

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



**PROYECTO DE GRADO**

**EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LAS SEMILLAS DE  
LINAZA VARIEDAD MARRÓN**

**POR:**

**SELENA CECILIA CACERES HUALLPA**

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.

**Agosto de 2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

V°B°

---

M. Sc. Ing. José A. Navia Ojeda  
DECANO

---

M. Sc. Arq. Mario C. Ventura Flores  
VICEDECANO

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Juan Carlos Vega Knez

---

Ing. Cecilia Giovanna Calderón Pérez

---

Ing. Natalia Ortega Barriga

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.

Gracias a Dios por darme la sabiduría y capacidad para poder comprender cada uno de los conocimientos enseñados y sobre todo por la oportunidad de despertar cada día para poder estar al lado de mi familia.

Gracias a mis padres por haberme forjado como la persona que soy actualmente, muchos de mis logros se los debo a ellos.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos.....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
Justificación Económica.....	10
Justificación Tecnológica .....	12
Justificación Social.....	12
Justificación Ambiental.....	13
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
1.1. Definiciones Generales .....	14
1.1.1. Mucílago.....	14
1.1.2. Gel .....	14
1.2. Materia Prima .....	14
1.2.1. Semilla de Linaza .....	14
1.2.2. Morfología.....	15
1.2.2.1. Taxonomía.....	15
1.2.2.2. Flores .....	15
1.2.2.3. Tallo principal .....	16
1.2.2.4. Fruto o semilla.....	16
1.2.3. Descripción de la semilla .....	17
1.2.4. Composición química de la semilla.....	18
1.2.4.1. Ácidos grasos .....	19
1.2.4.2. Carbohidratos o Hidratos de Carbono .....	19
1.2.4.3. Fibras .....	20
1.2.4.3.1. Mucílago de Linaza .....	21
1.2.4.3.2. Lignanós.....	23
1.2.4.4. Proteínas .....	23

1.3. Métodos de extracción sólido-líquido.....	23
1.3.1. Extracción mediante aparato de Soxhlet .....	24
1.3.2. Maceración .....	25
1.3.3. Reflujo .....	26
1.4. Factores que influyen en la velocidad de la extracción .....	27
1.5. Fundamentos del proceso de extracción .....	28
1.5.1. Transferencia de masa .....	28
1.5.2. Ley de Fick para la difusión Molecular.....	29
1.5.3. Equilibrio sólido-líquido .....	30
1.5.3.1. Cambio de fase del soluto .....	31
1.5.3.2. Difusión del soluto en el disolvente contenido en los poros del sólido .....	31
1.5.3.3. Transferencia del soluto desde la superficie de las partículas hasta el seno de la disolución.....	31
1.6. Proceso de extracción del Mucílago de diferentes plantas .....	32
1.6.1. Extracción del mucílago de la cascara de la tuna .....	32
1.6.2. Extracción y purificación de mucílago de Nopal .....	34
1.6.3. Extracción del mucílago de la semilla de Chan.....	36
1.7. Proceso de extracción de Mucílago de las semillas de linaza.....	39
1.7.1. Extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración.....	39
1.7.2. Extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración dinámica con reflujo.....	41
1.8. Análisis Físicoquímicos del Mucílago de la semilla de Linaza.....	43

## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y análisis de la materia prima .....	45
2.2. Descripción del método de investigación .....	46
2.2.1. Selección del método experimental para la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza .....	46
2.3. Diseño factorial.....	48
2.3.1. Selección de la variable del proceso.....	49
2.3.2. Diseño factorial .....	49
2.4. Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados .....	51

2.4.1. Equipos y materiales utilizados en la extracción del Mucílago de las semillas de linaza.....	51
2.4.1.1. Descripción de los equipos utilizados .....	51
2.4.1.2. Material de laboratorio utilizado .....	54
2.4.1.3. Reactivos .....	55
2.4.2. Descripción del proceso tecnológico experimental de obtención del Mucílago de las semillas de linaza .....	56
2.4.2.1. Recepción de la materia prima .....	57
2.4.2.2. Limpieza .....	57
2.4.2.3. Molienda.....	58
2.4.2.4. Tamizado .....	58
2.4.2.5. Extracción del Mucílago por maceración dinámica. ....	60
2.4.2.6. Filtración .....	61
2.4.2.7. Concentración del extracto en el rotavapor .....	62
2.4.2.8. Envasado del Mucílago de Linaza y almacenamiento .....	62
2.4.3. Balance de materia del proceso tecnológico experimental de la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza.....	63
2.4.4. Análisis estadístico del diseño experimental.....	80
2.5. Determinación del coeficiente de masa .....	89
2.6. Análisis de costos.....	92
2.6.1. Costo del estudio .....	92
2.6.2. Costo de producción.....	95

### CAPÍTULO III

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de la materia prima.....	98
3.2. Análisis fisicoquímicos del producto obtenido .....	98

### CAPÍTULO IV

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	103
4.2. Recomendaciones .....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro i-1: Aplicaciones actuales del Mucílago de las semillas de linaza en la industria Cosmética.....	3
Cuadro i-2:Aplicaciones actuales del Mucílago de las semillas de linaza en la Medicina .....	4
Cuadro i-3: Proveedores del Mucílago de Nopal.....	12
Cuadro I-1: Taxonomía de la planta de Lino .....	15
Cuadro I-2: Composición de ácidos grasos en la semilla de linaza .....	19

## ÍNDICE DE DIAGRAMA

	<b>Página</b>
Diagrama 1-1:Etapas del proceso de extracción de los mucílagos a partir de las cáscaras de tunas escaldadas y no escaldadas. ....	34
Diagrama 1-2: Proceso de extracción del mucílago de Nopal .....	36
Diagrama 1-3: Proceso de hidratación de la semilla de chan (Salvia hispánica L.) ...	37
Diagrama 1-4: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de chan .....	39
Diagrama 1-5: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración .....	40
Diagrama 1-6: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración dinámica con reflujo .....	42
Diagrama 2-1: Proceso tecnológico experimental de la extracción del mucílago.....	56
Diagrama 2-2: Flujo del proceso experimental de la extracción del mucílago de las semillas de linaza.....	63



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1-1: Flor de lino .....	16
Figura 1-2: Planta de lino .....	16
Figura 1-3: Semillas de Linaza .....	17
Figura 1-4: Estructura de la semilla de linaza .....	17
Figura 1-5: Formación del mucílago en la semilla de linaza .....	18
Figura 1-6: Composición química de la semilla de Linaza.....	18
Figura 1-7: Composición de la fibra dietética.....	20
Figura 1-8: Estructura primaria de L-arabino-D-xilona (AX) .....	21
Figura 1-9: Estructura del polisacárido ramnogalacturona I.....	22
Figura 1-10: Etapas principales durante la extracción Sólido-líquido .....	24
Figura 1-11: Extracción Soxhlet .....	25
Figura 1-12: Extracción por maceración dinámica .....	26
Figura 1-13: Extracción por reflujo.....	27
Figura 1-14: Solubilización de un cristal y difusión molecular hacia el líquido .....	29
Figura 1-15: Diagrama esquemático del proceso de difusión molecular .....	30
Figura 2-1: Tamiz Vibratorio.....	51
Figura 2-2: Balanza Analítica .....	52
Figura 2-3: Licuadora.....	52
Figura 2-4: Rotavapor .....	53
Figura 2-5: Calentador eléctrico.....	54
Figura 2-6: Agitador Electrónico .....	54
Figura 2-7: Semillas de Linaza recolectada .....	57
Figura 2-8: Separación de impurezas de la materia prima.....	57
Figura 2-9: Molienda de la materia prima.....	58
Figura 2-10: Tamizado de la materia prima molida.....	59
Figura 2- 11: %Acumulado Vs Número de Malla .....	60
Figura 2-12: Sistema de maceración dinámica .....	61

Figura 2-13: Proceso de filtrado.....	61
Figura 2-14: Concentrado .....	62
Figura 2-15: Mucílago de las semillas de Linaza.....	62
Figura 2-16: Rendimientos Observado, Calculado y Error.....	87
Figura 2-17: Modelo Lineal. ....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla i-1: Tabla de Información Nutricional de las semillas de linaza dorado y marrón .....	1
Tabla i-2: Fibra soluble e insoluble de la linaza .....	2
Tabla i-3: Producción del cultivo de linaza a nivel mundial.....	4
Tabla i-4: Producción del cultivo de linaza en América del Sur.....	5
Tabla i-5: Superficie y producción de linaza en Bolivia 2015-2018 .....	6
Tabla i-6: Cultivos de Linaza en Bolivia por Municipio .....	7
Tabla i-7: Exportación de Mucílago de las semillas de tara de las principales empresas exportadoras del Perú durante los años 2016-2017.....	10
Tabla I-1: Composición química de las semillas de linaza.....	18
Tabla I-2: Composición química de ácidos grasos de las semillas de linaza.....	19
Tabla I-3: Composición química de fibras de las semillas de linaza venezolana y canadiense .....	20
Tabla II-1: Composición Fisicoquímica de las semillas de Linaza.....	45
Tabla II-2: Escala de Calificación Likert .....	46
Tabla II-3: Selección del método experimental de extracción del Mucílago de las semillas de Linaza .....	47
Tabla II-4: Matriz de decisión del método experimental de la extracción del Mucílago de las semillas de linaza .....	48
Tabla II-5: Variables de control .....	49
Tabla II-6: Variables y niveles de operación .....	50

Tabla II-7: Diseño factorial para el proceso de extracción .....	50
Tabla II-8: Material de laboratorio.....	55
Tabla II-9: Especificaciones del Agua destilada.....	56
Tabla II-10: Descripción del número de tamiz y tamaño de apertura.....	59
Tabla II-11: Datos experimentales al inicio de la molienda .....	64
Tabla II-12: Datos experimentales de la pérdida de semilla durante la molienda .....	64
Tabla II-13: Datos experimentales obtenidos del tamizado.....	66
Tabla II-14: Datos experimentales de la masa final retenida en cada tamiz.....	67
Tabla II-15: Datos experimentales de la cantidad de semilla molida perdida en cada tamiz.....	68
Tabla II-16: Datos experimentales al inicio de la maceración .....	69
Tabla II-17: Datos experimentales en el proceso de filtración .....	70
Tabla II-18: Datos experimentales para la obtención de la masa de agua evaporada.....	71
Tabla II-19: Datos experimentales a utilizar para determinar el porcentaje de agua evaporada .....	72
Tabla II-20: Datos experimentales en el proceso de filtración utilizados para determinar el porcentaje de semilla que se obtiene de la filtración.....	73
Tabla II-21: Datos experimentales del proceso de concentración .....	74
Tabla II-22: Datos experimentales del volumen de agua recuperada en el rotavapor .....	75
Tabla II-23: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar la pérdida de agua evaporada.....	76
Tabla II-24: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar la cantidad de agua evaporada .....	77
Tabla II-25: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar el porcentaje de agua evaporada .....	78
Tabla II-26: Resumen del balance de materia.....	79
Tabla II-27: Rendimiento de los 16 experimentos realizados según el diseño experimental planteado .....	80
Tabla II-28: Datos experimentales del proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza .....	81

Tabla II-29: Factores inter-sujetos .....	82
Tabla II-30: Pruebas de los efectos inter-sujetos .....	82
Tabla II-31: Variables introducidas/eliminadas .....	83
Tabla II-32: Resumen del Modelo Matemático Resumen del Resumen del modelo <sup>b</sup>	84
Tabla II-33: Resultados del Análisis Anova .....	84
Tabla II-34: Coeficientes del Modelo Matemático Coeficientes <sup>a</sup> .....	85
Tabla II-35: Datos del rendimiento calculado.....	86
Tabla II-36: Resultados de los Rendimientos de la extracción del mucílago de las semillas de linaza. ....	87
Tabla II-37: Tabla estadística de residuos <sup>a</sup> .....	88
Tabla II-38: Valores del promedio del rendimiento.....	90
Tabla II-39: Valores de $\ln(C_{A0} - C_A)$ para diferentes condiciones de operación .....	91
Tabla II-40: Valores de K para diferentes condiciones de operación .....	91
Tabla II-41: Detalle de los costos de Materia Prima y Solvente.....	92
Tabla II-42: Detalle del Costo de los Materiales .....	92
Tabla II-43: Detalle de costo de los Análisis Físicoquímico de la materia prima .....	93
Tabla II-44: Detalle de costo de los Análisis Físicoquímicos del Mucílago de las semillas de Linaza.....	93
Tabla II-45: Detalle de costo de servicios directos e indirectos.....	94
Tabla II-46: Detalle de Costos del Material de Apoyo. ....	94
Tabla II-47: Detalle de Costos Totales de la investigación.....	95
Tabla II-48: Consumo eléctrico en equipos utilizados.....	96
Tabla II-49: Consumo de servicio de agua .....	96
Tabla II-50: Detalle de Costos Totales de producción.....	97
Tabla III-1: Composición Físicoquímica de las semillas de Linaza.....	98
Tabla III-2: Características físicoquímicas del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 80°C y tiempo 1hr).....	99
Tabla III-3: Información nutricional del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 80°C y tiempo 1hr).....	99

Tabla III-4: Características fisicoquímicas del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 70°C y tiempo 1hr).....	100
Tabla III-5: Información nutricional del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 70°C y tiempo 1hr).....	101
Tabla III-6: Tabla comparativa de los dos mejores rendimientos de la extracción del mucílago de las semillas de linaza. ....	102

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
ANEXO A: INFORMES DE LOS LABORATORIOS.....	109
ANEXO B: ESCALA DE TAMICES ESTÁNDAR SERIE TYLER.....	117
ANEXO C: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.....	119