

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

**“OBTENCION DEL EXTRACTO DE PARAÍSO (*Melia Azedarach l.*), A  
ESCALA LABORATORIO”**

Por:

**Univ. GRIFFIT WENDY MALLEA VALLEJOS**

Proyecto de grado Investigación Aplicada presentado a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar  
el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

**27 de abril de 2017**

**TARIJA-BOLIVIA**

**VºBº**

---

**M.Sc.Ing. Ernesto Álvarez Gozálvez**

**DECANO)**

---

**M.Sc.Ing. Silvana Paz Ramírez**

**VICEDECANA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

**Ing. Ignacio Edwin Velásquez Sosa**

**TRIBUNAL 1**

**Ing. Jimena Duran D.**

**TRIBUNAL 2**

**Ing. Hugo Franco Sánchez Bejarano**

**TRIBUNAL 3**

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

El presente trabajo está dedicado a mi familia; mi papa Hernán Mallea Gutiérrez, mi mama Adelina Vallejos Gallardo y mis hermanos; Madelin, Hernán, Kevin, Marvin, Jhasmin, Carlos y Nicole.

Agradezco a Dios por todo lo que me ha dado.

A mis docentes que con cariño guardo en mis recuerdos.

Al Ing. Adalid Aceituno y a los miembros del CEANID, por la ayuda, el ánimo y el aliento en la realización de este trabajo.

Al Ing. Freddy López y a todo el equipo del Laboratorio de Química.

Al Ing. Gustavo Moreno por la facilidad de acceso Laboratorio de Operaciones Unitarias.

El único modo de lograr lo imposible,  
es creer que es posible.

Lewis Carroll

## ÍNDICE

	<b>PAGINA</b>
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv
Resumen	v

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Justificación	5

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

	<b>PAGINA</b>
<b>1.1 Definición de aceite esencial</b>	<b>12</b>
1.1.1. Definición de aceite vegetal	14
<b>1.2. Materia prima</b>	<b>15</b>
1.2.1. Árbol del paraíso	15
1.2.2. Descripción de la especie	16
1.2.3. Semilla	17
<b>1.3. Extracto de paraíso</b>	<b>18</b>

1.3.1. Componentes y propiedades del extracto del paraíso	20
1.3.2. Análisis físico-químico del extracto de paraíso	30
1.3.3. Factores que influyen en la calidad del extracto de paraíso	31
1.3.4. Toxicidad del extracto de paraíso	32
<b>1.4. Teoría de extracción sólido-líquido</b>	<b>34</b>
1.4.1. Variables que influyen en la velocidad de extracción	35
1.4.1.1. Tamaño de partícula	35
1.4.1.2. Selección del líquido extractor o solvente	35
1.4.1.3. Temperatura de extracción	36
1.4.1.4. Tiempo de extracción	36
1.4.1.5. Agitación del fluido	36
1.4.2. Métodos de operación y equipos	37
1.4.2.1. Operaciones discontinuas	37
1.4.2.2. Operaciones en estados estacionarios	38
<b>1.5. Procedimiento de obtención del extracto de paraíso</b>	<b>39</b>
1.5.1. Extracción artesanal de extracto de paraíso	39
1.5.1.1. Preparación del extracto acuoso	39
1.5.1.2. Preparación del extracto alcohólico	40
1.5.2. Extracción en laboratorio del extracto de paraíso	41
1.5.2.1. Métodos tradicionales	42
1.5.2.1.1. Extracción con disolvente por agitación	42
1.5.2.1.2. Extracción por maceración	43
1.5.2.1.3. Extracción Soxhlet	44
1.5.2.2. Métodos no tradicionales	44
1.5.2.2.1. Prensado en frío	44



1.5.2.2.2. Extracción supercrítica	45
1.5.3. Selección del proceso de obtención del extracto de paraíso	45
1.5.3.1. Selección del proceso de extracción	47
1.5.3.2. Selección del tipo de solvente	48

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

	<b>PAGINA</b>
<b>2.1. Descripción del método de investigación</b>	<b>50</b>
<b>2.2. Diseño experimental</b>	<b>50</b>
2.2.1. Planteamiento de la hipótesis	50
2.2.1.1. Diseño factorial	51
2.2.2. Factores de estudio	52
<b>2.3. Material de laboratorio</b>	<b>53</b>
2.3.1. Disolvente	54
<b>2.4. Descripción del proceso experimental de extracción</b>	<b>59</b>
2.4.1. Recolección de la materia prima	60
2.4.2. Acondicionamiento y caracterización de la materia prima	60
2.4.3. Secado	62
2.4.4. Molienda	67
2.4.5. Extracción por agitación con solvente	70
2.4.5.1. Preparación del disolvente	70
2.4.5.2. Agitación	71

2.4.5.3. Maceración	73
2.4.6. Filtración	73
2.4.7. Evaporación	74
2.4.8. Producto final	75
2.4.9. Almacenamiento del producto final	77
<b>2.5. Control de calidad del producto final</b>	<b>77</b>
2.5.1. Propiedades físico-químicas	77
<b>2.6. Diagrama de flujo</b>	<b>78</b>
2.6.1. Balance de materia	79
2.6.2. Balance de energía	87
2.6.2.1. Balance de energía en el secador	87
2.6.2.2. Balance en el rota evaporador	90
2.6.2.3. Balance en el baño del rota-evaporador	90
2.6.2.4. Balance en el condensador	92

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

	<b>PAGINA</b>
3.1. Análisis físico de la materia prima	94
3.2. Análisis físico-químicos del extracto de Paraíso	94
3.3. Análisis cromatográfico del extracto de Paraíso	95
3.4. Resultados del proceso de obtención del aceite del Paraíso	98
3.5. Resultados del proceso de obtención del extracto del Paraíso	100
3.6. Análisis estadísticos del diseño experimental	104
3.6.1. Calculo del análisis de varianza	105

3.7. Cálculos y resultados del balance de materia y energía	110
3.8. Análisis estimativo de costos de producción a escala laboratorio	111

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>PAGINA</b>
<b>4.1. Conclusiones</b>	<b>116</b>
<b>4.2. Recomendaciones</b>	<b>117</b>

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXOS**

## INDICE DE CUADRO

	<b>PAGINA</b>
<b>CUADRO i-1</b> Descripción de familias meliáceas	3
<b>CUADRO I-1</b> Industrias que utilizan aceites esenciales	13
<b>CUADRO I-2</b> Moléculas constituyentes de los aceites esenciales	14
<b>CUADRO I-3</b> Taxonomía	16
<b>CUADRO I-4</b> Algunos de las especies afectadas por extractos de Melia Azedarach L.	19
<b>CUADRO I-5</b> Limonoides totales en distintas partes del paraíso	24
<b>CUADRO I-6</b> Principal compuesto del fruto del paraíso	25
<b>CUADRO I-7</b> Ventajas y desventajas de los procesos de extracción a escala laboratorio	46
<b>CUADRO I-8</b> Selección del tipo de solvente	49
<b>CUADRO II-1</b> Hoja de seguridad del alcohol etílico al 96%	54

## INDICE DE TABLA

	<b>PAGINA</b>
<b>TABLA i-1</b> Clasificación de los plaguicidas según su peligrosidad oral y dérmica	5
<b>TABLA i-2</b> Importaciones de insecticida según país de origen, 2010	10
<b>TABLA i-3</b> Productos importados desde china 2013	11
<b>TABLA I-1</b> Compuestos extraídos del tallo del paraíso	21
<b>TABLA I-2</b> Compuestos extraídos de la raíz del paraíso	22
<b>TABLA I-3</b> Compuestos extraídos del fruto del paraíso	23
<b>TABLA I-4</b> Compuestos extraídos de las hojas del paraíso	24
<b>TABLA I-5</b> Resultados de pruebas de obtención de Azadirachtina	27
<b>TABLA I-6</b> Compuestos obtenidos del árbol del paraíso	27
<b>TABLA I-7</b> Componentes grasos del aceite del Paraíso	28

<b>TABLA I-8</b> Ácidos grasos existentes en el aceite de Paraíso	29
<b>TABLA I-9</b> Resultado del análisis fitoquímico de hojas frescas de paraíso	29
<b>TABLA I-10</b> Propiedades del aceite de Paraíso	30
<b>TABLA I-11</b> Parámetros de ponderación	47
<b>TABLA I-12</b> Matriz de decisión para el proceso de extracción	47
<b>TABLA I-13</b> Matriz de decisión ponderación de acuerdo al factor de importancia	48
<b>TABLA II-1</b> Matriz de diseño	51
<b>TABLA II-2</b> Variables para la obtención del extracto del paraíso	52
<b>TABLA II-3</b> Experimentos a realizar	52
<b>TABLA II-4</b> Material de laboratorio	53
<b>TABLA II-5</b> Datos de la elaboración de la curva de secado	63
<b>TABLA II-6</b> Control de humedad del fruto verde del paraíso	65
<b>TABLA II-7</b> Volúmenes requeridos para la disolución	70
<b>TABLA II-8</b> Parámetros de control del rota-evaporador	74
<b>TABLA II-9</b> Lista de equipos	78
<b>TABLA II-10</b> Corrientes del proceso	79
<b>TABLA II-11</b> Datos del proceso de obtención del extracto del paraíso	79
<b>TABLA III-1</b> Humedad del fruto del Paraíso	94
<b>TABLA III-2</b> Resultados de Análisis de Laboratorio CIC	94
<b>TABLA III-3</b> Cromatografía de masas realizado por el Laboratorio CIC	95
<b>TABLA III-4</b> Etanol al 94 % en 3 horas de agitacion	98
<b>TABLA III-5</b> Etanol al 94 % en 2 horas de agitacion	98
<b>TABLA III-6</b> Etanol al 94 % en 1 horas de agitacion	99
<b>TABLA III-7</b> Resultados promedio al 94 %	99
<b>TABLA III-8</b> Etanol al 70 % en 3 horas de agitacion	100

<b>TABLA III-9</b> Etanol al 70 % en 2 horas de agitación	100
<b>TABLA III-10</b> Etanol al 70 % en 1 horas de agitación	101
<b>TABLA III-11</b> Resultados promedio al 70 %	101
<b>TABLA III-12</b> Etanol al 30 % en 3 horas de agitación	102
<b>TABLA III-13</b> Etanol al 30 % en 2 horas de agitación	102
<b>TABLA III-14</b> Etanol al 30 % en 1 horas de agitación	103
<b>TABLA III-15</b> Resultados promedio al 30 %	103
<b>TABLA III-16</b> Rendimiento de la extracción	104
<b>TABLA III-17</b> Variables experimentales	105
<b>TABLA III-18</b> Factores inter-sujetos	105
<b>TABLA III-19</b> Análisis de varianza	106
<b>TABLA III-20</b> Anova <sup>b</sup>	107
<b>TABLA III-21</b> Coeficientes <sup>a</sup>	107
<b>TABLA III-22</b> Rendimientos	108
<b>TABLA III-23</b> Resultados del balance de materia	110
<b>TABLA III-24</b> Resumen del balance de energía	111
<b>TABLA III-25</b> Costos se tienen las siguientes referencias	111
<b>TABLA III-26</b> Costos de materia prima e insumos	112
<b>TABLA III-27</b> Costos de almacenamiento de producto	112
<b>TABLA III-28</b> Costos de consumo de energía de los equipos utilizados	113
<b>TABLA III-29</b> Costos de material adicional y material de escritorio	114
<b>TABLA III-30</b> Costo total del proyecto de investigación	115

## INDICE DE FIGURA

	<b>PAGINA</b>
<b>FIGURA I-1</b> Estructura química de meliartenin	25
<b>FIGURA 1-2</b> Estructura química de azadirachtina	26

## INDICE DE FOTO

	<b>PAGINA</b>
<b>FOTO I-1</b> Partes del fruto del paraíso	17
<b>FOTO II-1</b> Materia prima	60
<b>FOTO II-2</b> Acondicionamiento de frutos verdes	61
<b>FOTO II-3</b> Selección de frutos dañados y basura	61
<b>FOTO II-4</b> Fruto maduro	62
<b>FOTO II-5</b> Control de pesaje del fruto del paraíso	65
<b>FOTO II-6</b> Secado de la materia prima	67
<b>FOTO II-7</b> Frutos pelados en el molino de bolas	67
<b>FOTO II-8</b> Separación de materiales	68
<b>FOTO II-9</b> Limpieza de frutos pelados	68
<b>FOTO II-10</b> Material de seguridad personal	69
<b>FOTO II-11</b> Muestras pesadas	70
<b>FOTO II-12</b> Preparación del disolvente	71
<b>FOTO II-13</b> Montaje del equipo de agitación	72
<b>FOTO II-14</b> Agitación discontinua	72
<b>FOTO II-15</b> Proceso de maceración	73
<b>FOTO II-16</b> Abono orgánico	74
<b>FOTO II-17</b> Equipo de destilación	75

<b>FOTO II-18</b> Extracto obtenido al 94% de etanol	75
<b>FOTO II-19</b> Separación del extracto y el aceite	76
<b>FOTO II-20</b> Extracto al 70% de etanol	76
<b>FOTO II-21</b> Almacenamiento del extracto del Paraíso al 94%	77

### **INDICE DE DIAGRAMA**

	<b>PAGINA</b>
<b>DIAGRAMA I-1</b> Extracción artesanal	40
<b>DIAGRAMA II-1</b> Proceso de obtención del extracto del paraíso	59
<b>DIAGRAMA II-2</b> Flujo del proceso de obtención del extracto del paraíso	78

### **INDICE DE GRAFICAS**

	<b>PAGINA</b>
<b>GRAFICA II-1</b> Curva de secado	64
<b>GRAFICO III-1</b> Rendimiento observado y rendimiento de modelo	109