

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

PROYECTO DE GRADO



OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE CRUDO DE AMARANTO
(Amaranthus Caudatus L.) **CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

WALESKHA DAYANNA ANTELO RAMOS

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.

Abril de 2021

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozávez
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Adalid Aceituno Cáceres

Ing. Héctor Francisco Quiroga Torrez

Ing. Lorena Melina Jaramillo Ávila

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

Dedicado a:

Mis ángeles en la tierra y el cielo, José Hidalgo y Carlos Antelo.

Al ser de luz que me ha cuidado, animado, educado y protegido desde el primer día, mi mamita querida Dora Cortez.

A mi familia, por creer en mí, por brindarme su inmenso amor y confianza durante todo este tiempo, en especial a mis hermanos Hans y Yessenia son el pilar fundamental de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme vida, salud y sabiduría para culminar con éxito mis estudios.

A mis padres, James Antelo y Ninoska Ramos, por confiar en mí y permitirme realizar este sueño, por sus consejos, comprensión, apoyo y sustento a lo largo de todo el camino.

A mis abuelas Elsa Suárez y Nellshy Hidalgo por alentarme a conquistar mis ideales, por ser la fuente de motivación e inspiración para superarme día a día.

De manera muy especial a Verónica Ferrari, Meliza Loaiza y Pablo Jijena, por brindarme el ánimo, la fuerza y cariño necesario para salir adelante, por estar desde el principio y hasta el final, son mis hermanos de otra madre.

A mis amigos, Adriana Lizárraga, Branko Sfarcich, Carlos Castellón, Lizeth Aramayo y Luis Tapia, a su lado las noches de desvelo, los exámenes, trabajos y tareas, se convirtieron en la más grata y divertida experiencia, ha sido un placer compartir esta aventura con ustedes, los quiero demasiado.

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

PENSAMIENTO

“Haz de tu vida un sueño, y de tu sueño una realidad”

Antoine de Saint-Exupéry

ÍNDICE

	Página
ADVERTENCIA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Generalidades.....	1
1.1.2. Aspectos Fundamentales del Producto: Aceite de Amaranto	2
1.1.2.1. Aspectos del Mercado.....	2
1.1.2.2. Procesos Tecnológicos empleados.....	12
1.1.2.3. Producción de Amaranto	13
1.1.3. Problema de Desarrollo.....	15
1.1.3.1. Causas directas.....	15
1.1.3.2. Idea del Proyecto	16
1.1.4. Planteamiento Técnico Propuesto	16
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1. Objetivo General	16

1.2.2.	Objetivos Específicos.....	16
1.3.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO	16
1.3.1.	Justificación Económica.....	17
1.3.2.	Justificación Tecnológica.....	17
1.3.3.	Justificación Social.....	18
1.3.4.	Justificación Ambiental.....	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

		Página
2.1.	GENERALIDADES DE LOS ACEITES VEGETALES	19
2.1.1.	Definición.....	19
2.1.2.	Características de los aceites vegetales	19
2.1.3.	Clasificación de los aceites Vegetales.....	19
2.1.4.	Aceite Vegetal Crudo	20
2.2.	ORIGEN DEL AMARANTO	20
2.2.1.	Especies de Amaranto	21
2.3.	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL AMARANTO	22
2.4.	DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL AMARANTO	26
2.4.1.	Composición Química de la semilla de Amaranto.....	27
2.5.	AMARANTHUS CAUDATUS L.	27
2.6.	PRODUCCIÓN DE AMARANTO	28
2.7.	ACEITE DE AMARANTO	32

2.7.1.	Propiedades, Usos y Beneficios del Aceite de Amaranto	32
2.7.2.	Comercialización de Aceite de Amaranto.....	33
2.8.	LEYES Y NORMATIVAS	33
2.9.	PROCESOS TECNOLÓGICOS VIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES	34
2.9.1.	Proceso de extracción mediante Prensado, Prensa hidráulica.....	34
2.9.2.	Proceso de extracción mediante Emulsión.....	35
2.9.3.	Proceso de extracción en Condiciones Supercríticas	36
2.9.4.	Extracción de aceite vegetal mediante solvente, Método Soxhlet	37
2.10.	CALIDAD EN ACEITES	42
2.10.1.	Densidad.....	43
2.10.2.	Índice de refracción.....	43
2.10.3.	Índice de Yodo	43
2.10.4.	Índice de Peróxido.....	43
2.10.5.	Índice de Saponificación	43
2.10.6.	Índice de Acidez.....	43
2.11.	DATOS EXPERIMENTALES Y DE APLICACIÓN PRÁCTICA OBTENIDOS POR OTROS AUTORES.....	44

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

	Página	
3.1.	INTRODUCCIÓN	47
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA: SEMILLA DE AMARANTO (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>).....	48

3.2.1.	Determinación del porcentaje de Humedad en las semillas de Amaranto.....	49
3.2.2.	Determinación del porcentaje de Cenizas en las semillas de Amaranto ..	50
3.3.	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL DE LABORATORIO UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE DE AMARANTO (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>) CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA.....	51
3.3.1.	Descripción de los equipos de los equipos de laboratorio	51
3.3.2.	Descripción de los Instrumentos de laboratorio.....	55
3.3.3.	Descripción de los Materiales de Laboratorio.....	58
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS UTILIZADOS	61
3.4.1.	Solvente (Alcohol Etílico) Etanol: Reactivo químico utilizado como solvente en la extracción de aceite crudo vegetal de Amaranto (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>), cultivado en el departamento de Tarija.....	61
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	61
3.6.	DISEÑO FACTORIAL.....	62
3.6.1.	Planteamiento del Diseño Factorial.....	62
3.6.2.	Variables del Diseño Factorial	63
3.6.3.	Niveles del Diseño Factorial y Construcción del Diseño Factorial	64
3.6.4.	Número de Combinaciones del Diseño Factorial.....	65
3.7.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO A SER EMPLEADA	66
3.7.1.	Descripción de la Metodología del Estudio	66
3.8.	DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE CRUDO DE AMARANTO (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>).....	70
3.8.1.	Recolección y Selección de materia prima	73

3.8.2.	Limpieza.....	73
3.8.3.	Pesaje.....	74
3.8.4.	Molienda.....	74
3.8.5.	Tamizado.....	75
3.8.6.	Extracción.....	77
3.8.7.	Destilación.....	81
3.8.8.	Aireación:.....	82
3.8.9.	Almacenamiento:	82
3.9.	Caracterización de Aceite crudo vegetal de Amaranto (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>) cultivado en el departamento de Tarija.	83
3.9.1.	Características Organolépticas	83
3.9.2.	Características Fisicoquímicas	84

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	Página
4.1. CARACTERÍSTICAS FISICO QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA.....	85
4.1.1. Determinación del contenido de Humedad	85
4.1.2. Determinación del Contenido de Cenizas	87
4.1.3. Perfil Taxonómico.....	88
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	89
4.3. CARACTERÍSTICAS Y PRINCIPALES COMPONENTES DEL ACEITE DE AMARANTO OBTENIDO.....	97
4.3.1. Características Organolépticas del Aceite de Amaranto	97

4.3.2.	Características Fisicoquímicas del Aceite de Amaranto	97
4.3.3.	Comparación de Análisis Físicos Químicos con datos Bibliográficos	99
4.4.	BALANCE DE MATERIA	100
4.4.1.	Balance de Materia en la Limpieza	101
4.4.2.	Balance de Materia en la Molienda.....	102
4.4.3.	Balance de Materia en el Tamizado	102
4.4.4.	Balance de Materia en la Extracción.....	103
4.4.5.	Balance de Materia en la Destilación.....	103
4.4.6.	Balance de Materia en la Aireación	104
4.5.	BALANCE DE ENERGÍA	106
4.5.1.	Balance de Energía Proceso de Molienda: Molino Eléctrico Perten	106
4.5.2.	Balance de Energía Proceso de Tamizado: Tamiz Vibratorio	106
4.5.3.	Balance de Energía Proceso de Extracción: Plancha de Calentamiento AKITA BLUE CE – 1482 R.....	107
4.5.4.	Balance de Energía Proceso de Destilación: Plancha de Calentamiento AKITA BLUE CE – 1482 R.....	107
4.5.1.	Balance de Energía Proceso de Aireación: Estufa de Secado Heraeus ..	107
4.6.	DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO EN EL PROCESO OBTENCIÓN DE ACEITE CRUDO VEGETAL DE AMARANTO (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>), PRODUCIDO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA.....	109
4.6.1.	Cálculo del Rendimiento del Aceite.....	109
4.6.2.	Comparación Rendimiento.....	110
4.7.	COSTO DE PRODUCCIÓN – ESCALA LABORATORIO	111
4.7.1.	Costos de la Realización del Proyecto	112

4.7.2.	Estimación de Costos del Proyecto, Suponiendo como Solvente: Éter de Petróleo.....	115
4.7.3.	Estimación de Costos del Proyecto, Suponiendo como Solvente: n-Hexano.....	117

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

		Página
5.1.	CONCLUSIONES	119
5.2.	RECOMENDACIONES	122

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

	Página
REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.....	123

Índice de Cuadros y/o Tablas

	Página
Cuadro I-1 Principales Productores de Aceite de Amaranto a Nivel Mundial.....	10
Cuadro I-2 Principales Productores de Aceite de Amaranto a nivel Latino-Americano.....	10
Cuadro I-3 Productos a partir de Amaranto	15
Cuadro II-1 Taxonomía del Amaranto.....	26
Cuadro II-2 Nombres comunes Amaranthus Caudatus L., América del Sur	28
Cuadro II-3 Análisis Comparativo de los diversos Solventes.....	41
Cuadro III-1 Material de Laboratorio empleado en la Extracción de Aceite de Amaranto.....	58
Cuadro III-2 Metodología del Estudio	68
Cuadro III-3 Diagrama de Bloques, Proceso de Obtención de aceite de Amaranto ...	71
Cuadro IV-1 Taxonomía Amaranto (Amaranthus Caudatus L.), producido en el departamento de Tarija.....	89
Tabla I- 1 Principales Países en el mundo, exportadores de aceites vegetales para usos diferentes al rubro alimenticio, Valor exportado en miles de dólares (Miles de \$us) ..	3
Tabla I- 2 Principales Aceites con Destino a uso Cosmético – Medicinal	7
Tabla I- 3 Producción Mundial Total de Aceites Vegetales por producto (en millones de toneladas).....	9

Tabla I- 4 Estimación de Producción, Rendimiento y Superficies de Amaranto por Zonas de Producción Periodo 2013-2014.	14
Tabla I- 5 Principales mercados de Bolivia para Amaranto, año 2007.....	14
Tabla II-1 Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca).....	27
Tabla II-2 Minerales del Amaranto (Amaranthus Caudatus L.)	28
Tabla II-3 Características Alcohol Etilico (Etanol)	40
Tabla II-4 Características Éter de Petróleo	40
Tabla II-5 Características n-Hexano	41
Tabla II-6 Datos Bibliográficos de Rendimiento Experimental en la obtención de Aceite crudo de Amaranto	42
Tabla II-7 Precios de los diversos solventes (Bs)	42
Tabla II-8 Resultados para el Grano de Amaranto Obtenidos en la investigación de Calderón Sonia, 2017	46
Tabla II-9 Resultados para el Aceite de Amaranto Obtenidos en la investigación de Calderón Sonia, 2017	46
Tabla III-1 Especificaciones del Etanol	61
Tabla III-2 Análisis Granulométrico de la Materia.....	64
Tabla III-3 Factores y dominio experimental de las variables de estudio para Alcohol Etilico	65
Tabla III-4 Construcción de la matriz de diseño	65
Tabla IV-1 Variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo.....	86
Tabla IV-2 Resultados Contenido de Humedad en Semillas de Amaranto.	87
Tabla IV-3 Resultados Contenido de Cenizas en Semillas de Amaranto	87

Tabla IV-4 Valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica de la materia prima, frente a valores en otro departamento de Bolivia.....	88
Tabla IV-5 Valores de la Norma NB – 336004:2006 Amaranto	88
Tabla IV-6 Datos para el análisis de Varianza.....	90
Tabla IV-7 Factores inter-sujetos.....	90
Tabla IV-8 Pruebas de los efectos inter – sujetos	91
Tabla IV-9 Variables introducidas/eliminadas.....	92
Tabla IV-10 Ajustes de datos para el modelo lineal general	92
Tabla IV-11 Análisis de varianza ANOVA	92
Tabla IV-12 Coeficientes	93
Tabla IV-13 Estadísticos sobre residuos	94
Tabla IV-14 Rendimiento Experimental y Rendimiento obtenido con el modelo matemático ajustado.....	95
Tabla IV-15 Características Organolépticas Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (Amaranthus Caudatus L.) cultivado en el departamento de Tarija.....	97
Tabla IV-16 Características Fisicoquímicas del Aceite de Amaranto (Amaranthus Caudatus L.) cultivado en el departamento de Tarija	98
Tabla IV-17 Comparación Análisis Fisicoquímico para Aceites de Amaranto	99
Tabla IV-18 Comparación Rendimiento de Obtención de Aceite de Amaranto	110
Tabla IV-19 Detalle Costo de Materia Prima y Reactivos.....	112
Tabla IV-20 Detalle Costo Análisis de Laboratorio Materia Prima	112
Tabla IV-21 Detalles Costo Análisis de Laboratorio Producto Final	112
Tabla IV-22 Detalle Costo Servicios Directos e Indirectos	113
Tabla IV-23 Detalle Costo Energético	113
Tabla IV-24 Detalle Costo de Materiales directos e indirectos	114
Tabla IV-25 Detalle Costo Total de la Investigación.....	114
Tabla IV-26 Estimación de Costos Materia Prima y Reactivos (Éter de Petróleo) ..	115
Tabla IV-27 Estimación de Costo Energético (Éter de Petróleo).....	115

Tabla IV-28 Estimación de Costo Operativo Total (Éter de Petróleo)	116
Tabla IV-29 Estimación de Costos Materia Prima y Reactivos (n-Hexano)	117
Tabla IV-30 Estimación de Costo Energético (n-Hexano).....	117
Tabla IV-31 Estimación de Costo Operativo Total (n-Hexano)	118

Índice de Figuras

Página

Fig. 1- 1 Consumo de aceites vegetales en el Mundo entre 1995/1996 y 2014/2015 por tipo aceite (en millones de toneladas métricas)	11
Fig. 2- 1 Distribución del género Amaranthus en América.....	21
Fig. 2- 2 Planta de Amaranto, especie Amaranthus Caudatus.....	22
Fig. 2- 3 Hoja de Amaranto	23
Fig. 2- 4 Fruto de Coime	24
Fig. 2- 5 Semillas de Amaranto	25
Fig. 2- 6 Secciones transversal y longitudinal del grano de Amaranto	26
Fig. 2- 7 Áreas de Cultivo Nativo de Especies Graníferas del Género Amaranthus.....	29
Fig. 2- 8 Áreas de Cultivo, Amaranthus Caudatus L., América del Sur	30
Fig. 2- 9 Sitios de recolección de Amaranto almacenados en el Banco de Germoplasma de Granos Andinos	31
Fig. 2- 10 Áreas de Dispersión Cultivos Locales Amaranthus Caudatus L, Valle central de Tarija.....	31
Fig. 2- 11 Esquema Modelo de Prensa Hidráulica para obtención de aceite de semillas oleaginosas.....	35
Fig. 2- 12 Esquema de Equipo de Extracción Soxhlet Tradicional.....	39
Fig. 3 - 1 Ubicación Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho	47
Fig. 3 - 2 Semilla de Amaranto.....	48
Fig. 3 - 3 Secador infrarrojo SARTORIUS MA 100.....	49
Fig. 3 - 4 Molino de Martillos	51
Fig. 3 - 5 Tamiz vibratorio y mallas	52
Fig. 3 - 6 Extractor Soxhlet	53

Fig. 3 - 7 Estufa	54
Fig. 3 - 8 Autoclave	54
Fig. 3 - 9 Balanza Analítica.....	55
Fig. 3 - 10 Balanza Digital.....	56
Fig. 3 - 11 Termómetro Digital	56
Fig. 3 - 12 Termómetro.....	57
Fig. 3 - 13 Calentador Digital.....	57
Fig. 3 - 14 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE CRUDO DE AMARANTO (Amaranthus Caudatus L.).....	72
Fig. 3 - 15 Selección y Limpieza de la Materia Prima	73
Fig. 3 - 16 Semilla de Amaranto acondicionada y lista para proceso de Molienda.	74
Fig. 3 - 17 Molienda de Semillas de Amaranto en Molino de Martillos.....	75
Fig. 3 - 18 Proceso de Tamizado de la Harina de Amaranto.....	76
Fig. 3 - 19 Harina de Amaranto.....	77
Fig. 3 - 20 Cartucho preparado para extracción	78
Fig. 3 - 21 Extracción de Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (Amaranthus Caudatus L.) cultivado en el departamento de Tarija.....	79
Fig. 3 - 22 Harina de Amaranto Desgrasada	80
Fig. 3 - 23 Mezcla Aceite - Solvente	80
Fig. 3 - 24 Destilación y Recuperación del Solvente	81
Fig. 3 - 25 Aireación del Solvente.....	82
Fig. 3 - 26 Almacenamiento del Aceite Crudo Vegetal de Amaranto.....	82
Fig. 3 - 27 Muestra Final Aceite de Amaranto, obtenido con Etanol al 96%.....	83
Fig. 4- 1 Variación de la Humedad Respecto al Tiempo.....	86
Fig. 4- 2 Gráfica comparativa del Redimiendo experimental y Rendimiento modelo matemático.....	96
Fig. 4- 3 Balance de materia en el proceso de extracción de aceite	100

ANEXOS

Anexo 1 Resultados Análisis Físicoquímico de la Materia Prima

Anexo 2 Resultados Perfil Taxonómico Materia Prima

Anexo 3 Resultados Análisis Físicoquímicos del Producto Final, Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.

Anexo 4 Ficha Técnica Reactivo: Alcohol Etílico

Anexo 5 Norma Ecuatoriana Conceptos y Parámetros para el grano de Amaranto

Anexo 6 CODEX ALIMENTARIUS

Anexo 7 Especificaciones Técnicas Equipos: Balanza Analítica

Anexo 8 Especificaciones Técnicas Equipos: Balanza Digital

Anexo 9 Especificaciones Técnicas Equipos: Molino de Martillos

Anexo 10 Especificaciones Técnicas: Tamiz Vibratorio

Anexo 11 Especificaciones Técnicas: Plancha de Calentamiento

Anexo 12 Especificaciones Técnicas: Autoclave

Anexo 13 Especificaciones Técnicas: Secador Infrarrojo