

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



**EXTRACCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE ESENCIAL DE**  
**CÁSCARA DE MANDARINA (*citrus reticulata*) CULTIVADA EN**  
**EL DEPARTAMENTO DE TARIJA MEDIANTE**  
**HIDRODESTILACIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS.**

**Por:**

**Yonathan Aldo Lazcano Valdez**

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.

Diciembre de 2021

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

---

M.Sc. Ing. José Navia Ojeda

DECANO a.i.

Facultad de Ciencias y Tecnología

---

M. Sc. Lic. Deysi Beatriz Arancibia Marquez

VICEDECANA a.i.

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Patricia Castillo

---

Ing. Gonzalo Torrez

---

Ing. Mery Gudiño

**Advertencia**

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.

**Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y por su apoyo incondicional que me han brindado.

A mis amigos y docentes que me apoyaron a mantenerme dentro de los lazos de la educación.

### **Agradecimientos**

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

De igual forma, agradezco a mis docentes, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

**ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA**

kg	Kilogramo
g	Gramos
mg	Miligramos
cm	Centímetro
µm	Micrómetro
°C	Grados centígrados
L	Litro
ml	Mililitros
µl	Microlitro
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
ft <sup>3</sup>	Pies cúbicos
min	Minutos
ns	Nanosegundo
ps	Picosegundo
h	Hora
s	Segundos
rpm	Revoluciones por minuto
°	Grados
Bs	Bolivianos
T	Temperatura
V	Volumen
m	Masa

$\rho$	Densidad
R	Rendimiento
% H	Porcentaje de humedad
MHz	Megahercio
GHz	Gigahercio
kW-h	Kilowatt hora
W	Watt
eV	Electrovoltio
J	Joule
kJ	Kilojoule
Q	Caudal de agua
$\lambda$ vaporización	Calor latente de vaporización
Cp	Calor específico
CEANID	Centro De Análisis, Investigación Y Desarrollo

## GLOSARIO

**Antiséptico:** son sustancias que, aplicadas de forma tópica, sobre los tejidos vivos, tienen la capacidad de destruir los microorganismos o de inhibir su reproducción.

**Bálsamo:** crema o líquido compuesto de sustancias medicinales aromáticas.

**Citral:** también conocido como geranial, es un compuesto natural con aroma cítrico de limón

**Depurativo:** que elimina las toxinas de un organismo o purifica los líquidos del cuerpo, en especial la sangre.

**Flavonoides:** son un grupo diverso de fitonutrientes (químicos vegetales) que se encuentran en muchas frutas, verduras y especias.

**Hesperidio:** en botánica, un hesperidio es un tipo de baya modificada, a menudo obtenido de cítricos.

**Limoneno:** es una sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos y que da el olor característico a los mismos.

**Linalool:** es una sustancia química de alcohol terpénico natural que se encuentra en muchas flores y plantas.

**Monoterpeno:** son compuestos constituidos por dos unidades de isopreno, constan de 10 átomos carbonos.

**Oleoresina:** son extractos semisólidos compuestos de resina y aceite esencial o graso.

**Sesquiterpenos:** son los terpenos de 15 carbonos (es decir, terpenoides de un monoterpenoide y medio).

**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.

**Tónico:** propiedad de una sustancia capaz de excitar la actividad orgánica



**Tónico:** propiedad de una sustancia capaz de excitar la actividad orgánica

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Advertencia .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Resumen del trabajo.....	iv

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES .....	1
Generalidades .....	1
Problema de desarrollo.....	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

## CAPÍTULO I

<b>I. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
1.1. Generalidades de los Aceites Esenciales.....	5
1.1.1. Aceites esenciales.....	5

1.1.2. Composición química.....	5
1.1.3. Clasificación .....	8
1.2. Procesamientos industriales.....	9
1.2.1. Rectificación .....	9
1.2.2. Fraccionamiento.....	10
1.2.3. Desterpenado .....	10
1.2.4. Des-encerado .....	10
1.2.5. Filtración.....	10
1.2.6. Decoloración.....	10
1.2.7. Lavado .....	11
1.3. Control de calidad .....	11
1.3.1. Características organolépticas.....	11
1.3.2. Características físicas .....	11
1.3.3. Características químicas .....	13
1.3.4. Perfil cromatográfico.....	13
1.3.5. Otras determinaciones .....	13
1.4. Caracterización de aceites esenciales de los cítricos.....	14
1.5. Aceite esencial de mandarina .....	14
1.5.1. Propiedades físicas del aceite esencial de mandarina .....	14
1.5.2. Composición química.....	15
1.6. Extracción sólido-líquido .....	16
1.7. Procesos de extracción de aceites esenciales.....	17
1.7.1. Destilación .....	17

1.7.2. Expresión mecánica.....	22
1.7.3. Extracción con disolventes .....	24
1.8. Ventajas y desventajas de los métodos de extracción .....	26
1.9. Obtención de aceite esencial asistida por microondas .....	28
1.10. Efecto de la radiación microondas .....	29
1.11. Radiación de microondas .....	31
1.12. Horno de microondas .....	31
1.13. Ventaja de la extracción asistida por radiación de microondas .....	33
1.14. Desventajas de la extracción asistida por radiación de microondas .....	34
1.15. La mandarina .....	34
1.15.1. Mandarina común.....	34
1.15.2. Satsumas .....	35
1.15.3. Mandarina mediterránea .....	36
1.16. Estructura del fruto.....	36
1.17. Taxonomía .....	38
1.18. Caracterización fisicoquímica de la cáscara de mandarina .....	39

## **CAPÍTULO II**

<b>II. PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>40</b>
2.1. Selección de la materia prima para la extracción del aceite esencial.....	40
2.2. Caracterización de la materia prima.....	41
2.3. Selección del Método de extracción de aceite esencial.....	41
2.4. DISEÑO FACTORIAL.....	49
2.4.1. Factores.....	49

2.4.2. Variable respuesta .....	50
2.4.3. Determinación niveles de la variable porcentaje de potencia del microondas. ....	50
2.4.4. Determinación de los niveles para la relación cáscara y agua. ....	51
2.4.5. Determinación del tiempo de extracción. ....	51
2.4.6. Diseño Experimental .....	52
2.5. Extracción del aceite esencial de cáscara de mandarina .....	53
2.6. Descripción del proceso tecnológico seleccionado.....	55
2.6.1. Aprovisionamiento de la Materia Prima.....	55
2.6.2. Acondicionamiento .....	57
2.6.3. Extracción de aceite esencial .....	59
2.6.4. Condensación.....	61
2.6.5. Decantación .....	62
2.6.6. Deshidratación .....	63
2.6.7. Filtración.....	64
2.6.8. Almacenamiento .....	64
2.6.9. Caracterización del aceite esencial de cáscara de mandarina.....	65

### **CAPÍTULO III**

<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
3.1. Selección de la materia prima para la extracción del aceite esencial.....	67
3.2. Determinación del tiempo de extracción.....	68
3.3. Rendimiento de la extracción del aceite esencial de cáscara de mandarina.....	69
3.4. Análisis estadístico del diseño experimental .....	70
3.5. Análisis de los factores que afectan significativamente el rendimiento.....	77

3.6. Caracterización de la cáscara de mandarina .....	79
3.7. Caracterización del aceite esencial de mandarina extraído .....	80
3.7.1. Características organolépticas.....	80
3.7.2. Características físicas .....	81
3.7.3. Composición química.....	81
3.8. Balance de materia y energía.....	82
3.8.1. Balance de materia .....	84
3.8.2. Balance de energía .....	89
3.9. Consumo de Energía .....	94
3.10. Emisión de CO <sub>2</sub> .....	95

#### **CAPÍTULO IV**

<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>96</b>
4.1. Conclusiones.....	96
4.2. Recomendaciones.....	97

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla I-1 Propiedades químicas y físicas del aceite esencial de mandarina</b> .....	14
<b>Tabla I-2 Rangos de algunos componentes de un aceite esencial de mandarina de calidad</b> .....	15
Tabla I-3 Características de los fluidos supercríticos más usados.....	26
Tabla I-4 Ventajas y desventajas de los métodos de extracción.....	26
Tabla I-5 Taxonomía de la mandarina .....	38
<b>Tabla I-6 Composición físico-química de la cáscara de mandarina</b> .....	39
<b>Tabla II-1 Valores de ponderación</b> .....	42
<b>Tabla II-2 Escala de Calificación</b> .....	43
Tabla II-3 Calificación de los procesos de tratamiento .....	44
Tabla II-4 Selección del método experimental de extracción de aceite esencial de cáscara de mandarina. ....	47
Tabla II-5 Variables y niveles del diseño experimental.....	52
<b>Tabla II-6 Diseño experimental factorial codificado</b> .....	53
Tabla II-7 Coordenadas Geográficas de la comunidad Playa Ancha .....	56
Tabla III-1 Estudio comparativo de las variedades de mandarina.....	68
<b>Tabla III-2 Rendimientos de los aceites esenciales obtenidos</b> .....	70
<b>Tabla III-3 Datos para el análisis de varianza</b> .....	71
<b>Tabla III-4 Factores inter-sujetos</b> .....	72
<b>Tabla III-5 Análisis de Varianza ANOVA</b> .....	72
<b>Tabla III-6 Variables entradas/eliminadas</b> .....	74
<b>Tabla III-7 Resumen del modelo</b> .....	74

<b>Tabla III-8 Coeficientes.</b> .....	74
Tabla III-9 Resultados del Volumen Experimental y Obtenido con el Modelo Matemático .....	76
<b>Tabla III-10 Composición físico-química de la cáscara de mandarina de la variedad japonesa.</b> .....	79
<b>Tabla III-11 Comparación de las características organolépticas del aceite esencial de cáscara de mandarina.</b> .....	80
Tabla III-12 Comparación de las características físicas del aceite esencial de mandarina .....	81
Tabla III-13 Comparación Perfil Cromatográfico del aceite esencial de mandarina .	82
Tabla III-14 Datos de la extracción que presenta el mejor rendimiento .....	83
Tabla III-15 Resultados del balance de materia .....	88
Tabla III-16 Resultados del balance de energía .....	94



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1-1 Fórmulas estructurales de los monoterpenos .....	6
Figura 1-2 Fórmulas estructurales de los sesquiterpenos.....	7
Figura 1-3 Extracción sólido-líquido .....	16
Figura 1-4 Destilación de aceites esenciales .....	17
Figura 1-5 Esquema del equipo de hidrodestilación.....	18
Figura 1-6 Montaje de hidrodestilación con aparato Clevenger. (A) para aceites más densos que el agua. (B) para aceites menos densos que el agua. ....	19
Figura 1-7 Equipo de hidrodestilación por radiación de microondas .....	20
Figura 1-8 Equipo de extracción con agua y vapor .....	21
Figura 1-9 Equipo de extracción por arrastre de vapor.....	22
Figura 1-10 Prensado en frío de aceites esenciales .....	23
Figura 1-11 Extracción con disolvente .....	24
Figura 1-12 Esquema de Extracción con CO <sub>2</sub> en Condiciones Supercríticas .....	25
Figura 1-13 Efecto de la interacción del campo eléctrico con la materia .....	30
Figura 1-14 Longitud de onda y Frecuencia .....	31
Figura 1-15 Estructura de horno de microondas .....	32
Figura 1-16 Mandarina común "Clementina" .....	35
Figura 1-17 Mandarina de la variedad Satsuma.....	35
Figura 1-18 Mandarina mediterránea.....	36
Figura 1-19 Estructura del fruto de mandarina.....	37
Figura 2-1 Variedades de mandarina .....	40

Figura 2-2 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de mandarina .....	54
Figura 2-3 Diagrama de flujo de proceso para la extracción de aceite esencial de cáscara de mandarina .....	55
Figura 2-4 Mapa de localización de la comunidad Playa Ancha .....	56
Figura 2-5 Cultivo de mandarina en la localidad de Playa Ancha .....	57
Figura 2-6 Fruto de mandarino con daños en la cáscara.....	57
Figura 2-7 Lavado de la mandarina .....	58
Figura 2-8 Pelado y troceado de la cáscara de mandarina. ....	59
Figura 2-9 Equipo montado en laboratorio para realizar hidrodestilación asistida por microondas. ....	60
Figura 2-10 Instalación del equipo de hidrodestilación asistido por microondas. ....	61
Figura 2-11 Condensación del aceite esencial de cáscara de mandarina. ....	62
Figura 2-12 Separación de las fases agua-aceite. ....	63
Figura 2-13 Deshidratación del aceite esencial de cáscara de mandarina .....	64
Figura 2-14 Filtración del aceite esencial de cáscara de mandarina.....	64
Figura 2-15 Almacenamiento del aceite esencial extraído.....	65
Figura 3-1 Contenido de aceite esencial de las variedades de mandarina japonesa, criolla y encore. ....	67
Figura 3-2 Diagrama de Bloques del Proceso Tecnológico Experimental .....	84

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
Gráfico III-1 Cinética de extracción de aceite esencial de mandarina variedad japonesa.....	69
Gráfico III-2 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	73
Gráfico III-3 Curva de Comparación de Resultados Obtenidos Experimentalmente y del modelo matemático .....	77
Gráfico III-4 Gráfico de superficie de la interacción de los dos parámetros que afectan significativamente el rendimiento de aceite esencial.....	78
Gráfico III-5 Gráfico de contorno de la interacción de los dos parámetros que afectan significativamente el rendimiento de aceite esencial.....	78

## INDICE DE ANEXOS

### ANEXO A INFORMES DE LABORATORIO

Anexo A-1 ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE LA CÁSCARA DE MANDARINA

Anexo A-2 ANÁLISIS FISICOQUIMICO DEL ACEITE ESENCIAL DE MANDARINA OBTENIDO EN LABORATORIO

ANEXO B Norma ISO 21631:2020

ANEXO C FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN