

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**OBTENCIÓN DE ACEITE DE NUEZ DESHIDRATADA A PARTIR DE  
EXTRACCIÓN SOLIDO LÍQUIDO CON SOLVENTE**

**POR:**

**JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ BENÍTEZ**

**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 del 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

V°B°

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez  
DECANO  
Facultad de Ciencias y Tecnología

M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre  
VIDECANO  
Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR: TRIBUNAL:**

Ing. Adalid Aceituno Cáceres

Ing. Ernesto Caihuara Alejandro

Ing. Natalia Ortega Barriga

**ADVERTENCIA**

El tribunal calificado  
presente

trabajo, no se solidariza  
con la  
forma, términos, modo y  
expresiones en el mismo  
siendo esto  
responsabilidad del  
autor.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a:

Mi Madre ese ser de luz que me a  
cuidado,  
animado, educado y protegido  
desde el  
primer día, mi mamita querida  
Erlinda Benítez

A mi familia por creer en mi, por  
brindarme su inmenso amor y  
confianza durante todo este  
tiempo, en  
especial a mi padre  
Marino Rodríguez

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, a Dios por brindarme vida, salud y sabiduría para culminar mis estudios.

A mis padres, Marino Rodríguez y Erlinda Benítez, por confiar en mí y permitirme realizar este sueño, por sus consejos, comprensión, apoyo y sustento a lo largo de este camino.

A mis hermanos, Marianela y Alberto por alentarme a conquistar a conquistar mis ideales.

A mis amigos, Braulio Huayta, Rafael Aramayo, Oscar Guevara, Ismael Montes, María Fernanda Pérez, Edwin Huarachi, Selena Cáceres y Raúl Aramayo por el apoyo en los exámenes, trabajos y tareas muchas gracias.

A mis docentes Ing. Juan Pablo Herbas, Ing. Jorge Tejerina, Ing. Ignacio Velásquez, Ing. Ernesto Caihuara Alejandro e Ing. José Auad, por brindarme todo su conocimiento, colaboración y tiempo en el desarrollo de este proyecto.

**PENSAMIENTO**

“Nunca desistas de  
un sueño.

Solo trata de ver  
las señales

que te lleven a él.”

**Paulo Coel**

## INDICE

### Página

ADVERTENCIA.....	<b>i</b>
DEDICATORIA.....	<b>ii</b>
AGRADECIMIENTOS.....	<b>iii</b>
PENSAMIENTO.....	<b>iv</b>
RESUMEN.....	
.....;Error! Marcador no definido.	
INTRODUCCIÓN.....	;Error! Marcador no definido.
ANTECEDENTES.....	;Error! Marcador no definido.

### OBJETIVOS

Objetivo General.....	<b>10</b>
Objetivos Específicos.....	<b>10</b>
JUSTIFICACIÓN.....	<b>11</b>

### CAPITULO I

MARCO TEÓRICO.....	<b>13</b>
1.1 ACEITE.....	<b>14</b>
1.2 LIPIDOS.....	<b>14</b>
1.2.1 Ácidos Grasos.....	<b>14</b>
1.3 ACEITE VEGETAL.....	<b>15</b>
1.3.1 Análisis Físicoquímico de un Aceite Vegetal.....	<b>18</b>
1.4 LA NUEZ.....	<b>19</b>
1.4.1 Variedades y Tipos de Nueces.....	<b>19</b>
1.4.2 Nuez Pecan (Carya Illinoensis).....	<b>21</b>
1.4.3 Aceite de Nuez.....	<b>23</b>
1.4.3.1 Aceite Extra Virgen.....	<b>25</b>
1.4.3.2 Aceite Virgen.....	<b>25</b>
1.4.3.3 Aceite Refinado.....	<b>25</b>
1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES.....	<b>26</b>
1.5.1 Extracción con Solventes.....	<b>26</b>
1.5.2 Extracción Líquido – Líquido.....	<b>28</b>
1.5.3 Extracción Sólido – Líquido.....	<b>28</b>

1.5.4 Extracción Supercrítica.....	28
1.5.5 Métodos de Extracción de Aceite Vegetal.....	29
1.5.5.1.1 Prensado Continúo.....	29
1.5.5.1.2 Prensado Discontinuo.....	32
1.5.5.1.3 Prensado en Frio.....	33
1.5.5.1.4 Prensado en Caliente.....	34
1.5.5.2 Extracción de Aceite por Solvente.....	35
1.5.5.2.1 Teoría de la Extracción por Solvente.....	35
1.5.5.2.2 Determinación del Coeficiente de Difusión.....	37
1.5.5.2.2.1 Modelo Matemático para la Determinación del Coeficiente de Difusión.....	38
1.5.5.2.3 Factores que Influyen en la Velocidad de Extracción.....	40
1.5.5.4 Obtención en Laboratorio de Aceite de Nuez mediante Extracción por Solvente.....	41
1.5.5.4.1 Extracción Soxhlet.....	41

## CAPITULO II

<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>45</b>
2.1 DESCRIPCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	45
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	45
2.2.1 Selección del método experimental de extracción de Aceite de Nuez.....	45
2.2.2 Selección del Solvente Utilizado en el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez.....	49
2.3 DISEÑO FACTORIAL.....	52
2.3.1 Selección de Variables del Proceso Tecnológico.....	52
2.3.2 Diseño Factorial 3k.....	52
2.4 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	54
2.4.1 Equipos y Materiales Utilizados en la Extracción del Aceite de Nuez.....	54
2.4.1.1 Descripción de los Equipos Utilizados.....	54
2.4.1.2 Material de Laboratorio Utilizado.....	60
2.4.1.3 Reactivo.....	61
2.4.2 Descripción del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite de Nuez.....	62
2.4.2.1 Aprovechamiento de la Materia Prima.....	64
2.4.2.2 Limpieza.....	65
2.4.2.3 Molienda.....	66
2.4.2.4 Tamizado.....	67
2.4.2.4.1 Determinación del Tamaño de Muestra para la Extracción.....	69
2.4.2.5 Extracción con Solvente.....	70
2.4.2.6 Destilación.....	72



2.4.2.7 Desolventización .....	73
2.4.2.8 Almacenamiento .....	74
2.4.3 Balance de Materia del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Crudo de Nuez. ....	75
2.4.4 Balance de Energía del Proceso Tecnológico Experimental Obtención de Aceite de Nuez80	
2.4.5 Análisis Estadístico del Diseño Experimental .....	83
2.4.5.1 Cálculo del Análisis de Varianza .....	85
<b>2.5 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE NUEZ PECAN .....</b>	<b>91</b>
2.5.1 Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (2 mm) .....	91
2.5.2 Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (1 mm) .....	92
2.5.3 Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (0,5 mm) .....	94
<b>2.6 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO .....</b>	<b>95</b>
2.6.1 Resultados de los Análisis del Producto final .....	96
<b>2.7 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO .....</b>	<b>97</b>
<b>CAPITULO III</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>98</b>
3.1..... COMPARACIÓN DE LA NUEZ (CARYA ILLINOINENSIS) .....	98
3.2 COMPARACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE NUEZ .....	98
3.3 COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE NUEZ .....	100
3.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO.....	101
3.4.1 Condiciones de operación Recomendadas para el Proceso de Extracción.....	102
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>105</b>
4.1 CONCLUSIONES .....	106
4.2 RECOMENDACIONES .....	107
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>104</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>107</b>

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla i-1	Aplicaciones del Aceite de Nuez .....	3
Tabla i-2	Estadísticas Mundiales del Aceite de Nuez (Toneladas) .....	4

Tabla i-3	Principales Países Exportadores de Aceite de Nuez .....	5
Tabla i-4	Principales Países Importadores de Aceite de Nuez .....	5
Tabla i-5	Valor de Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales en Bolivia.....	6
Tabla i-6	Proyección Valor de Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales por año Bolivia.....	en .....8
Tabla i-7	Departamentos Productores de Nuez en Bolivia .....	10
Tabla I-1	Aceite que se Obtienen de Distintas Plantas.....	17
Tabla I-2	Comparación de Variedades y Tipos de Nueces .....	19
Tabla I-3	Taxonomía de la Nuez Pecan (Carya Illinoensis).....	22
Tabla I-4	Composición Fisicoquímica de la Nuez Pecan (Carya Illinoensis)....	23
Tabla I-5	Composición Porcentual de Ácidos Grasos en el Aceite de Nuez (Carya Illinoensis).....	.....24
Tabla I-6	Especificaciones del Aceite Crudo de Nuez .....	25
Tabla II-1	Composición Fisicoquímica de la Nuez Pecana .....	45
Tabla II-2	Escala de Calificación Likert.....	46
Tabla II-3	Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite de Nuez.	46
Tabla II-4	Matriz de Decisión para el Método Experimental de Extracción de Aceite de Nuez.....	.....49
Tabla II-5	Selección del Solvente para el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez	50
Tabla II-6	Matriz de Decisión para el Solvente Utilizado en el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez. .....	.....51
Tabla II-7	Codificación de las Variables .....	53
Tabla II-8	Diseño Factorial para el Proceso de Extracción .....	54
Tabla II-9	Material de Laboratorio .....	61
Tabla II-10	Especificaciones del Éter de Petróleo .....	62
Tabla II-11	Análisis Granulometrico de la Materia Prima .....	67
Tabla II-12	Porcentaje de Aceite según Tamaño de Muestra .....	69
Tabla II-13	Datos Experimentales del Proceso de Extraccion de Aceite de 5 g de Nuez 84	
Tabla II-14	Datos para el Calculo del Analisis de Varianza.....	85

Tabla II-15	Factores Inter-Sujetos .....	86
Tabla II-16	Prueba de los Efectos Inter-Sujetos .....	86
Tabla II-17	Variables Introducidas/Eliminadas .....	87
Tabla II-18	Ajuste de Datos para el Modelo Lineal General .....	87
Tabla II-19	ANOVA (b) .....	88
Tabla II-20	Coefficientes (a) .....	88
Tabla II-21	Resultados del Rendimiento Experimental y Rendimiento Obtenido con el Modelo Matemático Ajustado. ....	89
Tabla II-22	Estadísticos sobre los Residuos (a) .....	90
Tabla II-23	Datos Experimentales Obtenidos para la Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (2 mm) .....	91
Tabla II-24	Datos Experimentales Obtenidos para la Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (1 mm) .....	93
Tabla II-25	Datos Experimentales Obtenidos para la Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (0,5 mm) .....	94
Tabla II-26	Características Físicoquímicas del Aceite Crudo de Nuez Pecan.....	96
Tabla II-27	Perfil de Ácidos Grasos Saturados e Insaturados del Aceite Crudo de Nuez Pecana.....	97
Tabla III-1	Comparación de la Materia Prima .....	98
Tabla III-2	Comparación del Aceite Crudo de Nuez .....	99
Tabla III-3	Comparación Perfil de Ácidos Grasos del Aceite crudo de Nuez .....	100
Tabla III-4	Resultados de los Coeficientes de Difusión en la Extracción.....	100
Tabla III-5	Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de 5 g de Nuez 101	
Tabla III-6	Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite de 5 g de Nuez empleando el Tamaño de la Partícula C .....	102
Tabla III-7	Condiciones de Operación Recomendadas para el Proceso de Extracción de de Aceite de Nuez.....	103

### **INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1-1	Extracción de Aceite de Nuez mediante Extracción por Solvente .....	27
Diagrama 1-2	Extracción de aceite de Nuez por prensado .....	31
Diagrama 1-3	Extracción de Aceite de Nuez por prensado discontinuo o prensado en frio 33	
Diagrama 1-4	Extracción de Aceite de Nuez por prensado en caliente.....	34
Diagrama 2-1	Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite de Nuez ....	63

Diagrama 2-2	Diagrama de Bloques del Proceso Tecnológico Experimental.....	75
--------------	---	----

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Nuez Pecan ( <i>Carya Illinoensis</i> ) .....	21
Figura 1-2	Extracción Sólido-Líquido.....	35
Figura 1-3	Proceso de Difusión Molecular.....	37
Figura 2-1	Extracción Soxhlet.....	42
Figura 2-1	Extractor Soxhlet .....	55
Figura 2-2	Calentador eléctrico .....	56
Figura 2-3	Tamiz Vibratorio.....	57
Figura 2-4	Balanza Analítica .....	58
Figura 2-5	Estufa .....	59
Figura 2-6	Molino eléctrico.....	60
Figura 2-7	Nueces Pecaneros recolectados.....	64
Figura 2-8	Separación de impurezas de la materia prima .....	65
Figura 2-9	Molienda de la Materia Prima.....	66
Figura 2-10	Tamizado de la Materia Prima.....	68
Figura 2-11	Aceite Crudo de Nuez Extraído de Diferentes Tamaños de Partícula...	70
Figura 2-12	Extracción de Aceite de Nuez.....	71
Figura 2-13	Destilación .....	72
Figura 2-14	Desolventización del aceite .....	73
Figura 2-15	Aceite crudo de Nuez.....	74

### INDICE DE GRAFICOS

Grafico i-1	Evolución del Valor de las Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales por año en Bolivia.....	6
Grafico II-1	% Acumulado vs N° Malla .....	68
Grafico II-2	Tiempo(h) vs $\log (q_e/q_0)$ para partículas de (2 mm).....	92
Grafico II-3	Tiempo(h) vs $\log (q_e/q_0)$ para partículas de (1 mm).....	93
Grafico II-4	Tiempo(h) vs $\log (q_e/q_0)$ para partículas de (0,5 mm).....	95
Grafico III-1	Rendimiento de Aceite de Nuez empleando el Tamaño de Partícula	