

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



EXTRACCION EXPERIMENTAL DE ACEITE ESENCIAL DEL EUCALIPTO

POR ARRASTRE CON VAPOR DE AGUA

Por:

NELSON ADEMIR MARTINEZ MALDONADO

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.

8 de Septiembre de 2017

TARIJA-BOLIVIA

**V•B•**

---

**DECANO(A)**

**LIC. SILVANA S. PAZ RAMIREZ**

---

**VICEDECANO(A)**

**ING. MARLENE B. SIMONS SANCHEZ**

**TRIBUNAL:**

---

**ING. JIMENA DURÁN DURÁN**

---

**ING. JORGE TEJERINA OLLER**

---

**ING. GUSTAVO MORENO LOPEZ**

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

**DEDICATORIAS**

A mis padres Francisco Martínez y Flavia Maldonado, quienes me enseñaron luchar en la vida y a esforzarme hasta alcanzar mis objetivos, que a pesar de todas las adversidades, siempre estuvieron presentes para apoyarme en los momentos alegres de mi vida y aún más en los momentos difíciles.

A mis hermanos Dora, Mery, Liz, Jhonny, Ariel y Marcelo Martínez, quienes siempre me dieron su apoyo moral y me impulsaron a seguir una carrera universitaria y a obtener una profesión.

**AGRADECIMIENTOS**

A mis padres que con su esfuerzo me han guiado por el camino del bien, por su apoyo inigualable y por la confianza que siempre depositaron en mí.

A mi hermano Jhonny por la gran ayuda que me brindo para poder realizar el presente trabajo de grado.

A mis docentes:

**INGENIERO JORGE TEJERINA**

**INGENIERO GUSTAVO MORENO**

**INGENIERA JIMENA DURÁN**

Agradecerles por su amistad, que siempre mostraron a mi persona, los cuales supieron darse el tiempo para apoyarme en la elaboración del presente Trabajo de Grado.

## LISTA DE SÍMBOLOS

AE.	Aceite Esencial.
pulg.	Pulgadas.
cm.	Centímetros.
etc.	Etcétera.
min.	Minutos.
mm.	Milímetros.
ml.	Mililitros.
L.	Litro.
EFS	Extracción por fluidos súper críticos.
CEANID	Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo.
LOU:	Laboratorio de Operaciones Unitarias.
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
°C	Grados Centígrados.
m	Masa.
V	Volumen.
$\varphi$	Caudal.
$\rho$	Densidad.
R	Rendimiento.
gr.	Gramos.
kcal.	Kilo calorías.
kgr.	Kilo gramo.
s.	Segundos.
Q.	Calor.
Cp.	Capacidad calorífica.
$\lambda$ .	Calor de vaporización.
hr.	Hora.
km.	kilometro

## INDICE

<b>Contenido</b>	<b>Pagina</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>Aspectos Generales del Eucalipto Globulus.....</b>	<b>1</b>
<b>Taxonomía .....</b>	<b>1</b>
<b>Descripción Botánica .....</b>	<b>2</b>
<b>Características Botánicas. ....</b>	<b>3</b>
<b>Características de los Aceites Esenciales.....</b>	<b>5</b>
<b>Características que deben de tener los Aceites Esenciales de buena calidad. ..</b>	<b>6</b>
<b>Composición Química de los Aceites Esenciales .....</b>	<b>6</b>
<b>Deterioro a que están Expuestos los Aceites Esenciales Naturales.....</b>	<b>7</b>
<b>Usos de los Aceites Esenciales .....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>11</b>
<b>Objetivos Específicos: .....</b>	<b>11</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>11</b>

## CAPÍTULO I

### MARCO TEORICO

<b>1.1 TEORÍA BÁSICA DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1. Métodos Directos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1.1. Raspado.....</b>	<b>14</b>

<b>1.1.1.2. Exudación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2. Destilación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2.1. Destilación por Arrastre con Vapor de Agua .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2.2. Destilación con Agua o Hidrodestilación. ....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2.3. Destilación Agua - Vapor o Vapor Húmedo. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2.4. Destilación Previa Maceración.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2.5. Destilación al Vacío. ....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.2.6. Destilación Molecular. ....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3. Métodos de Extracción con Solventes. ....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3.1. Maceración en Grasa. ....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3.2. Extracción con Solventes Volátiles. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.3.3. Extracción por Fluidos Supercríticos (EFS).....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.3.4. Enfloración o Enfleurage.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2. CONCEPTOS E IDEAS DE OTROS AUTORES SOBRE EL ACEITE ESENCIAL. ....</b>	<b>23</b>

## CAPITULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

<b>2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS. ....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. DISEÑO FACTORIAL. ....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.1. Factores y Niveles del Diseño Factorial.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.2. Calculo del Número de Experimentos y Numero de Combinaciones....</b>	<b>28</b>
<b>2.3. DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS. ....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.1. Preparación y Acondicionamiento de las Hojas de Eucalipto para la Extracción de Aceite Esencial.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2. Determinación del Porcentaje de Humedad de las Hojas de Eucalipto. .....</b>	<b>31</b>

Contenido	Pagina
<b>2.3.3. Picado o troceado de las Hojas de Eucalipto. ....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.4. Equipos y Materiales para la Extracción de Aceite Esencial de eeEucalipto.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.5. Cocinilla a Gas.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.6. Torre de Destilación.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.7. Refrigerante o Condensador. ....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.8. Pruebas Preliminares.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO. ....</b>	<b>37</b>
<b>2.5. ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO. ....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.1. Propiedades Físicas del Aceite Esencial de Eucalipto.....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.1.1. Determinación de la Densidad. ....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.1.2. Determinación del Índice de Refracción. ....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.1.3. Análisis Cromatográfico.....</b>	<b>46</b>

### **CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>3.1. PRESENTACIÓN ORDENADA Y SISTEMÁTICA DE TODOS LOS RESULTADOS OBTENIDOS. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1. Caracterización de la Materia Prima: Hojas de Eucalipto. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1.1. Resultados del Porcentaje de Humedad de las Hojas de Eucalipto. ..</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1.2. Análisis Organolépticos de las Hojas de Eucalipto. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.1.3. Análisis Organolépticos del Aceite Esencial de Eucalipto.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.2. Gradiente de tTemperatura en el Equipo de Destilación.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.3. Resultados de las Pruebas Preliminares. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.1.4. Análisis Físicoquímico del Aceite Esencial de Eucalipto.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.4.1. Cálculos de la Densidad del Aceite Esencial de Eucalipto. ....</b>	<b>54</b>

<b>3.1.4.2. Cálculos del Rendimiento de Obtención del Aceite Esencial del Eucalipto.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.4.3. Resultados de la Medición del Índice de Refracción del Aceite Esencial de Eucalipto.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.4.4. Resultados de Cromatografía de Gases. ....</b>	<b>56</b>
<b>3.1.4.5. Análisis Estadístico del Diseño Factorial. ....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.4.6. Comparación de Resultados Obtenidos con otros Trabajos Sobre Aceites Esencial de Eucalipto.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.4.7. Tiempo de Extracción vs Rendimiento. ....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.4.8. Tamaño de Hojas de Eucalipto vs Rendimiento. ....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.4.9. Tiempo Óptimo de Extracción según el Volumen de Aceite Esencial Obtenido.....</b>	<b>64</b>
<b>3.2. CALCULO DEL BALANCES DE ENERGÍA Y MASA.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.1. Cálculos previos al balance de materia y energía. ....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.2. Balance de Materia. ....</b>	<b>69</b>
<b>3.2.3. Balance de Energía: ....</b>	<b>72</b>

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>4.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>4.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FOTOS

Contenido	Pagina
Foto I-1. Tronco del Árbol de Eucalipto .....	2
Foto I-2. Copa del árbol de eucalipto .....	3
Foto I-3. Corteza del árbol de eucalipto.....	3
Foto I-4. Hojas adultas y juveniles del árbol de eucalipto.....	4
Foto I-5. Flores del árbol de eucalipto.....	4
Foto I-6. Frutos del árbol de eucalipto.....	5
Foto I-7. Semillas del árbol de eucalipto. ....	5
Foto II-1. Recolección de la materia vegetal.....	38
Foto II-2. Limpieza y tratamiento del material vegetal.....	39
Foto II-3. Deshidratación de las hojas de eucalipto. ....	39
Foto II-4. Reducción de tamaño de las hojas de eucalipto. ....	40
Foto II-5. Cocinilla a de gas natural. ....	41
Foto II-6. Torre de destilación por arrastre con vapor de agua. ....	42
Foto II-7. Condensador de espiral. ....	43
Foto II-8. Separación del aceite esencial en una ampolla de separación. ....	43
Foto II-9. Envasado de aceite esencial de eucalipto. ....	44
Foto III-1. Hojas de eucalipto para el análisis organoléptico .....	48
Foto III-2. Aceite esencial de eucalipto para el análisis organoléptico.....	49

## INDICE DE GRAFICOS

Grafico III-1. Gradiente de Temperatura vs Tiempo.....	51
Grafico III-2. Comparación de los Resultados con otros Trabajos.....	61
Grafico III-3. Tiempo de Extracción vs Rendimiento. ....	62
Grafico III-4. Comparación del Tamaño de Hojas vs Rendimiento. ....	63
Grafico III-5. Determinación del Tiempo Óptimo de Extracción de Aceite Esencial de Eucalipto. ....	65

## INDICE DE TABLAS

Contenido	Pagina
<b>Tabla II-1. Métodos de Extracción de Aceites Esenciales .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla II-2 Número de Combinaciones del Diseño Factorial.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla III-1. Porcentaje de Humedad de las Hojas de Eucalipto Frescas y Secas.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla III-2. Análisis Organoléptico de las Hojas de Eucalipto.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla III-3. Características Organolépticas del Aceite Esencial de Eucalipto. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla III- 4. Gradiente de Temperaturas vs Tiempo. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla III-5. Resultados de las Pruebas Preliminares. ....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla III-6. Lecturas del Índice de Refracción. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla III-7. Resultados de la Cromatografía del Aceite Esencial de Eucalipto. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla III-8. Datos Obtenidos de todos los Experimentos Planteados. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla III-9. Datos para Análisis Estadístico con Volúmenes Corregidos por el Programa SPSS.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla III-10. Variables Introducidas/Eliminadas.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla III-11. Resumen del Modelo<sup>b</sup>. ....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla III-12. ANOVA<sup>b</sup>.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla III-13. Rendimiento y Propiedades Físicas de Aceites Esenciales de Eucalipto.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla III-14. Comparación de los Resultados del Perfil Cromatográfico. ....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla III-15. Comparación de los Tiempos vs Rendimiento. ....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla III-16. Comparación de los Tamaños de Hojas vs Rendimiento. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla III-17. Relación de los Tiempos y los Volúmenes Obtenidos. ....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla III-18. Datos Necesarios para el Cálculo de Balance de Materia y Energía.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla III-19. Datos de Tiempo y Peso de Destilación para el Cálculo de Balance de Materia y Energía. ....</b>	<b>66</b>

<b>Tabla III-20. Datos de las Temperaturas de Destilación para el Cálculo de Balance de Materia y Energía.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla III-21. Datos de los Volúmenes de Agua y Aceite Utilizados y Recuperados Durante la Destilación para el Cálculo de Balance de Materia y Energía.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla III-22. Tabla de valores de las corrientes del diagrama de flujo. ....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla III-23. Resultados del Balance de Materia.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla III-24. Resultados del Balance de Energía.....</b>	<b>76</b>

### ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexos-1. Norma Boliviana 34003:2006. ....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo-2. Informe del perfil cromado gráfico realizado en CEANID. ....</b>	<b>83</b>

### INDICE DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama II-1. Diagrama de Bloques para la Obtención de Aceites Esenciales.....</b>	<b>37</b>
<b>Diagrama III-1. Diagrama de Flujo del Equipo de Extracción de Aceite Esencial. ....</b>	<b>70</b>

### INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1. Cocinilla a Gas Natural o de Garrafa.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.2. Dimensiones de la Torre de Destilación.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.3. Dimensiones de los Canastillos de la Torre de Destilación. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 2.4. Condensador de Casco y Serpentin. ....</b>	<b>35</b>