

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia Hispanica L.*)
MEDIANTE SOLVENTE**

Por:

MARIBEL MAMANI POMA

**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**

Noviembre de 2016

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Msc. Ing. Ernesto Álvarez Gozálvéz
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

Msc. Ing. Silvana Paz Ramírez
VICEDECANA
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. René Emilio Michel Cortés

Ing. Ernesto Caihuara Alejandro

Ing. David Blades Medrano

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:

Dios por ser mi luz y guía en mi camino.

Mis padres Florentino y Eulogia por ser el apoyo incondicional en los momentos de angustia, por darme las fuerzas para seguir adelante, por su comprensión y amor.

Mis hermanos Marleni y Ángel Dino por su cariño, amor, por darme el apoyo y la alegría en los momentos más necesitados.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar con éxito la carrera.

A mis queridos padres Florentino y Eulogia por ser el ejemplo de mi familia, por enseñarme que la vida no es fácil y que nunca debemos darnos por vencidos, gracias por hacer de mi vida un mundo lleno de alegría y de amor.

A Marleni, mi hermanita por brindarme su apoyo moral, por las ganas de seguir adelante y por enseñarme que la vida es dura pero que si das todo de ti puedes obtener lo que buscas. Muchas gracias hermanita querida.

A Ángel Dino, mi hermanito, son tantas cosas que de ti aprendo, las alegrías que siempre me transmites los buenos momentos y sobre todo, el amor que siempre nos das, por todo eso, muchas gracias mi pequeño travieso.

A la Universidad Juan Misael Saracho por abrirme las puertas y por formarme como profesional.

A mi tutor Ing. Juan Pablo Herbas por brindarme todo el conocimiento. Al Ing. Ignacio Velásquez por toda la colaboración.

ÍNDICE

Páginas

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. ORIGEN DE LA CHÍA	8
1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA DE LA CHÍA	9
1.3. SEMILLA DE CHÍA	11
1.4. PROPIEDADES DE LA SEMILLA DE CHÍA.....	12
1.5. ACEITES VEGETALES	13
1.5.1. DEFINICIÓN DE ACEITE	13
1.5.2. ÁCIDOS GRASOS	13
1.6. ACEITE DE CHÍA	14
1.6.1. PROPIEDADES DEL ACEITE DE CHÍA	15
1.6.2. USOS Y APLICACIONES DEL ACEITE DE CHÍA.....	16
1.7. PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE SOLVENTE	18
1.7.1. PREPARACIÓN DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS	19
1.7.2. EXTRACCIÓN POR SOLVENTE.....	20
1.7.3. ACEITE CRUDO	22
1.8. TEORÍA DE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LIQUÍDO POR SOLVENTE.....	23
1.8.1. DEFINICIÓN	23
1.8.2. TRANSPORTE DE MASA EN LA EXTRACCIÓN.....	24
1.8.3. DIFUSIVIDAD EN LA EXTRACCIÓN	25
1.8.4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN	25

1.9. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN	28
1.10. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	29
1.11. SELECCIÓN DEL SOLVENTE PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CHÍA	30
1.11.1. MATRIZ DE DECISIÓN PARA LA SELECCIÓN DEL SOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CHÍA	32
1.12. CALIDAD DE LOS ACEITES	33
1.12.1. DENSIDAD	33
1.12.2. ÍNDICE DE REFRACCIÓN	33
1.12.3. ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	33
1.12.4. ÍNDICE DE YODO	33
1.12.5. ÍNDICE DE PERÓXIDO.....	33
1.12.6. ÍNDICE DE ACIDEZ	34

CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

2. INTRODUCCIÓN	35
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	35
2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	35
2.2.1. DISEÑO FACTORIAL.....	36
2.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE CHÍA.....	36
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DEL ACEITE DE CHÍA.....	39
2.3.1. EXTRACTOR SOXHLET	39
2.3.2. TAMIZ VIBRATORIO	40
2.3.3. BALANZA ANALÍTICA.....	41
2.3.4. MOLINO.....	41
2.3.5. ESTUFA.....	42

2.3.6. MATERIALES DE LABORATORIO	43
2.3.7. REACTIVO	43
2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE CHÍA... 44	
2.4.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	45
2.4.2. LIMPIEZA	45
2.4.3. MOLIENDA	45
2.4.4. TAMIZADO	46
2.4.5. EXTRACCIÓN	46
2.4.6. DESTILACIÓN	49
2.4.7. AIREACIÓN.....	49
2.4.8. ALMACENAMIENTO	50
2.5. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CHÍA.....	51
2.5.1. BALANCE DE MATERIA EN LA LIMPIEZA	52
2.5.2. BALANCE DE MATERIA EN LA MOLIENDA	53
2.5.3. BALANCE DE MATERIA EN LA EXTRACCIÓN	54
2.5.4. BALANCE DE MATERIA EN LA DESTILACIÓN	54
2.5.5. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE AIREACIÓN.....	55
2.6. BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CHÍA.....	56
2.6.1. BALANCE DE ENERGÍA EN LA EXTRACCIÓN.....	57
2.6.2. BALANCE DE ENERGÍA EN LA DESTILACIÓN	59
2.7. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE CHÍA.....	62
2.7.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL ACEITE DE CHÍA	62
2.7.2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN EL ACEITE DE CHÍA	63

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MATERIA PRIMA	64
3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	65
3.2.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	66
3.3. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE CHÍA.....	70
3.3.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXTRACCIÓN PARA CADA TEMPERATURA (55°C, 65°C Y 75°C)	70
3.3.2. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN CON LA TEMPERATURA	73
3.4. TRANSPORTE DE MASA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	73
3.5. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN	76
3.5.1. RENDIMIENTO DEL ACEITE EXTRAIDO.....	76
3.5.2. RENDIMIENTO DE ACEITE EXTRAIDO VS TIEMPO DE EXTRACCIÓN	77
3.6. PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CHÍA.....	78
3.7. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE CHÍA	79
3.8. COMPARACIÓN DEL ACEITE DE CHÍA	79
3.8.1. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE CHÍA CON OTRAS ACEITES.....	81

CAPÍTULO IV COSTO DEL PROYECTO

4.1. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS	82
-------------------------------------	----

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	85
5.2. RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	89
ANEXOS	

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Exportación de chía en Bolivia.....	2
Figura 1-1. Descripción botánica de la chía.....	9
Figura 1-2. Frutos de la chía	10
Figura 1-3. Partes de la semilla de chía.....	12
Figura 1-4. Diagrama del proceso de extracción de semillas oleaginosas	18
Figura 1-5. Extractor por percolación	20
Figura 1-6. Extractor por inmersión.....	21
Figura 1-7. Extracción por el método soxhlet.....	22
Figura 1-8. Esquema de las etapas principales durante la extracción S-L	23
Figura 2-1. Extractor soxhlet.....	40
Figura 2-2. Tamiz vibratorio	40
Figura 2-3. Balanza analítica.....	41
Figura 2-4. Molino manual	42
Figura 2-5. Estufa.....	42
Figura 2- 6. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de chía.....	44
Figura 2-7. Limpieza de la semilla de chía	45
Figura 2-8. Molienda de la materia prima.....	46
Figura 2-9. Cartuchos con harina de chía dentro del extractor	47
Figura 2-10. Extracción de aceite de semilla de chía.....	48
Figura 2-11. Harina de chía agotada	48
Figura 2-12. Destilación de la mezcla solvente-aceite.....	49
Figura 2-13. Aireación del solvente	50
Figura 2-14. Almacenamiento del aceite de chía	50
Figura 2-15. Balance de materia en el proceso de extracción de aceite de chía	51
Figura 3-1. Tiempo vs logaritmo de aceite retenido ((q/q_0)) para cada temperatura .	71
Figura 3-2. Variación del coeficiente de difusión con la temperatura	73
Figura 3-3. Rendimiento vs tiempo de extracción	77

INDICE DE TABLAS

Tabla i-1. Composición de la semilla de chía dependiendo de la zona de cultivo.....	1
Tabla i-2. Producción de chía en Bolivia.....	2
Tabla i-3. Rendimiento de aceite de semilla de chía proveniente de Argentina y Guatemala, composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) obtenido con solvente y prensado.	4
Tabla I-1. Clasificación taxonómica de la chía.....	10
Tabla I-2. Composición nutricional de la chía.....	13
Tabla I-3. Características comparativas del perfil de ácidos grasos	15
Tabla I-4. Ventajas y desventajas de solventes a utilizar en la extracción del aceite de chía.....	31
Tabla I-5 Rango de valores para la matriz de decisión.....	31
Tabla I-6 Matriz de decisión para la selección del solvente en la extracción de aceite de chía.	32
Tabla II-1. Composición de la semilla de chía.....	35
Tabla II-2. Parámetros para el proceso de obtención de aceite de chía	37
Tabla II-3.Rangos del proceso de obtención de aceite de chía	38
Tabla II-4. Matriz de variables para el proceso de obtención de aceite de chía	38
Tabla II-5. Materiales de laboratorio	43
Tabla II-6. Especificación del n-Hexano	43
Tabla II-7. Características fisicoquímicas del aceite de chía	62
Tabla II-8. Perfil de ácidos grasos saturados e insaturados en el aceite chía.....	63
Tabla III-1. Datos del análisis granulométrico de la semilla de chía	64
Tabla III-2. Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de chía	65
Tabla III-3. Datos para el cálculo del análisis de varianza	66
Tabla III-4. Factores inter-sujetos.....	67
Tabla III-5. Análisis de varianza (ANOVA).....	68
Tabla III-6. Variables introducidas para el modelo matemático.....	68
Tabla III-7. ANOVAb para el modelo matemático	69
Tabla III-8. Coeficientes del modelo matemático.....	69

Tabla III-9. Valores experimentales obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión para cada temperatura.....	70
Tabla III-10. Parámetros óptimos del proceso de extracción de aceite de chía	78
Tabla III-11. Comparación de la semilla de chía	79
Tabla III-12. Comparación de las características físico-químicas del aceite de chía..	79
Tabla III-13. Comparación del perfil de ácidos grasos del aceite de chía	80
Tabla III-14 Comparación de los principales ácidos grasos del aceite de chía con otras similares	81
Tabla IV-1. Costo de la materia prima y reactivo	82
Tabla IV-2. Costo de análisis físico-químico de la materia prima.....	82
Tabla IV-3. Costo de análisis del producto final.....	83
Tabla IV-4. Costo de materiales directos e indirectos	83
Tabla IV-5. Costo de servicio directo e indirecto	83
Tabla IV-6. Consumo eléctrico en equipos utilizados	84
Tabla IV-7. Costo energético de los equipos	84
Tabla IV-8. Costo total de la investigación.....	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro I-1. Productos elaborados con aceite de chía a nivel mundial.....	17
--	----

GLOSARIO DE TÉRMINOS

N:	Número de experiencias.
GL:	Grados de libertad.
Sig:	Nivel de significancia.
F:	Distribución de Fisher
q_0 :	Cantidad inicial de aceite en el sólido cuando $q=0$
q_θ :	Cantidad de aceite por unidad de sólido a q min, g/g.
q_θ/q_0 :	Fracción de aceite retenido.
t:	Tiempo.
g:	Granulometría.
ρ :	Densidad.
m:	Masa.
v:	Volumen.
N_A :	Velocidad de transferencia de masa
K_s :	Coefficiente de transferencia de masa
A :	Área total disponible para la transferencia de masa
C_s :	Concentración promedio de aceite contenido en el solido
C_{si} :	Concentración de aceite en la interface
K_s :	Coefficiente de transferencia de masa
D_{ef} :	Coefficiente de difusión
V_s :	Volumen del sólido
r :	Radio de la partícula solida

$^{\circ}\text{C}$:	Grado centígrado.
$^{\circ}\text{K}$:	Grado Kelvin.
C:	Concentración del soluto en tiempo "t".
Q:	Calor
C_p :	Capacidad calorífica del cuerpo
T_f	Temperatura final
T_i :	Temperatura inicial
m_c :	masa del cuerpo
λ_{vap} :	Lambda de vaporización del cuerpo