

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



**“OBTENCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE LA SEMILLA
DEL MANGO MEDIANTE EXTRACCIÓN A SOLVENTE
N-HEXANO, EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Por:

ARIEL MARTÍNEZ MALDONADO

**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.**

Septiembre 2017

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres:

Francisco Martínez Anze.

Flavia Maldonado Bejarano.

AGRADECIMIENTOS:

A mis docentes:

Ing. Rene Michel Cortés.

Ing. Ignacio Velásquez Sossa.

Ing. Ernesto Caihuara Alejandro.

Por el apoyo y disponibilidad para la realización de este proyecto bajo su dirección. A mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y cariño.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Contenido	Página
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Aceites vegetales.....	1
1.1.2. El fruto del mango.....	1
1.1.3. Aceite de mango.....	4
1.1.4. Producción de aceite de semilla de mango.	6
1.2. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN MÁS UTILIZADOS.....	8
1.2.1. Percolación.....	9
1.2.2. Inmersión.	10
1.2.3 Extractores Mixtos.	11
1.3. OBJETIVOS.	11
1.3.1. Objetivo general.	11
1.3.2. Objetivo específicos.....	12
1.4. JUSTIFICACIÓN.	12
1.4.1. Impacto Social.....	12
1.4.2. Impacto Tecnológico.....	13
1.4.3. Impacto Económico.	13
1.4.4. Impacto Ambiental.....	13
1.4.5. Justificación Personal.....	14

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MANGO.....	15
2.2. EL FRUTO DE MANGO.	15
2.3. TIPOS DE MANGO.	16
2.4. COSECHA Y MADURACIÓN DEL MANGO.....	17

2.5. RECOLECCIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO.	17
2.6. COMPOSICIÓN DEL MANGO.	17
2.7. CONTENIDO NUTRICIONAL.	18
2.8. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO.	19
2.9. PRINCIPIO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN.	21
2.9.1. Lixiviación.	21
2.9.2. Selección del proceso.	29
2.9.3. Variables de extracción.	30
2.10. SOXHLET.	31
2.10.1. Preparación de la muestra.	31
2.10.2. Cartuchos.	32
2.10.3. Tapón del cartucho.	32
2.10.4. Colocación del solvente.	32
2.10.5. Operación de extracción.	33
2.10.6. Culminación de la operación.	33
2.11. METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO.	33
2.11.1. Limpieza y separación de la semilla.	33
2.11.2. Secado de la semilla.	34
2.11.3. Molienda de la semilla.	34
2.11.4. Extracción de aceite por disolvente.	35
2.12. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	36

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCIÓN.	39
3.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS Y MATERIAL NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	39
3.2.1. Balanza analítica.	39
3.2.2. Estufa Eléctrica.	40
3.2.3. Molino eléctrico.	41
3.2.4. Tamiz vibratorio.	42

3.2.5. Calentador eléctrico.	43
3.3. MATERIA PRIMA.....	44
3.3.1. Reactivos químicos.	44
3.4. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	45
3.4.1. Recepción de la materia prima.	46
3.4.2. Limpieza.....	46
3.4.3. Secado.	46
3.4.4. Molienda.	46
3.4.5. Tamizado.....	47
3.4.6. Extracción.	47
3.4.7. Cartuchos de extracción.	48
3.4.8. Cargado de harina de semilla de mango.	48
3.4.9. Cantidad de solvente a utilizar.	49
3.4.10. Funcionamiento del equipo soxhlet.	49
3.4.11. Proceso de destilación.	50
3.4.12. Aireación.	50
3.4.13. Almacenamiento.	50
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.	51
3.6. DISEÑO FACTORIAL.....	51
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	52

CAPÍTULO IV CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.....	54
4.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA.	55
4.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA ALMENDRA DE MANGO.....	56
4.4. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.	57
4.5. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA HARINA DE SEMILLA DE MANGO.....	60

4.6. BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	61
4.6.1. Balance de materia del proceso de limpieza.	62
4.6.2. Balance de materia del proceso de secado.	63
4.6.3. Balance del proceso de molienda.	64
4.6.4. Balance de materia del proceso de tamizado.	65
4.6.5. Balance en el proceso de extracción.	66
4.6.6 Balance en el proceso de destilación.	66
4.6.7. Balance de materia en el proceso de aireación.	67
4.7. BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	68
4.7.1. Balance de energía en el proceso de secado.	68
4.7.2. Balance de energía en el proceso de extracción.	70
4.7.3. Balance de energía en el proceso de destilación.	72
4.8 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	74
4.9 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 23 EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	75
4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.	76
4.11 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO A LOS BIBLIOGRÁFICOS.	78
4.12. COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO.	79

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.	82
5.2. RECOMENDACIONES.	83

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla I-1. Primeros diez países productores de mango.....	1
Tabla I-2. Primeros diez países exportadores de mango.....	2
Tabla I-3. Superficie, producción y rendimiento, año agrícola 2007-2008.....	2
Tabla I-4. Distribución de la producción agrícola en el departamento de Tarija, según producto, año agrícola 2007-2008 (en porcentaje).	3
Tabla I-5. Número de árboles frutales dispersos por departamento, censo agropecuario.....	3
Tabla I-6. Características principales del Aceite de Mango.	5
Tabla I-7. Producción de aceites no tradicionales en el Estado de México.....	6
Tabla I-8. Empresas oleaginosas en Bolivia.	7
Tabla I-9. Disposición de Aceite comestible en Bolivia.....	8
Tabla II-1. Contenido de nutrientes en promedio por 100 gramos.	19
Tabla II-2. Composición de la semilla de mango.	19
Tabla II-3. Contenido de vitaminas en la semilla de mango.....	20
Tabla II-4. Composición de la almendra de mango.....	20
Tabla II-5. Composición de diferentes tipos de semillas de mango.	21
Tabla II-6. Datos para el cálculo de la velocidad de transferencia de masa del aceite.	25
Tabla II-7. Puntuación por grado de aceptación.	29
Tabla II-8. Selección del proceso de extracción.	29
Tabla II-9. Punto de ebullición de solventes.....	35
Tabla III-1. Características de la balanza.....	40

Tabla III-2. Características de la estufa eléctrica.	41
Tabla III-3. Características del tamiz vibratorio.	42
Tabla III-4. Propiedades físicas y químicas del n- hexano.	44
Tabla III-5. Niveles de variación de los factores en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.	53
Tabla III-6. Matriz de variables para el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.	53
Tabla IV-1. Pesado de las partes del fruto mango.	54
Tabla IV-2. Pesado de las partes de la semilla de mango.	54
Tabla IV-3. Porcentaje de las partes del fruto de mango.	55
Tabla IV-4. Composición fisicoquímica de la almendra de mango.	55
Tabla IV-5. Variación de la semilla analizada respecto a los valores bibliográficos.	56
Tabla IV-6. Variación del peso en función del tiempo.	57
Tabla IV-7. Variación de la humedad en función del tiempo.	58
Tabla IV-8. Variación de los de resultados bibliográficos con respecto a los obtenidos.	60
Tabla IV-9. Clasificación granulométrica de la harina de semilla de mango.	60
Tabla IV-10. Porcentaje de aceite recuperado en el proceso de extracción.	75
Tabla IV-11. Análisis de varianza en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.	75
Tabla IV-12. Resultados del balance de materia en la extracción de aceite.	76
Tabla IV-13. Resultados del balance de energía en la extracción de aceite.	77
Tabla IV-14. Verificación de datos obtenidos del aceite con respecto a bibliográficos.	78
Tabla IV-15. Aceite crudo de soya.	79
Tabla IV-16. Presupuesto estimado del presente estudio.	79

Tabla IV-17. Material de escritorio.....	80
Tabla IV-18. Adquisición de información e impresión.	80
Tabla IV-19. Transporte y viáticos.	80
Tabla IV-20. Materia prima.	81
Tabla IV-21. Análisis realizados en el laboratorio de (CEANID).	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura I-1. Extractor De Smet que opera por percolación.	9
Figura I-2. Extractor Rotocell que opera por inmersión.	10
Figura II-1. Frutos de mango (Mangifera indica L.).....	16
Figura II-2. Algunas variedades de mango comerciales.	16
Figura II-3. El fruto de mango y sus partes.....	18
Figura II-4. Solutos antes y después de la extracción.....	22
Figura II-5. Diagrama de bloques para la extracción de aceite de semilla de mango.....	36
Figura II-6. Equipo soxhlet en el momento que produce el sifonamiento del solvente.....	38
Figura III-1. Balanza analítica.....	39
Figura III-2. Estufa Eléctrica.....	40
Figura III-3. Molino de cuchillas eléctrico.	41
Figura III-4. Tamiz vibratorio.	42
Figura III-5. Calentador eléctrico.....	43
Figura III-6. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de semilla de mango.	45
Figura III-7. Equipo soxhlet.....	47
Figura III-8. Equipos soxhlet.	48
Figura III-9. Cartuchos introducidos en el equipo soxhlet.....	49
Figura III-10. Sifón cargado de solvente.....	50
Figura IV-1. Variación de la humedad en función del tiempo.....	58
Figura IV-2. Variación de la humedad en función del tiempo.....	59
Figura IV-3. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de semilla de mango.	61

Figura IV-4. Limpieza de semilla de mango.....	62
Figura IV-5. Secado de la semilla de mango.	63
Figura IV-6. Molienda de la semilla de mango.....	64
Figura IV-7. Tamizado de la harina de semilla de mango.	65
Figura IV-8. Extracción de aceite de semilla de mango.	66
Figura IV-9. Destilación del aceite de semilla de mango.	66
Figura IV-10. Aireación del aceite de semilla de mango.....	67

GLOSARIO

Abreviatura	Descripción	Unidades
A	Aceite crudo y trazas de solvente	g
A ₁	Aceite crudo de semilla de mango	g
C	Compuesto de aceite y solvente	g
C _p	Capacidad calorífica del cuerpo	kcal/kg °C
C _{pm}	Calor específico del matraz	kcal/kg °C
C _{psol}	Calor específico del solvente	kcal/kg °C
C _{ps}	Calor específico de la semilla de mango	kcal/kg °C
C _{pa}	Capacidad calorífica del aceite	kcal/kg °C
C _A	Concentración del componente A	Kg/m ³
D _{ef}	Coefficiente de difusión efectiva	m ² /s
F	Semilla de mango	g
F ₁	Semilla de mango libre de impurezas	g
F ₂	Semilla de mango al 6% de humedad	g
H	Porcentaje de humedad de la muestra.	%
H ₂ O	Agua evaporada	g
k _L	Coefficiente de transferencia de masa	m/s
M	Harina de semilla de mango	g
M ₁	Harina de semilla de mango de 0.20 mm de tamaño	g
M ₂	Harina de semilla de mango de 0.50 mm de tamaño	g
M ₃	Harina de semilla de mango ≥ 1 mm de tamaño	g
M ₄	Torta de semilla de mango y solvente	g
m	Masa del cuerpo	kg
m _a	Masa del aceite	kg
m _{se}	Masa de solvente que se evapora	kg
m _s	Masa de la semilla de mango seca	kg
m _{agua}	Masa de agua evaporada	kg
m _m	Masa del matraz aforado	kg
m _{sol}	Masa del solvente	kg
m _{sol evap}	Masa de solvente que se evapora cada 3 min	kg
N _A	Flujo molar o velocidad de transferencia de masa	kg/s
P	Pérdidas durante el proceso	g
Q	Calor	kcal
Q _c	Calor cedido	kcal
Q _g	Calor ganado	kcal
Q _{latente}	Calor cedido o ganado durante un cambio de fase	kcal
Q _{CE}	Calor cedido por la estufa	kcal

Q_{GS}	Calor ganado por la semilla de mango	kcal
$Q_{\text{sensible semilla}}$	Calor sensible ganado por la semilla de mango	kcal
$Q_{\text{latente semilla}}$	Calor latente ganado por la semilla de mango	kcal
Q_{cc}	Calor cedido por el calentador eléctrico	kcal
Q_{gm}	Calor ganado por el matraz aforado	kcal
Q_{gs}	Calor ganado por el solvente	kcal
$Q_{\text{sensible solvente}}$	Calor sensible ganado por el solvente	kcal
$Q_{\text{latente solvente}}$	Calor latente ganado por el solvente	kcal
Q_{ga}	Calor ganado por el aceite	kcal
$Q_{\text{sensible destilación}}$	Calor ganado por el solvente en el proceso de destilación	kcal
$Q_{\text{latente destilación}}$	Calor latente ganado por el solvente en la destilación	kcal
S	Solvente n-hexano	
S_p	Superficie de la partícula sólida	m^2
T	Tamaño de la partícula	mm
T_f	Temperatura final	$^{\circ}C$
T_0	Temperatura inicial	$^{\circ}C$
T_{fs}	Temperatura de secado de la semilla de mango	$^{\circ}C$
T_{0s}	Temperatura inicial de la semilla de mango	$^{\circ}C$
T_e	Temperatura de extracción	$^{\circ}C$
T_{0m}	Temperatura inicial del matraz	$^{\circ}C$
T_{0sol}	Temperatura inicial del solvente	$^{\circ}C$
T_{fd}	Temperatura de destilación	$^{\circ}C$
T_{0a}	Temperatura inicial del aceite	$^{\circ}C$
T_d	Temperatura de destilación	$^{\circ}C$
T_{0d}	Temperatura inicial del solvente en la destilación.	$^{\circ}C$
t	Tiempo de extracción	hr
Tt:	Interacción entre los factores tamaño de la partícula y tiempo.	-
TH:	Interacción entre los factores tamaño de la partícula y porcentaje de humedad de la muestra.	-
tH:	Interacción entre los factores tiempo y porcentaje de humedad de la muestra.	-
TtH:	Interacción entre los factores tamaño de la partícula, tiempo y porcentaje de humedad de la muestra.	-
V_s	Volumen del sólido	m^3
Y_i	Porcentaje de aceite de semilla de mango extraído.	%
λ_{vap}	Lamda de vaporización del cuerpo	kcal/kg
$\lambda_{vap\ sol}$	Lamda de vaporización del solvente	kcal/kg
λ_{vap}	Lamda de vaporización del solvente a $100\ ^{\circ}C$	kcal/kg