

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



OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRACTO DE CLOROFILA A
PARTIR DE HOJAS DE REMOLACHA ROJA (*Beta Vulgaris L.*)
PRODUCIDA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Por:

MARIA FERNANDA LLAVE SANCHEZ

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.

JULIO DE 2025
TARIJA – BOLIVIA

V°B°

Msc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

Msc. Ing. Fernando Erick Cortez Michel

VICEDECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes

DIRECTOR DE CARRERA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Myrian A. Barrero O

Ing. María Luz Cáceres

Ing. David Blades M.

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la sabiduría y el coraje para hacer lo correcto, por la enseñanza de día a día, por guiar mi camino y siempre bendecir mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre y me inculcaron los valores para poder triunfar en la vida.

A todos los docentes de la Carrera de Ing. Química de la UAJMS, que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y contenta.

Al Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés de la ciudad de La Paz, en especial al Ing. Santiago Tarqui y al Ing. Humberto Gallo por la Orientación brindada.

PENSAMIENTO

*Comienza haciendo lo necesario,
después lo que es posible y de
repente estarás haciendo lo
imposible.*

San Francisco de Asís

ÍNDICE

ADVERTENCIA	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
PENSAMIENTO	IV
RESUMEN.....	V
1 CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Generalidades.....	1
1.3 Producción de Remolacha.....	2
1.3.1 Producción Internacional	2
1.3.2 Producción Nacional y Regional.....	4
1.4 Conceptualización de la idea del Proyecto de Grado, Obtención experimental de extracto de clorofila.....	5
1.5 Aspectos del Mercado de Colorantes.....	5
1.5.1 Principales países exportadores de colorantes	5
1.5.2 Principales y potenciales materias primas para la producción de colorantes naturales.....	6
1.6 Mercado Internacional de colorantes de clorofila.....	7
1.6.1 Producción de colorante Clorofila en Bolivia.....	9
1.6.2 Empresas de colorantes de clorofila a Nivel Internacional.....	11
1.6.3 Planteamiento técnico propuesto.....	12

1.7	Objetivos	12
1.7.1	Objetivo General	12
1.7.2	Objetivos específicos	12
1.8	Justificación del proyecto de grado	13
1.8.1	Justificación Tecnológica.....	14
1.8.2	Justificación Social.....	14
1.8.3	Justificación Ambiental.....	15
1.8.4	Justificación Económica.....	15

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes del estudio.....	16
2.2	Caracterización de la Materia Prima: Remolacha Roja (Beta vulgaris)	16
2.2.1	Descripción botánica	16
2.2.2	Hojas de remolacha	19
2.3	Definición de colorante y pigmento	23
2.3.1	Clasificación de los colorantes.....	24
2.4	Clorofila	28
2.4.1	Estructura química de la molécula de clorofila.....	29
2.4.2	Degradación de las clorofilas	31
2.4.3	Aplicaciones y usos de la clorofila.....	35
2.5	Métodos de Extracción de Clorofila	36
2.5.1	Extracción por Maceración	36
2.5.2	Extracción por Lixiviación.....	37

2.5.3	Extracción con Equipo Soxhlet.....	38
2.5.4	Extracción por Cocciones	40
2.6	Descripción de solventes para la extracción de la Clorofila	40
2.6.1	Alcohol etílico o Etanol	41
2.6.2	Metanol	41
2.6.3	Acetona	42
2.6.4	Hexano	42
2.7	Métodos de Cuantificación de Clorofila	43
2.7.1	Espectrofotometría UV-Vis	43
2.8	Factores a tener en cuenta a la hora de procesar las muestras	47
2.8.1	Inhibición Enzimática	48
2.8.2	Inactivación Enzimática.....	50
2.8.3	Almacenamiento	50
2.9	Conservación y almacenamiento de extractos	50
2.10	Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha	51
2.11	Selección del solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (Beta Vulgaris L.)	58
2.11.1	Concentración de extracto de clorofila	62

3 CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1	Caracterización de Materia Prima.....	64
-----	---------------------------------------	----

3.2	Descripción y Análisis de la materia prima	65
3.3	Diseño Experimental.....	68
3.3.1	Selección de Variables del Proceso Tecnológico.....	68
3.4	Diseño Factorial	69
3.4.1	Diseño Factorial 3K	69
3.4.2	Identificación y operaciones de variables	70
3.4.3	Variable Respuesta.....	73
3.5	Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados.	73
3.5.1	Material de laboratorio, equipos y reactivos	74
3.5.2	Equipos.....	75
3.6	Procedimiento Experimental.....	76
3.6.1	Recolección de la materia prima	76
3.6.2	Determinación de humedad de las hojas frescas.....	78
3.6.3	Selección y limpieza de la materia prima	78
3.6.4	Secado a sombra de las hojas de remolacha.....	79
3.6.5	Secado del extracto de clorofila empleando el equipo Rotavapor	84
3.6.6	Almacenamiento del producto	85
3.6.7	Cuantificación de la clorofila	86
3.7	Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de Extracto de clorofila a partir de las hojas de la remolacha roja (Beta Vulgaris L.)	86
3.7.1	Balance de Materia.....	89
3.8	Balance de Energía proceso tecnológico experimental de obtención de Extracto de clorofila a partir de las hojas de la remolacha roja (Beta Vulgaris L.)	103

3.8.1	Balance de Energía en el Manto de Calefacción.....	103
3.8.2	Balance de Energía en Equipo Soxhlet	103
3.8.3	Balance de Energía en el Refrigerante	104
3.8.4	Balance de Energía en el Rota vapor	104
3.8.5	Balance de Energía en el Condensador	105
3.8.6	Balance de Energía en la Estufa (producto).....	106
3.9	Análisis estadístico del diseño experimental	107
3.9.1	Cálculo del Análisis de Varianza	108
3.10	Análisis del producto obtenido	116
3.10.1	Resultados de los análisis del producto final	117
3.10.2	Concentración de clorofila en extracto obtenido	118
4	CAPÍTULO IV	
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1	Resultados de los análisis de las hojas de remolacha roja (Beta Vulgaris L).	
	119	
4.1.1	Comparación de Materia Prima Hojas de Remolacha Roja (Beta Vulgaris L.)	122
4.2	Resultados de los análisis de extracto de clorofila.....	124
4.3	Influencia de los parámetros sobre la concentración	130
4.3.1	Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción	
	131	
4.4	Análisis de Costos	133
4.4.1	Costo del Estudio	133

4.4.2	Costo de Producción	138
5	CAPÍTULO V	
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	140
5.2	Recomendaciones.....	142
	BIBLIOGRAFÍA	142
	ANEXOS	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Producción de Hortalizas Betarraga, año agrícola 2023</i>	4
Tabla 2 <i>Principales materias primas para la producción de colorantes naturales</i>	7
Tabla 3 <i>Perspectivas del mercado de clorofila</i>	8
Tabla 4 <i>Clasificación de los colorantes naturales verdes autorizados de acuerdo con diversas regulaciones</i>	11
Tabla 5 <i>Empresas de colorantes de clorofila a Nivel Internacional</i>	11
Tabla 6 <i>Taxonomía de la Remolacha</i>	18
Tabla 7 <i>Composición química en 100 g remolacha roja</i>	19
Tabla 8 <i>Composición química en 100 g de hoja de remolacha</i>	21
Tabla 9 <i>Concentración de clorofila total en hojas de diferentes especies vegetales</i> ..	22
Tabla 10 <i>Toxicología de Colorantes</i>	26
Tabla 11 <i>Obtención y aplicación de colorantes naturales</i>	27
Tabla 12 <i>Componentes de la Clorofila</i>	30
Tabla 13 <i>Usos de la clorofila en diferentes industrias</i>	36
Tabla 14 <i>Escala de calificación de Likert</i>	52
Tabla 15 <i>Factores a evaluar y porcentaje de evaluación para la selección de proceso tecnológico obtención de clorofila a partir de hojas de remolacha roja(Beta Vulgaris L.)</i>	53
Tabla 16 <i>Matriz de decisión para selección del proceso</i>	55
Tabla 17 <i>Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de extracto de clorofila</i>	58

Tabla 18 <i>Matriz de decisión para el solvente utilizado en el proceso de obtención de extracto de clorofila a partir de las hojas de remolacha roja (Beta Vulgaris L.)</i>	60
Tabla 19 <i>Concentración de extracto de clorofila</i>	63
Tabla 20 <i>Análisis Fisicoquímico de hojas de remolacha</i>	66
Tabla 21 <i>Composición química en 100 gr de hoja de remolacha</i>	67
Tabla 22 <i>Concentración de clorofila en hojas de remolacha</i>	68
Tabla 23 <i>Codificación de las variables</i>	70
Tabla 24 <i>Identificación y operaciones de variables</i>	71
Tabla 25 <i>Matriz de Diseño factorial para la extracción de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja</i>	73
Tabla 26 <i>Materiales</i>	74
Tabla 27 <i>Equipos</i>	75
Tabla 28 <i>Reactivos</i>	76
Tabla 29 <i>Corrientes del Proceso</i>	88
Tabla 30 <i>Datos experimentales del proceso de obtención del extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja</i>	107
Tabla 31 <i>ANOVA (Análisis de Varianza)</i>	110
Tabla 32 <i>Análisis de Varianza para el Modelo de Regresión Lineal</i>	113
Tabla 33 <i>Datos para el cálculo del análisis de varianza</i>	114
Tabla 34 <i>Factores Inter-sujetos</i>	115
Tabla 35 <i>Pruebas de efectos inter-sujetos</i>	115
Tabla 36 <i>Características Fisicoquímicas de Extracto de Clorofila a partir de hojas de remolacha</i>	117

Tabla 37 <i>Cuantificación de concentración de clorofila en extracto obtenido</i>	118
Tabla 38 <i>Composición Nutricional y análisis físico-químico en hoja de remolacha</i>	119
Tabla 39 <i>Cuantificación de clorofila en hojas de remolacha roja (Beta Vulgaris L.)</i>	120
Tabla 40 <i>Obtención de extracto de clorofila hasta quitar el pigmento por completo de las hojas</i>	121
Tabla 41 <i>Comparación de Materia Prima</i>	122
Tabla 42 <i>Comparación de concentración de clorofila en algunas hojas comparando con las hojas de remolacha usadas en el proyecto</i>	123
Tabla 43 <i>Comparación Extracto de Clorofila</i>	124
Tabla 44 <i>Cuantificación de concentración de clorofila en extracto obtenido</i>	126
Tabla 45 <i>Comparación de Extracto de Clorofila</i>	127
Tabla 46 <i>Comparación de concentración de clorofila en hojas frente a concentración de clorofila en extracto obtenido</i>	128
Tabla 47 <i>Cuantificación de Extracto de Clorofila experimental y bibliográfica</i>	129
Tabla 48 <i>Datos experimentales de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja</i>	130
Tabla 49 <i>Datos experimentales del proceso de obtención de Extracto de Clorofila</i>	131
Tabla 50 <i>Condiciones de operación recomendada para el proceso de obtención de extracto de clorofila</i>	133
Tabla 51 <i>Detalle de costos de Materia Prima y Solventes</i>	134
Tabla 52 <i>Detalle de Costos de Materiales</i>	134
Tabla 53 <i>Detalle de Costos de Análisis</i>	135

Tabla 54 <i>Detalle de Costos Material de Apoyo</i>	137
Tabla 55 <i>Detalle de Costos Totales</i>	137
Tabla 56 <i>Costo de Funcionamiento de los Equipos</i>	138
Tabla 57 <i>Costo de Material</i>	139
Tabla 58 <i>Concentración de clorofila en hojas de remolacha</i>	140
Tabla 59 <i>Resultados de extracto</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Extracto de Clorofila</i>	10
Figura 2 <i>Remolacha Roja Beta Vulgaris L.</i>	16
Figura 3 <i>Hoja de remolacha (Beta vulgaris L.)</i>	20
Figura 4 <i>Clasificación de los colorantes</i>	25
Figura 5 <i>Estructura y localización de la clorofila</i>	28
Figura 6 <i>Estructura química de la clorofila a y b</i>	30
Figura 7 <i>Degradación de la Clorofila</i>	32
Figura 8 <i>Equipo Soxhlet</i>	39
Figura 9 <i>Absorción de la clorofila en el espectro visible</i>	44
Figura 10 <i>Esquema del Espectrofotómetro UV-Visible</i>	47
Figura 11 <i>Etapas en diagrama de bloques para el proceso obtención de extracto de clorofila a partir de hojas de Remolacha</i>	62
Figura 12 <i>Hojas de remolacha</i>	65
Figura 13 <i>Ubicación geográfica</i>	77
Figura 14 <i>Recolección de Materia Prima</i>	77
Figura 15 <i>Proceso de selección y limpieza de la materia prima</i>	79
Figura 16 <i>Secado de las hojas de remolacha</i>	80
Figura 17 <i>Almacenamiento de las hojas</i>	81
Figura 18 <i>Trituración y tamizados de las hojas secas</i>	82
Figura 19 <i>Extracción de clorofila por método Soxhlet</i>	83
Figura 20 <i>Secado del extracto de clorofila empleando el equipo Rotavapor</i>	84

Figura 21 <i>Desolventización del extracto de clorofila</i>	85
Figura 22 <i>Desolventización del extracto de clorofila</i>	86
Figura 23 <i>Diagrama de Bloques del Proceso</i>	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 <i>Países con mayor producción de remolacha</i>	3
Gráfico 2 <i>Principales países exportadores de colorantes de origen natural y animal en el año 2018</i>	6
Gráfico 3 <i>Concentración de Extracto de Clorofila utilizando la relación soluto/solvente</i>	132

NÓMINA DE ANEXOS

Anexo I: *Certificado de autorización uso de laboratorio “Sala de Cromatografía -lab. Bioorgánica” del Instituto de Investigaciones Químicas de la Carrera de Ciencias Químicas, de la Universidad Mayor de San Andrés.*

Anexo II: *Informes de laboratorios*

Anexo III: *Técnicas de análisis-Determinación de extracto de clorofila a partir de hojas de remolacha roja (beta vulgaris l.)*

Anexo IV: *Especificaciones técnicas de los Equipos de laboratorio*

Anexo V: *Especificaciones técnicas de reactivos utilizados*

Anexo VI: *Fotografías de la investigación*