECANA
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jorge Tejerina Oller

Ing. María Estela Sullca

Ing. Jorge Rafael Rodríguez Padilla

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han ayudado valorar cada día más, A mi padre y madre por ser los pilares más importantes en mi vida estando siempre a mi lado, brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanos que siempre han estado junto a mí, dándome fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias mamita Sara y papito Juan Carlos.

A mis hermanos David y Dariana, por llenarme de alegría día tras día, por brindarme su tiempo y apoyo incondicional que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy.

A mi abuelita Domitila, por todo el cariño y amor que me has dado y a mi abuelito Marciano que Dios lo tenga en su gloria y ahora es un ángel en mi vida y sé que se encuentra muy orgulloso de su nieto y desde donde está me bendice.

Agradezco a los tribunales calificadores: Ing. Jorge Tejerina, Ing. Estela Sullca, Ing. Rafael Rodríguez, quienes, con su experiencia, conocimiento me guiaron en la elaboración del presente trabajo.

“Me lo contaron y lo olvidé; lo vi y lo entendí; lo hice y lo aprendí”.

Confucio.

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
ha	Hectáreas
m ²	Metro cuadrado
g	Gramos
mg	Miligramos
nD	Índice de refracción
°C	Grados centígrados
ml	Mililitros
mm	Milímetros
min	Minutos
r.p.m.	Revoluciones por minuto
GLP	Gas licuado de petróleo
\$	Dólares americanos
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m	Masa
V	Volumen
ρ	Densidad
%H	Porcentaje de humedad
R	Rendimiento
ϕ	Caudal de agua
Q	Flujo calorífico
Q _{total}	Calor total requerido para la extracción (kcal)

Q_{sensible}	Calor requerido para llegar al punto de ebullición (kcal)
Q_{latente}	Calor requerido para evaporar el agua (kcal)
$\Lambda_{\text{vaporización}}$	Calor latente de vaporización (kcal/kg)
F_{vapor}	Flujo másico de vapor (kg/s)
ΔT	Diferencia de temperaturas
C_p	Calor específico
$T_{\text{partícula}}$	Tamaño de partícula
$t_{\text{extracción}}$	Tiempo de extracción
h	Hora
Kcal	Kilocaloría
G/ml	Gramos/mililitros
,	Decimal
AE	Aceite esencial
LOU	Laboratorio de operaciones unitarias
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
CEANID	Centro de análisis investigación y desarrollo

ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Generalidades	1
Conceptualización de la idea del Proyecto	4
Aspectos del Mercado	5
Mercado Consumidor de Aceites Esenciales	5
Mercado Competidor de Aceites Esenciales.....	6
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos.....	9
Justificación	9
Justificación Económica	9
Justificación Tecnológica.....	10
Justificación Social	10
Justificación Ambiental.....	10

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Aceite Esencial.....	12
1.1.1 Clasificación.....	12
1.1.1.1 Clasificación por su Consistencia	12
1.1.1.2 Clasificación por su Origen.....	13

1.1.1.3 Clasificación según la naturaleza Química de los componentes mayoritarios	13
1.1.2 Composición Química de los Aceites Esenciales	13
1.1.3 Análisis Fisicoquímicos de un Aceite Esencial	15
1.1.4 Rendimiento de los Aceites Esenciales.....	16
1.1.5 Usos y Aplicaciones de los Aceites Esenciales.....	17
1.1.6 Almacenamiento de los Aceites Esenciales	18
1.1.7 Precauciones a tener en cuenta al manipular Aceites Esenciales.....	19
1.2 Aceite Esencial de Poleo (Mentha Pulegium).....	19
1.2.1 Usos, Aplicaciones y Beneficios del Aceite Esencial de Poleo	20
1.2.2 Efectos Adversos y Contraindicaciones del Aceite Esencial de Poleo	20
1.2.3 Composición Química del Aceite Esencial de Poleo	21
1.3 Usos de los Subproductos y Residuos de la Destilación de Aceite Esencial de Poleo.....	23
1.3.1 Hidrolatos	23
1.3.2 Residuos de la Materia Prima	24
1.4 Descripción y Caracterización Del Poleo (Mentha Pulegium)	24
1.4.1 Origen del Poleo.....	24
1.4.2 Descripción del Poleo	24
1.5 Procesos de Obtención de Aceite Esencial	26
1.5.1. Destilación Por Arrastre con Vapor	27
1.5.1.1 Hidrodestilación o Destilación con Agua	28
1.5.1.2. Destilación por Arrastre con Vapor de Agua.....	29
1.5.1.3. Destilación con vapor Seco o Sobrecalentado	30
1.5.1.4 Ventajas y Desventajas de los Métodos de Destilación	32

1.6 Selección de proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas Poleo	33
1.7 Descripción del proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo	33

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Procedencia de la Materia Prima.....	35
2.2 Caracterización de la Materia Prima	36
2.2.2 Determinación del porcentaje de humedad de las hojas de Poleo	37
2.3 Descripción del método de Investigación	39
2.4 Diseño Factorial	39
2.4.1 Selección de las Variables del Proceso	39
2.4.2 Variables y niveles del diseño factorial	41
2.5 Proceso Tecnológico para la Extracción de Aceite Esencial de Poleo	43
2.6 Equipos y Materiales Utilizados en la Obtención de Aceite Esencial de Poleo ...	44
2.6.1 Descripción de los Equipos Utilizados	44
2.6.3 Calibración del Material de Laboratorio	49
2.7 Etapas del Proceso de Extracción	49
2.7.1 Recolección de la Materia Prima	52
2.7.2 Pre-Tratamiento de la Materia Prima.....	53
2.7.3 Secado	54
2.7.4 Almacenamiento de las Hojas	54
2.7.5 Reducción de Tamaño.....	55
2.7.6 Tamizado.....	56
2.7.7 Pesado de la Materia Prima.....	57

2.7.8 Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	57
2.7.8.1 Pruebas Preliminares.....	57
2.7.8.2 Modificación al equipo de Extracción de Aceite Esencial.....	60
2.7.8.3 Condiciones de Operación	60
2.7.8.4 Proceso de Extracción del Aceite Esencial	61
2.7.8.5 Condensación	64
2.7.8.6 Decantación.....	64
2.7.8.7 Almacenamiento	65
2.7.8.8 Residuo.....	66
2.8 Caracterización del Producto obtenido: Aceite Esencial de Hojas de Poleo	66
2.8.1 Análisis Organoléptico.....	66
2.8.2 Análisis fisicoquímicos	67
2.8.3 Perfil Cromatográfico	67

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la Materia Prima.....	69
3.1.1 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo	69
3.1.2 Determinación del Porcentaje de Humedad.....	71
3.1.2.1 Secado de las Hojas de Poleo (secado natural)	71
3.1.2.2 Determinación del Porcentaje de humedad de las Hojas de Poleo en Estado Fresco	73
3.1.2.3 Determinación del Porcentaje de humedad de las Hojas de Poleo en Estado Seco.....	76
3.1.2.4 Resultados del análisis de Humedad de las Hojas de Poleo	78

3.2 Resultados de las Pruebas Preliminares	79
3.2.1 Determinación del Tiempo de Extracción.....	79
3.3 Resultados Obtenidos de la Fase Experimental	81
3.3.1 Rendimiento del Aceite Esencial de Hojas de Poleo	81
3.3.2 Resultados Experimentales Obtenidos en Base al Diseño Factorial.....	83
3.3.3 Relación de las Variables Independientes con Respecto al Volumen del Aceite Esencial Obtenido	85
3.3.3.1 Tamaño Vs Volumen Obtenido con Hojas Secas	86
3.3.3.2 Masa Vs Volumen Obtenido con Hojas Secas.....	87
3.3.3.3 Cálculo del rendimiento de obtención del aceite esencial de Hojas de Poleo Secas.....	89
3.4 Análisis Estadístico del Diseño Factorial.....	90
3.5 Resultados de los Análisis del Producto Obtenido	95
3.5.1 Características Organolépticas	95
3.5.2 Análisis Físicoquímicos	95
3.5.3 Perfil Cromatográfico	96
3.6 Balance de Materia y Energía de la Obtención de Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	99
3.6.1 Balance de Materia en la Obtención de Aceite Esencial de Hojas de Poleo....	100
3.6.1.1 Balance de materia en la Torre de Destilación.....	101
3.6.1.2 Balance de Materia en la Condensación	103
3.6.1.3 Balance de Materia en la Decantación	104
3.6.2 Balance de Energía en la Obtención de Aceite Esencial de Poleo.....	106
3.6.2.1 Balance de Energía en la Torre de Destilación	106

3.6.2.2 Balance de energía en el condensador.....	108
3.7 Propuesta de Aplicación del Aceite Esencial de Poleo.....	110

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	112
4.2 Recomendaciones.....	114
Bibliografía	115

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I: Importación Mundial De Aceites Esenciales.....	5
Tabla II: Principales Países Proveedores de Aceites Esenciales.....	6
Tabla III: Principales Países Exportadores De Aceites Esenciales.....	6
Tabla IV: Exportaciones De Aceites Esenciales De Bolivia	7
Tabla II-1 Diseño Factorial para el Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Poleo.....	42
Tabla II-2 Datos del Diseño Factorial para el Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Poleo.....	43
Tabla III-1 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas de Poleo.....	72
Tabla III-2 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas Frescas de Poleo.....	73
Tabla III-3 Resultados del Análisis de Humedad de las Hojas Frescas de Poleo.....	75
Tabla III-4 Variación del Porcentaje de Humedad Evaporada vs. Tiempo en las Hojas Secas de Poleo.....	76
Tabla III-5 Resultados del Análisis de Humedad de las Hojas Secas de Poleo.....	77
Tabla III-6 Resultados de Porcentajes de Humedad de las Hojas de Poleo.....	78
Tabla III-7 Tiempo de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo	79
Tabla III-8 Datos de Extracción con Hojas de Poleo Frescas.....	81
Tabla III-9 Datos de Extracción con Hojas de Poleo Secas.....	81
Tabla III-10 Resultados Experimentales Obtenidos del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de las Hojas de Poleo Secas.....	84
Tabla III-11 Datos de Rendimiento de los Tres Tamaños de Muestra	86

Tabla III-12 Datos de Volumen Obtenido con Relación a las Masas	88
Tabla III-13 Datos para el Cálculo de Rendimiento	89
Tabla III-14 Comparación del Rendimiento de Aceite Esencial Extraído.....	90
Tabla III-15 Niveles de Variación de los Factores	91
Tabla III-16 Datos Experimentales de la Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	91
Tabla III-17 Análisis de Varianza “ANOVA”	92
Tabla III-18 Variables introducidas/ eliminadas.....	93
Tabla III-19 Coeficientes	93
Tabla III-20 Resultados Experimentales Obtenidos en Base al Diseño Factorial vs Resultados del Modelo Aplicado en el Programa SPSS 18.....	93
Tabla III-21 Comparación de Parámetros Fisicoquímicos del Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	96
Tabla III-22 Componentes del Aceite Esencial de Hojas de Poleo Cultivado en el Departamento de Tarija.....	97
Tabla III-23 Comparación del Aceite Esencial de Hojas Poleo Cultivado en el Departamento de Tarija Frente a otros de Bibliografía.....	97
Tabla III-24 Datos para el Balance de Materia y Energía.....	99
Tabla III-25 Resultados del Balance de Energía.....	110

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro I-1 Propiedades Químicas de los Aceites Esenciales	14
Cuadro I-2 Industrias que usan Productos Aromáticos Naturales y Aceites Esenciales	17
Cuadro I-3 Concentración Máxima de la Pulegona en Productos	21
Cuadro I-4 Composición del Aceite Esencial de Poleo en España.....	22
Cuadro I-5 Propiedades Físicas y Químicas	23
Cuadro I-6 Clasificación Taxonómica	26
Cuadro I-7 Clasificación de los Procesos de Extracción de Aceites Esenciales.....	26
Cuadro I-8 Comparación de Métodos	32
Cuadro II-1 Mapa de Localización del Poleo en la Comunidad de Cañon Oculto	35
Cuadro II-2 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo.....	37
Cuadro II-3 Material de Laboratorio.....	48
Cuadro II-4 Análisis Organoléptico del Aceite Esencial de Hojas de Poleo	67
Cuadro III-1 Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo	69
Cuadro III-2 Comparación del Análisis Organoléptico de las Hojas de Poleo frente a otros de Bibliografía.....	70
Cuadro III-3 Comparación del Aceite Esencial Obtenido con los de Bibliografía.....	95

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 1- 1 Planta de Poleo (Mentha Pulegium).....	25
Fotografía 1-2 Equipo de Destilación por Arrastre con Vapor existente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU	28
Fotografía 2-1 Materia prima – Hojas de Poleo.....	36
Fotografía 2-2 Muestra y Resultado del % de Humedad de las Hojas de Poleo.....	38
Fotografía 2-3 Torre de Extracción, Dimensionamiento	44
Fotografía 2-4 Canastillos para la Extracción, Dimensionamiento	45
Fotografía 2-5 Cocinilla	45
Fotografía 2-6 Intercambiador de Calor Tubular	46
Fotografía 2-7 Balanza Analítica	47
Fotografía 2-8 Secador Infrarrojo	47
Fotografía 2-9 Tamiz Vibratorio.....	48
Fotografía 2-10 Cosecha de Poleo	52
Fotografía 2-11 Materia Vegetal Tratada.....	53
Fotografía 2-12 Secado de las Hojas de Poleo.....	54
Fotografía 2-13 Embolsado de las Hojas de Poleo	55
Fotografía 2-14 Reducción de Tamaño de la Hoja de Poleo	55
Fotografía 2-15 Tamiz Vibratorio.....	56
Fotografía 2-16 Pesado de las Hojas.....	57
Fotografía 2-17 Aceite Esencial Obtenido en la Prueba con Hojas de Poleo en Estado Fresco	58

Fotografía 2-18 Aceite Esencial Obtenido en la Prueba con Hojas de Poleo en Estado Seco	59
Fotografía 2-19 Modificación del Intercambiador de Calor	60
Fotografía 2-20 Equipo de Destilación	63
Fotografía 2-21 Agua + Aceite Esencial	64
Fotografía 2-22 Decantación	65
Fotografía 2-23 Envasado del Aceite Esencial de Hojas de Poleo	65
Fotografía 2-24 Residuo	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1 Partes de las Plantas en las que se Encuentran los Aceites Esenciales	15
Figura 1-2 Hidrodestilación Simple o Destilación con Agua	29
Figura 1-3 Destilación por Arrastre con Vapor de Agua	30
Figura 1-4 Destilación con Vapor Seco o Sobrecalentado.....	31
Figura 2-1 Mapa de Localización del Poleo en la Comunidad de Cañon Oculto.....	36
Figura 2-2 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	50
Figura 2-3 Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Aceite Esencial de Hojas de Poleo.....	51
Figura 3-1 Diagrama de Flujo de Equipos del Proceso de Extracción.....	100
Figura 3-2 Balance de Materia en la Etapa de Destilación	101
Figura 3-3 Balance de Materia en la Etapa de Condensación.....	103
Figura 3-4 Balance de Materia en la Etapa de Decantación	104
Figura 3-5 Resumen del Balance de Materia	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3-1 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas de Poleo	73
Gráfico 3-2 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas Frescas de Poleo.....	75
Gráfico 3-3 Curva de Porcentaje de Humedad Evaporada vs Tiempo de Secado de las Hojas Secas de Poleo	78
Gráfico 3-4 Determinación del Tiempo Óptimo de Extracción de Aceite Esencial de Poleo.....	80
Gráfico 3-5 Comparación de Volúmenes Extraído en Estado Fresco y Seco de las Hojas de Poleo.....	83
Gráfico 3-6 Rendimiento (%) vs N° Prueba.....	85
Gráfico 3-7 Volumen Obtenido vs Tiempo con Relación al Tamaño de Partícula	87
Gráfico 3-8 Volumen Obtenido vs Tiempo (con relación a la masa)	88