

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



OBTENER A ESCALA DE LABORATORIO DETERGENTE
BIODEGRADABLE A PARTIR DEL D-LIMONENO EXTRAÍDO
DE LA CÁSCARA DE NARANJA

Por:

ANA KAREN MOGRO SÁNCHEZ

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.

TARIJA-BOLIVIA

2023

V°B°

Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Lic. Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Michel Cortés René

Ing. Calderón Pérez Cecilia

Dr. Erazo Aramayo Jorge

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

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A mi hermano y hermana por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de la vida.

Y todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis amados padres: José Antonio y Ana Esther; queridos hermanos, Lorena y Mauricio, y a mi pequeño sobrino Noah por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Quiero agradecer especialmente el tiempo y apoyo brindado en todo este trayecto al ingeniero Michel René, ingeniero Herbas Pablo, ingeniero Calderón Cecilia, Velázquez Ignacio, ingeniero Tejerina Jorge, ingeniero Moreno Gustavo y doctor Erazo Jorge quienes me han guiado por este camino para que concluya este trabajo con un saldo que considero por demás positivos para mi aprendizaje como alumna hoy de ingeniería química y para mi futuro profesional.

*“En la vida no existe nada que temer,
solo cosas que comprender”*

Marie Curie

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
JUSTIFICACIÓN	10
Justificación económica	11
Justificación tecnológica	11
Justificación ambiental.....	11
Justificación social	12
Justificación personal	12
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 HISTORIA DE LA LIMPIEZA.....	13
1.1.1 Mecanismo de actuación de los productos de limpieza.....	17
1.1.2 Diseño y manufactura de productos de limpieza	20
1.2 DETERGENTES	22
1.2.1 Definición, funcionamiento y formulación.....	22
1.2.2 Detergente Biodegradables	23
1.3 D-LIMONENO – DISOLVENTE BIODEGRADABLE.....	30

1.3.1 Propiedades físicas y químicas del D-Limoneno	31
1.3.2 Terpenos.....	34
1.4 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL PRINCIPIO DETERGENTE BIODEGRADABLE.....	34
1.5 ANTECEDENTES DEL ACEITE ESENCIAL	34
1.5.1 Aceites Esenciales	35
1.5.2 Métodos de extracción de aceites esenciales	40
1.5.3 Destilación	40
1.5.4 Destilación por arrastre con vapor.....	41
1.5.5 Extracción	43
1.5.6 Extracción continua en Soxhlet.....	44
1.5.7 Extracción directa a reflujo	45
1.5.8 Extracción con fluidos supercríticos	46
1.5.9 Extracción por prensado en frío	47
1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE METODOS DE DESTILACIÓN	49
1.7 ANTECEDENTES DE LA NARANJA.....	51
1.7.1 Producción mundial de la naranja	52
1.7.2 Producción en América del sur de la naranja.....	52
1.7.3 CULTIVOS CÍTRICOS EN BOLIVIA.....	53
1.7.4 NARANJA.....	55
1.7.5 Variedades de naranja.....	59
1.7.6 Partes del fruto	59
1.7.7 PROCESAMIENTO INDUSTRIAL.....	61
1.8 SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA.....	63

1.9 SELECCIÓN DEL TIPO DE DETERGENTE A ELABORAR PARA LA OBTENCIÓN DE DETERGENTE BIODEGRADABLE	66
1.9.1. Obtención de aceites esenciales por arrastre vapor	68
1.10 MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL.....	68
1.11 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (REFRACTOMETRÍA)	69
1.12 ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA POR EL MÉTODO DE ARRASTRE POR VAPOR	72
1.12.1 Etapas del proceso de obtención de detergente líquido	74
CAPÍTULO II.....	76
PARTE EXPERIMENTAL.....	76
2.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA PARA LA EXTRACCIÓN DEL D- LIMONENO	76
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	76
2.3 DISEÑO FACTORIAL	77
2.3.1 Diseño factorial para la extracción del D-Limoneno de la cáscara de naranja por arrastre por vapor	78
2.3.2 Determinación Niveles del proceso de extracción del D-limoneno de la cáscara de naranja	79
2.3.3 Combinaciones del diseño factorial.....	80
2.4 DISEÑO FACTORIAL PARA LA OBTENCIÓN DE DETERGENTE BIODEGRADABLE.....	81
2.4.1 Factores o variables consideradas	82
2.4.2 Variables respuesta.....	82

2.4.3 Niveles de la variable volumen de Betaína de coco	83
2.4.4 Combinaciones del diseño factorial.....	83
2.5 OBTENCIÓN DE D-LIMONENO Y DE DETERGENTE	
BIODEGRADABLE.....	84
2.5.1 Recepción de la materia prima	87
2.5.2. Acondicionamiento de la materia prima	87
2.5.3 Extracción del epicarpio o flavedo raspando	87
2.5.4 Tamizado de la ralladura de cáscara de naranja	87
2.5.5 Pesado del epicarpio o flavedo.....	88
2.5.6 Extracción del D-Limoneno mediante el método arrastre con vapor.....	88
2.5.7 Fuente generadora de energía.....	89
2.5.8 Condiciones de operación	89
2.5.9 Condensación	90
2.5.10 Decantación.....	90
2.5.11 Incorporación de aditivos para la obtención de detergente biodegradable	91
2.5.12 Medición del pH.....	94
2.5.13 Índice de Refracción	94
2.5.14 Densidad	94
2.5.15 Humedad de la materia prima	95
2.5.16 Envasado y etiquetado	95
2.6 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL DETERGENTE	
BIODEGRADABLE.....	99
2.7 CARACTERÍSTICAS DEL D-LIMONENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE NARANJA Y DETERGENTE BIODEGRADABLE	100

2.8 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	100
2.8.1 Balance de materia	102
2.8.2 Balance de energía.....	104
2.8.3 Gas consumido	105
CAPÍTULO III	106
RESULTADO Y DISCUSIÓN	106
3.1. Selección de la materia prima para la extracción del aceite esencial.....	106
3.2. Caracterización de la materia prima	107
3.3. Rendimiento de la extracción del D-Limoneno de la cáscara de naranja y del detergente biodegradable.....	107
3.3.1 Densidad del D-Limoneno	109
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	109
3.5 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	115
3.5.1 Análisis fisicoquímicos del D-limoneno obtenido	115
3.5.2 Análisis fisicoquímicos del Detergente biodegradable obtenido	116
3.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL D-LIMONENO	117
3.7 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	119
3.7.1 Balance de materia	119
3.7.2. Balance de energía.....	124
3.8 COSTOS DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN	127
CAPÍTULO IV	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
4.1 Conclusiones	132
4.2 Recomendaciones.....	134

BIBLIOGRAFIA 135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I- 1 Países exportadores de productos de limpieza-detergente	14
Tabla I- 2 Países Importadores de Productos de Limpieza-Detergentes	15
Tabla I- 3 Países Exportadores de Jabón.....	16
Tabla I- 4 Países Importadores de Jabón.....	16
Tabla I- 5 Escala de pH.....	19
Tabla I- 6 Clases de Productos de Limpieza en Relación a su pH	20
Tabla I- 7 Composición de Algunos Detergentes.....	23
Tabla I- 8 Diagrama General de Elaboración de Detergente Biodegradable para Lavavajillas	25
Tabla I- 9 Formulación para Detergentes Líquidos para Lavavajillas.....	29
Tabla I- 10 Propiedades Físicas y Químicas del D-Limoneno.....	31
Tabla I- 11 Propiedades fisicoquímicas de los Aceites Esenciales	33
Tabla I- 12 Principales Países Exportadores de Aceite Esencial	36
Tabla I- 13 Principales Países Importadores de Aceite Esencial de Cítrico	36
Tabla I- 14 Bolivia - Exportaciones - Evolución - aceites esenciales y esinoides - Mensual FOB USD.....	38
Tabla I- 15 Bolivia - Importaciones - Evolución - NCE: aceites esenciales y resinoides - Mensual FOB USD	39
Tabla I- 16 Ventajas y desventajas de Métodos de Destilación	50
Tabla I- 17 FAOSTAT- 5 principales países con la mayor producción de naranjas (millones de toneladas), 2020.....	52
Tabla I- 18 América del Sur: Tabla de datos – Producción de cítricos (toneladas), 2020.....	52
Tabla I- 19 Bolivia Producción según Macroregiones, censo 2013 (en toneladas métricas)	53
Tabla I- 20 Taxonomía de la Naranja	56
Tabla I- 21 Valor Nutricional de la Naranja	57
Tabla I- 22 Composición fisicoquímica Aproximada de la Naranja	58

Tabla I- 23 Selección del Método de Extracción de Aceite Esencial de la Cáscara de Naranja	64
Tabla I- 24 Matriz Decisión de tipo de Detergente: Líquido y en Sólido para la Obtención de Detergente Biodegradable	67
Tabla I- 25 Índices de refracción y densidad de algunos Aceite Esenciales a 20 °C .	71
Tabla II- 1 Composición Química Cáscara de la Naranja.....	77
Tabla II- 2 Niveles de las variables para la Extracción del D-limoneno de la Cáscara de Naranja	80
Tabla II- 3 Diseño Factorial para el Proceso de Extracción de D-Limoneno de la cáscara de naranja	81
Tabla II- 4 Niveles de las Variables para Obtención de Detergente Biodegradable .	83
Tabla II- 5 Diseño Factorial para el Proceso de Obtención de Detergente Biodegradable	84
Tabla II- 6 Datos de la Extracción de D-Limoneno con Mayor Rendimiento	101
Tabla II- 7 Corrientes del Proceso de Extracción de Aceite Esencial	103
Tabla II- 8 Corrientes a Calcular	103
Tabla III- 1 Resultados del Estudio Comparativo de las Variedades de Naranja	106
Tabla III- 2 Composición fisicoquímica de la Cáscara de Naranja	107
Tabla III- 3 Rendimiento del D-Limoneno Obtenido en los Experimentos.....	108
Tabla III- 4 Datos para el cálculo del análisis de Varianza del D-Limoneno	110
Tabla III- 5 Datos para el Cálculo del análisis de Varianza del Detergente Biodegradable	110
Tabla III- 6 Factores inter-sujetos.....	111
Tabla III- 7 Análisis de varianza ANOVA de D-Limoneno	111
Tabla III- 8 Análisis de varianza ANOVA del Detergente Biodegradable.....	112
Tabla III- 9 Coeficientes	113

Tabla III- 10 Propiedades fisicoquímicas del D-Limoneno	115
Tabla III- 11 Propiedades Fisicoquímicas del Detergente Biodegradable	117
Tabla III- 12 Composición Química	118
Tabla III- 13 Resultados del Balance de Materia	123
Tabla III- 14 Resultados del Balance de Energía	127
Tabla III- 15 Costos de la Materia Prima.....	128
Tabla III- 16 Costos de Aditivos	128
Tabla III- 17 Costos de Materiales y Equipos	129
Tabla III- 18 Costos de Análisis Fisicoquímicos del D-Limoneno	129
Tabla III- 19 Costos de Análisis Fisicoquímicos del Detergente Biodegradable.....	130
Tabla III- 20 Costos de Insumos.....	130
Tabla III- 21 Costos de Indirectos	131
Tabla III- 22 Costos Total del Proyecto	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Moléculas de Jabón o Detergente Emulsifican las Gotas de Aceite o Grasa	19
Figura 1-2 Diagrama General de Elaboración de Detergente Biodegradable para Lavavajillas	25
Figura 1- 3 Estructura Química de los Enantiómeros del Limoneno	32
Figura 1- 4 Destilación por Arrastre con Vapor	43
Figura 1- 5 Esquema de la Extracción Continua en Soxhlet.....	45
Figura 1- 6 Esquema de la Extracción Directa a Reflujo.....	46
Figura 1 -7 Extracción con Fluidos Supercríticos	47
Figura 1 -8 Esquema del Equipo Utilizado en la Extracción por Prensado Frio.....	49
Figura 1- 9 Bolivia: SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO, SEGÚN CULTIVO, AÑO AGRÍCOLA 2015-2016.....	54
Figura 1- 10 Planta de Naranja y su Fruta Naranja	55
Figura 1- 11 Partes de la Naranja	61
Figura 1 -12 Índice de refracción igual a la razón de los senos de los Ángulos de Incidencia	70
Figura 1- 13 Diagrama de flujo. Extracción de Aceite Esencial de la Cáscara de Naranja	73
Figura 1 -14 Etapas del Proceso de Obtención de Detergente Líquido	74
Figura 2- 1 Tamiz Vibratorio de Norma Española.....	79
Figura 2- 2 Diagrama de Flujo. Obtención de Detergente Biodegradable a partir del D- Limoneno Extraído de la Cáscara de Naranja.....	85
Figura 2- 3 Diagrama de Proceso de Obtención de Detergente Biodegradable Envasado y Etiquetado.....	85
Figura 2- 3 Diagrama de Proceso de Obtención de Detergente Biodegradable.....	85
Figura 2- 4 Proceso de Obtención del Detergente Biodegradable.....	96

Figura 3- 1 Variación del volumen del D-limoneno con el Modelo SPSS.....	102
Figura 3- 2 Variación del Volumen del D-Limoneno con el Tamaño de Partícula de la Primera Repetición.....	114
Figura 3- 3 Variación del Volumen del D-Limoneno con el Tamaño de Partícula de la Segunda Repetición	104

GLOSARIO

a.C	antes de Cristo
A&E	Aceites esenciales
Atm	Atmósfera unidad de presión
Bar	Bar unidad de presión
°Bx	Grados Brix
Bs.	Bolivianos
°C	Grados centígrados
CEANID	Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo
CENIVAM	El Centro Nacional de Investigaciones para la Agro industrialización de especies vegetales aromáticas y medicinales tropicales
C _F	Masa final de la cápsula con muestra en gramos
CG/MS	Cromatografía de gases- espectrometría de masas
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CMC	Carboximetilcelulosa sódica
C _p	Coefficiente de calor específico a presión constante

C_m	Masa de la cápsula vacía en gramos
etc	Etcétera
Ec.	Ecuación
fl	Caudal de agua de refrigeración
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
g	Gramos
GN	Gas natural
gl	Grados de libertad de la distribución
H	Humedad
ha	Hectárea
hrs	Horas
INE	Nacional de Estadística Censo Agropecuario
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
ISO	Organización Internacional de Normalización
k	Número de variables o factores
Kg	Kilogramo
Kcal	Kilocalorías
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
m	Masa

ml	Mililitros
min	Minutos
mm	Milímetros
mg	Miligramos
n	Índice de refracción
NCE	Nuevo código de envío
M_A	moles de A
M_B	moles de B
M_T	Masa Total de agua en la cámara de extracción
M_v	Masa de vapor generado en la cámara de Extracción
N°	Número
η_t	Rendimiento del rechazo
PCI	Índice de productos de Complejidad
P	Presión
P_A	Presión de vapor de A puro
P_B	Presión de vapor de B puro
P_{ot}	Potencia

p.ej.	Por ejemplo
P/P	Porcentaje peso de soluto/peso
ρ	Densidad
Q	Calor
Q_T	Calor total
Q_S	Calor sensible
Q_L	Calor latente
Q_r	Calor recibido
RPM	Revoluciones por minuto
R	Rendimiento
REP	Repetición
Sig	Significancia
Seg	Segundo
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t	Tonelada
t_c	Tiempo de acondicionamiento
t_e	Tiempo de extracción
T_o	Temperatura inicial del agua en la torre
T_v	Temperatura del vapor en la torre
T_{con}	Temperatura del condensador

T_{ent}	Temperatura de entrada del agua de refrigeración
T_{sal}	Temperatura de salida del agua de refrigeración
USD	Dólar estadounidense
UPA	Unidades de Producción Agropecuaria
μg	Microgramo
V	Volumen