

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



EXTRACCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE

ESENCIAL DE RUDA (*Ruta graveolens L.*)

POR ARRASTRE CON VAPOR DE AGUA

Por: EDWIN HUARACHI DUCHEN

**Proyecto de Grado Modalidad 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 2017

TARIJA-BOLIVIA

VºBº

MSc. Ing. Ernesto Álvarez Gozávez

DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

MSc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

APROBADO POR

TRIBUNAL:

Ing. Gustavo Moreno López

Ing. Jimena Durán Durán

Ing. Mirtha Segovia Tórrez

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

Dedicado a mi padre y a mi madre por apoyarme y motivarme para lograr mis metas. Y a mis hermanos por el apoyo incondicional que me dieron. A los docentes por el apoyo y tiempo dedicado para el desarrollo de mi trabajo y por la sabiduría transmitida en el desarrollo de mi formación profesional.

A Dios por su guía y bendición

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, por fortalecer e iluminar mi mente y alcanzar una de las metas de mi vida.

A mis padres por el sacrificio y por el ánimo para seguir adelante.

A mis hermanos por el aliento y confianza para alcanzar mis objetivos.

A mis tribunales por la ayuda, asesoría y guía en la elaboración de mi trabajo de Investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realiza con la finalidad de extraer el aceite esencial de la Ruda común (*Ruta graveolens L.*) por el método de arrastre con vapor de agua; la materia prima proviene de la zona del Valle Central de Tarija, la que crece en lugares húmedos y con abundante luz solar.

El proceso de obtención de aceite esencial de Ruda se realiza a nivel EXPERIMENTAL en los ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

En el proceso la Ruda se esparce sobre placas de plastoformo para el secado al ambiente y luego realizar el acondicionamiento de la materia prima con la finalidad de eliminar impurezas (tierra, insectos y partículas extrañas) que pueda presentar y proceder al despalillado del mismo. La Ruda despalillada se somete a un análisis granulométrico para determinar el tamaño de partícula con la que se trabajará en la investigación. Dicho análisis se trabajará con partículas de 1 mm y 2 mm debido al mayor contacto que tendrá con el vapor de agua en el proceso de extracción.

En el proceso de extracción se genera vapor de agua a una temperatura de 94 °C mediante un calentador de potencia térmica 922,5668 kcal para arrastrar el aceite esencial de la Ruda, que luego pasa por la etapa de condensado y finalmente se separa el aceite esencial de la fase acuosa por la diferencia de densidades.

Para las pruebas experimentales se plantea un diseño de 2^3 el mismo que tiene la finalidad de evaluar la influencia en la variable respuesta (volumen de aceite esencial obtenido) a través de tres variables y dos niveles, las mismas que son la masa de la ruda (150 g y 250 g), el tiempo de extracción (90 min y 120 min) y el tamaño de partícula (1 mm y 2 mm) ensayos realizados con dos repeticiones.

El análisis estadístico de las experiencias se realiza utilizando el programa estadístico SPSS que determina las variables de mayor incidencia en el proceso: la masa (g), tiempo de extracción (min) y tamaño de partícula (mm).

De los ensayos realizados, la formulación con la cual se obtiene mayor volumen de aceite esencial es la siguiente:

$$\text{Masa de ruda} = 250 \text{ g}$$

$$\text{Tiempo de extracción} = 120 \text{ min}$$

$$\text{Tamaño de partícula} = 1 \text{ mm}$$

Con esa cantidad de masa, tiempo de extracción y tamaño de partícula el rendimiento de aceite esencial que se obtiene es de 0,34 %.

El aceite esencial de la Ruda obtenido en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) es sometido a análisis fisicoquímico y cromatográfico en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

En el análisis fisicoquímico se tiene una densidad de 0,8309 g/ml y un índice de refracción de 1,4325.

Dentro del análisis cromatográfico se tienen los componentes de mayor abundancia característicos del aceite esencial de la Ruda que son el 2-nonanona con 16,807 % y el 2-undecanona con un 64,030 % lo cual cumple con la bibliografía de otros autores los cuales estipulan que los componentes de mayor abundancia son el 2-nonanona y el 2-undecanona.

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
ha	Hectáreas
UPA	Unidades de producción agropecuaria
UCV	Unidad de color verdadero
g	Gramos
mg	Miligramos
nD	Índice de refracción
°C	Grados centígrados
ml	Mililitros
mm	Milímetros
min	Minutos
p.e.	Punto de ebullición
r.p.m.	Revoluciones por minuto
GLP	Gas licuado de petróleo
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
$t_{\text{calentamiento}}$	Tiempo de calentamiento
$t_{\text{extracción}}$	Tiempo de extracción
V_{comb}	Volumen de combustible
h	Hora
Kcal	Kilocaloría
g/ml	Gramos/mililitros

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abreviaturas y simbología.....	vi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.1.1	Perspectivas del mercado de los aceites esenciales.....	3
1.1.2	Evolución de la industria de aceites esenciales en Bolivia.....	5
1.1.3	Producción agrícola de la Ruda en Bolivia.....	6
1.2	Objetivos.....	9
1.2.1	Objetivo General.....	9
1.2.2	Objetivos Específicos.....	9
1.3	Justificación.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Generalidades.....	11
2.2	La Ruda (<i>Ruta graveolens L.</i>).....	11
2.2.1	Principios activos.....	12
2.2.2	Clasificación Botánica.....	13
2.2.3	Clasificación Taxonómica.....	13

2.2.4	Composición química de la Ruda.....	13
2.3	Los aceites esenciales.....	14
2.3.1	Clasificación de los aceites esenciales.....	15
2.3.1.1	Consistencia de los aceites esenciales.....	15
2.3.1.2	Origen de los aceites esenciales.....	16
2.3.1.3	Naturaleza química de los aceites esenciales.....	17
2.3.2	Características sensoriales y físicas de los aceites esenciales.....	18
2.3.3	Características químicas de los aceites esenciales.....	19
2.3.4	Toxicidad de los aceites esenciales.....	26
2.3.5	Aplicaciones industriales de los aceites esenciales.....	27
2.4	Aceite esencial de la Ruda.....	29
2.4.1	Usos y propiedades del aceite esencial de la Ruda.....	29
2.4.2	Característica sensorial y propiedades físicas del aceite esencial de Ruda.....	30
2.4.3	Componentes principales del aceite esencial de Ruda.....	31
2.5	Métodos tecnológicos en el proceso de extracción de aceites esenciales.....	32
2.5.1	Destilación por arrastre de vapor de agua.....	33
2.5.2	Disolución en grasa (enfleurage).....	35
2.5.3	Extracción con disolventes orgánicos.....	37
2.5.4	Extracción con gases en condiciones supercríticas.....	39
2.6	Selección del proceso tecnológico experimental de extracción de aceite esencial de Ruda.....	42
2.7	Descripción del proceso a elaborar el producto a escala industrial.....	44
2.8	Factores que influyen y determinan la calidad del producto.....	46
2.8.1	Condiciones geobotánicas del medio.....	46

2.8.2	Método de cultivo.....	46
2.8.3	Época de recolección y parte de la planta.....	47
2.8.4	Modo de manejo y almacenamiento del material vegetal.....	47
2.8.5	Método de obtención del aceite.....	47
2.8.6	Edad de la planta y estado fenológico.....	47

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1	Descripción y análisis de la materia prima.....	48
3.1.1	Descripción de la materia prima.....	48
3.1.2	Esparcido de la Ruda para secado al ambiente.....	49
3.1.3	Acondicionamiento de la materia prima.....	49
3.1.4	Determinación de humedad en la materia prima.....	50
3.1.5	Análisis granulométrico de la materia prima.....	50
3.1.6	Pruebas preliminares.....	51
3.2	Descripción del proceso tecnológico experimental de extracción de aceite esencial de Ruda.....	52
3.2.1	Análisis y definición de las variables de diseño operación y control de proceso de extracción de aceite esencial de Ruda.....	61
3.2.2	Análisis y selección de las variables y los parámetros de diseño de operación y control del proceso de extracción de aceite esencial de Ruda.....	62
3.3	Diseño factorial o experimental.....	62
3.3.1	Procedimientos y técnicas del diseño factorial.....	63
3.3.1.1	Diseño factorial a dos niveles 2^K	63
3.3.1.2	Análisis del diseño factorial 2^3	63

3.3.2	Variables o parámetros de estudio.....	66
3.4	Caracterización del tipo y calidad del producto obtenido: aceite esencial de Ruda (<i>Ruta graveolens L.</i>).....	68
3.4.1	Características organolépticas del aceite esencial de Ruda.....	68
3.4.2	Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de Ruda.....	68
3.4.2.1	Determinación de la densidad.....	68
3.4.2.2	Determinación del índice de refracción.....	69
3.4.2.3	Análisis cromatográfico.....	69

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados de la materia prima.....	70
4.1.1	Determinación de humedad de la materia prima.....	70
4.1.1.1	Determinación de humedad de la Ruda en estado fresco.....	70
4.1.1.2	Determinación de humedad de la Ruda en estado seco.....	71
4.2	Análisis granulométrico.....	73
4.3	Resultados obtenidos en la fase experimental.....	75
4.3.1	Cálculo de análisis de varianza (anova).....	76
4.4	Volúmenes obtenidos en el diseño experimental.....	80
4.4.1	Tamaño vs volumen obtenido.....	80
4.4.2	Masa vs volumen obtenido.....	81
4.4.3	Cálculo del rendimiento de obtención del aceite esencial de Ruda.....	83
4.5	Relación del tiempo de extracción con respecto al volumen del aceite esencial obtenido.....	84

4.6	Resultados analíticos del producto obtenido.....	86
4.6.1	Análisis organoléptico.....	86
4.6.2	Análisis fisicoquímico.....	86
4.6.3	Análisis cromatográfico.....	87
4.7	Balance de materia y energía.....	88
4.7.1	Balance de materia en la obtención de aceite esencial de Ruda.....	89
4.7.1.1	Balance de materia en la torre de destilación.....	89
4.7.1.2	Balance de materia en la condensación.....	91
4.7.1.3	Balance de materia en la decantación.....	91
4.7.2	Balance de energía en la obtención de aceite esencial de Ruda.....	94
4.7.2.1	Balance de energía en la torre de destilación.....	94
4.7.2.2	Balance de energía en el condensador.....	95

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	99
5.2	Recomendaciones.....	101

BIBLIOGRAFÍA.....	102
--------------------------	------------

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla II-1 Nombre científico, nombre común y rendimiento de aceite esencial...	15
Tabla II-2 Grupos funcionales de cada compuesto.....	20
Tabla II-3 Característica sensorial y propiedad física de aceite esencial de Ruda.	30
Tabla II-4 Principales componentes del aceite esencial de la Ruda.....	31
Tabla II-5 Selección del método de extracción de aceite esencial de la Ruda.....	42
Tabla III-1 Descripción de la Ruda (<i>Ruta graveolens L.</i>).....	48
Tabla III-2 Matriz de diseño.....	64
Tabla III-3 Matriz de algoritmo de yates.....	64
Tabla III-4 Análisis de la varianza (anova).....	65
Tabla III-5 Variables o parámetros de estudio.....	66
Tabla III-6 Diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial.....	67
Tabla III-7 Datos del diseño factorial.....	67
Tabla IV-1 % de humedad evaporada respecto al tiempo de secado.....	70
Tabla IV-2 % de humedad evaporada respecto al tiempo de secado.....	71
Tabla IV-3 Datos del análisis granulométrico.....	73
Tabla IV-4 Datos experimentales del diseño factorial.....	75
Tabla IV-5 Datos para el cálculo de análisis de varianza.....	77
Tabla IV-6 Factores inter-sujetos.....	77
Tabla IV-7 Análisis de varianza para el proceso de extracción (anova).....	78
Tabla IV-8 Variables introducidas/eliminadas.....	79
Tabla IV-9 Coeficientes del modelo.....	79
Tabla IV-10 Datos de volumen obtenido a los dos tamaños de muestra.....	80

Figura 2-11 Esquema del método de destilación por arrastre de vapor.....	35
Figura 2-12 Método de disolución en grasa (enfleurage).....	37
Figura 2-13 Método de extracción con disolventes orgánicos (soxhlet).....	39
Figura 2-14 Esquema del método de extracción con gases en condiciones supercríticas.....	41
Figura 2-15 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial.....	46
Figura 3-1 Esparcido y secado de la Ruda.....	49
Figura 3-2 Ruda despalillada.....	49
Figura 3-3 Diagrama de bloques en el proceso de extracción.....	52
Figura 3-4 Materia vegetal limpia y tratada.....	53
Figura 3-5 Materia vegetal deshidratada.....	54
Figura 3-6 Molienda de la materia vegetal.....	54
Figura 3-7 Cargado al tamiz vibratorio.....	55
Figura 3-8 Cocinilla a gas natural.....	56
Figura 3-9 Equipo de destilación por arrastre de vapor de agua.....	57
Figura 3-10 Condensador tipo serpentín.....	58
Figura 3-11 Decantación en una ampolla de separación.....	59
Figura 3-12 Envasado del aceite esencial de Ruda.....	60
Figura 3-13 Esquema de un cromatógrafo de gases.....	69
Figura 4-1 Balance de materia en la etapa de destilación.....	89
Figura 4-2 Balance de materia en la etapa de condensación.....	91
Figura 4-3 Balance de materia en la etapa de decantación.....	92
Figura 4-4 Resumen del balance de materia.....	92
Figura 4-5 Flujo de calor a través de las paredes de la torre de destilación.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro I-1 Países exportadores de aceites esenciales.....	3
Cuadro I-2 Países importadores de aceites esenciales.....	4
Cuadro I-3 Demanda mundial de aceites esenciales.....	4
Cuadro I-4 Países exportadores de aceites esenciales de Sudamérica.....	6
Cuadro I-5 Superficie y producción de plantas estimulantes, especias y plantas aromáticas.....	7
Cuadro I-6 Número de unidades de producción agropecuaria (UPA) de plantas medicinales por departamento.....	8
Cuadro II-1 Clasificación botánica de la Ruda (<i>Ruta graveolens L.</i>).....	13
Cuadro II-2 Clasificación taxonómica de la Ruda (<i>Ruta graveolens L.</i>).....	13
Cuadro II-3 Ventajas y desventajas de los métodos de extracción.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 4-1 % Humedad evaporada vs tiempo de secado.....	71
Gráfico 4-2 % Humedad evaporada vs tiempo de secado.....	72
Gráfico 4-3 N° de malla vs % retenido.....	74
Gráfico 4-4 Volumen (ml) vs n° experimentos.....	76
Gráfico 4-5 Tamaño de muestra vs volumen obtenido.....	81
Gráfico 4-6 Masa vs volumen obtenido.....	82
Gráfica 4-7 Volumen de aceite extraído vs tiempo de extracción.....	85