

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) MEDIANTE EXTRACCIÓN POR SOLVENTE

Por:

IVANA ESILDA VELASCO ILLESCAS

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.

Abril de 2019

Tarija - Bolivia

Dedicado a mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Dedicado a ellos, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. Espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo.

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.

Gracias a mi familia, a mis padres por su inmenso esfuerzo de permitirme cumplir mis metas a pesar de las circunstancias, a mi segunda mamá, mi tía Yenni Velazco por su apoyo incondicional, a mis adorables hermanos porque aparte de ser mis guardianes son mi razón de superarme, a mi novio por enseñarme a no rendirme y a mis amigos por motivarme siempre a seguir adelante.

Por último, y no menos importante doy gracias a mis docentes, en especial a mis tribunales por guiarme en este proyecto de investigación, y sobre todo a mi tutor guía Ing. Adalid Aceituno por todas sus enseñanzas.

La inteligencia es la capacidad de adaptarse al
cambio. **Stephen Hawking**

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	11

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ACEITE.....	13
1.2 LÍPIDOS.....	13
1.2.1 Ácidos Grasos.....	14
1.3 ACEITE VEGETAL.....	15
1.3.1 Análisis Fisicoquímico de un Aceite Vegetal.....	16
1.4 SEMILLAS OLEAGINOSAS.....	17
1.4.1 Linaza.....	18
1.4.2 Semilla de Linaza.....	19

1.4.3 Aceite de semilla de Linaza.....	20
1.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE OLEAGINOSAS.....	22
1.5.1 Almacenamiento de Semillas Oleaginosas.....	25
1.5.1.1 Recepción de las semillas.....	25
1.5.1.2 Almacenamiento de las semillas.....	25
1.5.2 Secado de Semillas Oleaginosas.....	26
1.5.2.1 Fenómenos físicos que se presentan en el secado por aire de una semilla oleaginosa.....	26
1.5.2.2 Tipos de Secaderos.....	27
1.5.3 Equipos de Transporte y Pesaje.....	28
1.5.3.1 Equipos de transporte.....	28
1.5.3.2 Equipos de pesaje.....	28
1.5.4 Preparación de las Semillas Oleaginosas antes de la extracción.....	28
1.5.4.1 Limpieza de las semillas.....	28
1.5.4.2 Acondicionamiento de la semilla antes de la extracción de aceite.....	29
1.5.5 Métodos de Extracción de Aceite Vegetal.....	30
1.5.5.1 Extracción de aceite por presión.....	31
1.5.5.1.1 Prensado continuo.....	31
1.5.5.1.2 Prensado discontinuo.....	33
1.5.5.1.3 Prensado en frío.....	33
1.5.5.1.4 Prensado en caliente.....	33
1.5.5.2 Extracción de aceite por solvente.....	34
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...	37
1.5.5.2.3 Factores que influyen en la velocidad de extracción.....	39
1.5.5.2.4 Procesos de extracción por percolación e inmersión.....	41
1.5.5.3 Extracción supercrítica.....	42
1.5.6 Procesos Industriales de Obtención de Aceite de Linaza.....	42
1.5.6.1 Obtención de aceite de Linaza por prensado discontinuo o prensado en frío.....	42
1.5.6.2 Obtención del aceite de Linaza por prensado continuo.....	44
1.5.6.3 Extracción de aceite de Linaza por solventes.....	44
1.5.7 Obtención en Laboratorio de Aceite de Linaza mediante extracción por solvente.....	45
1.5.7.1 Extracción Soxhlet.....	45

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.....	47
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	48
2.2.1 Selección del método experimental de extracción de Aceite de Linaza.....	48
2.2.2 Selección del solvente utilizado en el proceso de extracción de Aceite de Linaza.....	51
2.3 DISEÑO FACTORIAL.....	52
2.3.1 Selección de Variables del Proceso Tecnológico.....	53
2.3.2 Diseño factorial 3k.....	53

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 Linaza.....	54
2.4.1.1 Descripción de los equipos utilizados.....	55
2.4.1.2 Material de laboratorio utilizado.....	60
2.4.1.3 Reactivo.....	60
2.4.2 Descripción del proceso tecnológico experimental de obtención de Aceite de Linaza.....	60
2.4.2.1 Aprovisionamiento de la materia prima.....	62
2.4.2.2 Limpieza.....	63
2.4.2.3 Molienda.....	64
2.4.2.4 Tamizado.....	65
2.4.2.4.1 Determinación del tamaño de muestra para la extracción.....	67
2.4.2.5 Extracción con Solvente.....	68
2.4.2.6 Destilación.....	70
2.4.2.7 Desolventización.....	70
2.4.2.8 Almacenamiento.....	71
2.4.3 Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite de semillas de Linaza.....	72
2.4.4 Balance de energía del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite de semillas de Linaza.....	76
2.4.5 Análisis estadístico del diseño experimental.....	78
2.4.5.1 Cálculo del Análisis de Varianza.....	79
2.5 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE LINAZA.....	85

2.5.1 Determinación del coeficiente de difusión para partículas de (1 mm).....	85
2.5.2 Determinación del coeficiente de difusión para partículas de (0,5 mm).....	87
2.5.3 Determinación del coeficiente de difusión para partículas de (0,25 mm).....	88
2.6 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO.....	90
2.6.1 Resultados de los análisis del producto final.....	90
2.7 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO.....	91

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISUSIÓN

3.1 COMPARACIÓN DE LA SEMILLA DE LINAZA.....	92
3.2 COMPARACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE SEMILLA DE LINAZA.....	92
3.3 COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE LINAZA.....	93
3.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO.....	94
3.4.1 Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción.....	95

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.....	97
4.2 RECOMENDACIONES.....	98

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Índice de Tablas

	Páginas
Tabla i-1 Aplicaciones del Aceite de Linaza.....	2
Tabla i-2 Estadísticas Mundiales del Aceite de Linaza (toneladas).....	3
Tabla i-3 Principales Países Exportadores de Aceite de Linaza.....	4
Tabla i-4 Principales Países Importadores de Aceite de Linaza.....	4
Tabla i-5 Valor de Importaciones de Aceite de Linaza por año en Bolivia.....	5
Tabla i-6 Proyección Valor de Importaciones de Aceite de Linaza por año en Bolivia.....	7
Tabla i-7 Cultivos de Linaza en Bolivia por Municipio.....	9
Tabla I-1 Aceites que se obtienen de distintas plantas.....	15
Tabla I-2 Taxonomía del cultivo de Linaza.....	18
Tabla I-3 Composición fisicoquímica de la semilla de Linaza.....	20
Tabla I-4 Composición porcentual de ácidos grasos en el Aceite de Linaza.....	21
Tabla I-5 Especificaciones del Aceite Crudo de Linaza.....	22
Tabla II-1 Composición Fisicoquímica de la semilla de Linaza.....	47
Tabla II-2 Escala de Calificación Likert.....	48
Tabla II-3 Selección del método experimental de extracción de Aceite de Linaza.....	48
Tabla II-4 Matriz de decisión para el método experimental de extracción de Aceite de Linaza.....	50
Tabla II-5 Selección del solvente para el proceso de extracción de Aceite de Linaza.....	51

Tabla II-6 Matriz de decisión para el solvente utilizado en el proceso de extracción de Aceite de Linaza.....	52
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.....	60
Tabla II-10 Especificaciones del Éter de Petróleo.....	60
Tabla II-11 Análisis granulométrico de la materia prima.....	66
Tabla II-12 Porcentaje de aceite según tamaño de muestra.....	67
Tabla II-13 Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de 5 g de semillas de Linaza.....	79
Tabla II-14 Datos para el cálculo del análisis de varianza.....	80
Tabla II-15 Factores Inter-sujetos.....	80
Tabla II-16 Pruebas de los efectos inter-sujetos.....	81
Tabla II-17 Variables introducidas/eliminadas.....	81
Tabla II-18 Ajustes de datos para el modelo lineal general.....	82
Tabla II-19 ANOVA (b).....	82
Tabla II-20 Coeficientes (a).....	82
Tabla II-21 Resultados del rendimiento experimental y obtenido con el modelo matemático.....	83
Tabla II-22 Estadísticos sobre los residuos (a).....	84
Tabla II-23 Datos experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para partículas de (1 mm).....	85
Tabla II-24 Datos experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para partículas de (0,5 mm).....	87

Tabla II-25 Datos experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para partículas de (0,25 mm).....	88
Tabla II-26 Características Fisicoquímicas del Aceite Crudo de semillas de Linaza.....	90
Tabla II-27 Perfil de ácidos grasos saturados e insaturados del Aceite crudo de Linaza.....	91
Tabla III-1 Comparación de la Materia Prima.....	92
Tabla III-2 Comparación del Aceite Crudo de Semillas de Linaza.....	93
Tabla III-3 Comparación Perfil de ácidos grasos del Aceite crudo de Linaza.....	93
Tabla III-4 Resultados de los coeficientes de difusión en la extracción.....	94
Tabla III-5 Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de 5 g de semillas de Linaza.....	95
Tabla III-6 Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de 5 g de semillas de Linaza empleando el tamaño de partícula C.....	96
Tabla III-7 Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción de Aceite de semillas de Linaza.....	97

Índice de Figuras

	Páginas
Figura 1-1 Planta de Linaza.....	19
Figura 1-2 Extracción Sólido-Líquido.....	35
Figura 1-3 Proceso de difusión molecular.....	36
Figura 1-4 Extracción Soxhlet.....	46
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.....	59
Figura 2-7 Semillas de Linaza recolectada.....	63
Figura 2-8 Separación de impurezas de la materia prima.....	64
Figura 2-9 Molienda de la materia prima.....	65
Figura 2-10 Tamizado de la materia prima.....	67
Figura 2-11 Aceite crudo de semillas de Linaza extraído de diferentes tamaños de partícula.....	68
Figura 2-12 Extracción de aceite de semillas de Linaza.....	69
Figura 2-13 Destilación.....	70
Figura 2-14 Desolventización del aceite.....	71
Figura 2-15 Aceite de Semillas de Linaza.....	72

Índice de Diagramas

	Páginas
Diagrama 1-1 Diagrama General de Obtención de Aceite Refinado de Semillas Oleaginosas.....	24
Diagrama 1-2 Extracción de Aceite de Linaza por prensado discontinuo o prensado en frío.....	43
Diagrama 1-3 Extracción de Aceite de Linaza por prensado continuo.....	44
Diagrama 1-4 Extracción de Aceite de Linaza mediante extracción por solvente....	45
Diagrama 2-1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite de Linaza.....	62
Diagrama 2-2 Diagrama de Bloques del proceso tecnológico experimental.....	73