

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE  
POMELO ROSADO (*Citrus Paradisi*) POR EL MÉTODO DE  
ARRASTRE CON VAPOR**

**Por: BRAYAN SERGIO LÓPEZ HUANCA**

**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**

**VºBº**

---

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

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Jorge Luis Tejerina Oller

---

Ing. Juan Carlos Kéri Mentasti

---

Ing. Natalia Ortega Barriga

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

Agradecer a Dios, quien inspiro mi espíritu para la realización de este proyecto, por darme salud y bendiciones para alcanzar mis metas como persona.

A mis docentes tanto de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho como de la Universidad Técnica de Oruro y en especial a mis tribunales por su ayuda, paciencia y dedicación.

Agradecerle también a toda mi familia por darme ánimo y apoyo durante este proceso.

A mis amigos de toda la vida que me acompañan desde siempre.

El pensamiento que me acompañó en esta etapa universitaria se encuentra lo que los docentes de matemática de la Facultad Nacional de Ingeniería me dijeron:

“Cada fórmula es única y representa la relación entre variables, siendo necesario interpretar su significado mediante deducciones”

**ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA**

Atm	Atmósfera de presión
Bs	Bolivianos (Moneda)
Cp	Calor específico
$\lambda_{\text{vaporización}}$	Calor latente de vaporización
$Q_{\text{Total}}$	Calor total requerido para la extracción
$Q_{\text{Sensible}}$	Calor requerido para llegar al punto de ebullición
$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	Caudal de agua
$\rho$	Densidad
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas
Q	Flujo calorífico
°C	Grados centígrados
g	Gramos
ha	Hectárea
h	Hora
Kcal	Kilocaloría
Kg	Kilogramo
m	Metro
mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
min	Minutos
% (p/p)	Porcentaje peso – peso

R	Rendimiento
r.p.m.	Revoluciones por minuto
Ton	Tonelada
.	Mil
,	Decimal
CEANID	Centro de análisis investigación y desarrollo
GLP	Gas licuado de petróleo
INE	Instituto Nacional de Estadística
LOU	Laboratorio de operaciones unitarias
FAO	Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
UTM	Universal transversal de Mercator
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
UNAL	Universidad Nacional de Colombia



## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

Antecedentes .....	1
Objetivo General del Proyecto .....	3
Objetivos Específicos .....	3
Justificación.....	4

### CAPÍTULO I

#### MARCO TEÓRICO

1.1. Origen del pomelo.....	5
1.2. Descripción Botánica de la Planta.....	5
1.2.1. Hojas y Flores del Árbol.....	6
1.3. Descripción del Fruto.....	8
1.3.1. Taxonomía del pomelo .....	8
1.3.2. Estructura Anatómica del Pomelo .....	9
1.3.3. Variedades del fruto.....	10
1.3.4. Valor Nutricional del Pomelo.....	11
1.4. Cuantificación del Pomelo en Bolivia.....	13
1.4.1. Producción de Pomelo en el Departamento de Tarija.....	15
1.5. Aceite esencial .....	16
1.5.1. Características de los Aceites Esenciales.....	16
1.5.1.1. Características físicas .....	16
1.5.1.2. Características químicas .....	17
1.5.2. Clasificación de los Aceites Esenciales .....	19
1.5.3. Aplicación de los Aceites Esenciales.....	21
1.6. Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado .....	22
1.6.1. Componentes Principales del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado .....	23
1.6.2. Aplicación como ambientador del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo .....	25
1.7. Métodos de Extracción de Aceite Esencial.....	25

1.7.1.	Destilación con Arrastre de Vapor.....	25
1.7.1.1.	Hidrodestilación o Destilación con Agua.....	26
1.7.1.2.	Destilación con Agua y Vapor .....	27
1.7.1.3.	Destilación con corriente de Vapor .....	28
1.7.2.	Solventes.....	29
1.7.3.	Prensado.....	30
1.7.4.	Fluido Supercrítico .....	31
1.7.5.	Radiación por Microondas.....	32
1.8.	Principio Teórico de la Destilación por Arrastre con Vapor.....	35
1.8.1.	Etapas de la Destilación por Arrastre con Vapor.....	36

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1.	Descripción y Análisis de la Cáscara de Pomelo.....	39
2.1.1.	Caracterización de la Cáscara de Pomelo Rosado .....	39
2.1.2.	Morfología de la Cáscara de Pomelo.....	40
2.2.	Descripción del Método de Investigación.....	43
2.2.1.	Método Utilizado para la Extracción de Aceite esencial de Cáscara de Pomelo Rosado.....	43
2.3.	Diseño Factorial .....	44
2.3.1.	Variables que Influyen en la Destilación con Agua y Vapor .....	44
2.3.2.	Identificación de Variables de operación a utilizar en la Extracción .....	45
2.3.2.1.	Cantidad de Materia Prima.....	46
2.3.2.2.	Tiempo de Extracción .....	46
2.3.2.3.	Tamaño de Partícula.....	46
2.3.3.	Variable Respuesta .....	47
2.3.4.	Hipótesis .....	47
2.3.5.	Determinación del Número de Ensayos.....	48
2.4.	Materiales y Equipos.....	50
2.4.1.	Materiales.....	50
2.4.2.	Equipos Utilizados.....	51
2.5.	Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo .....	51

2.6.	Pruebas Previas .....	52
2.6.1.	Materia en base seca y húmeda.....	52
2.6.2.	Volumen de agua en el extractor .....	54
2.6.3.	Consumo de energía.....	55
2.6.4.	Materia Triturada y sin Trituración .....	56
2.7.	Procedimientos y Técnicas empleadas para la Obtención de Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo .....	57
2.7.1.	Recolección de la Materia Prima .....	57
2.7.2.	Pretratamiento de la Materia Prima .....	58
2.7.3.	Separación de la Cáscara .....	59
2.7.4.	Triturado .....	60
2.7.5.	Tamizado .....	61
2.7.6.	Extracción por arrastre con vapor.....	63
2.7.6.1.	Características de la torre de extracción .....	63
2.7.6.2.	Condiciones de operación .....	65
2.7.6.3.	Descripción del Procedimiento .....	65
2.7.6.4.	Temperaturas en la Torre de Extracción .....	67
2.7.7.	Condensación.....	69
2.7.7.1.	Características del Intercambiador de calor .....	69
2.7.7.2.	Condición de operación.....	70
2.7.7.3.	Modificación en el condensado .....	70
2.7.7.4.	Descripción del condensado .....	71
2.7.8.	Separación de Fases .....	73
2.7.9.	Envasado y Almacenamiento.....	74
2.8.	Análisis del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Obtenido .....	74
2.8.1.	Características Organolépticas.....	74
2.8.2.	Características Físicoquímicas.....	75
2.8.2.1.	Densidad .....	75
2.8.2.2.	Índice de Refracción.....	75
2.8.2.3.	Acidez Total .....	75
2.8.2.4.	Solubilidad en Etanol .....	76

2.8.2.5.	Cromatografía de Gases (CG) .....	77
----------	-----------------------------------	----

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1.	Caracterización de la Cáscara de Pomelo Rosado .....	79
3.2.	Ensayos para identificar los límites óptimos.....	81
3.2.1.	Variable Tamaño de Partícula.....	81
3.2.2.	Variable Cantidad de Materia Prima .....	83
3.2.3.	Variable Tiempo de Extracción .....	86
3.3.	Resultados de los Experimentos .....	89
3.4.	Comportamiento de las Variables independientes en la obtención del aceite esencial .....	91
3.4.1.	Tiempo de Extracción y Cantidad de Materia Prima.....	92
3.4.2.	Cantidad de Materia prima y Tamaño de Partícula .....	92
3.4.3.	Tamaño de Partícula y Tiempo de Extracción.....	93
3.5.	Rendimiento del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado.....	94
3.6.	Análisis Estadísticos del Diseño Experimental.....	95
3.6.1.	Análisis de Varianza .....	95
3.6.2.	Regresión Lineal Múltiple .....	98
3.7.	Resultados de los análisis realizados al Aceite Esencial de Cáscara de pomelo rosado .....	99
3.7.1.	Análisis Físicoquímicos .....	99
3.7.2.	Solubilidad en Etanol del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado .....	100
3.7.3.	Composición del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado.....	101
3.8.	Propuesta de Aplicación del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado	102
3.9.	Balance de Materia y Energía .....	103
3.9.1.	Balance de materia.....	103
3.9.1.1.	Separación de fases .....	104
3.9.1.2.	Condensador .....	104
3.9.1.3.	Destilación.....	106
3.9.1.4.	Cocinilla .....	108
3.9.1.5.	Tamizado .....	110

3.9.1.6.	Trituración .....	111
3.9.1.7.	Separación de la cáscara .....	112
3.9.2.	Balance de Energía .....	114
3.9.2.1.	Torre de extracción.....	114
3.9.2.2.	Condensador .....	115
3.10.	Análisis de Costos del Proyecto .....	116
3.10.1.	Costos Directos .....	116
3.10.2.	Costos Indirectos.....	120
3.10.3.	Costo Total.....	120
3.10.4.	Precio Estimado del Producto.....	121

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1.	Conclusiones .....	125
4.2.	Recomendaciones.....	127
	Bibliografía .....	128
	ANEXO A INFORME ANÁLISIS DE TAXONOMÍA DEL POMELO (HERBARIO UNIVERSITARIO T.B) .....	132
	ANEXO B INFORME DEL ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE LA CÁSCARA DE POMELO ROSADO.....	134
	ANEXO C INFORME DEL ANÁLISIS FISICOQUIMICO DEL ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE POMELO ROSADO .....	136
	ANEXO D INFORME DEL ANÁLISIS GC/MS COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE POMELO ROSADO.....	138

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla I-1	Taxonomía del pomelo.....	8
Tabla I-2	Clasificación de las variedades y especies del pomelo según la coloración de la pulpa. ....	11
Tabla I-3	Contenido nutricional promedio del pomelo.....	12
Tabla I-4	Producciones y superficie cultivada de pomelo ( <i>Citrus Paradisi</i> ) por Gestión desde 2.000-2.019.....	13

Tabla I-5 Producción y superficie cultivada de pomelo ( <i>Citrus Paradisi</i> ) por departamento proyectada para 2019.....	14
Tabla I-6 Producción de Pomelo en el Departamento de Tarija. ....	15
Tabla I-7 Característica química de los aceites esenciales.....	17
Tabla I-8 Compuestos alifáticos presentes en los aceites esenciales. ....	18
Tabla I-9 Clasificación de los aceites esenciales según criterios utilizados. ....	19
Tabla I-10 Propiedades del D-limoneno. ....	23
Tabla I-11 Propiedades del $\beta$ -mirceno. ....	24
Tabla I-12 Propiedades del $\alpha$ -Pineno. ....	25
Tabla I-13 Ventajas y Desventajas de los métodos de Extracción. ....	33
Tabla II-1 Matriz de diseño factorial de 3 factores y 2 niveles.....	48
Tabla II-2 Materiales Utilizados en el Proyecto. ....	50
Tabla II-3 Equipos Utilizados en el Proyecto. ....	51
Tabla II-4 Prueba previa de materia en base seca y húmeda. ....	53
Figura II-5 Prueba previa de volúmenes de agua en el extractor.....	54
Tabla II-6 Prueba previa de consumo energético.....	55
Tabla II-7 Prueba previa al trabajar con materia triturada y sin trituración.....	56
Tabla II-8 Variación de la Temperatura en la torre de extracción. ....	68
Tabla II-9 Volúmenes para una solución de 30 ml de mezcla. ....	76
Tabla III-1 Comparación de Análisis fisicoquímico proximal de la cáscara de pomelo rosado. ....	79
Tabla III-2 Análisis granulométrico.....	81
Tabla III-3 Aceite esencial obtenido a diferentes cantidades de materia prima. Fuente: Elaboración propia, 2021. ....	83
Tabla III-4 Aceite esencial obtenido a diferentes tiempos de extracción. ....	86
Tabla III-5 Rendimiento de aceite esencial obtenido en los experimentos.....	90
Tabla III-6 Rendimiento en la primera replica.....	91
Tabla III-7 Rendimientos en proyectos de extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado. ....	95
Tabla III-8 Codificación de datos para el diseño factorial.....	96
Tabla III-9 Análisis de Varianza (ANOVA).....	97
Tabla III-10 Coeficientes de regresión lineal.....	98

Tabla III-11 Resultados Análisis Físicoquímicos. ....	99
Tabla III-12 Volúmenes para una solución de 30 ml de mezcla. ....	100
Tabla III-13 Composición del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado. ....	101
Tabla III-14 Costos de materia prima. ....	116
Tabla III-15 Costos de equipos. ....	117
Tabla III-16 Costos de materiales. ....	117
Tabla III-17 Costos de análisis físicoquímicos de la materia prima. ....	118
Tabla III-18 Costos de análisis físicoquímico del aceite esencial. ....	118
Tabla III-19 Costos de insumos. ....	119
Tabla III-20 Costos eléctrico de los equipos. ....	119
Tabla III-21 Costos Directos. ....	119
Tabla III-22 Costos indirectos. ....	120
Tabla III-23 Costo total del proyecto. ....	120
Tabla III-24 Costo de materiales directos en la extracción. ....	121
Tabla III-25 Costo de operación para la extracción. ....	121
Tabla III-26 Costo de energía eléctrica. ....	122
Tabla III-27 Depreciación de los equipos y materiales. ....	122
Tabla III-28 Costos totales en cada extracción. ....	123
Tabla III-29 Precios de aceite esencial de pomelo rosado por un volumen de 15 ml. .....	124
Tabla IV-1 Parámetros de operación para el mejor rendimiento. ....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Árbol de Pomelo (Pomelero).....	6
Figura 1-2 Hojas del Árbol de pomelo.....	7
Figura 1-3 Flores del Árbol de Pomelo.....	7
Figura 1-4 Partes del pomelo. ....	10
Figura 1-5 Variedades de pomelos según la coloración de la pulpa. ....	11
Figura 1-6 Equipo para la Extracción de aceite esencial por Hidrodestilación .....	27
Figura 1-7 Equipo para la Extracción de aceite esencial por destilación con Agua y Vapor.....	28

Figura 1-8 Equipo para la Extracción de aceite esencial por destilación con corriente de vapor.....	29
Figura 1-9 Equipo Soxhlet para la Extracción con solventes. ....	30
Figura 1-10 Equipo de Prensa sin fin para la extracción por prensado.....	31
Figura 1-11 Proceso de extracción de aceite esencial por el método de fluidos supercríticos. ....	32
Figura 2-1 Materia Prima – Pomelo Rosado (Citrus Paradisi) .....	39
Figura 2-2 Observación en microscopio. ....	40
Figura 2-3 Microscopio Olympus CX31 y materiales. ....	41
Figura 2-4 Cáscara de pomelo visto a 40x. ....	42
Figura 2-5 Mesocarpio visto en microscopio.....	43
Figura 2-6 Diagrama del Proceso de Obtención de Aceite a Escala de Laboratorio. .	52
Figura 2-7 Ubicación geográfica de la recolección de pomelo rosado. ....	57
Figura 2-8 Lugar de recolección de pomelo rosado.....	58
Figura 2-9 Selección de los pomelos. ....	58
Figura 2-10 Lavado de la materia prima. ....	59
Figura 2-11 Separación del epicarpio. ....	60
Figura 2-12 Triturado de la cáscara de pomelo rosado. ....	61
Figura 2-13 Tamizado de partículas de cáscara de pomelo rosado.....	62
Figura 2-14 Rechazo en cada tamiz. ....	62
Figura 2-15 Torre de extracción.....	63
Figura 2-16 Canastillos del extractor. ....	64
Figura 2-17 Instalación de GLP. ....	64
Figura 2-18 Carga de la materia prima en el canastillo. ....	66
Figura 2-19 Funcionamiento de la torre de extracción. ....	67
Figura 2-20 Tiempo vs Temperatura en la torre de extracción. ....	68
Figura 2-21 Intercambiador de calor.....	70
Figura 2-22 Modificación en el intercambiador de calor.....	71
Figura 2-23 Condensado de la mezcla aceite esencial - hidrolato. ....	72
Figura 2-24 Montaje de los equipos.....	72
Figura 2-25 Trasvasado y separación de la mezcla.....	73
Figura 2-26 Envasado del aceite esencial. ....	74



Figura 2-27 Mezclado del aceite esencial y etanol. ....	77
Figura 3-1 N° de tamiz vs. % de rechazo. ....	82
Figura 3-2 Aceite esencial obtenido a diferentes cantidades de materia prima. ....	84
Figura 3-3 Rendimiento a diferentes cantidades de materia prima. ....	84
Figura 3-4 Tiempo de extracción vs aceite esencial obtenido. ....	87
Figura 3-5 Tiempo de extracción vs rendimiento ....	88
Figura 3-6 Tiempo de extracción y cantidad de materia empleando 2 mm de tamaño de partícula. ....	92
Figura 3-7 Cantidad de materia prima y Tamaño de partícula empleando 70 min de tiempo de extracción. ....	93
Figura 3-8 Tamaño de partícula y tiempo de extracción empleando 400 g de materia prima. ....	94
Figura 3-9 Aromatizante de ambiente. ....	103
Figura 3-10 Diagrama de la separación aceite e hidrolato. ....	104
Figura 3-11 Diagrama del condensador. ....	106
Figura 3-12 Diagrama en la torre de extracción. ....	107
Figura 3-13 Diagrama de la cocinilla. ....	110
Figura 3-14 Diagrama del Tamizado. ....	111
Figura 3-15 Diagrama del triturado. ....	112
Figura 3-16 Diagrama del pelado del fruto. ....	113
Figura 3-17 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial. ....	113