



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE
HIGUERILLA (*Ricinus communis L.*) EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES
ÓPTIMAS EN CADA ETAPA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRAYAN STIVEN TIERRA AYALA

DIRECTOR: Ing. ADRIÁN ALEJANDRO RODRÍGUEZ PINOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Brayan Stiven Tierra Ayala**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, BRAYAN STIVEN TIERRA AYALA, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de febrero de 2022

Brayan Stiven Tierra Ayala

060436010-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico. **“DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN CADA ETAPA”**, realizado por el señor: **BRAYAN STIVEN TIERRA AYALA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2022-02-14
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	2022-02-14
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	2022-02-14

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedico principalmente a Dios, quién mediante su bendición me permitió culminar mi carrera universitaria.

A mi madre Maribel Ayala, quién ha sido ejemplo de enseñanza para poder alcanzar todo lo que me propongo.

A mi padre Manuel Tierra, quién me enseñó que el mejor legado que me puede dejar es el estudio, a mis hermanos quienes han sido motor de esfuerzo y superación.

Brayan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por haberme brindado su apoyo pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A la Dra. Patricia Layedra y la Ing. Carla Haro por brindarme su apoyo durante el desarrollo del este proyecto.

Al Ing. Adrián Rodríguez, director de tesis quien con su experiencia y conocimiento ha logrado que pueda cumplir con el presente trabajo. Así mismo al Ing. Darío Guamán, por su colaboración, orientación y tiempo brindado durante el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos gracias por contar con su amistad, les seré infinitamente agradecido por brindarme su amistad, consejos y ánimos durante esta etapa de mi universitaria.

Brayan

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Identificación del Problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto.....	2
1.3. Línea base del proyecto.....	3
1.3.1. <i>Beneficios directos e indirectos</i>	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Higuerilla (<i>Ricinus communis L.</i>).....	5
2.2. Descripción Taxonómica.....	5
2.3. Producción de higuerilla en el Ecuador.....	6
2.4. Producción y Distribución comercial.....	7
2.5. Características morfológicas.....	8
2.6. Aceite de Ricino.....	9
2.7. Composición química del aceite de higuerilla.....	9
2.8. Propiedades fisicoquímicas de aceites vegetales.....	10
2.8.1. <i>Índice de yodo</i>	10
2.8.2. <i>Índice de acidez</i>	11
2.8.3. <i>Índice de peróxidos</i>	11

2.8.4.	<i>Índice de saponificación</i>	11
2.9.	Aplicaciones del aceite de ricino	11
2.10.	Toxicidad	12
2.11.	Métodos de extracción	13
2.11.1.	<i>Extracción mecánica</i>	13
2.11.1.1.	<i>Extracción discontinua</i>	13
2.11.1.2.	<i>Extracción continua</i>	13
2.11.2.	<i>Extracción química</i>	14
2.11.3.	<i>Extracción de fluidos supercríticos</i>	15
2.11.4.	<i>Refinación de aceites vegetales</i>	15
2.11.5.	<i>Refinación química y refinación física</i>	15
2.11.5.1.	<i>Desgomado</i>	17
2.11.5.2.	<i>Neutralización</i>	17
2.11.5.3.	<i>Decoloración</i>	17
2.11.5.4.	<i>Evaporación</i>	17

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	18
3.1.	Tipo de estudio	18
3.1.1.	<i>Estudio Experimental</i>	18
3.1.2.	<i>Técnicas</i>	18
3.1.2.1.	<i>Características de la higuierilla (materia prima)</i>	18
3.1.2.2.	<i>Caracterización de análisis físico-químico del aceite de ricino</i>	21
3.1.3.	<i>Caracterización de la materia prima higuierilla</i>	25
3.1.4.	<i>Obtención del aceite de ricino a escala de laboratorio</i>	25
3.1.4.1.	<i>Proceso de pretratamiento de la materia prima</i>	25
3.1.4.2.	<i>Proceso de extracción de aceite de higuierilla a escala de laboratorio</i>	26
3.1.5.	<i>Variables del proceso</i>	29
3.1.6.	<i>Cálculos de ingeniería</i>	30
3.1.6.1.	<i>Diseño de secador</i>	30
3.1.6.2.	<i>Diseño del equipo de descascarillado</i>	31
3.1.6.3.	<i>Diseño del equipo de molienda</i>	32
3.1.6.4.	<i>Diseño del equipo de extracción sólido-líquido y recuperación de solvente</i>	32
3.1.6.5.	<i>Diseño del equipo reactor y decantador de desgomado</i>	37

3.1.6.6.	<i>Diseño del equipo reactor y decantador de neutralización</i>	41
3.1.6.7.	<i>Diseño del equipo reactor de decoloración</i>	43
3.1.6.8.	<i>Diseño del equipo de filtración</i>	43
3.1.6.9.	<i>Diseño del equipo del evaporador</i>	44
3.1.6.10.	<i>Dimensionamiento de la bomba</i>	44
3.1.7.	<i>Requerimiento de equipos</i>	47
3.1.8.	<i>Costos materia prima</i>	49
3.1.9.	<i>Costos mano de obra</i>	49
3.1.10.	<i>Costos análisis de laboratorio</i>	50
3.1.11.	<i>Costos servicios básicos</i>	50
3.1.12.	<i>Costos muebles y enseres</i>	51
3.1.13.	<i>Ingresos anuales</i>	51
3.1.14.	<i>Maquinaria y Equipos</i>	52
3.1.15.	<i>Presupuesto de costos y gastos</i>	54
3.1.16.	<i>Flujo de caja</i>	55
3.1.17.	<i>Análisis costo/beneficio</i>	55

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	57
4.1.	Caracterización de la materia prima	57
4.2.	Resultados del rendimiento de la extracción de aceite de higuera	58
4.3.	Resultados de refinación del aceite de ricino	61
4.4.	Caracterización físico química del aceite refinado	61
4.5.	Balance de Materia y Energía	62
4.5.1.	<i>Secado</i>	63
4.5.2.	<i>Descascarado</i>	63
4.5.3.	<i>Molienda</i>	64
4.5.4.	<i>Extracción sólido-líquido</i>	65
4.5.5.	<i>Desgomado</i>	66
4.5.6.	<i>Neutralización</i>	66
4.5.7.	<i>Decoloración</i>	67
4.5.8.	<i>Filtración</i>	68
4.5.9.	<i>Evaporación</i>	68
4.5.10.	<i>Rendimiento Global</i>	69

4.5.2.	<i>Balance de Energía</i>	70
4.5.2.1.	<i>Secado</i>	70
4.5.2.2.	<i>Extracción sólido-líquido y Recuperación solvente</i>	77
4.5.2.3.	<i>Desgomado</i>	79
4.5.2.4.	<i>Neutralización</i>	81
4.5.2.5.	<i>Decoloración</i>	82
4.5.2.6.	<i>Evaporación</i>	83
 CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES		86
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación taxonómica.....	6
Tabla 2-2:	Composición química aceite de ricino	10
Tabla 3-2:	Aplicaciones aceite de ricino	12
Tabla 4-2:	Solventes utilizados para la extracción de aceites en la industria	14
Tabla 1-3:	Determinación pérdida de humedad por calentamiento	19
Tabla 2-3:	Determinación de cenizas	19
Tabla 3-3:	Determinación de la materia grasa	20
Tabla 4-3:	Determinación de densidad aparente del aceite	21
Tabla 5-3:	Índice de refracción.....	21
Tabla 6-3:	Determinación de índice de acidez.....	22
Tabla 7-3:	Determinación del índice de saponificación	22
Tabla 8-3:	Determinación del índice de yodo.....	23
Tabla 9-3:	Determinación del índice de peróxidos	24
Tabla 10-3:	Selectividad de solvente	27
Tabla 11-3:	Variable de proceso.....	29
Tabla 12-3:	Especificaciones de secador de bandeja tipo armario	31
Tabla 13-3:	Especificaciones de descascarilladora.....	31
Tabla 14-3:	Especificaciones del molino martillo	32
Tabla 15-3:	Datos de diseño para el equipo del desgomado	37
Tabla 16-3:	Datos de diseño para el equipo de neutralización	41
Tabla 17-3:	Datos de diseño para el reactor de decoloración	43
Tabla 18-3:	Especificaciones técnicas de filtro de hoja a presión	43
Tabla 19-3:	Especificaciones técnicas de deshidratador de aceite.....	44
Tabla 20-3:	Constante k de accesorios de ½ in.....	45
Tabla 21-3:	Requerimientos de equipos para la producción de aceite de ricino.....	47
Tabla 22-3:	Costos de materia prima e insumos para producir 160 L de aceite de ricino.....	49
Tabla 23-3:	Mano de obra producción	50
Tabla 24-3:	Mano de obra administrativa	50
Tabla 25-3:	Análisis de laboratorio.....	50
Tabla 26-3:	Requerimientos servicios básicos	51
Tabla 27-3:	Muebles y enseres	51
Tabla 28-3:	Ingresos de ventas anualmente.....	52
Tabla 29-3:	Costos para la implementación del proceso de extracción de aceite de ricino	52

Tabla 30-3: Depreciación, mantenimiento y seguros de la maquinaria/equipos	53
Tabla 31-3: Presupuesto de costos	54
Tabla 32-3: Flujo de caja.....	55
Tabla 33-3: Resultados análisis químico materia prima higuera.....	57
Tabla 34-3: Resultados extracción muestra 2.....	58
Tabla 35-3: Resultados rendimiento de extracción aceite de higuera.....	58
Tabla 36-3: Análisis de varianza	58
Tabla 37-3: Resultados de refinación de aceite crudo.....	61
Tabla 38-4: Informe de resultados análisis físico-químico	61
Tabla 39-3: Datos experimentales para el secado de higuera.....	70
Tabla 40-3: Datos balance de energía en el proceso de secado	74
Tabla 41-3: Datos balance de energía en el proceso de extractor	77
Tabla 42-3: Datos balance de energía en el proceso de desgomado	79
Tabla 43-3: Datos balance de energía en el proceso de neutralización	81
Tabla 44-3: Datos balance de energía en el proceso de decoloración	82
Tabla 45-3: Datos balance de energía en el proceso de decoloración	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Planta de higuera.....	5
Figura 2-2:	Semillas de ricino	6
Figura 3-2:	Morfología de la higuera.....	8
Figura 4-2:	Tipos de refinación	16
Figura 1-3:	Diagrama de flujo extracción de aceite a escala de laboratorio.....	28
Figura 2-3:	Diagrama de flujo refinación de aceite a escala de laboratorio	28

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Volumen de seguridad.....	32
Ecuación 2-3:	Volumen total.....	32
Ecuación 3-3:	Diámetro y altura del tanque	33
Ecuación 4-3:	Volumen del tanque de extracción.....	33
Ecuación 5-3:	Tanque extractor de forma cilíndrica con fondo cónico.....	33
Ecuación 6-3:	Altura total del tanque.....	34
Ecuación 7-3:	Cálculo de LMTD para la condensación.....	35
Ecuación 8-3:	Diferencia media Temperatura Logarítmica.....	35
Ecuación 9-3:	Calculo área.....	35
Ecuación 10-3:	Número de tubos.....	35
Ecuación 11-3:	Cálculo de LMTD para la condensación.....	36
Ecuación 12-3:	Diferencia media Temperatura Logarítmica.....	36
Ecuación 13-3:	Cálculo área.....	36
Ecuación 14-3:	Volumen de seguridad.....	37
Ecuación 15-3:	Volumen total.....	37
Ecuación 16-3:	Cálculo del radio del mezclador	37
Ecuación 17-3:	Altura del mezclador.....	38
Ecuación 18-3:	Cálculo del volumen del fondo cónico	38
Ecuación 19-3:	Cálculo de la altura inclinada del fondo cónico.....	38
Ecuación 20-3:	Calculo del ángulo del sector circular.....	38
Ecuación 21-3:	Longitud del brazo.....	38
Ecuación 22-3:	Espesor del agitador.....	39
Ecuación 23-3:	Diámetro del rodete.....	39
Ecuación 24-3:	Distancia entre el fondo del tanque y el rodete.....	39
Ecuación 25-3:	Altura de la paleta	39
Ecuación 26-3:	Número de Reynolds.....	39
Ecuación 27-3:	Potencia del agitador.....	40
Ecuación 28-3:	Altura del decantador	40
Ecuación 29-3:	Cálculo del volumen del fondo cónico	41
Ecuación 30-3:	Cálculo de la altura inclinada del fondo cónico.....	41
Ecuación 31-3:	Calculo del ángulo del sector circular.....	41
Ecuación 32-3:	Volumen de seguridad.....	42
Ecuación 33-3:	Volumen total.....	42

Ecuación 34-3:	Altura del tanque.....	42
Ecuación 35-3:	Cálculo del caudal	44
Ecuación 36-3:	Cálculo de la velocidad del fluido	45
Ecuación 37-3:	Cálculo del coeficiente de resistencia de accesorios.....	45
Ecuación 38-3:	Cálculo del número de Reynolds.....	45
Ecuación 39-3:	Cálculo de la rugosidad relativa	45
Ecuación 40-3:	Cálculo del coeficiente de fricción	46
Ecuación 41-3:	Cálculo de pérdidas por fricción (Ecuación de Darcy)	46
Ecuación 42-3:	Ecuación de Bernoulli.....	46
Ecuación 43-3:	Cálculo del flujo másico	46
Ecuación 44-3:	Cálculo de la potencia de la bomba	46
Ecuación 45-3:	Humedad en base seca	71
Ecuación 46-3:	Humedad absoluta	71
Ecuación 47-3:	Humedad absoluta media	71
Ecuación 48-3:	Variación del tiempo.....	71
Ecuación 49-3:	Variación de humedad.....	71
Ecuación 50-3:	Velocidad de secado.....	72
Ecuación 51-3:	Período anticrítico.....	73
Ecuación 52-3:	Período post crítico	73
Ecuación 53-3:	Tiempo total de secado de las semillas de higuera.....	73
Ecuación 54-3:	Calor específico del sólido	74
Ecuación 55-3:	Entalpía del sólido	74
Ecuación 56-3:	Entalpía del sólido a la entrada del secador.....	75
Ecuación 57-3:	Entalpía del sólido a la salida del secador	75
Ecuación 58-3:	Balance de materia.....	75
Ecuación 59-3:	Ecuación balance de materia fracciones.....	75
Ecuación 60-3:	Calor necesario para secar el producto.....	76
Ecuación 61-3:	Tiempo necesario para evaporar el etanol.....	77
Ecuación 62-3:	Masa de vapor generado.....	78
Ecuación 63-3:	Flujo másico del agua que sale del condensador	78
Ecuación 64-3:	Calor disipado en el condensador	78
Ecuación 65-3:	Calor requerido	79
Ecuación 66-3:	Calor requerido en el tanque de agua.....	79
Ecuación 67-3:	Calor requerido en el tanque de mezclado	79
Ecuación 68-3:	Cálculo del número de Reynolds.....	80

Ecuación 69-3:	Cálculo del número de Prandt	80
Ecuación 70-3:	Coeficiente global de transferencia de energía	80
Ecuación 71-3:	Calor requerido en el tanque de mezclado	81
Ecuación 72-3:	Cálculo del número de Reynolds	81
Ecuación 73-3:	Cálculo del número de Prandt	81
Ecuación 74-3:	Coeficiente global de transferencia de energía	82
Ecuación 75-3:	Calor requerido en el tanque de mezclado	82
Ecuación 76-3:	Cálculo del número de Reynolds	82
Ecuación 77-3:	Cálculo del número de Prandt	83
Ecuación 78-3:	Coeficiente global de transferencia de energía	83
Ecuación 79-3:	Calor requerido por el aceite	83
Ecuación 80-3:	Calor requerido por el agua	84
Ecuación 81-3:	Calor necesario por la evaporación.....	84
Ecuación 82-3:	Cálculo de área	84

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1-4:	Efecto temperatura, tamaño y relación en la extracción de aceite ricino.....	59
Gráfico 2-4:	Balance de secado	63
Gráfico 3-4:	Balance de descascarado	64
Gráfico 4-4:	Balance de molienda	64
Gráfico 5-4:	Balance de molienda	65
Gráfico 6-4:	Balance desgomado.....	66
Gráfico 7-4:	Balance de neutralización.....	67
Gráfico 8-4:	Balance de blanqueamiento	67
Gráfico 9-4:	Balance de filtración.....	68
Gráfico 10-4:	Balance de evaporación.....	69
Gráfico 11-4:	Balance global.....	69
Gráfico 12-4:	Diagrama Humedad base seca vs tiempo	72
Gráfico 13-4:	Diagrama Humedad Media vs Velocidad de secado	73
Gráfico 14-4:	Balance de energía secador	75
Gráfico 15-4:	Balance de energía secado	76
Gráfico 16-4:	Balance de energía tanque de ebullición	77
Gráfico 17-4:	Balance de energía destilado.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL ETANOL
- ANEXO B:** DIMENSIONES, CAPACIDADES Y PESOS DE TUBERÍAS ESTÁNDAR DE ACERO
- ANEXO C:** DIMENSIÓN Y CAPACIDAD DE CARCAZA DE INTERCAMBIADORES
- ANEXO D:** PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL AIRE
- ANEXO E:** PROPIEDADES DE AGUA SATURADA
- ANEXO F:** VARIABLES PARA TIPO DE AGITADOR
- ANEXO G:** CORRELACIONES DE POTENCIA
- ANEXO H:** DIAGRAMA DE MOODY
- ANEXO I:** CARTA PSICROMÉTRICA
- ANEXO J:** MATERIA PRIMA (HIGUERILLA)
- ANEXO K:** EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA
- ANEXO L:** REFINACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA
- ANEXO M:** CARACTERIZACIÓN SEMILLAS DE HIGUERILLA
- ANEXO N:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA ACEITE DE RICINO REFINADO
- ANEXO O:** DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL DE ACEITE DE HIGUERILLA
- ANEXO P:** INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ACEITE DE RICINO
- ANEXO Q:** CERTIFICADO DE DBRA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

b	Base de la bandeja (m)
h	Altura de la bandeja (m)
S_s	Sólidos secos (kg)
P_{sh}	Peso sólido húmedo
P_{ss}	Peso sólido seco
X_n	Valor de humedad
X_{n+1}	Valor de humedad siguiente
\bar{X}	Humedad media
θ	Tiempo (h)
$\Delta\theta$	Variación del tiempo (h)
ΔX	Variación de humedad
X_c	Humedad crítica (kg H ₂ O/kg S _s)
X_f	Humedad final (kg H ₂ O/kg S _s)
W_c	Velocidad crítica (kg H ₂ O/kg S _s)
W_f	Velocidad final (kg H ₂ O/kg S _s)
θ_a	Tiempo anticrítico (h)
θ_p	Tiempo pos crítico (h)
θ_t	Tiempo Total (h)
HS	Semillas de higuera
HWS	Semillas secadas
E	Agua en forma de vapor durante el secado
HD	Semillas sin cáscara
D	Cáscara
HM	Semillas molidas
R	Residuos semillas molidas
HA	Alcohol Etílico 96%
HE	Lixiviado solido-líquido
U	Torta residual
HR	Aceite crudo
AF	Ácido fosfórico 85%
RS	Agua caliente 60°C
RD	Aceite desgomado
G	Gomas y residuos de desgomado

NaOH	Hidróxido de sodio
RN	Aceite neutralizado
X	Ácidos grasos libres y residuos de neutralización
AR	Carbón activado
RB	Compuesto blanqueador y aceite neutralizado
RF	Aceite decolorado
A	Residuos de carbón activado
O	Agua en forma de vapor en el evaporador
RE	Aceite refinado
C_{ps}	Calor específico del sólido (kcal/kg sólido)
P	Peso de la muestra (g)

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene por objetivo diseñar un proceso de extracción de aceite de higuera (*Ricinus communis L.*) en la provincia de Chimborazo mediante el estudio de las variables óptimas en cada etapa. Para lo cual se realizó la caracterización de la materia prima en dos sectores de la provincia de Chimborazo; San Vicente de Lacas y Cubijés, pertenecientes a la ciudad de Riobamba. Una vez realizado el análisis de estandarización de grasas, humedad y cenizas, se determinó que el tipo de semilla procedente de la comunidad de San Vicente de Lacas presenta un excelente contenido de materia grasa con un 43.38%, por tal motivo, se inició el proceso de extracción con esta variedad de semilla. Así también se realizó la experimentación con 250 gramos de fruto de higuera, el procedimiento se desarrolló mediante extracción soxhlet con semillas molidas en presencia de etanol 96%, las condiciones de proceso son: secado a temperatura de 90 grados Celsius, reducción de tamaño de 1.40 milímetros y relación soluto a solvente de 1 a 3, durante un tiempo de seis horas. Posteriormente se realizó una refinación química, este proceso se realizó para conservar de mejor manera el aceite y eliminar sus impurezas, el procedimiento consta de cuatro procesos, desgomado, neutralización, decoloración y evaporación. Finalmente, para la validación del proceso, se realizó el análisis fisicoquímico del aceite refinado, verificando que los resultados se encuentran en los rangos establecidos por las normas ASTM. De igual manera, se desarrolló el análisis costo-beneficio determinando que el proyecto es económicamente rentable. Se recomienda realizar un proceso de molienda de semillas como tratamiento previo para obtener mejor rendimiento de aceite.

Palabras clave: <HIGUERILLA (*Ricinus communis L.*)>, <ACEITE VEGETAL>, <EXTRACCIÓN SOXHLET>, <REFINACIÓN QUÍMICA>, <SOLVENTE>, <PROCESO INDUSTRIAL>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.03.11 13:02:31 -05'00'



0454-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The objective of this curricular integration work is to design a process for extracting castor oil (*Ricinus communis L.*) in the province of Chimborazo by studying the optimal variables at each stage. For which the characterization of the raw material was carried out in two sectors of the province of Chimborazo; San Vicente de Lacas y Cubijés, belonging to the city of Riobamba. Once the analysis of standardization of fats, moisture and ashes was carried out, it was determined that the type of seed from the community of San Vicente de Lacas has an excellent content of fat with 43.38%, for this reason, the process was started. of extraction with this variety of seed. Thus, the experimentation was also carried out with 250 grams of castor fruit, the procedure was developed by soxhlet extraction with ground seeds in the presence of 96% ethanol, the process conditions are: drying at a temperature of 90 degrees Celsius, size reduction of 1.40 millimeters and solute to solvent ratio of 1 to 3, for a period of six hours. Subsequently, a chemical refining was carried out, this process was carried out to better preserve the oil and eliminate its impurities, the procedure consists of four processes, degumming, neutralization, discoloration and evaporation. Finally, for the validation of the process, the physicochemical analysis of the refined oil was carried out, verifying that the results are within the ranges established by the ASTM standards. In the same way, the cost-benefit analysis was developed, determining that the project is economically profitable. It is recommended to carry out a seed grinding process as a previous treatment to obtain better oil yield.

Keywords: <CAST IRON (*Ricinus communis L.*)>, <VEGETABLE OIL>, <SOXHLET EXTRACTION>, <CHEMICAL REFINING>, <SOLVENT>, <INDUSTRIAL PROCESS>.



Firmado electrónicamente por:

**NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA**

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

La excesiva demanda en la obtención de aceites vegetales como fuente de energía y consumo humano, origina dificultades en la sostenibilidad de producción y deforestación de cultivos, este es el caso de la palma africana, actualmente utilizada para la producción de aceite de palma como consumo humano y biodiesel. En el año 2020, la superficie plantada de palma africana en el Ecuador fue de 269.524 hectáreas (INEC, 2020), teniendo como principal productora la provincia de Esmeraldas con un 43.7% de plantación total; a pesar de la gran producción, los problemas siguen siendo mayores en la invasión de bosques nativos, la provincia de Esmeraldas desde 2001 hasta 2020, ha perdido 14.7 kilómetros por hectárea de bosque primario húmedo lo que representa un 13% de su pérdida total (Global Forest Watch, 2020).

En el Ecuador, la plantación de higuera crece de manera espontánea en la provincia de Chimborazo, Cotopaxi, Galápagos, Guayas, Imbabura, Los Ríos, Manabí, Napo, Pichincha y Tungurahua (Aguirre Mendoza, 2012), sin embargo los agricultores toman como maleza al cultivo y en ocasiones es utilizada para subdivisión de terrenos. (Ugalde y Marín, 2015) menciona que la principal productora de sembrío de higuera es la provincia de Manabí con un total de 300 y 500 hectáreas sembradas, al igual que (Mendoza Reyes, 1985) afirma que, esta provincia aporta con el 80 por ciento de cultivo a nivel nacional. Se estima que las únicas provincias que siembran la higuera de manera nativa es Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro, con una producción alrededor de 3.700 hectáreas sembradas.

Según Rendón y Triviño (2009, p. 56), indica que las industrias productoras de aceites vegetales como ALES y Castor Ecuatoriana fomentan el cultivo de la higuera en el cantón Tosagua y Rocafuerte desde el año 1930 y 1960, mientras que El Diario Ecuador (2012), revela que la empresa Oleaginosas del Puerto situada en la ciudad de Manta, incentiva a los agricultores del cantón Tosagua, Jipijapa, Rocafuerte, Charapotó, San Vicente y Pedro Carbo perteneciente a la provincia de Guayas, al sembrío de la higuera mediante la entrega gratuita de semillas y la compra de sus productos.

De igual forma, la provincia de Chimborazo posee extensas tierras agrícolas marginadas, los agricultores siempre optan por el cultivo tradicional como: el maíz, la alverja y la papa, sin embargo, el mayor problema que surge es la producción de monocultivo y la erosión en el suelo (Pozo Cando, 2015). La higuera no requiere de muchos cuidados, es poca exigente en el contenido de nutrientes impartidos por el suelo y tolerante a tiempo de sequía. Los comuneros discriminan

a esta planta por la falta de información sobre su utilidad y la rentabilidad de su producto, sin embargo, su comercialización va en aumento, esto debido a que el aceite de ricino presenta más de 700 aplicaciones industriales, además que está ligada a la necesidad de sustituir a los subproductos derivados del petróleo. Es por esto que la mayor parte de países latinoamericanos acuden a un llamado para que el cultivo de esta planta pueda subsidiar con la masiva demanda de aceites vegetales y sus subproductos.

1.2. Justificación del proyecto

El Ecuador al poseer una amplia biodiversidad, con zonas trópicas, subtrópicas y regiones semiáridas, pretende extender su producción en el cultivo de semillas de higuierilla; el motivo de esta mejora es disminuir la masiva producción de aceites como productos derivados del mismo y en la fabricación de biocombustibles. El aceite de ricino del cual se extrae de la semilla de higuierilla, tiene la ventaja de no competir con las industrias de aceites vegetales para consumo humano, esto debido a que en su composición presenta un compuesto denominado ácido ricinoleico, un lípido que interfiere en las proteínas y genera un efecto purgante.

Además Naik et al. (2018) indica que, el aceite de ricino se divide en diferentes áreas de producción, grado alimenticio (aditivos alimentarios), farmacéutico (purgante), cosmético (fragancias), automovilístico (biodiesel, lubricantes), y otras industrias (adhesivos poliuretanos, pinturas y pigmentos). Así mismo la torta de residual también presenta beneficios, Mendoza Reyes (1985) menciona que, el residuo de la extracción aporta con contenido de materia orgánica Nitrógeno 5,5%, Fósforo 2,5% y Potasio 1,5%, que es usada como fertilizante o abono para suelos.

Otro problema que surge, es la falta de información sobre el proceso de secado en semillas oleaginosas, y su importancia durante el almacenamiento, Perea Flores (2011) indica que el secado depende de la naturaleza del material, la temperatura del aire y la velocidad del aire, siendo así una etapa muy rigurosa durante el proceso de extracción. La tecnología verde sigue siendo más estricta en el cuidado del medio ambiente, Prasad, Banerjee y Agarwal (2021) menciona que, en la extracción de aceite se suele emplear hexano por su alta selectividad y simple recuperación, sin embargo al ser liberada produce masivas contaminaciones al aire. Para evitar este problema, se sustituye por otros disolventes con menor nivel de toxicidad y mayor recuperación. Según Efthymiopoulos et al. (2019, p. 253) el tamaño de partícula y la relación soluto/solvente no ha sido estudiada por completo, debido a que durante la experimentación la partícula es sometida a trituración completa, y el volumen necesario de solvente es aplicado según la relación del tipo de sifón en la que recirculaba el contenido graso y el solvente.

Debido a la escasez de estudios en donde se identifiquen las variables óptimas para cada etapa del proceso de obtención de aceite de ricino proveniente de higuerilla cultivada en Chimborazo, se ha visto la necesidad de diseñar un proceso de extracción de aceite evaluando sus variables como, temperatura de secado, tamaño de partícula y relación soluto/solvente. Un análisis intensivo y adecuado de cada etapa ayudara a mejorar las condiciones de producción, rentabilidad de extracción y calidad de aceite, también, se pretende elegir un buen disolvente orgánico para la obtención de aceite, tomando en cuenta su bajo nivel de toxicidad, sin perjuicio alguno al medio ambiente.

1.3. Línea base del proyecto

El presente proyecto se realizará en los laboratorios de Química Orgánica, Procesos Industriales y Bromatología de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, misma que está ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½, en la ciudad de Riobamba-Ecuador, a través de la adquisición de conocimientos se desarrollará las operaciones de secado, reducción de tamaño y extracción solido-liquido.

1.3.1. Beneficios directos e indirectos

Beneficiarios directos

El presente proyecto otorgará múltiples beneficios, en particular al sector industrial de aceites crudos vegetales y subproductos, el aceite de ricino al contener un alto porcentaje de ácido ricinoleico y ser soluble en alcohol permite intensificar la producción de biodiesel, y también se aprovechará como solvente secante para la producción de pinturas, barnices, tintes, lacas, y lubricantes.

Beneficiarios indirectos

Como resultado de este proyecto, los agricultores en un futuro se podrían dedicar a la producción de higuerilla, será quienes logren contribuir con la demanda excesiva de la producción de aceites vegetales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un proceso de extracción de aceite de higuera en la provincia de Chimborazo mediante el estudio de las variables óptimas en cada etapa.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar semillas de *Ricinus communis L* de dos sectores de la provincia de Chimborazo mediante análisis estandarizados de grasa, humedad y cenizas.
- Establecer las variables de proceso óptimas para cada etapa de extracción y refinado del aceite de higuera a escala de laboratorio.
- Realizar la caracterización físico química del aceite según la Norma INEN para aceites y grasas de origen animal y vegetal.
- Diseñar el proceso de extracción de aceite de higuera.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Higuierilla (*Ricinus communis* L.)



Figura 1-2: Planta de higuierilla

Fuente: (Aguirre Mendoza, 2012, p.10).

La higuierilla (*Ricinus communis* L.), es una planta denominada en otras naciones como ricino, tártago, higuierilla infernal, palma de cristo y castor, es nativa del continente Africano (Cárdenas Ruiz, 2020), sin embargo, también se dice que fue cultivada en sus inicios en Afganistán e Irán, su siembra está asociada a suelos semiáridos, arenosos, y con un buen drenaje (Proaño Molina, 2010). En su antigüedad las hojas eran usadas como un remedio casero para el dolor de estómago, además, las hojas, la raíz y el aceite ha sido utilizado como laxante (Perea Flores, 2011). Sin embargo, en la actualidad el aceite es utilizado como combustible, lubricante y en una gran variedad de productos medicinales.

2.2. Descripción Taxonómica

La higuierilla una planta arbustiva, que puede alcanzar alturas de 1-7 metros presenta la siguiente taxonomía.

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica

Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Grupo	Platylobeae
Género	Ricinus L.
Especies	Communis
Nombre binomial	Ricinus communis L.

Fuente: (Kole y Ramanna Felow, 2017).

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.



Figura 2-2: Semillas de ricino

Fuente: (Perona, 2018).

La palabra *Ricinus* proviene del latín que significa garrapata, esto por su similitud a dicho animal. Sus flores que en su posterior fecundación producirá el fruto, es de color rojizo y blanco, tras su fecundación imparte su fruto con tres semillas, alargadas y de forma ovoidal; presenta colores gris pálido o negro que en su posterior producirá un excelente aceite (Kole y Ramanna Felow, 2017).

2.3. Producción de higuera en el Ecuador

En el Ecuador, la planta de higuera es cultivada como cerco para la delimitación entre terrenos, las áreas cultivadas de manera espontánea está presente en la provincia de Chimborazo, Cotopaxi, Galápagos, Guayas, Imbabura, Los Ríos, Manabí, Napo, Pichincha y Tungurahua (Aguirre Mendoza, 2012). Se estima que, en Ecuador, el cultivo de higuera presenta alrededor de 3,700 hectáreas sembradas, entre las cuales tenemos la provincia de Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro como mayores productores. Siendo la mayor productora de higuera la provincia de Manabí con un total de 300 y 500 hectáreas sembradas. (Ugalde y Marín, 2015). Así también Mendoza Reyes (1985)

informa que la mayor productora de higuierilla es la provincia de Manabí, con un 80 por ciento de cultivo a nivel nacional, por cada hectárea se simbra 900 kg.

Rendón y Triviño (2009, p. 56), indica que las industrias productoras de aceites vegetales: ALES y Castor Ecuatoriana fomentaron el cultivo de la higuierilla en el cantón Tosagua y Rocafuerte entre los años 1930 y 1960, mientras que El Diario Ecuador (2012), revela que la empresa Oleaginosas del Puerto situada en la ciudad de Manta provincia de Manabí, incentiva a los agricultores del cantón Tosagua, Jipijapa, Rocafuerte, Charapotó, San Vicente y Pedro Carbo perteneciente a la provincia de Guayas, al sembrío de la higuierilla mediante la entrega gratuita de semillas y la compra de sus productos.

La empresa Oleaginosas del Puerto produce al año 400 toneladas de aceite, indicando que el 20% se mantiene como producción local y lo restante es exportado para México, Chile, Perú y Venezuela (El Diario Ecuador, 2012). El INIAP (2019), presenta dos nuevas variantes con alto contenido de aceite, la INIAP 401 de tamaño mediano 2,2 m con rendimientos del 52% de aceite por cada semilla y la Portoviejo 67, con una altura de 2,50 y 3 m con rendimientos del 50 a 53% de aceite por semillas.

2.4. Producción y Distribución comercial

La planta de higuierilla del cual se comercializa por su aceite, es cultivada en diversos países, los mayores productores son India, Brasil y China con una representación de 645.000 toneladas bajo procesamiento de aceite de ricino (McKeon, 2016). La India es el principal productor a nivel mundial con un 90% de sus exportaciones a Europa y América (Naik et al., 2018). Mientras que, la república de Pakistán y Nepal utilizan de manera masiva el aceite en productos alimenticios, y también, en la producción de compuestos poliuretanos. Debido a la alta demanda del petróleo y el sobreprecio de aceites vegetales, se ha obstaculizado el crecimiento de estos productos en el mercado mundial, el cual pretende dar mayor beneficio a empresas que operan en la actualidad en la distribución de aceite de ricino y derivados (Mubofu, 2016).

2.5. Características morfológicas

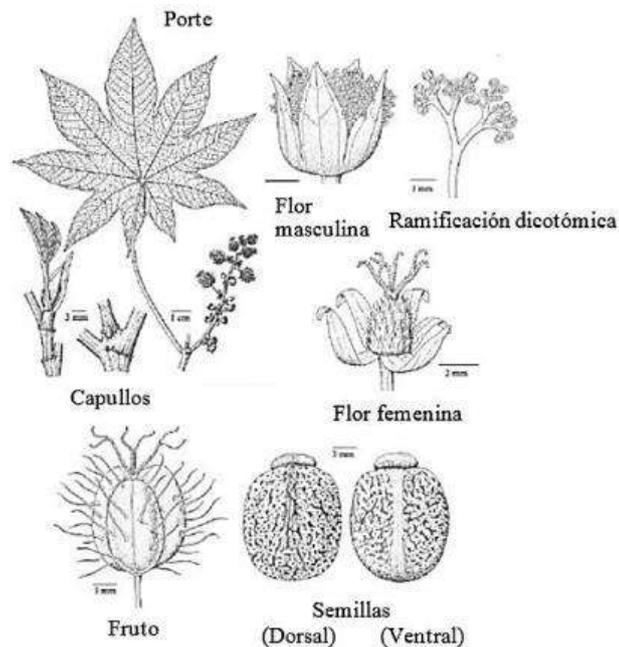


Figura 3-2: Morfología de la higuera

Fuente: (Rendón y Triviño, 2009).

- La raíz

Según Gómez García (2015, pp. 10-12), la planta presenta un sistema radicular central muy profundo llegando a medir hasta 3 m, mientras que las raíces laterales se distribuyen hasta 1,25 m. Las raíces después de la cosecha proporcionan un buen sistema de drenaje, ocasionando que el suelo presente una excelente aireación tras un posterior cultivo.

- El tallo

El tallo es de un color verde claro y en ocasiones rojizo, es característico por presentar cicatrices entre nudillos, alcanzando alturas de 6 m hasta 10 m. Al envejecer el tallo tiene un aspecto fibroso y de color café (Gómez García, 2015).

- Las hojas

Las hojas son irregulares, de forma redonda y dentada, alcanzando un diámetro de 10 a 60 cm. La principal diferencia entre una especie y otra, es su color, el número de dentados y la profundidad de su redondez (Gómez García, 2015).

- La flor

La higuera en general posee flores unisexuales masculinas y femeninas en la misma planta, su inflorescencia es de tipo racimo. Las masculinas se sitúan en la base de la inflorescencia, por otra parte, las femeninas se localizan en vértice (Gómez García, 2015).

- El fruto

Se encuentra encapsulado, y recubierta de espinas. Cada fruto posee entre 3 a 4 semillas, tienen forma alargada y ovoidal, su color dependerá de la variedad llegando a ser blanco, marrón o negra (Gómez García, 2015).

2.6. Aceite de Ricino

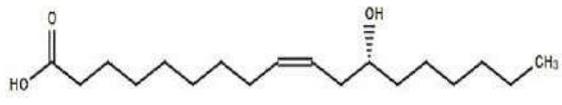
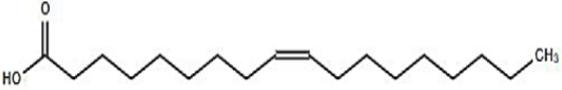
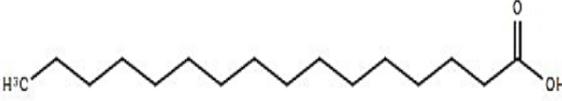
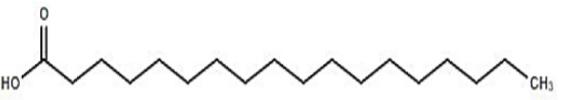
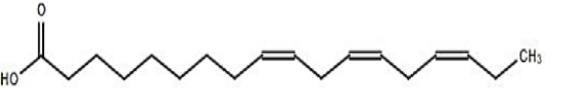
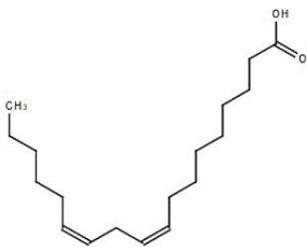
Las semillas de higuera del cual se extrae el aceite de ricino, es de un color ligeramente amarillento o casi incoloro (transparente), viscoso y con un bajo punto de congelación -14°C (Correa Salgado, 2014, pp. 17-24), según Kole y Ramanna Felow (2017), menciona que la planta de higuera presenta alrededor del 40-55% en compuestos ácidos grasos. El aceite de ricino que en su traducción inglesa se denomina “castor oil”, es característico por presentar en su estructura el ácido ricinoleico, molécula con un grupo funcional hidroxilo junto a un doble enlace, este lípido es el causante de producir el vómito en seres humanos.

Además, el aceite posee la peculiaridad de ser soluble en alcoholes, debido al elevado contenido de hidroxiácidos grasos, se suele utilizar en la producción de lubricantes, tintes y lacas. Un problema que surge a través de este aceite, es que no es comestible, sin embargo, le compensa con otras utilidades como es el caso de la producción de biodiesel.

2.7. Composición química del aceite de higuera

Sánchez Medina y Huertas Greco (2013, pp. 54-59) menciona que la composición de los ácidos grasos que compone el aceite de ricino es la siguiente: 80-90% de ácido ricinoleico, 3-4% de ácido linoleico, 2-4% de ácido oleico y 1-5 de ácidos grasos saturados (ácido esteárico y palmítico), en porcentajes menores también contiene ácido linoleico 0.3%. Al poseer en su estructura un alto contenido de ácido ricinoleico el aceite es motivo de estudio en la fabricación de nuevos materiales e insumos como subproductos a base de aceite vegetales.

Tabla 2-2: Composición química aceite de ricino

Ácido graso composición	Tipo ácido graso	Estructura química
Ricinoleico	Mono insaturado	
Oleico	Mono insaturado	
Palmítico	Saturado	
Estearico	Saturado	
Linolénico	Insaturado	
Linoleico	Poliinsaturado	

Fuente: (Naik et al., 2018).

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

2.8. Propiedades fisicoquímicas de aceites vegetales

2.8.1. Índice de yodo

El índice de yodo identifica el contenido de cadenas insaturadas, expresada en gramos de yodo. Un nivel elevado de yodo indica alto contenido de insaturaciones, por otra parte, un nivel bajo implica que la muestra posee insaturaciones bajas. El valor del índice de yodo posee diferentes resultados, dependerá de la variedad de semilla y la zona geográfica de la localidad. (Yeboah et al.,

2020). El análisis es utilizado para comprobar su pureza e identificar el tipo de grasa (Arriola Gómez y Monjaras Blanco, 2003, p. 16).

2.8.2. Índice de acidez

El índice de acidez determina la concentración de ácidos grasos libres, expresada en mg de KOH/g de aceite. El contenido de acidez es un indicativo de la calidad del aceite. En el proceso de refinado, la pérdida de acidez surge durante la etapa de desgomado, tomando en cuenta que en aceites vegetales el índice de acidez no debe superar los 2 mg de KOH/g de aceite. Asimismo, el índice de acidez se ve afectado por el disolvente utilizado durante la extracción (Yeboah et al., 2020).

2.8.3. Índice de peróxidos

Determina el contenido de sustancia peróxidos presente en la muestra, expresada en meq de oxígeno activo/kg de aceite. La presencia de oxígeno en grasas es el principal causante de deterioro, además indica si el aceite es conservado de la mejor manera, mediante la protección de calor y su envasado. Si existe un mayor índice de peróxidos, tendrá una menor capacidad antioxidante (Sánchez Medina y Huertas Greco, 2013, pp. 54-59).

2.8.4. Índice de saponificación

El índice de saponificación separa las glicerinas de los ácidos grasos libres, determina el número de mg KOH necesarios para saponificar un gramo de grasa (Rojas Ramos, 2019, p.18). Un valor bajo de saponificación indica que el aceite no es idóneo para su uso en la industria, si el contenido de triglicéridos es elevado su utilidad es mayor en la fabricación de jabones y productos cosméticos (Yeboah et al., 2020).

2.9. Aplicaciones del aceite de ricino

El aceite de ricino al poseer en su composición hidroxiácidos grasos en conjunto a un doble enlace, es considerado una materia prima de investigación, asociándose a nuevos componentes de estudio, su aplicación varía en base a la modificación de su molécula estructural del ácido ricinoleico, siendo su número de aplicación mucho más extensa que productos obtenidos por el petróleo, además es el principal promotor del ricinoleato un componente utilizado en diversas aplicaciones cosméticas y como aditivo en alimentos (McKeon, 2016).

Además, el aceite de ricino al ser estipulado como un laxante es utilizado en problemas de estreñimiento, también solventa problemas menores, como la aparición de hongos (pie de atleta), acné, y quemaduras solares. Se debe agregar que, con indicaciones previas por ginecólogos, el aceite de ricino induce un parto, disminuyendo el problema de dolencia (Naik et al., 2018). He aquí algunas otras aplicaciones adicionales:

Tabla 3-2: Aplicaciones aceite de ricino

Grado industrial	Jabones, lubricantes, tintas, pintura y barnices
Primer grado especial	Poliuretano flexible y moldeable
Prensado en frío	Aceite virgen de alta calidad, seguro, grado alimenticio (purgante)
Grado farmacéutico	Utilizado para el crecimiento del cabello, inducción del parto, problemas de estomago
Hidrogenado	Cosméticos, pomada, pintura, aditivo, lubricante sólido, plástico y caucho industrial
Sulfonados	Emulsiones, humectantes
Ácido 12-hidroxiesteárico	Plastificante, lubricante, pigmento
Ácido sebácico	Lubricante de chorro, nylon 6,10
Ácido undecilénico	Remedio para pie de atleta, insecticida
Ricino deshidratado	Pinturas, esmaltes, resinas alquídicas

Fuente: (Naik et al., 2018).

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

2.10. Toxicidad

Un problema durante la extracción de aceite es el contenido de toxinas presente en la torta residual o harina, impidiendo su consumo para el ganado. La ricina una proteína toxica para el ser humano, habitualmente, se estima que su nivel de toxicidad por vía oral es de 5 mg por cada kg consumido (McKeon, 2016, pp. 75-112). La proteína ricina es toxica debido a que inhibe la síntesis de ribosomas y las inactiva. Según Lombeida (2015, p. 90) la ricina puede ser inactivada en agua caliente o mediante prensado en caliente, sin embargo Perea Flores (2011) indica que se puede inactivar la toxina por calentamiento de 10 minutos a 80°C.

2.11. Métodos de extracción

2.11.1. *Extracción mecánica*

2.11.1.1. *Extracción discontinua*

La extracción por prensado discontinua es un método mecánico, en el que requiere una mano de obra continua. Actualmente, se utilizan prensas hidráulicas; y la extracción de aceites y grasas es producida en pequeñas cantidades. Las prensas discontinuas constan de un cilindro perforado (tamiz de prensa), este es el encargado de dar fluidez al aceite, además presenta un pistón con embolo ubicado en parte inferior.

En épocas coloniales ya se utilizaba procesos mecánicos para adquirir aceite a partir de semillas oleaginosas. La metodología consistía en separar la cáscara del fruto, proceso por el cual se secan las semillas, y además de aquello, se trituraban, facilitando al obrero disminuir su tiempo durante el proceso de prensado (Naik et al., 2018). Según Perdomo et al. (2012) la presión necesaria para comprimir la semilla es de 784 KPa.

2.11.1.2. *Extracción continua*

La extracción continua es realizada en prensas expeller o de tornillo, las cuales están diseñadas a soportar altas presiones que oscilan entre 1400 y 2800 kg/cm² además los modelos de prensas se diferencian por presentar diferentes geometrías del tornillo y de salida de la boquilla (Cefla, 2015). El prensado se puede realizar en frío produciendo 30-36% de aceite, sin embargo, también se realiza prensado en caliente (>70°C) alcanzando rendimientos de 38-40% de aceite (Perea Flores, 2011).

La prensa expeller presenta una tolva, en la que se alimenta a el proceso, seguidamente es transportada la materia a un tornillo sinfín giratorio, el equipo está cubierta por una carcasa que presenta resistencias eléctricas que incrementara la temperatura del sistema y disminuye la viscosidad del aceite, el diámetro del tornillo es el causante en triturar las semillas, generando un aumento de presión a través del sistema, mediante la cual compacta la muestra y extrae la mayor cantidad de aceite. El la salida del proceso existe una boquilla que permite desfogar la torta residual, mientras que el aceite al ser empujado atraviesa unos orificios en el cilindro de la prensa (Acosta Gonzales y Torres Tintaya, 2015, pp. 22-24).

2.11.2. Extracción química

La extracción por solvente es un proceso mediante el cual se produce una transferencia de masa entre un sólido y un líquido, la materia prima (aceite) se transfiere al soluto, formando una disolución. Además, el método permite extraer un 99% de aceite presente en el fruto, sin embargo, dependerá mucho del disolvente, el cual tendrá la capacidad de disolver el soluto (Dasari y Goud, 2014). La extracción a escala de laboratorio se desarrolla en un equipo soxhlet, el proceso no necesita de un posterior filtrado, puesto que la muestra está comprendida por un sistema filtrante (papel de celulosa) (Guillén Sánchez, 2016).

En la extracción de lípidos, la eficiencia del solvente dependerá de la polaridad entre la grasa y el solvente. La polaridad en grasas suele ser diferente, los lípidos polares como los fosfolípidos son solubles en disolventes orgánicos, mientras que en lípidos apolares como es el caso de los esteroides son más solubles en disolventes no polares. Por lo tanto, se suele utilizar una combinación de dos a tres disolventes, y seleccionar un único disolvente orgánico con mejor propiedad de dilución. Además, debe ser económico, no tóxico, punto de ebullición bajo y no inflamable (Naik et al., 2018).

Tabla 4-2: Solventes utilizados para la extracción de aceites en la industria

Solvente	Fórmula	Punto de ebullición (°C)	Punto de fusión (°C)	Densidad (g/mL)	Polaridad relativa
Pentano	C ₅ H ₁₂	36.1	- 129.7	0.626	0.009
Hexano	C ₆ H ₁₄	69	- 95	0.655	0.009
Éter de petróleo	C ₂ H ₅ O	40	- 56	0.645	0.100
Acetato de etilo	C ₄ H ₈ O ₂	77	- 83.6	0.894	0.228
Cloroformo	CHCl ₃	61.2	- 63.5	1.498	0.259
Acetona	C ₃ H ₆ O	56.2	- 94.3	0.786	0.335
Etanol	C ₂ H ₅ OH	78	- 114.1	0.789	0.654
Metanol	CH ₄ O	64.6	- 98	0.791	0.762
Etilenglicol	C ₂ H ₆ O ₂	197	- 13	1.115	0.790
Agua	H ₂ O	100	0.00	0.998	1.000

Fuente: (Naik et al., 2018).

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

El rendimiento en el proceso de extracción depende en gran medida del tamaño de partícula. Según Efthymiopoulos et al. (2019, p. 253-264), indica que partículas menores a 0.5 mm de diámetro causa una reducción en el rendimiento de aceite, mientras que partículas mayores a 0.85 mm facilita la remoción del aceite. Si embargo, Dasari y Goud (2014) indica que el efecto en relación soluto a disolvente influye en el rendimiento de aceite, los posibles experimentos que realiza es en proporción 1:3; 1:6 y 1:9 (peso semilla: volumen de disolvente), encontrando mejores rendimientos con el aumento en relación soluto a disolvente. Además Efthymiopoulos et al. (2019, pp. 253-264) menciona que el contenido de humedad no obstaculiza el rendimiento de extracción, pero captura compuestos solubles aumentando su rendimiento y ocasionando pérdidas de contenido graso.

2.11.3. Extracción de fluidos supercríticos

La extracción mediante fluidos supercríticos es una nueva opción para extracción de grasas a nivel industrial. La técnica de la extracción, surge a partir de una muestra la cual se calienta en una cámara presurizada, después se procede a mezclar con un fluido supercrítico el más común CO₂(SC-CO₂) (Hewavitharana et al., 2020), arrastrando el aceite y eliminando el fluido al ser descomprimido a temperatura y presión ambiente (Torres, 2018, p. 88).

La extracción se realiza a temperaturas y presiones supercrítica, la utilización de dióxido de carbono como solvente es debido a la alta selectividad del gas en compuestos grasos, también es apropiado para extraer pigmentos, antioxidantes y carotenoides de alimentos sin causar daño alguno a la compuestos extraídos (Quishpe Robalino, 2018, p. 8).

2.11.4. Refinación de aceites vegetales

El proceso de refinado es el responsable de eliminar las impurezas presentes en el aceite; estas materias coloidales y sustancias coloreadas son aquellas que provocan la degradación, ocasionando una adulteración en el aceite. Por esta razón, se separan compuestos: fosfolípidos, gomas, ácidos grasos libres y pigmentos coloreados (Patel et al., 2016).

2.11.5. Refinación química y refinación física

El procedimiento de refinación consta de dos métodos físico y químico, la principal diferencia entre la refinación física y química, es que la refinación clásica o química aplica un método de neutralización con tratamiento de sosa cáustica, mientras que en la refinación física se ve limitada

por la ausencia de esta etapa y se compensa con la eliminación de AGL durante la etapa de desodorización en la que es realizada mediante destilación. Las etapas de refinación dependerán de cada tipo de aceite, el aceite de ricino “castor oil” al poseer la peculiaridad de no ser comestible, se ve limita a seguir la etapa de desodorización. (García, 2019).

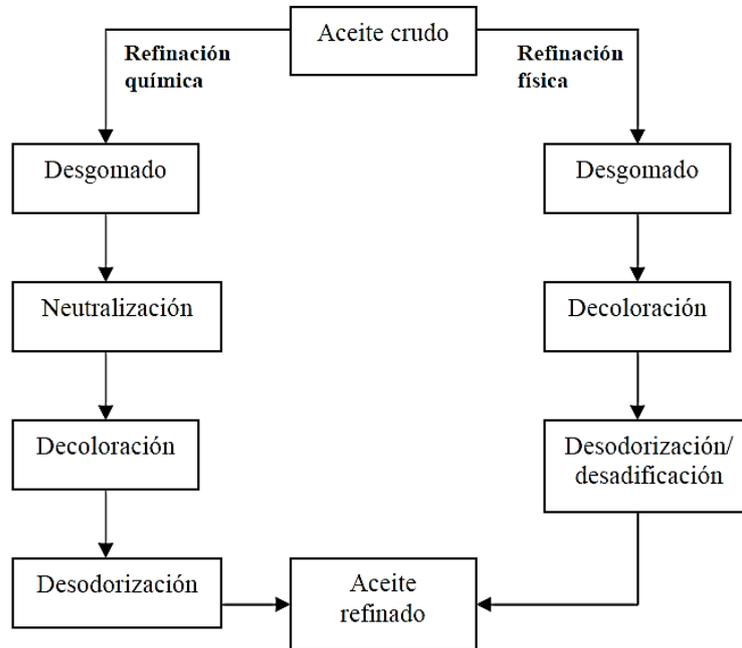


Figura 4-2: Tipos de refinación

Fuente: (Blanco Rodríguez, 2007).

La refinación física presenta buenas ventajas con respecto a la refinación química, entre estas tenemos

- Mayor rendimiento y menor contaminación
- Recuperación de AGL de alta calidad
- Reducción de aceite neutro

Sin embargo, al poseer numerosas ventajas la refinación física, no siempre se puede aplicar a cualquier tipo de aceite. Para determinar el tipo de refinación que se requiera realizar en un producto depende principalmente de la calidad del aceite que se quiere refinar y la acidez de la grasa. Por lo tanto, si la acidez de un aceite supera el 2%, es necesario efectuar una refinación química, si en el caso de poseer menor acidez solo basta realizar una refinación física (Blanco Rodríguez, 2007).

2.11.5.1. *Desgomado*

El desgomado es un proceso para eliminar compuestos fosfátidos, estos pueden dividirse en hidratantes y no hidratantes, el contenido de esta sustancia dependerá del tipo de aceite. Los fosfátidos hidratantes, se eliminan con agua caliente 2% del volumen total de aceite a una temperatura entre 60-70°C (Blanco Rodríguez, 2007), mientras que para los fosfátidos no hidratantes, se aplica métodos químicos, en el cual se añade ácido cítrico o ácido fosfórico 0,1-0,2% de volumen total del aceite, el proceso se lleva a cabo a una temperatura de 90°C, en un tiempo de 15 a 20 minutos (Patel et al., 2016).

2.11.5.2. *Neutralización*

Para eliminar la mayor parte de compuesto jabonosos se realiza una neutralización alcalina con hidróxido de sodio 0.1 M durante al menos 60 minutos a una temperatura de 80-95°C, si la solución no genera un precipitado se agrega cloruro de sodio. Por último, se añade agua caliente hasta reducir la máxima cantidad de jabón (Akpan, Jimoh y Mohammed, 2012).

2.11.5.3. *Decoloración*

Los aceites vegetales para ser comercializado deben presentar una apariencia clara. El cambio de su coloración es afectado por la pigmentación de la muestra, para eliminar este problema se utiliza tierras activadas o carbón activado. La muestra es calentada a 90°C junto con arcilla activada 1%, además se utiliza material filtrante para eliminar el exceso de sustancia coloreada (Akpan, Jimoh y Mohammed, 2012).

2.11.5.4. *Evaporación*

La muestra al presentar cantidades mínimas de agua se evapora en una estufa a 130°C, si supera esta temperatura puede ocasionar una oxidación en el aceite (Patel et al., 2016). La humedad requerida para su conservación debe ser menor o igual al 0,1%. En las industria de aceites se utiliza evaporadores para la eliminación del contenido de agua (Díaz y Meza, 2015).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

El diseño del proceso de extracción de aceite de higuera, es un proyecto tipo técnico, que es realizado mediante diferentes operaciones unitarias en base a investigaciones teóricas y prácticas.

3.1.1. Estudio Experimental

El estudio experimental está constituido por técnicas de investigación, llevando a la parte experimental, y seleccionando las mejores pruebas de estudio, además se utilizó técnicas de referencia, incluyendo equipos y reactivos pertinentes para el desarrollo de la extracción y refinación de aceite de ricino. Se realizó primero una caracterización química de la materia prima en dos distintos sitios de muestreo, misma que después fue importante para poder optar por una materia prima con mejores rendimientos de contenido graso, luego se transformó la materia prima en el producto deseado, manipulando las variables del proceso durante la extracción de aceite y asegurándose que el producto se encuentre en los rangos establecidos. La parte experimental se llevó a cabo en los Laboratorios de Química Orgánica, Procesos Industriales y Bromatología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.1.2. Técnicas

Para iniciar con el diseño del proceso se realizó un análisis químico de la materia prima de dos diferentes sitios de muestreo, la materia prima con excelentes resultados pasa al proceso de obtención y refinación de aceite.

3.1.2.1. Características de la higuera (materia prima)

La caracterización química de la materia prima se desarrolló según la Norma Técnica Ecuatoriana: Alimentos para animales

Tabla 1-3: Determinación pérdida de humedad por calentamiento

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Capsula de porcelana Estufa Balanza analítica Reverbero Desecador	Se tara la cápsula a 100 °C durante 30 minutos Se pesa 2 g de muestra y se transfiere a la capsula previamente tarada Se deseca en la estufa calentada a 105°C durante 2 h, enfriar en un desecador a temperatura ambiente y pesar Se repite el procedimiento durante 2 h, hasta apreciar un peso constante	$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$ Donde: P = porcentaje de masa por perdida por calentamiento m = masa de la cápsula vacía, en g m_1 = masa de la cápsula con la muestra, en g m_2 = masa de la cápsula con a muestra desecada, en g

Fuente: NTE INEN 540.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 2-3: Determinación de cenizas

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Crisol. Balanza analítica. Pinzas. Mufla. Desecador.	Se calienta el crisol mufla a 600 °C durante 30 minutos. Se enfría en el desecador y se pesa. Se pesa 2 g de muestra y se transfiere a el crisol previamente tarada. Se deseca en la mufla calentada a 600°C durante 2 h, se enfría en un desecador a temperatura ambiente y pesar. Se repite el proceso hasta obtener un peso constante.	$C = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \times 100$ Donde: C = contenido de cenizas en el alimento para animales m = masa del crisol vacío, en g m_1 = masa del crisol con muestra, antes de incineración, en g m_2 = masa del crisol con las cenizas, después de la incineración, en g

Fuente: NTE INEN 544.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 3-3: Determinación de la materia grasa

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica. - Rotavapor. - Aparato de extracción Soxhlet. - Cartucho (papel filtro). 	<ul style="list-style-type: none"> - Se pesa 2 g de muestra seca, y colocar en un cartucho (papel filtro) de forma que quede bien cerrada. - Introducir el cartucho en el extractor. - Agregar 20 cm³ aproximadamente de éter de petróleo; y conectar con el matraz del extractor, calentar el solvente en una plancha eléctrica. - El proceso de extracción termina aproximadamente entre 4-6 horas, retirar el cartucho y recuperar el disolvente en un rotavapor a 20°C por 30 minutos, enfriar la muestra y pesar. 	$G = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100$ <p>Donde:</p> <p>G = cantidad de grasa m = masa del material seco, en g. m₁ = masa del matraz de extracción, con materia grasa extraída, en g. m₂ = masa del matraz de extracción, vacío, en g.</p>

Fuente: NTE INEN 541.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.2.2. Caracterización de análisis físico-químico del aceite de ricino

Una vez obtenido el aceite de ricino refinado, será necesario realizar la caracterización teniendo en cuenta si cumple con los requisitos estipulados por la ASTM para aceite de ricino, el procedimiento para la realización del análisis químico se desarrollará según la norma INEN para aceites y grasas de origen animal y vegetal.

Tabla 4-3: Determinación de densidad aparente del aceite

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<ul style="list-style-type: none"> - Picnómetro - Balanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> - Secar en la estufa el picnómetro - Colocar el picnómetro vacío en la balanza y anotar el peso (P1) - Agregar el aceite en el picnómetro - Pesar la muestra de aceite 	$\rho = \frac{P_1 - P_2}{V_p}$ <p>Donde:</p> <p>ρ = densidad</p> <p>P_1 = Peso del picnómetro vacío (g)</p> <p>P_2 = Peso del picnómetro con la muestra de aceite (g)</p> <p>V_p = Volumen del picnómetro (ml)</p>

Fuente: NTE INEN 35

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 5-3: Índice de refracción

MATERIALES	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Refractómetro digital - Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - Secar en la estufa el picnómetro - Calibrar el equipo con agua destilada - Presionar el botón de contenido para seleccionar índice de refracción - Limpiar el prisma.

	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra 0.1 mL sobre el prisma. - Cerrar la cubierta y presionar el botón de inicio - Anotar el resultado y limpiar el equipo - Agregar el aceite en el picnómetro - Apagar el equipo
--	--

Fuente: Laboratorio de Investigación, ESPOCH 2021

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 6-3: Determinación de índice de acidez

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Matraz Erlenmeyer 250 mL Bureta graduada 25 mL Balanza analítica SUSTANCIAS Y REACTIVOS Solución 0,1 N de NaOH Fenolftaleína 1% Etanol 96% Éter dietílico	Mezclar 25 mL (1:1) de etanol y éter en un matraz, añadir 1 mL de fenolftaleína y titular con la solución 0,1 N de NaOH Sobre otro matraz pesar 5 g de muestra y mezclar con el alcohol-éter estandarizado, titular la solución con 0,1 N de NaOH Anotar los mililitros gastados de NaOH	$i = \frac{56,1 \times V \times N}{m}$ Donde: i = índice de acidez del producto, en mg/g V = Volumen de la solución NaOH empleada en la titulación, en mL N = Normalidad de la solución de NaOH m = masa de la muestra analizada, en g

Fuente: NTE INEN – ISO 660.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 7-3: Determinación del índice de saponificación

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
- Matraz Erlenmeyer 250 mL provisto de refrigerante de reflujo 110 mL	- Sobre un matraz añadir 2 g de muestra, y usando la pipeta agregar 25 mL de	$i = \frac{56,1 \times (V1 - V2) \times N}{m}$ Donde:

<ul style="list-style-type: none"> - Bureta graduada 25 mL - Pipeta volumétrica 25 mL - Reverbero y malla de asbesto - Balanza analítica <p style="text-align: center;">SUSTANCIAS Y REACTIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solución 0,5 N de HCl - Solución etanólica de hidróxido de potasio - Fenolftaleína 1% 	<ul style="list-style-type: none"> - solución etanólica de hidróxido de potasio - Conectar al matraz el refrigerante de reflujo y hervir la mezcla en baño María durante 60 minutos - Añadir 1 mL de solución fenolftaleína y titular en caliente, el exceso de hidróxido de potasio con la solución 0,5 N de HCl - Simultáneamente se debe realizar un ensayo en blanco sin la muestra - Anotar los mililitros gastados de HCl 	<p>i = índice de saponificación del producto, en mg/g</p> <p>V1 = Volumen de la solución HCl empleado en la titulación, en mL</p> <p>V2 = Volumen de la solución HCl empleada en la titulación del ensayo en blanco, en mL</p> <p>N = Normalidad de la solución de HCl</p> <p>m = masa de la muestra analizada, en g</p>
---	--	--

Fuente: NTE INEN – ISO 3657.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 8-3: Determinación del índice de yodo

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<ul style="list-style-type: none"> - Matraz Erlenmeyer 500 mL provisto de refrigerante de reflujo 110 mL - Bureta graduada 50 mL - Pipeta graduada 25 mL - Pipeta graduada 20 mL 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 0,2 mg de muestra en un matraz y añadir 20 mL de tetracloruro de carbono - Agregar 25 mL de solución Wijs y agitar hasta completa disolución - Guardar el matraz en un lugar oscuro durante 1 h a 	$i = \frac{12,69 \times (V - V1) \times N}{m}$ <p>Donde:</p> <p>i = índice de yodo de la muestra, en mg/g</p> <p>V = Media aritmética de los volúmenes de solución de Na₂S₂O₃ empleados en titulación, en mL</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Matraz de aforo 100 mL - Balanza analítica <p style="text-align: center;">SUSTANCIAS Y REACTIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solución Wijs - Tetracloruro de carbono - Solución yoduro de potasio 15% - Solución 0,1 N de tiosulfato de sodio - Solución indicadora de almidón 1% 	<p>temperatura ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Añadir 20 mL de solución KI y 100 mL de agua destilada recién hervida, enfriar y titular con solución 0,1 N de Na₂S₂O₃ hasta que el color amarillo haya desaparecido - Añadir 1 mL de solución indicadora de almidón y seguir titulado hasta que el color azul desaparezca completamente - Anotar los mililitros gastados de Na₂S₂O₃ 	<p>V1 = Volumen de la solución Na₂S₂O₃ empleado en la titulación, en mL</p> <p>N = Normalidad de la solución de Na₂S₂O₃</p> <p>m = masa de la muestra analizada, en g</p>
---	--	---

Fuente: NTE INEN– ISO 3961.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 9-3: Determinación del índice de peróxidos

MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<ul style="list-style-type: none"> - Matraz Erlenmeyer 250 mL - Pipeta graduada 1 mL - Bureta 25 mL - Balanza analítica <p style="text-align: center;">SUSTANCIAS Y REACTIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solución ácido acético y cloroformo (3:2) - Solución saturada de yoduro de potasio 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar 5 g de muestra en un matraz y agregar 30 mL de solución ácido acético -cloroformo - Agitar el matraz hasta completa disolución y añadir 0,5 mL de disolución saturada de KI - Agitar el matraz hasta completa disolución y 	$i = \frac{V \times N}{m}$ <p>Donde:</p> <p>i = índice de peróxidos en meq de O₂ por kg de aceite</p> <p>V = Volumen de la solución Na₂S₂O₃ empleada en la titulación, en mL</p> <p>N = Normalidad de la solución de Na₂S₂O₃</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Solución 0,1 N de tiosulfato de sodio 	<ul style="list-style-type: none"> - añadir 30 mL de agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - m = masa de la muestra analizada, en g
<ul style="list-style-type: none"> - Solución indicadora de almidón 1% 	<ul style="list-style-type: none"> - Usando la solución 0,1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ titular hasta que desaparezca el color amarillo - Añadir 0,5 mL de solución indicadora de almidón y continuar titulado hasta que el color azul desaparezca. - Anotar los mililitros gastados de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 	

Fuente: NTE INEN– ISO 3960.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.3. Caracterización de la materia prima higerilla

Para el método seleccionado se procedió a realizar el análisis estandarizado de la higerilla en dos diferentes sitios de muestreo de la ciudad de Riobamba.

3.1.4. Obtención del aceite de ricino a escala de laboratorio

3.1.4.1. Proceso de pretratamiento de la materia prima

Al evidenciar que el muestreo realizado en la parroquia Maldonado comunidad de San Vicente de Lacas perteneciente a la ciudad de Riobamba presenta resultados favorables, se inició el proceso con esta especie.

- Selección y Recepción

Para iniciar con la parte experimental a escala de laboratorio, se necesitó recoger las muestras de higerilla y verificar si la fruta está en su completa maduración. Los racimos de higerilla fueron guardados en bolas de plástico, sin exponer a la luz solar.

- Descascarado y Limpieza

Una vez adquirida la materia prima, se realizó el descascarado del fruto, el proceso se realizó de manera manual, y teniendo en cuenta que durante el proceso de limpieza se separa la cascarilla, y además se retiró otras impurezas como hojas, tallos y piedras.

3.1.4.2. *Proceso de extracción de aceite de higuierilla a escala de laboratorio*

- Secado

Para determinar cuál es la temperatura óptima de secado, se realizó una experimentación en el secador de bandejas tipo armario, la temperatura fue regulada a 90, 100 y 110°C, cada uno de los factores se llegó a analizar durante el proceso de extracción. Las temperaturas de secado seleccionadas, está dada debido a que a elevadas temperaturas se desnaturaliza la proteína ricina, la cual es altamente tóxica para seres vivos. Para realizar el secado se utilizó lotes de 250 g de semillas, pesada en la balanza de laboratorio (PS 4500.R2 con precisión $\pm 0,1$ g).

- Descascarado

La semilla al contener una cápsula que protege al endospermo impide extraer su contenido de aceite, el descascarado se realizó con un matillo de goma que facilita el proceso. Por lo cual se retiró la cáscara y la semilla fue conservada en fundas de polietileno.

- Molienda

La molienda de semillas se desarrolló en un molino marca corona, las especificaciones del molino es muy incierto, tal es el caso que se utiliza molinos de martillo o molino de tornillo sinfín, en el cual se logra reducir el tamaño de partícula (Rojas Ramos, 2019), Según Danlami, Arsad y Zaini (2015) identifica que el tamaño requerido para obtener mayor rendimiento durante su experimentación toma tamaño de partícula de 1.40 , 2.36 y 3.35 milímetros.

- Extracción por solvente (Soxhlet)

La extracción del aceite se procedió a realizar en el equipo soxhlet, esta es una manera simple de extraer grasas a escala de laboratorio. En el proceso se debe tomar muy en cuenta la selectividad del solvente, otro aspecto muy importante en la extracción moderna es la naturaleza del disolvente, generalmente estos deben presentar una baja toxicidad y baja inflamabilidad (Prasad, Banerjee y Agarwal, 2021). Para poder optimizar recursos con altos rendimientos de aceite, se realizó una extracción con dos solventes etanol y éter de petróleo, en el cual se tomó en cuenta la selectividad que presenta cada solvente (Danlami, Arsad y Zaini, 2015).

Tabla 10-3: Selectividad de solvente,

N°	Solvente	Relación soluto/solvente (g/ml)	Tiempo de extracción (h)	Rendimiento (%)
1	Etanol	1/6	6	48,14%
2	Éter de petróleo			45,49%
3	Etanol	1/9		55,84%
4	Éter de petróleo			50,48%

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Danlami, Arsad y Zaini (2015) indica que el alcohol etílico al obtener una elevada polaridad tiene la capacidad de captar mayor contenido graso, en el caso del éter de petróleo su polaridad es baja por lo que le dificulta extraer mayor contenido de aceite, en su investigación obtiene un rendimiento del 54.5 % con etanol y 41 % con éter de petróleo, comparado con los resultados, el etanol 55.84 % obtiene mayor contenido de aceite, mientras que el éter de petróleo obtiene un menor rendimiento 50.48%.

Al determinar la selectividad que tiene el alcohol etílico se procede a realizar la extracción con este disolvente. El proceso se parte por el pesado de la muestra, 30 g con relación 1/6 y 1/9, asimismo 40 g para proporción 1/3 (muestra: solvente). El contenido de materia se ingresa en papel filtro cerrando sus bordes impidiendo que la muestra salga del capuchón. El proceso de extracción se realizó durante un tiempo de 6 horas, toda la disolución pasará al siguiente proceso de recuperación de solvente y el residuo se seca a temperatura ambiente para su posterior pesado.

- Recuperación solvente

En cuanto a la recuperación del solvente, se realizó mediante destilación al vacío, es recomendable realizar la destilación a presiones reducidas debido a que si se eleva la temperatura de destilación puede ocasionar la descomposición de proteínas (Montoya, 2012, pp. 21-25), el equipo que es utilizado a escala de laboratorio es el rotavapor (Buchi R-300, la bomba del vacío presenta una presión de 5mbar \pm 2mbar y una capacidad de vacío de 1,8 m³/h), al reducir la presión del sistema la temperatura del solvente también se disminuye, en este caso se utilizó alcohol etílico con un punto de ebullición de 78°C, la cantidad de solvente se puede considerar constante 180 mL ya que recircula durante el proceso con pérdidas insignificantes. Por tal motivo se redujo a temperatura de destilado a 40°C, y su tiempo de destilación es de 40 min.

La metodología para extraer aceite de ricino a escala de laboratorio se puede resumir en la siguiente:

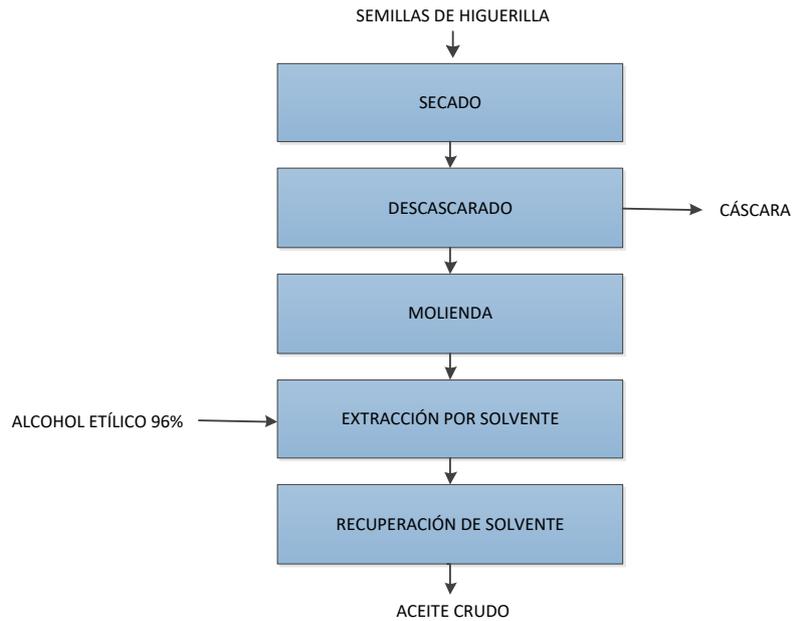


Figura 5-3: Diagrama de flujo extracción de aceite a escala de laboratorio

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

- Desgomado

Se utilizó 50 gramos de aceite crudo. Para eliminar los fosfátidos hidratantes, se agregó 2% de agua caliente y se agitó durante 10 min a una temperatura de 61°C, mientras que para los fosfátidos no hidratantes, se aplica métodos químicos, en el cual se añadió 0,1 % de ácido fosfórico 85%, el proceso se lleva a cabo a agitación constante a una temperatura de 61 °C durante un tiempo de 20 minutos. Luego se somete a una decantación durante 1 hora y se separó las gomas del aceite.

- Neutralización

Para eliminar la mayoría de compuesto jabonosos se realizó una neutralización alcalina con hidróxido de sodio 2% durante al menos 60 minutos a una temperatura de 71 °C. Seguidamente, se agregó 2% de agua caliente (70°C) y se agitó durante 10 min hasta reducir la máxima cantidad de jabón. La muestra se decantó durante 1 hora y se separó los jabones del aceite.

- Blanqueamiento

El aceite de ricino se blanqueó con carbón activado, se pesó 1% de carbón activado con relación al aceite utilizado. Se agitó durante 30 minutos, y después se procedió a calentar a 110°C durante otros 30 minutos para que se produzca la reacción. Por último, se filtró el aceite con papel celulosa eliminando el exceso de compuestos coloreados y el carbón activado no reaccionado.

- Evaporación

El exceso de cantidad de agua producida durante la etapa de desgomado y neutralización, fue eliminada en una estufa a 130°C durante 20 minutos.

- Envasado

Una vez obtenida el aceite de ricino refinado se envasó en botellas plásticas cilíndricas transparentes de 120 mL para su conservación.

La metodología para refinar el aceite de ricino a escala de laboratorio se puede resumir en el siguiente diagrama:

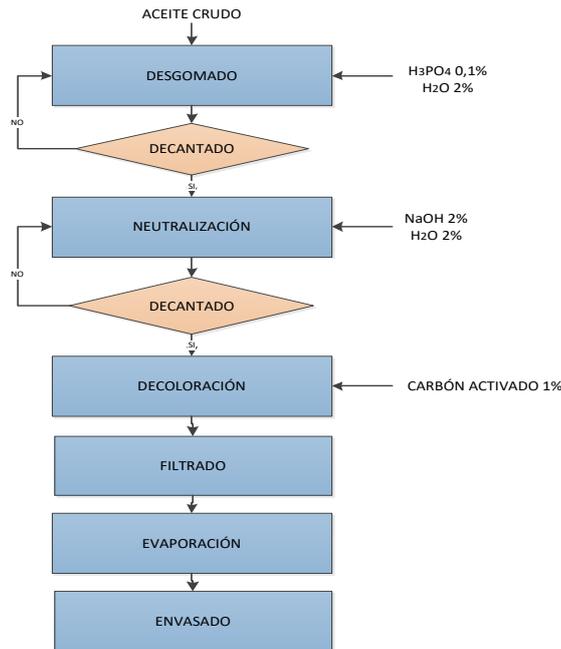


Figura 2-3: Diagrama de flujo refinación de aceite a escala de laboratorio

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.5. Variables del proceso

Tabla 11-3: Variable de proceso

VARIABLE	CONCEPTO	TIPO DE VARIABLE	SUB-VARIABLE	PARÁMETROS
Secado	Proceso por el cual se extrae pequeñas cantidades de agua presente en la muestra	Independiente	Temperatura	100 °C

Molienda	Proceso en el que se reduce el tamaño de partícula	Independiente	Tamaño de partículas	1.40 mm
Extracción sólido-líquido	Proceso de lixiviado mediante el contacto del soluto y el solvente	Dependiente	Solvente Relación soluto/solvente Tiempo	Etanol 1/6 6 h
Recuperación solvente	Proceso por el cual se separan componentes volátiles	Independiente	Temperatura Tiempo	40°C 30 min
Desgomado	Eliminación de gomas presente en el aceite	Dependiente	Temperatura Tiempo Cantidad agua Cantidad ácido fosfórico	61 °C 30 min 2% 0,1 %
Neutralización	Eliminación de ácidos grasos libres presente en el aceite	Dependiente	Temperatura Tiempo Cantidad agua Cantidad hidróxido sodio	71 °C 60 min 2% 2%
Decoloración	Eliminación de pigmentos coloreados	Dependiente	Temperatura Tiempo Cantidad de carbón activado	110 °C 30 minutos 1 %
Evaporación	Eliminación de pequeñas cantidades de agua	Dependiente	Temperatura Tiempo	130 °C 20 min

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.6. Cálculos de ingeniería

3.1.6.1. Diseño de secador

El proceso de secado se realizó en un secador de bandejas tipo armario, el cual ya presenta especificaciones

Tabla 12-3: Especificaciones de secador de bandeja tipo armario

ESPECIFICACIONES		MÁQUINA	
Número de bandejas		6	
Capacidad por bandeja		5 kg	
Capacidad total		50 kg	
Resistencia eléctrica		3200 watts	
Voltaje		220 voltios	
Material aislante		Lana de vidrio	
Material		Acero inoxidable AISI 304	
DIMENSIONES			
ELEMENTOS	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
Cámara exterior	76	42	80,2
Cámara interior	67	34,4	74,8
Bandejas	50,2	31,2	2,8

Fuente: (Beltrán y Veloz, 2014).

3.1.6.2. *Diseño del equipo de descascarillado*

El proceso de descascarado es un proceso mediante el cual se puede realizar manualmente, sin embargo, existe equipos que ayudarán a disminuir el trabajo manual, el cual cumple con las siguientes especificaciones:

Tabla 13-3: Especificaciones de descascarilladora

ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Fabricante	DELANI
Modelo	WINDCRACKER 50
Precio (\$)	486,22
Potencia (KW)	3
Voltaje (voltios)	220
Capacidad (kg/h)	50
Tasa de descascarillado	<10%
Dimensiones (mm)	1570 x 670 x 1530
Material	Acero inoxidable 304

Fuente: (DELANI a).

3.1.6.3. *Diseño del equipo de molienda*

En la parte práctica se utilizó un molino de tornillo sinfín sin embargo para su diseño el molino no presenta ecuaciones, por lo que, se ha elegido el más apto para triturar las semillas de higuerilla con un tamaño de 1.4 mm, el cual cumple con las siguientes especificaciones:

Tabla 14-3: Especificaciones del molino martillo

ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Fabricante	DELANI
Modelo	MINIREX
Precio (\$)	1500
Potencia (KW)	1.5
Voltaje (V)	220
Peso (kg)	65
Dimensiones (mm)	720 x 390 x 620
Capacidad (kg/h)	50
Tamaño de trituración (mm)	1 – 1.5
Material	Acero inoxidable 304

Fuente: (DELANI b).

3.1.6.4. *Diseño del equipo de extracción sólido-líquido y recuperación de solvente*

Dimensionamiento del tanque de ebullición

Para diseñar el tanque de ebullición que contendrá el disolvente se tomó en cuenta el volumen necesario de alcohol etílico 75 L y además se estima la resistencia de 6000 Watts.

Ecuación 1-3 Volumen de seguridad

$$x = V_d * 0,40$$

Donde

V_d = Volumen del tanque

Factor de seguridad = 0,40

Por seguridad se considera un 40% al volumen calculado

x = Volumen de seguridad

$$x = (0.15)(0.40)$$

$$x = 0.06 \text{ m}^3$$

Ecuación 2-3 Volumen total

$$V_T = V_d + x$$

$$V_T = 0.15 + 0.06$$

$$V_T = 0.21\text{m}^3$$

Para el diseño de tanques se debe toma la siguiente relación $H = 1.3\phi$

Ecuación 3-3 Diámetro y altura del tanque

$$V_T = \frac{\pi\phi^2 H}{4}$$

$$V_T = \frac{\pi\phi^2 (1.3\phi)}{4}$$

$$V_T = \frac{1.3}{4} \pi\phi^3$$

$$0.21\text{m}^3 = \frac{1.3\pi}{4} \phi^3$$

$$\phi = 0.590 \text{ m} = 590 \text{ mm}$$

$$H = 0.767\text{m} = 767 \text{ mm}$$

Dimensionamiento del tanque de extractor sólido-líquido

El tanque de extracción es de forma cilíndrica con fondo cónico, similar al equipo de extracción de laboratorio. Al realizar las pruebas en el laboratorio se determinó que la cantidad de solvente necesaria para lixiviar el soluto está comprendida en relación 1:3 y este volumen será considerado constante en todo el proceso ya que el líquido recircula y sus pérdidas serán nulas.

Para poder diseñar el equipo de extracción solido-liquido se decide considerar la cantidad saliente de las semillas molidas, con relación a este dato se evidenciará el volumen total del tanque.

$$\frac{\text{kg Higuierilla}}{\text{kg Solvente}} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 4-3 Volumen del tanque de extracción

$$V_{\text{Ext}} = V_{\text{Et}} + V_{\text{Ac}}$$

V_{Ext} = Volumen del tanque de extracción

V_{Et} = Volumen del etanol

V_{Ac} = Volumen del ricino

$$V_{\text{ext}} = \frac{75}{805} + \frac{25}{967}$$

$$V_{\text{Ext}} = 0.120 \text{ m}^3$$

Por seguridad se considera un 20% al volumen calculado

$$V_{\text{nominal}} = V_{\text{ext}} * 0.024$$

$$V_{\text{nominal}} = 0.144 \text{ m}^3$$

Ecuación 5-3 Tanque extractor de forma cilíndrica con fondo cónico

$$V_{\text{tanque}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono}}$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi\phi^2 H_{\text{Ci}}}{4} + \frac{\pi\phi^2 H_{\text{Co}}}{12}$$

Donde

H_{Ci} = Altura de la sección cilíndrica

H_{Co} = Altura de la sección cónica

Entonces

$$H_{\text{Co}} = \frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad}$$

$$H_{\text{Ci}} = 2\phi - \frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad}$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi}{4} \phi^2 \left(2\phi - \frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad} \right) + \frac{\pi}{12} \phi^2 \left(\frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad} \right)$$

$$V_{\text{tanque}} = \pi\phi^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12\text{Tg}60\text{rad}} \right)$$

$$0.144 = \pi\phi^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12\text{Tg}60\text{rad}} \right)$$

$$\phi^3 = 0.191$$

$$\phi = 0.576\text{m}$$

Reemplazando

$$H_{\text{Co}} = \frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad}$$

$$H_{\text{Co}} = \frac{0.576}{2} \text{Tg}60\text{rad} = 0.092\text{m}$$

$$H_{\text{Ci}} = 2\phi - \frac{\phi}{2} \text{Tg}60\text{rad}$$

$$H_{\text{Ci}} = 2(0.576) - 0.085 = 1.060\text{m}$$

Ecuación 6-3 Altura total del tanque

$$H = 2H_{\text{Co}} + H_{\text{Ci}}$$

$$H = 1.152 \text{ m}$$

Según el código ASME el tanque debe cumplir con la siguiente relación $\frac{H}{\phi} = 2$ a 5

$$\frac{H}{\phi} = \frac{1.152}{0.576} = 2$$

Dimensionamiento del condensador

Para diseñar el condensador es necesario determinar el número de tubos.

$$Q = UA_s \Delta T_m$$

Ecuación 7-3 Cálculo de LMTD para la condensación

$$\Delta T_1 = T_e - T_1$$

T_e = Temperatura de etanol vaporizado (entrada)

T_1 = Temperatura de agua fría

T_s = Temperatura de agua caliente

T_2 = Temperatura de etanol condensado (salida)

$$\Delta T_1 = 78 - 20$$

$$\Delta T_1 = 58^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_s - T_2$$

$$\Delta T_2 = 78 - 30$$

$$\Delta T_2 = 48^\circ\text{C}$$

Ecuación 8-3 Diferencia media Temperatura Logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{48 - 58}{\ln\left(\frac{48}{58}\right)}$$

$$\Delta T_m = 52,84^\circ\text{C}$$

Ecuación 9-3 Cálculo área

$$A_s = \frac{Q}{U\Delta T_m}$$

$$A_s = \frac{3051,29}{(640)(52,84)}$$

$$A_s = 0,090 \text{ m}^2$$

$$A = \pi D_T L_T$$

$$L_T = \frac{A}{\pi D_T}$$

$$L_T = \frac{0,090}{\pi(0,0267)} = 1,07$$

Ecuación 10-3 Número de tubos

$$N_T = \frac{L_T}{L}$$

Donde

N_T = N° de tubos

L_T = Longitud total del tubo

L = Longitud requerida

$$N_T = \frac{1,07 \text{ m}}{0,30 \text{ m}}$$

$$N_T = 3,75 \cong 4$$

La carcasa de condensador se basa según bibliografía ANEXO C diámetro 8 pulgadas y altura 20 pulgadas.

Diseño recuperación de solvente

El diseño de recuperación de solvente tiene el mismo principio de la extracción en este caso el tanque de ebullición es el tanque de dilución soluto-solvente mientras que el tanque de extracción al poseer un sistema de recirculación se eliminará el sistema y solo se trabajará con el tanque que en este caso será la columna de destilación, para el condensador si se realizó su diseño.

Dimensionamiento del condensador

$$Q = UA_s \Delta T_m$$

Ecuación 11-3 Cálculo de LMTD para la condensación

$$\Delta T_1 = T_e - T_1$$

T_e = Temperatura de etanol vaporizado (entrada)

T_1 = Temperatura de agua fría

T_s = Temperatura de agua caliente

T_2 = Temperatura de etanol condensado (salida)

$$\Delta T_1 = 78 - 20$$

$$\Delta T_1 = 58^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_s - T_2$$

$$\Delta T_2 = 78 - 30$$

$$\Delta T_2 = 48^\circ\text{C}$$

Ecuación 12-3 Diferencia media Temperatura Logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{48 - 58}{\ln\left(\frac{48}{58}\right)}$$

$$\Delta T_m = 52,84^\circ\text{C}$$

Ecuación 13-3 Cálculo área

$$A_s = \frac{Q}{U \Delta T_m}$$

$$A_s = \frac{3051,29}{(640)(52.84)}$$

$$A_s = 0.090 \text{ m}^2$$

$$A = \pi D_T L_T$$

$$L_T = \frac{A}{\pi D_T}$$

$$L_T = \frac{0,090}{\pi(0.0267)} = 1.07 \text{ m}$$

La carcasa de condensador se basa según bibliografía ANEXO C diámetro 8 pulgadas y altura 32 pulgadas

3.1.6.5. Diseño del equipo reactor y decantador de desgomado

Tabla 15-3: Datos de diseño para el equipo del desgomado

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	CANTIDAD
Volumen ácido fosfórico	V_{Fo}	m^3	$1,5 \times 10^{-5}$
Densidad de agua (61°C)	δ_{Ag}	kg/m^3	982.8
Densidad de aceite de ricino	δ_{Ac}	kg/m^3	967
Volumen de mezcla	V_T	m^3	0.0186

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tanque mezclador

Ecuación 14-3 Volumen de seguridad

$$x = V_d * 0,15$$

Donde

V_d = Volumen del tanque

Factor de seguridad = 0,15

x = Volumen de seguridad

$$x = (0.0186)(0.15)$$

$$x = 2,79 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ecuación 15-3 Volumen total

$$V_T = V_d + x$$

$$V_T = 0.0186 + 2.79 \times 10^{-3}$$

$$V_T = 0,0214 \text{ m}^3$$

Cálculo de la altura

Se propone un diámetro interno de mezclador 0.50 m

Ecuación 16-3 Cálculo del radio del mezclador

$$r_o = \frac{\phi_o}{2}$$

$$r_o = 0.25 \text{ m}$$

Ecuación 17-3 Altura del mezclador

$$H = \frac{4V_T}{\pi r_o^2}$$

$$H = \frac{4(0.0214)}{\pi(0.25)^2}$$

$$H = 0.436 \text{ m}$$

Para condiciones de diseño se aplica un factor de seguridad de 0,15

$$H_T = h + f_s * h$$

$$H_T = 0.436 + (0.15)(0.436)$$

$$H_T = 0.501 \text{ m} = 501.40 \text{ mm}$$

El fondo cónico tendrá una altura de 0,20m

Ecuación 18-3 Cálculo del volumen del fondo cónico

$$V_c = \frac{1}{3} \pi r^2 H$$

$$V_c = \frac{1}{3} \pi (0.25)^2 (0.20)$$

$$V_c = 0.13 \text{ m}^3$$

Ecuación 19-3 Cálculo de la altura inclinada del fondo cónico

$$h_i = \sqrt{r^2 + h^2}$$

$$h_i = \sqrt{(0.25)^2 + (0.2)^2}$$

$$h_i = 0.3206 \text{ m} = 320.60 \text{ mm}$$

Ecuación 20-3 Cálculo del ángulo del sector circular

$$\tan \theta = \frac{r}{h}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.25}{0.20}$$

$$\theta = 51,34$$

Para el sistema de agitación completa en particular se emplea agitador de tipo Turbina de palas inclinadas

Ecuación 21-3 Longitud del brazo

$$L_b = \frac{10}{11} * \phi_o$$

L_b = Longitud del brazo

ϕ_o = Diametro interno del mezclador

$$L_b = \frac{10}{11} * (0,50)$$

$$L_b = 0,45 \text{ m}$$

Por tener una altura del tanque de 0,426 m se sugiere que la longitud del agitador tenga un tamaño de 0,6 m

Ecuación 22-3 Espesor del agitador

$$E_r = \frac{1}{18} * L_b$$

Donde

E_r = Espesor del rodete

L_b = Longitud del brazo

$$E_r = \frac{1}{18} * 0,6$$

$$E_r = 0,033 \text{ m}$$

Ecuación 23-3 Diámetro del rodete

$$\phi_r = \frac{2}{3} * \phi_o$$

$$\phi_r = \frac{2}{3} * (0,5)$$

$$\phi_r = 0,33 \text{ m}$$

Ecuación 24-3 Distancia entre el fondo del tanque y el rodete

$$D_{tr} = h - L_b$$

D_{tr} = Distancia entre el fondo del tanque y el rodete

h = Altura asumida (cilindro y cono)

L_b = Longitud del brazo

$$D_{tr} = 0,74 - 0,60$$

$$D_{tr} = 0,14 \text{ m}$$

Ecuación 25-3 Altura de la paleta

$$A_p = \frac{1}{12} * L_b$$

A_p = Altura de la paleta

L_b = Longitud del brazo

$$A_p = \frac{1}{12} * 0,6$$

$$A_p = 0,05 \text{ m}$$

Ecuación 26-3 Número de Reynolds

$$NR_e = \frac{\phi_r^2 N \delta}{\mu}$$

Donde

NR_e = Número de Reynolds

ϕ_r = Diámetro del rodete

N = Velocidad rotacional

δ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad del fluido

$$NR_e = \frac{(0.33)^2 (2.5)(967)}{0,998 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 263.79$$

Ecuación 27-3 Potencia del agitador

$$P = N_p n^3 \phi_r^5 \delta_{\text{fluido}}$$

P = Potencia del agitador

N_p = Número de potencia

ϕ_r = Diámetro del rodete

n = Velocidad de agitación

δ_{fluido} = Densidad del fluido

Al tener el número de Reynolds, se utiliza la gráfica de correlaciones de potencia requerida para un agitador tipo turbina con palas inclinadas ANEXO G.

$$N_p = 1.80$$

$$P = 1.80 * 2.5^3 * 0.33^5 * 967$$

$$P = 106.44 \text{ W}$$

Al elegir el motor es necesario tomar en cuenta la potencia 0.12 KW, las especificaciones dependen del tipo de motor, para su funcionamiento se adquiere un motor trifásico 0.12 KW de 680 rpm fábrica ABB. Con su reductor de velocidad.

Diseño del decantador

Para el diseño del decantador se tomó en consideración un diámetro de 0.4 m

Ecuación 28-3 Altura del decantador

$$H = \frac{V_T}{\pi r_o^2}$$

$$H = \frac{(4)(0.0155)}{\pi(0.20)^2}$$

$$H = 0.493 \text{ m}$$

Para condiciones de diseño se aplica un factor de seguridad de 0,15

$$H_T = h + f_s * h$$

$$H_T = 0.493 + (0.15)(0.493)$$

$$H_T = 0.567\text{m} = 566,95 \text{ mm}$$

El fondo cónico tendrá una altura de 0.3 m

Ecuación 29-3 Cálculo del volumen del fondo cónico

$$V_c = \frac{1}{3}\pi r^2 H$$

$$V_c = \frac{1}{3}\pi(0,2)^2(0.3)$$

$$V_c = 0.0126 \text{ m}^3$$

Ecuación 30-3 Cálculo de la altura inclinada del fondo cónico

$$h_i = \sqrt{r^2 + h^2}$$

$$h_i = \sqrt{(0.2)^2 + (0.3)^2}$$

$$h_i = 0.36 \text{ m} = 360\text{mm}$$

Ecuación 31-3 Cálculo del ángulo del sector circular

$$\tan\theta = \frac{r}{h}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.20}{0.30}$$

$$\theta = 33.69$$

3.1.6.6. *Diseño del equipo reactor y decantador de neutralización*

Para el diseño del reactor y decantador en el proceso de neutralización se utilizó las mismas dimensiones debido a que la diferencia de volumen es mínima.

Tabla 16-3: Datos de diseño para el equipo de neutralización

DIMENSIONES DEL REACTOR	
ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Diámetro del mezclador	500 mm
Altura mezclador	501.40 mm
Altura fondo cónico	200 mm
Ángulo sector circular	51.34
DIMENSIONES DEL AGITADOR	
ESPECIFICACIONES	MÁQUINA

Longitud del brazo	600 mm
Diámetro del rodete	330 mm
Altura paleta	50 mm
Potencia agitadora	106.44 W
DIMENSIONES DEL DECANTADOR	
ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Altura cilindro	566.95 m
Diámetro	400 mm
Altura fondo cónico	300 mm
Diámetro fondo cónico	40
Ángulo sector circular	33.69

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Para el tanque de depósito de hidróxido de sodio si se consideró su calculo

$$V=0.013 \text{ m}^3$$

$$\emptyset = 0.4 \text{ m}$$

Ecuación 32-3 Volumen de seguridad

$$x = V_d * 0.15$$

Donde

V_d = Volumen del tanque

Factor de seguridad = 0.15

x = Volumen de seguridad

$$x = (0,013)(0.15)$$

$$x = 1.95 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ecuación 33-3 Volumen total

$$V_T = V_d + x$$

$$V_T = 0.013 + 1.95 \times 10^{-3}$$

$$V_T = 0.015 \text{ m}^3$$

Ecuación 34-3 Altura del tanque

$$V = \frac{\pi * \emptyset^2 * H}{4}$$

$$H = \frac{4V}{\pi r^2}$$

$$H = \frac{(0.015)(4)}{\pi(0.2)^2}$$

$$H = 0.48 \text{ m}$$

3.1.6.7. *Diseño del equipo reactor de decoloración*

En el proceso de decoloración también se utilizó las mismas dimensiones del reactor de desgomado en este caso el carbón activado y el aceite de ricino se debe mezclar completamente, mas no se añade otras cantidades de volumen.

Tabla 17-3: Datos de diseño para el reactor de decoloración

ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Diámetro del mezclador	500 mm
Altura mezclador	501.40 mm
Altura fondo cónico	200 mm
Ángulo sector circular	51.34
DIMENSIONES DEL AGITADOR	
ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Longitud del brazo	600 mm
Diámetro del rodete	330 mm
Altura paleta	50 mm
Potencia agitadora	106.44 W

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.6.8. *Diseño del equipo de filtración*

El filtrado por prensa no presenta ecuaciones de diseño, sin embargo, se ha elegido el más apto para separar residuos sólidos de carbón activado, el cual cumple con las siguientes especificaciones:

Tabla 18-3: Especificaciones técnicas de filtro de hoja a presión

ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Fabricante	Henan Zhongfu
Modelo	DZCR-400
Precio (\$)	800
Capacidad (L)	6
Presión (Mpa)	0,3
Peso (kg)	300

Voltaje (voltios)	220
Dimensiones (mm)	900 x 600 x 1000
Material	Acero inoxidable

Fuente: (Henan Company 2021).

3.1.6.9. Diseño del equipo del evaporador

El evaporador no presenta ecuaciones de diseño, sin embargo, se ha elegido el más apto para separar el contenido de agua, el cual cumple con las siguientes especificaciones:

Tabla 19-3: Especificaciones técnicas de deshidratador de aceite

ESPECIFICACIONES	MÁQUINA
Fabricante	Thermal Transfer Products
Modelo	EK-508-O
Precio (\$)	260
Puerto de aceite y agua	3/4"
Presión (psi)	150
Peso (kg)	3,62
Potencia (KW)	2,2
Dimensiones (mm)	104,4 x 27,5 x 39
Material	Acero Carcasa Aluminio Panel disipador Cobre serpentín

Fuente: (Joymatic, 2021).

3.1.6.10. Dimensionamiento de la bomba

Para transportar el líquido se consideró el tipo de bomba que posibilite las condiciones de operación, la bomba centrífuga tiene la capacidad de transportar fluidos viscosos a bajas presiones de descarga y además es económica. El material para su elaboración será de acero para el transporte de aceite al proceso de refinación mientras que en reactivos como hidróxido de potasio se elige material de polipropileno

Ecuación 35-3 Cálculo del caudal

Para determinar el caudal se considera el tiempo que se descarga el agua el cual será de 3 minutos, en una tubería de 1/2 pulgadas

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{3.05 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{180 \text{ s}} = 1.694 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Ecuación 36-3 Cálculo de la velocidad del fluido

$$v = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

$$v = \frac{4(1.694 \times 10^{-6})}{\pi(0.00635)^2}$$

$$v = 0.053 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tabla 20-3: Constante k de accesorios de ½ in

ACCESORIOS	CANTIDAD	K
Codo 90°	3	0.9
Unión simple	2	0.15
Unión universal	2	0.04
Adaptador	1	0.04
Válvula bola	1	70.00

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2018.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 37-3 Cálculo del coeficiente de resistencia de accesorios

$$H_m = \sum k \frac{v^2}{2g}$$

$$H_m = 73.12 \frac{(0.053)^2}{19.6}$$

$$H_m = 0.010$$

Ecuación 38-3 Cálculo del número de Reynolds

$$NR_e = \frac{v \rho \phi}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0.053)(982.8)(0.0127)}{(0.47 \times 10^{-3})}$$

$$NR_e = 1407.49$$

Por lo tanto, el flujo es laminar

Ecuación 39-3 Cálculo de la rugosidad relativa

La rugosidad absoluta del PVC es de 0.02 mm

$$RR = \frac{\varepsilon}{\phi}$$

$$RR = \frac{0.00002}{0.0127} = 0.0016$$

Ecuación 40-3 Cálculo del coeficiente de fricción

Con el Nre y la RR se calcula el coeficiente de fricción respecto al diagrama de Moody

$$f = 0.0225$$

Ecuación 41-3 Cálculo de perdidas por fricción (Ecuación de Darcy)

$$h_f = f \frac{L v^2}{\phi 2g}$$

$$h_f = 0.0225 \frac{2.40 (0.053)^2}{(0.0127) 2(9.8)}$$

$$h_f = 6,094 \times 10^{-4}$$

Ecuación 42-3 Ecuación de Bernoulli

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + H = hf + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \sum h_{fT} = \pm H$$

$$\frac{v_2^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \sum h_{fT} = \pm H$$

$$\frac{(0.053)^2}{19.6} + (z_2 - z_1) + 0.010 = \pm H$$

$$H = 22.934$$

Ecuación 43-3 Cálculo del flujo másico

$$W = \rho Q$$

$$W = (982.8)(0.053)$$

$$W = 52.08$$

Ecuación 44-3 Cálculo de la potencia de la bomba

$$Hp = \frac{WH}{75\eta}$$

$$Hp = \frac{(52.08)(2)}{75(0.8)}$$

$$Hp = 1.74$$

Se decide por una bomba centrifuga de 2 Hp

3.1.7. Requerimiento de equipos

Para la ejecución del proceso de producción de aceite de higuera se requiere de varios equipos en su mayoría son fabricados con acero inoxidable AISI 304 de 2mm utilizado para material en contacto con aceite, además se contará con equipos comprados directamente sin necesidad de construirlos; los cuales son balanza, descascaradora, molino de martillo, filtro de hoja a presión y evaporador.

En cuanto al precio de cada equipo es necesario determinar la cantidad requerida de acero inoxidable, el precio unitario de la plancha de acero inoxidable Mate 304 de 2mm (1220 x 2440 mm) está en \$207.18 (Import Aceros, 2021), y con la ayuda del programa autodesk inventor profesional se aprecia el área ocupada por el equipo, la cual nos ayudara a calcular la cantidad de material a utilizar. A esto se le adiciona un costo aproximado de accesorios utilizados en cada equipo.

Tabla 21-3: Requerimientos de equipos para la producción de aceite de ricino

PROCESO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	PRECIO
Pesaje	Balanza	Sirve para pesar las semillas de higuera	Acero Inoxidable	228.39
Secado	Secador de bandejas tipo armario	Sirve para eliminar el contenido de agua presente en la semilla y conservar la misma impidiendo la presencia de microorganismos	Acero Inoxidable AISI 304	2037.6
Descascaradora	Descascaradora	Sirve para eliminar la cáscara de la semilla	Acero Inoxidable 304	9940.00
Molienda	Molino de martillo	Permite reducir el tamaño de partícula requerida 1,40 mm	Acero Inoxidable 304	4100.00
	Tanque de ebullición	Permite calentar el alcohol etílico	Acero Inoxidable AISI 304	618.36

Extracción sólido- líquido	Tanque de extracción	Permite almacenar la disolución aceite y etanol	Acero Inoxidable AISI 304	536.30
	Condensador	Transforma el vapor de alcohol etílico en líquido	Carcasa Acero Inoxidable AISI 304	242.18
Serpentín Cobre			69.6	
Recuperación solvente	Tanque solución soluto- solvente	Permite calentar la mezcla aceite-etanol	Acero Inoxidable AISI 304	618.36
	Columna de destilación	Permite que el vapor ascienda hacia el condensador	Acero Inoxidable AISI 304	536.30
	Condensador	Transforma el vapor de alcohol etílico en líquido	Carcasa Acero Inoxidable AISI 304	242.18
			Tubo condensador Cobre	69.6
	Tanque depósito solvente	Permite almacenar el alcohol etílico	Acero Inoxidable AISI 304	414.36
Desgomado Neutralización	Tanque depósito agua/hidróxido de sodio	Sirve para calentar el agua a 60°C	Acero Inoxidable AISI 304	207.18
	Tanque mezclador	Sirve para mezclar el aceite crudo con el agua caliente y el ácido fosfórico o con hidróxido de sodio	Acero Inoxidable AISI 304	467.55
	Agitador	Permite realizar una mezcla homogénea	Acero Inoxidable AISI 304	108.00
	Decantador	Permite separar el exceso de gomas o jabones presente en la mezcla	Acero Inoxidable AISI 304	270.15
Decoloración	Tanque mezclador	Sirve para mezclar el aceite neutralizado y el carbón activado	Acero Inoxidable AISI 304	467.55
	Agitador	Permite realizar una mezcla homogénea	Acero Inoxidable AISI 304	108.00
Filtración	Filtro de hoja a presión	Permite separar el exceso de carbón activado	Acero Inoxidable	800.00

Evaporación	Evaporador	Permite separar el agua del aceite, con destilación al vacío	Acero Inoxidable	260.00
-------------	------------	--	------------------	--------

Fuente: Import Aceros, 2022.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.8. Costos materia prima

En la Tabla 22-3 se presenta los costos de la materia prima e insumos necesarios para producir 160 Litros de aceite de ricino mensualmente, tomando en consideración que el lote será dividido en presentaciones de 250 mililitros accesible para el cliente.

Tabla 22-3: Costos de materia prima e insumos para producir 160 L de aceite de ricino

COSTOS DE MATERIA PRIMA E INSUMOS				
INSUMOS	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Alcohol etílico	375	L	2.23	836.25
Ácido fosfórico	500	mL	0.65	0.65
Hidróxido de sodio	0.5	kg	1.25	1.25
Carbón activado	0.5	kg	7.9	7.9
Botella	640		0.8	512
TOTAL				1358.05

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.9. Costos mano de obra

Para poder iniciar el proyecto es necesario optar por un personal para el área de producción y área administrativa, en la Tabla 23-3 se presenta la mano de obra de producción, este se encargará de cumplir con el funcionamiento de la planta, contratando un operador y 2 técnicos, además en la Tabla 24-3 se indica al personal requerida para el área administrativa una secretaria y un distribuidor.

Tabla 23-3: Mano de obra directa

MANO DE OBRA PRODUCCIÓN			
PERSONAL	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
Operador	1	500	500
Técnicos	2	500	1000
TOTAL			1500

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 24-3: Mano de obra indirecta

MANO DE OBRA ADMITRATIVA			
PERSONAL	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
Secretaria	1	500	500
Distribuidor	1	400	400
TOTAL			900

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.10. Costos análisis de laboratorio

Se presenta el costo de los análisis de laboratorio otorgado por el laboratorio acreditado, el análisis se realizará cada mes evidenciando la calidad del aceite producida.

Tabla 25-3: Análisis de laboratorio

ANÁLISIS DE LABORATORIO	COSTO
Índice de acidez	15.00
Índice de yodo	35.00
Índice saponificación	35.00
Índice de peróxido	35.00
SUBTOTAL	120.00
TOTAL	134.40

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.11. Costos servicios básicos

En cuanto al requerimiento de servicios básicos se consideró el consumo requerido durante el mes, el gasto aproximado de energía es de 17232 KW que cubrirá todos los equipos, por otra

parte, la cantidad de agua necesaria es de 314.40 m³, al tener presente el costo por KW (energía) y m³ (agua potable) se establece el precio de consumo total presente en la Tabla 26-3.

Tabla 26-3: Requerimientos servicios básicos

REQUERIMIENTOS SERVICIOS BÁSICOS			
DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Energía	Kw/mes	0,09 kwh	1550.88
Agua Potable	m ³ /mes	0,35 m ³	100.04
TOTAL			1650.92

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.12. Costos muebles y enseres

Tabla 27-3: Muebles y enseres

ÁREA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ÁREA DE PRODUCCIÓN			
Mesas de trabajo	1	120.00	120.00
SUBTOTAL			120.00
ÁREA ADMINISTRATIVA			
Escritorio	1	130.00	130.00
Silla	1	45.00	45.00
SUBTOTAL			175
ÁREA DE VENTAS			
Escritorio	1	130.00	130.00
Silla	1	45.00	45.00
SUBTOTAL			175.00
TOTAL			470.00

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.13. Ingresos anuales

Los ingresos anuales están directamente relacionados con el precio que tendrá el producto, para determinar el costo unitario de aceite refinado se prefirió investigar sobre su precio, está en \$ 8

los 250 mL de aceite refinado (Botica Bristol, 2021). Además, se pretende obtener una utilidad del 35% de costos de ganancias.

$$PVP = CP \left(\frac{100}{100 - U} \right)$$

Donde:

PVP = Precio a la venta del público

CP = Costo de producción

U = Utilidad deseada 35%

$$PVP = 8 \left(\frac{100}{100 - 35} \right)$$

$$PVP = 12.30$$

Por otro parte, para establecer la producción anual se consideró los 20 días que trabajara la empresa durante el mes, en la Tabla 28-3 se detalla las unidades producidas con un lapso de 240 días que comprende un año.

Tabla 28-3: Ingresos de ventas anualmente

UNIDADES PRODUCIDAS/ LOTE (mL)	PRODUCCIÓN POR AÑO	COSTO PRODUCCIÓN UNIDAD	PVP	INGRESOS ANUALES
32	7680	8.00	12.30	94464.00

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.14. Maquinaria y Equipos

Para la instalación y el montaje de los equipos es necesario elegir un personal que se encargue de la construcción de las maquinarias y su infraestructura que contemplará la fábrica, para lo cual se contratara 2 ingenieros mecánicos y 1 ingeniero eléctrico, quienes estarán presentes hasta finalizar la obra.

Tabla 29-3: Costos para la implementación del proceso de extracción de aceite de ricino

MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Balanza	1	228.39	228.39
Descascarilladora	1	9940.00	9940.00
Secador de bandejas	1	2037.60	2037.60
Molino de martillo	1	4100.00	4100.00

Tanque de ebullición	2	618.36	1236.72
Tanque de extracción	2	536.30	1072.60
Tanque depósito etanol	1	414.36	414.36
Carcasa Condensador	1	242.18	242.18
Carcasa Condensador reflujo	1	242.18	242.18
Serpentín	2	69.60	139.20
Tanque depósito hidróxido de sodio/agua	2	207.18	414.36
Tanque reactor	3	467.55	1402.65
Agitador	3	108.00	324.00
Decantador	2	270.15	540.30
Filtro prensa	1	800.00	800.00
Evaporador	1	260.00	260.00
Bomba centrífuga	6	280.00	1680.00
SUBTOTAL			25074.54
INSTALACIONES DE EQUIPOS			
Mano de obra	3	1300	3900
Tuberías y accesorios	10	178.34	17834
SUBTOTAL			21734
TOTAL			46808.54

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

La maquinaria al ser un inmueble que durante el tiempo pierde su costo por causa de daño alguno al equipo es necesario ajustar su valor de depreciación, en el Ecuador la vida útil de equipos es de 5 años con una tasa de depreciación anual de 20%.

Tabla 30-3: Depreciación, mantenimiento y seguros de la maquinaria/equipos

MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VIDA ÚTIL (AÑOS)	INVERSIONES	
					DEPRECIACIÓN (%)	VALOR (\$)
Balanza	1	228.39	228.39	5	20	45.68
Descascarilladora	1	9940.00	9940.00	5	20	1988.00
Secador de bandejas	1	2037.60	2037.60	5	20	407.52
Molino de martillo	1	4100.00	4100.00	5	20	820.00
Tanque de ebullición	2	618.36	1236.72	5	20	247.34

Tanque de extracción	2	536.30	1072.60	5	20	214.52
Tanque depósito etanol	1	414.36	414.36	5	20	82.87
Carcasa Condensador	1	242.18	242.18	5	20	48.44
Carcasa Condensador reflujo	1	242.18	242.18	5	20	48.44
Serpentín	2	69.60	139.20	5	20	27.84
Tanque depósito hidróxido de sodio/agua	2	207.18	414.36	5	20	82.87
Tanque reactor	3	467.55	1402.65	5	20	280.53
Agitador	3	108.00	324.00	5	20	64.80
Decantador	2	270.15	540.30	5	20	108.06
Filtro prensa	1	800.00	800.00	5	20	160.00
Evaporador	1	260.00	260.00	5	20	52.00
Bomba centrífuga	6	280.00	1680.00	5	20	336.00
TOTAL			25074.54			5014.91

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.15. Presupuesto de costos y gastos

El presupuesto de costos de producción es determinado en función a la tasa de inflación con un incremento del 2% anual.

Tabla 31-3: Presupuesto de costos

DETALLE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
COSTOS DE PRODUCCIÓN					
Materia prima	16296.60	16622.53	16954.98	17294.08	17639.96
Mano de obra directa	18000.00	18360.00	18727.20	19101.74	19483.78
SUBTOTAL	34296.60	34982.53	35682.18	36395.83	37123.74
COSTOS ADMINISTRATIVOS					
Sueldos	10800.00	11016.00	11236.32	11461.05	11690.27
Servicios Básicos	19811.04	20207.26	20611.41	21023.63	21444.11
Análisis de laboratorio	1612.80	1645.06	1677.96	1711.52	1745.75
SUBTOTAL	32223.84	32868.32	33525.68	34196.20	34880.12
COSTOS DE VENTAS					
Publicidad	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
SUBTOTAL	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
TOTAL	66620.44	67952.85	69311.91	70698.14	72112.11

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.16. Flujo de caja

En la Tabla 32-3, se observa el flujo de caja anual de la producción de aceite de ricino, con una proyección de gastos de 5 años de funcionamiento de la planta; la implementación de este flujo de efectivo es realizado con la finalidad de apreciar si el proyecto es rentable a largo plazo.

Así también, se encuentra el valor TIR (Tasa Interna de Retorno), VAN (Valor Actual Neto) y la Tasa descuento, indicadores económicos que nos ayudan a evaluar la inversión del proyecto.

Tabla 32-3: Flujo de caja

RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
(+) Ventas netas		94464.00	94464.00	94464.00	94464.00	94464.00
(-) Costos producción		34296.60	34982.53	35682.18	36395.83	37123.74
(-) Costos administrativos		32223.84	32868.32	33525.68	34196.20	34880.12
(-) Costos ventas		100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
(-) Depreciación		5014.91	5014.91	5014.91	5014.91	5014.91
Utilidad antes impuesto		22828.65	21496.24	20137.19	18750.95	17336.99
Impuesto a la renta		0.00	949.14	-391.36	-2946.51	-6719.60
Utilidad neta		22828.65	20547.11	20528.55	21697.46	24056.59
(+) Depreciación		5014.91	5014.91	5014.91	5014.91	5014.91
(-) Inversión en máquinas y equipos	46808.54					
(-) Muebles y enseres	470.00					
(-) Imprevistos	2363.93					
FLUJO DE CAJA	-49642.47	27843.56	25562.01	25543.46	26712.37	29071.50
FLUJO ACUMULADO	-49642.47	-21798.91	3763.11	29306.56	56018.93	85090.43
TIR	45.86%					
VAN total	52282.69					
Tasa de descuento	10%					

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

3.1.17. Análisis costo/beneficio

Para la implementación de la planta de aceite de ricino se necesita una inversión inicial de \$ 49642.47, estos gastos económicos corresponden a la adquisición de maquinarias-equipos,

muebles enseres, e imprevistos, estos gastos serán recuperados en un tiempo estimado de 2 años considerando positivo el flujo acumulado. Así también, se puede evidenciar el flujo de caja de cada año con ingresos de ventas netas de \$94464.00.

La depreciación es considerada como un costo activo, el cual se reduce al disminuir su vida útil, sin embargo, no tiene salida de efectivo, por lo que se estima nuevamente como una utilidad neta. En cuanto a la investigación financiera se obtiene un valor \$ 52282.69 de VAN (Valor actual neto), que consiste entre la diferencia de ingresos y la inversión inicial, por otra parte, el TIR (Tasa interna de retorno) 25.86 %, que comparado con la Tasa de descuento 10%, quiere decir que las inversiones en el proyecto son rentables, ya que la TIR supera la tasa mínima de rentabilidad que exige la inversión.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la materia prima

Tabla 33-3: Resultados análisis químico materia prima higuierilla

MUESTRA	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3
San Vicente de Lacas			
HUMEDAD	7.00 %	6.94 %	6.95 %
CENIZAS	3.47 %	3.37 %	3.34 %
GRASAS	48.31 %	48.40 %	48.43 %
Cubijés			
HUMEDAD	7.62 %	7.67 %	7.68 %
CENIZAS	2.95 %	2.83 %	3.05 %
GRASAS	47.45 %	47.38 %	47.41 %

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Según Gómez García (2015), la composición química de las semillas de ricino varía dependiendo de su especie y sus condiciones de sembrío, el parámetro en semillas grandes es: humedad 7.32%, ceniza 3.26% y grasa 47.18% por otro lado, las semillas pequeñas su humedad es 7.18%, ceniza 3.89% y grasa 48.56%. Sabiendo así las semillas están en el rango establecido y por tal motivo se reconoce que las semillas de la comunidad de San Vicente son de una variedad pequeña y de Cubijés de una especie grande

Se realizó el análisis estandarizado de semillas de higuierilla en la comunidad de San Vicente de Lacas de la parroquia Maldonado y la parroquia Cubijés, perteneciente a la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. Luego de realizar las pruebas se consiguieron los siguientes resultados 6.96% de humedad en semillas de San Vicente y 7.66% de humedad en semillas de Cubijés, 3.39% de cenizas en semillas de San Vicente de Lacas y 2.94% de cenizas en semillas de Cubijés, mientras que el contenido de grasas, 48.38% en el sector de San Vicente de Lacas y 47.41% en el sector de Cubijés.

4.2. Resultados del rendimiento de la extracción de aceite de higuera

Para verificar que el proceso de extracción se ejecuta de manera óptima, se realizó tres experimentos a la muestra 2. Los resultados se detallan en la Tabla 34-3, asimismo la réplica de los ensayos presenta un porcentaje de error típico 0.162, lo que significa que los ensayos son confiables y reproducibles de tal manera que se pueden realizar los experimentos propuestos en la Tabla 35-3.

Tabla 34-3: Resultados extracción muestra 2

N°	Peso muestra	Porcentaje	Promedio	Des. estándar Peso muestra	Des. estándar Porcentaje	Error típico
1	29.534	46.80	43.98	0.315	2.518	0.162
2	30.114	43.20				
3	30.038	41.95				

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 35-3: Resultados rendimiento de extracción aceite de higuera

N°	Temperatura (°C)	Tamaño (mm)	Relación soluto/solvente (g/mL)	Peso muestra (g)	Porcentaje (%)
1	90	1.40	1/3	39.765	65.18
2		2.36	1/6	29.534	43.98
3		3.35	1/9	30.438	41.89
4	100	1.40	1/6	30.149	70.75
5		2.36	1/9	30.044	52.69
6		3.35	1/3	40.010	46.36
7	110	1.40	1/9	30.121	70.88
8		2.36	1/3	39.989	53.91
9		3.35	1/6	30.067	38.85

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Tabla 36-3: Análisis de varianza

Parámetro	Grados de lib.	Suma Aj de Cuadrados	Cuadrados Medios Aj	F-Value	P-Value
Relación	2	31.16	15.58	1.49	0.401
Tamaño	2	1138.1	569.05	54.45	0.018
Temperatura	2	54.42	27.21	2.6	0.277
Error	2	20.9	10.45		
Total	8	1244.59			

Fuente: Minitab, 2022.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Hipótesis

H1: El incremento en la temperatura de secado tiene efecto en el rendimiento del aceite.

H0: El incremento en la temperatura de secado no tiene efecto en el rendimiento del aceite.

H1: La reducción del tamaño de partícula tiene efecto en el rendimiento del aceite.

H0: La reducción del tamaño de partícula no tiene efecto en el rendimiento del aceite.

H1: El incremento en la proporción de solvente a soluto tiene efecto en el rendimiento del aceite.

H0: El incremento en la proporción de solvente a soluto tiene efecto en el rendimiento del aceite.

En la Tabla 36-3, análisis de varianza, el factor tamaño de partícula rechaza la hipótesis nula (H0) $p\text{-value} < 0.05$ y se acepta la hipótesis alternativa (H1), asumiendo así su nivel de confianza del 95% con respecto al factor importante que incide en el rendimiento de aceite.

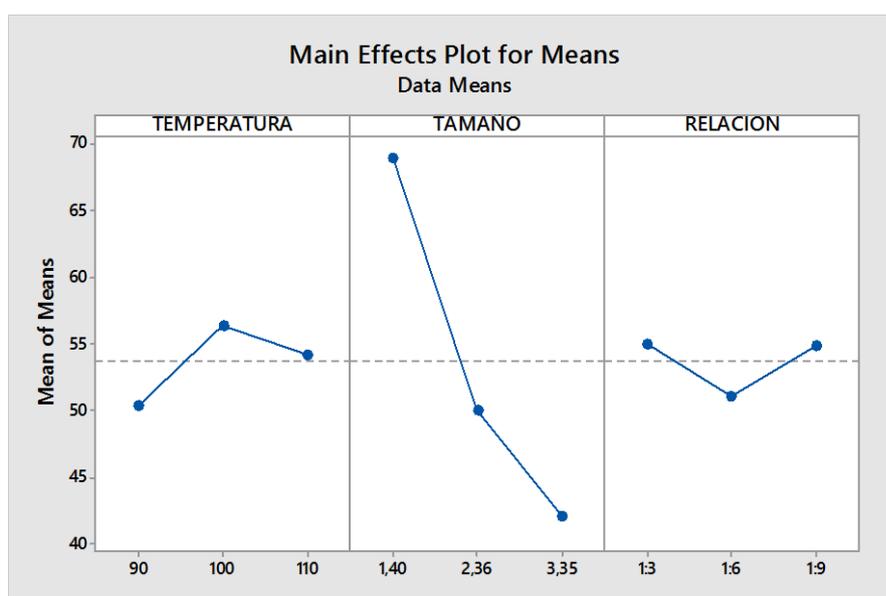


Gráfico 1-4: Efecto temperatura, tamaño y relación en la extracción de aceite ricino

Fuente: Minitab, 2022.

En la Tabla 35-3 se observa los resultados del rendimiento de extracción, en base a la temperatura de secado, tamaño de partícula y relación soluto a disolvente. Los resultados se pueden reflejar de mejor manera en el Gráfico 1-4, donde se puede observar como la temperatura se incrementa de 90 a 100°C hasta obtener un rendimiento aproximado del 57% de aceite, sin embargo, al elevar su temperatura a 110°C este tiende a disminuir su rendimiento, ocasionando un menor efecto sobre la cantidad de aceite extraído. Estos resultados son consistentes con los reportados por Panchal (2014), indicando que la reducción en el rendimiento de grasas se produce a altas temperaturas, mientras que un aumento temperatura de 80 a 90°C reduce su viscosidad cinemática, producto de un aumento en la fluidez de los ácidos grasos. Así también, Perea Flores (2011), utiliza temperaturas entre 80 a 110°C, debido a que a esta temperatura se inactiva la proteína ricina, una sustancia toxica que provoca la muerte en seres humanos.

Además, una partícula pequeña de 1.40 mm presenta mayor porcentaje de grasa, mientras que, si su tamaño se sigue incrementando a 2.36 y 3.35 mm su rendimiento disminuye paulatinamente, esto se puede evidenciar con los resultados propuestos por (Sayyar et al., 2009) quienes indican que, partículas mayores a 0.75 mm extrae menor cantidad de aceite, en comparación con partículas de menor tamaño. El motivo es que las partículas más grandes presentan mayor resistencia a la entrada de disolvente causado por la compactación de la materia. Asimismo, Danlami, Arsad y Zaini (2015), investigaron el rendimiento de aceite con tamaño de partículas 1, 2.26 y 3.35 mm, obteniendo rendimientos de 59.7%, 51.9% y 49.6%, sin embargo, si la partícula es demasiado pequeña menor a 0.5 mm, existe una acumulación de partículas finas impidiendo su extracción.

Mientras que, la relación soluto/solvente es una variable que no tiene efecto directo sobre el rendimiento del aceite, encontrando un aumento de contenido de grasa, en proporción semilla a solvente 1:6 a 1:9, así mismo su eficiencia disminuye al reducir la proporción de 1:3 a 1:6, según Efthymiopoulos et al. (2019) este efecto puede deberse a la limitación que existe al difundirse la grasa con el solvente, llegando a su máximo rendimiento y limitando su disminución en el gradiente de concentración. En cuanto que Dasari y Goud (2014), utiliza relaciones soluto solvente 1:3, 1:6 y 1:9, obteniendo mayor rendimiento con un aumento en proporción 1:3, en tanto que relaciones 1:6 y 1:9 su rendimiento no tiene consistencia durante el proceso de extracción.

En cuanto a las variables optimas necesarias para obtener un máximo rendimiento de aceite, se encuentra en primer lugar el tipo de solvente, el alcohol etílico 96% es el indicado para extraer grasas comparado con el éter de petróleo, según Danlami, Arsad y Zaini (2015), indican que al poseer moléculas polares existentes, generan una interacción dipolo-dipolo con la grasa, así también el etanol al tener un punto de ebullición más elevado que el éter de petróleo su reacción se acelera en gran medida, incluidas las reacciones secundarias. Además, es necesario reducir el tamaño de partícula (1.40 mm) mediante molienda antes de extraer grasas, mencionando así Efthymiopoulos

et al. (2019), los granos pequeños y delgadas tienen buena permeabilidad al solvente y difusividad al aceite, mientras más grandes y gruesas son las partículas tienen características opuestas debido al área de superficie reducida. Así también Perea Flores (2011) señala que un secado adecuado (90°C secador de bandejas) optimiza el proceso de extracción, si el contenido de humedad supera el 10% p/p, interfiere en la penetración de solvente y difusión del aceite, causado por la solubilidad del etanol. Asimismo, Gómez García (2015) menciona que es recomendable eliminar las cáscaras, al no poseer contenido graso, impide la transferencia semilla (grasa-solvente).

4.3. Resultados de refinación del aceite de ricino

En cuanto a la refinación del aceite, se trata con dos muestras de grasa, este proceso se realiza para determinar si el tratamiento influye en la calidad del aceite. En la Tabla 43-3 se puede apreciar los resultados del proceso con una muestra de mayor contenido graso 70.88 % muestra 7 y menor contenido graso 38.85 % muestra 9.

Tabla 37-3: Resultados de refinación de aceite crudo

PROCESO	MAYOR CONTENIDO		MENOR CONTENIDO	
	GRASO		GRASO	
Desgomado	55.8 g	46.67 g	22.2 g	18.5 g
Neutralización	48.54 g	40.77 g	19.24 g	16.16 g
Decoloración	41.18 g	26.77 g	16.32 g	10.60 g
Evaporación	26.77 g	25.70 g	10.60 g	10.17 g

Fuente: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

4.4. Caracterización físico química del aceite refinado

Tabla 38-4: Informe de resultados análisis físico-químico

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDADES	METODO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES ASTM
pH	5.60	-	pH-metro	-
Densidad	0.967	g/ml	NTE INEN 0035	0.957-0.961
Viscosidad	997.8	centipoise	Viscosímetro Brookfield	-
Índice de refracción	1.4789	-	NTE INEN-ISO 6320	1.476-1.478

Acidez (expresada como ácido oleico)	0.5	mg/g	NTE INEN-ISO 660	2 (max)
Índice de yodo	86.1	cg/g	NTE INEN-ISO 3961	83-88
Índice de peróxido	4.7	meq O ₂ /kg (En grasa extraída)	NTE INEN-ISO 3960	-
Índice de saponificación	183.09	mg KOH/g	NTE INEN-ISO 3657	176-184

Fuente: Laboratorios LASA, 2021; Naik et al., 2018.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

La densidad del aceite de ricino presentó un valor de 0.967 g/ml, este valor se asemeja con los resultados obtenidos por Lombeida (2015) y está dentro del rango establecido por Naik et al. (2018, pp. 623-656). Al igual que el índice de refracción obtenido 1.4789 se asimila con los resultados investigados por (Díaz y Meza, 2015). La viscosidad del aceite de ricino es alta 997.8 centipoise comparada con otros aceites maíz, palma, linaza, oliva entre otros, cuyos valores se encuentran entre 28 – 84 centipoise, sus propiedades varían debido a la presencia de grupos funcionales polares (Yeboah et al., 2020).

Lombeida (2015) mediante su investigación realiza la caracterización físico químico del aceite de ricino acondicionado en el que obtiene los siguientes resultados: índice de acidez 0.45 mg/g, índice de yodo 87 cg/g, índice de saponificación 183 mg KOH/g, índice de peróxidos 1.04 O₂/kg, valores que concuerdan con los resultados obtenidos: índice de acidez 0.5 mg/g, índice de yodo 86.1 cg/g, índice de saponificación 183.09 mg KOH/g, e índice de peróxidos 4.7 O₂/kg.

4.5. Balance de Materia y Energía

En el dimensionamiento de la planta piloto se consideró que se va abarcar el 3% del total de importaciones de aceites vegetales refinados como productos derivados; el total producido anualmente es de 853 toneladas de las cuales el 8%, 68.24 toneladas es utilizado como productos derivados (González, 2020, pp. 85-87), realizando el cálculo se debe producir 2 toneladas anualmente, por lo que se recomienda producir 8 Litros de aceite diarias. Entonces el producto está destinado a un sector de pequeño mercado.

4.5.1.1. Secado

Para elaborar aceite de ricino se partió por un peso de 251.07 gramos de higuerrilla, al realizar el proceso de secado se perdió 4,1% de agua en forma de vapor.

Cantidad obtenida en el laboratorio: semillas secas 240.77 gramos

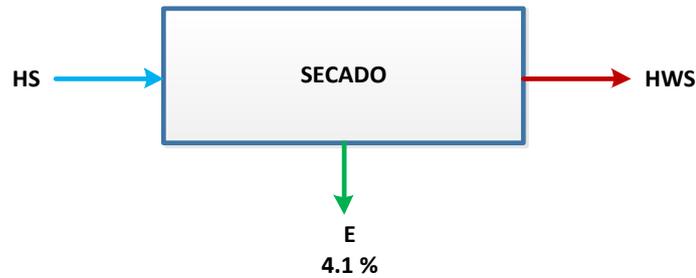


Gráfico 2-4: Balance de secado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$HS = HWS + E$$

Donde

HS = Semillas de higuerrilla

HWS = Semillas secadas

E = Agua en forma de vapor

$$HWS = HS - E$$

$$HWS = 40 \text{ kg/día} - 1.64$$

$$HWS = 38.33 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

Donde

%Rendimiento = Porcentaje de rendimiento en la selección de materia prima

MP sale = Materia prima después de la sección

MP entra = Materia prima antes de la sección

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{38.33}{40} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 95.8\%$$

4.5.1.2. Descascarado

Cantidad obtenida en el laboratorio: semillas sin cáscara 161.32 gramos

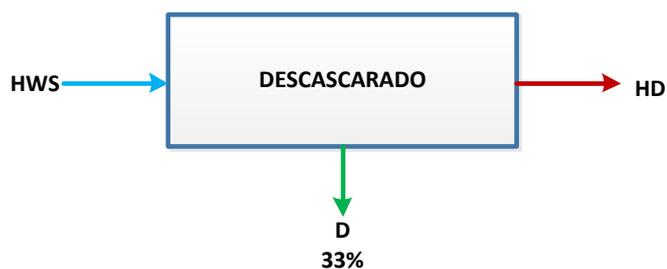


Gráfico 3-4: Balance de descascarado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$HWS = HD + D$$

Donde

HD = Semillas sin cáscara

D = Cáscara

$$HD = HWS - D$$

$$HD = 38.33 \text{ Kg} - 12.65 \text{ kg}$$

$$HD = 25.68 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{25.68}{38.33} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 67\%$$

4.5.1.3. Molienda

Cantidad obtenida en el laboratorio: semillas molidas 157.48 gramos

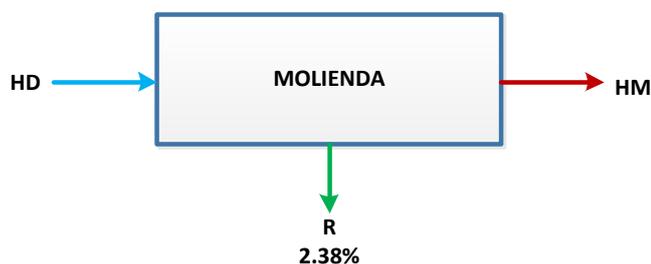


Gráfico 4-4: Balance de molienda

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$HD = HM + R$$

Donde

HM = Semillas molidas

R = Pérdidas semillas molidas

$$HM = HD - R$$

$$HM = 25.68 \text{ kg} - 0.61\text{kg}$$

$$HS = 25.07 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{25.07}{25.68} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 97.62\%$$

4.5.1.4. Extracción sólido-líquido

Los datos obtenidos a escala de laboratorio 40 gramos de semillas molidas y 120 mL de alcohol etílico, al recircular el solvente se asume perdidas insignificantes.



Gráfico 5-4: Balance de molienda

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$HM = HR + U$$

Donde

HR = Aceite crudo

U = Torta residual

$$U = HM - HR$$

$$U = 25 \text{ Kg} - 17.7 \text{ Kg}$$

$$U = 7.30 \text{ Kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{17.7}{25} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 70.7 \%$$

4.5.1.5. Desgomado

El proceso de desgomado se realizó con 55.8 gramos de aceite crudo, ácido fosfórico y agua, obteniendo 46.67 gramos de aceite desgomado



Gráfico 6-4: Balance desgomado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$HR + AF + RS = RD + G$$

Donde

AF = Ácido fosfórico 85%

RS = Agua caliente

RD = Aceite desgomado

G = Gomas y residuos del desgomado

$$RD = HR + AF + RS - RD$$

$$G = 17.7 \text{ kg} + 0.017\text{kg} + 0.35\text{kg} - 15$$

$$G = 3.07 \text{ kg}$$

4.5.1.6. Neutralización

El proceso de neutralización se realizó con 48.54 gramos de aceite desgomado, hidróxido de sodio y agua obteniendo 18.5 gramos de aceite neutralizado

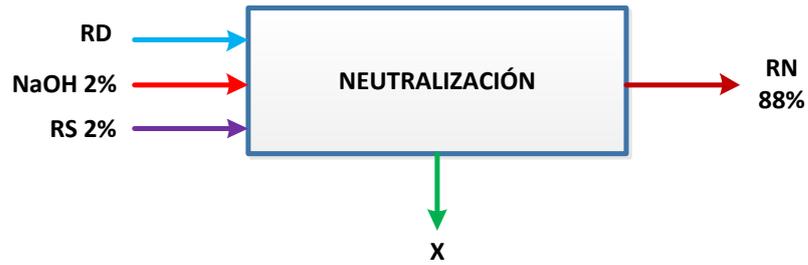


Gráfico 7-4: Balance de neutralización

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$RD + NaOH + RS = RN + X$$

Donde

NaOH = Hidróxido de sodio

RN = Aceite neutralizado

X = Ácidos grasos libres

$$RN = RD + NaOH + RS - X$$

$$X = 15 + 0.3 + 0.3 - 12.95$$

$$X = 2.65 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{12.89}{13.70} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 88.47 \%$$

4.5.1.7. Decoloración

El proceso de decoloración se realizó con 41.18 gramos de aceite neutralizado y carbón activado.



Gráfico 8-4: Balance de blanqueamiento

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$RN + AR = RB$$

Donde

AR = Carbón activado

RB = Aceite neutralizado con carbón activado

$$RB = RN + AR$$

$$RB = 12.95 + 0.13$$

$$RB = 13.08 \text{ kg}$$

4.5.1.8. Filtración



Gráfico 9-4: Balance de filtración

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$RB = RF + A$$

Donde

RF = Aceite decolorado

A = Residuos de carbón activado

$$A = RB - RF$$

$$A = 13.08 - 8.50$$

$$A = 4.58 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{8.50}{13.08} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 64.98\%$$

4.5.1.9. Evaporación

El proceso de evaporación se realizó con 46.77 gramos de aceite decolorado



Gráfico 10-4: Balance de evaporación

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Nivel Industrial

$$RF = RE + O$$

Donde

RE = Aceite refinado

O = Agua en forma de vapor (evaporación)

$$RE = RF - O$$

$$RE = 8.50 \left(\frac{0.95}{0.99} \right)$$

$$RE = 8.16 \text{ Kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{MP sale}}{\text{MPentra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{8.16}{8.50} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 96 \%$$

4.5.1.10. Rendimiento Global

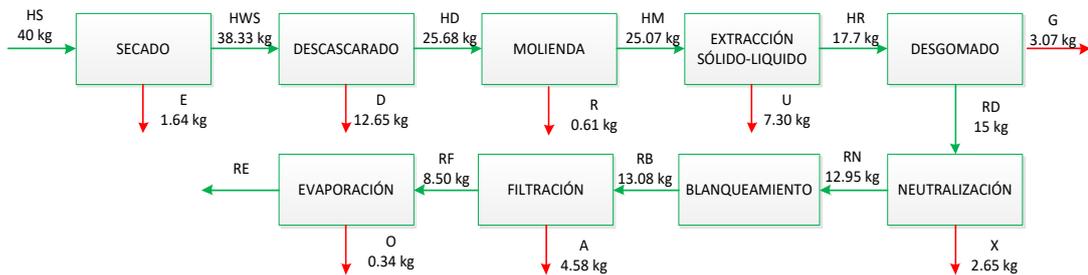


Gráfico 11-4: Balance global

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Balance Global

$$HS = E + D + R + U + G + X + A + O + RE$$

Donde

HS = Semillas secadas

E = Agua en forma de vapor

D = Cáscaras

R = Pérdidas semillas molidas

U = Torta residual

G = Gomas y residuos del desgomado

X = Ácidos grasos libres

A = Residuos de carbón activado

O = Agua en forma de vapor (evaporación)

RE = Aceite refinado

$$RE = 40 - 1.64 - 12.65 - 0.61 - 7.30 - 3.07 - 2.65 - 4.58 - 0.34$$

$$HR = 7.50 \text{ kg}$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{MP \text{ sale}}{MP \text{ entra}} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{7.50}{40} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 18.75\%$$

4.5.2. Balance de Energía

4.5.2.1. Secado

Tabla 39-3: Datos experimentales para el secado de higuera

TIEMPO θ (H)	HUMEDAD BASE SECA X_{bs} (KG H ₂ O/KG SS)	HUMEDAD ABSOLUTA X (KG H ₂ O/KG SS)	HUMEDAD ABSOLUTA MEDIA \bar{X} (KG H ₂ O/KG SS)	VARIACIÓN DE TIEMPO $\Delta\theta$ (H)	VARIACIÓN DE HUMEDAD ΔX (KG H ₂ O/KG SS)	VELOCIDAD DE SECADO W (KG/HM ²)
0	0.0428	0.0447		0.5		
0.5	0.0378	0.0393	0.0420	0.5	-0.0054	0.3722
1	0.0294	0.0303	0.0348	0.5	-0.0089	0.6150
1.5	0.0216	0.0221	0.0262	0.5	-0.0083	0.5687
2	0.0189	0.0193	0.0207	0.5	-0.0028	0.1935
2.5	0.0142	0.0145	0.0169	0.5	-0.0048	0.3309

3	0.0098	0.0099	0.0122	0.5	-0.0046	0.3161
3.5	0.0064	0.0065	0.0082	0.5	-0.0034	0.2323
4	0.0056	0.0056	0.0061	0.5	-0.0008	0.0578
4.5	0.0050	0.0051	0.0053	0.5	-0.0006	0.0404
5	0.0037	0.0038	0.0044	0.5	-0.0013	0.0894
5.5	0.0023	0.0023	0.0030	0.5	-0.0015	0.1006
6	0.0009	0.0009	0.0016	0.5	-0.0014	0.0975

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 45-3 Humedad en base seca

$$X = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}}$$

Donde:

X_{bs} = Humedad base seca

P_{sh} = Peso sólido húmedo

P_{ss} = Peso sólido seco

$$X = \frac{0,25107 - 0,24077}{0,24077}$$

$$X = 0,0427 \text{ kg H}_2\text{O/KgSs}$$

Ecuación 46-3 Humedad absoluta

$$X = \frac{X_{bs}}{1 - X_{bs}}$$

$$X = \frac{0,0428}{1 - 0,0428}$$

$$X = 0,0447 \text{ kg H}_2\text{O/KgSs}$$

Ecuación 47-3 Humedad absoluta media

$$\bar{X} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2}$$

$$\bar{X} = \frac{0.0378 + 0.0428}{2}$$

$$\bar{X} = 0.0420$$

Ecuación 48-3 Variación del tiempo

$$\Delta\theta = \theta_n + \theta_{n+1}$$

$$\Delta\theta = 0 + 0,5 \text{ h}$$

$$\Delta\theta = 0,5 \text{ h}$$

Ecuación 49-3 Variación de humedad

$$\Delta X = x_n - x_{n-1}$$

$$\Delta X = 0.0378 - 0.0428$$

$$\Delta X = -0.0054$$

Ecuación 50-3 Velocidad de secado

$$W = \frac{S_s}{A} \left(-\frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right)$$

Donde:

A = área de la bandeja en (m²)

S_s = Sólidos secos (kg)

ΔX = Variación de humedad

Δθ = Variación de tiempo

$$W = \frac{0,014}{0,0070} \left(-\frac{-0,0054}{0,5} \right)$$

$$W = 0,3722$$

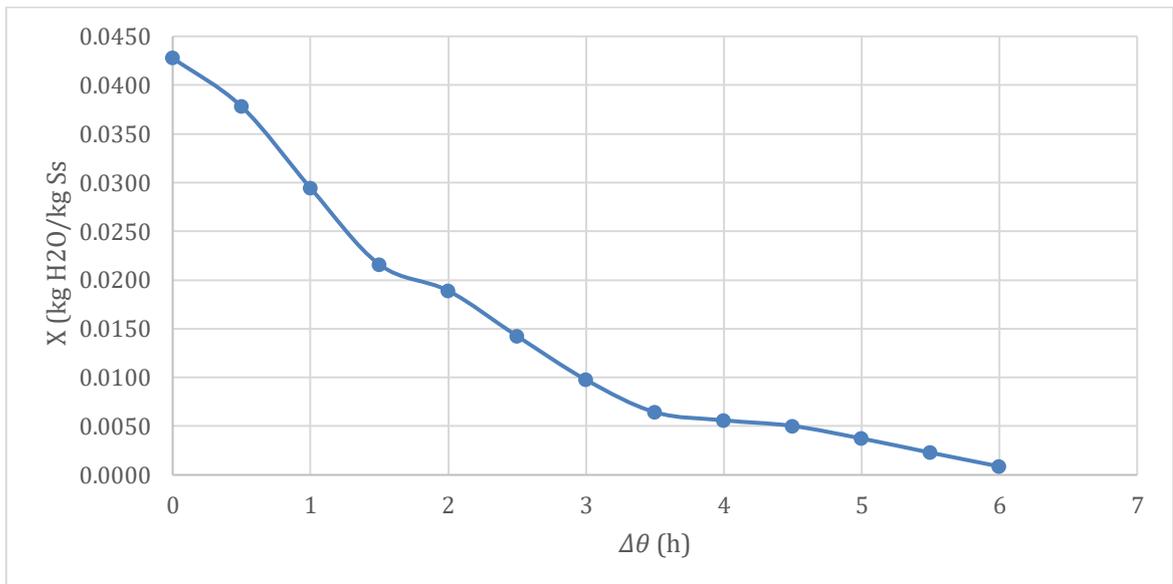


Gráfico 12-4: Diagrama Humedad base seca vs tiempo

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

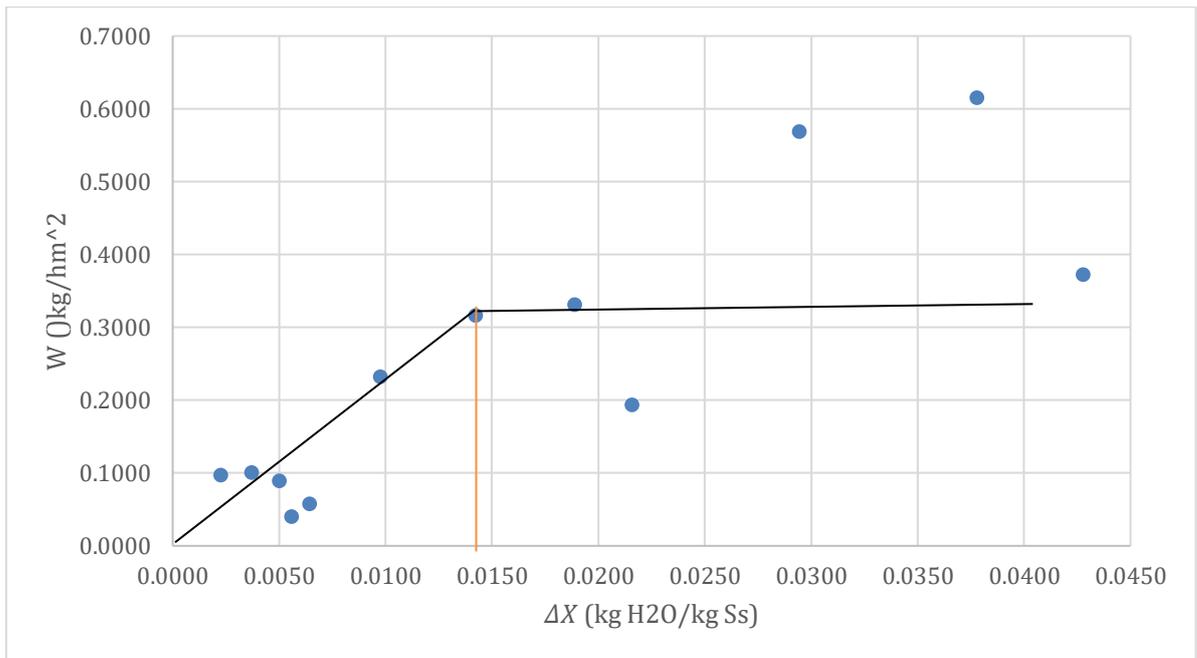


Gráfico 13-4: Diagrama Humedad Media vs Velocidad de secado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 51-3 Período anticrítico

$$\theta_a = \frac{S_s}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Donde:

X_i = Humedad inicial (kg H₂O/kgS_s)

X_c = Humedad crítica (kg H₂O/kgS_s)

W_c = Velocidad crítica (kg/m²h)

$$\theta_a = \frac{0,014}{0,0070} \left(\frac{0,0447 - 0,01215}{0,01215} \right)$$

$$\theta_a = 5,56 \text{ h}$$

Ecuación 52-3 Período post crítico

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \right) \ln \frac{W_c}{W_f}$$

Donde:

W_f = Velocidad final (kg/m²h)

X_f = Humedad final kg H₂O/kgS_s)

$$\theta_p = \frac{0,014}{0,0070} \left(\frac{0,01215 - 0,00142}{0,01215 - 0,09745} \right) \ln \frac{0,01215}{0,09745}$$

$$\theta_p = 0,524 \text{ h}$$

Ecuación 53-3 Tiempo total de secado de las semillas de higuierilla

$$\theta_t = 5,56 + 0,524$$

$$\theta_t = 6,084 \text{ h}$$

Tabla 40-3: Datos balance de energía en el proceso de secado

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	SECADOR
Temperatura del aire	T	°C	14
Flujo del sólido húmedo	F _{s1}	kg/h	40
Humedad del sólido a la entrada	x ₁	kg/kg	0.0428
Humedad del sólido a la salida	x ₂	kg/kg	0.0009
Humedad del aire a la entrada	y ₁	°C	0.0133
Temperatura del sólido a la entrada	T _{s1}	°C	14
Temperatura del sólido a la salida	T _{s2}	°C	49
Temperatura del aire a la entrada	T _{a1}	°C	55
Entalpía del aire a la entrada	H _{a2}	kJ/kg	328.32
Temperatura del aire a la salida	T _{a2}	°C	53
Entalpía del aire a la salida	H _{a2}	kJ/kg	326.31
Humedad del aire a la salida	y ₂	kg/kg	0.010
Largo de la bandeja	a	m	0.502
Ancho de la bandeja	b	m	0.312

Fuente: (Beltrán Carrera y Velóz Gavilánez, 2014); (Cengel y BONES 2012).

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 54-3 Calor específico del sólido

$$C_{ps} = 4,187(X_{Humedad}) + 1,675(X_{Grasa}) + 0,836(X_{Ceniza})$$

$$C_{ps} = 4,187(0,0703) + 1,675(0,4838) + 0,836(0,0340)$$

$$C_{ps} = 1,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Ecuación 55-3 Entalpía del sólido

El cálculo inicial correspondiente a la entalpía de la semilla a la entrada y salida del secador haciendo uso de los datos adicionales

$$H = (C_{ps} + X)T$$

H = Entalpía

C_{ps} = Capacidad calorífica de las semillas a presión constante

T = Temperatura

X = humedad absoluta

Ecuación 56-3 Entalpía del sólido a la entrada del secador

$$H_{s1} = (1.13 + 0,0428)(14^{\circ}\text{C}) = 16.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Ecuación 57-3 Entalpía del sólido a la salida del secador

$$H_{s2} = (1.13 + 0,0009)(49^{\circ}\text{C}) = 55.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

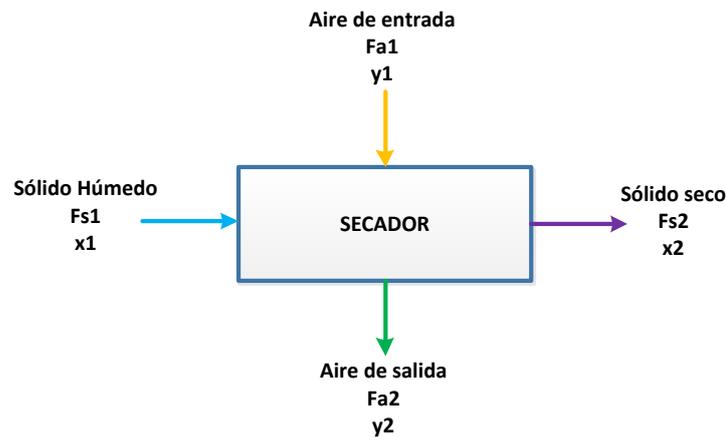


Gráfico 14-4: Balance de energía secador

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 58-3 Balance de materia

$$F_{a1} + F_{s1} = F_{a2} + F_{s2}$$

Donde

F_{a1} = Flujo de aire entrada

F_{a2} = Flujo de aire salida

F_{s1} = Flujo sólido entrada

F_{s2} = Flujo sólido salida

$$F_{a1} + 40 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = F_{a2} + 38.33 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$F_{a1} + 1.67 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = F_{a2}$$

Ecuación 59-3 Ecuación balance de materia fracciones

$$F_{a1} * y_1 + F_{s1} * x_1 = F_{a2} * y_2 + F_{s2} * x_2$$

y_1 = Fracción de humedad entrada del aire

y_2 = Fracción de humedad salida del aire

x_1 = Fracción de humedad entrada del sólido

x_2 = Fracción de humedad salida del sólido

$$F_{a1} * y_1 + 40 * 0.0428 = F_{a2} * y_2 + 38.33 * 0.0009$$

Usando la carta psicométrica, se obtiene las fracciones de humedad del aire

$$F_{a1} * 0.0133 + 40 * 0.0428 = F_{a2} * 0.0101 + 38.33 * 0,0009$$

$$F_{a1} * 0.0133 + 1.678 = (1.67 + F_{a1}) * 0.0010$$

$$F_{a1} * 0.0133 + 1.678 = 1.67 \times 10^{-3} + F_{a1} * 0.0010$$

$$F_{a1} = 136.287 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

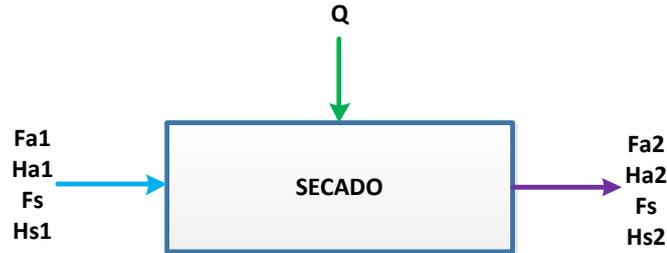


Gráfico 15-4: Balance de energía secado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 60-3 Calor necesario para secar el producto

$$Q_1 + F_{a1} * H_{a1} + F_{s1} * H_{s1} = Q_1 + F_{a2} * H_{a2} + F_{s2} * H_{s2}$$

Donde

$$H_{a1} = \text{entalpia del aire a la entrada} \left(328.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$H_{a2} = \text{entalpia del aire de salida} \left(326.31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$H_{s1} = \text{entalpia del sólido de entrada} \left(16,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$H_{s2} = \text{entalpia del solido de salida} \left(55.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$F_{a1} = \text{flujo de aire} \left(136.287 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$F_{a2} = \text{flujo de aire} \left(137.957 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$F_{s1} = \text{flujo de sólido} \left(40 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$F_{s2} = \text{flujo de sólido} \left(38.33 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_1 = \text{calor necesario para secar} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_1 + (136.287)(328.32) + (40)(16.42) = 0 + (326.31)(137.957) + (38.33)(55.41)$$

$$Q_1 + 44745.748 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 656.80 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 0 + 44878.792 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 2123.865 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_1 = 2947.621 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

4.5.2.2. Extracción sólido-líquido y Recuperación solvente

Tabla 41-3: Datos balance de energía en el proceso de extractor

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	EXTRACTOR
Resistencia	q	Watts	6000
Flujo volumétrico de agua	\dot{m}_v	L/h	5
Flujo masico etanol	m_{Et}	kg/h	150
Entalpía de etanol (20°C)	$h_{Et20^\circ C}$	kJ/kg	276.9
Entalpía de etanol (78°C)	$h_{Et78^\circ C}$	kJ/kg	433.1
Entalpía de agua (20°C)	$h_{H_2O 20^\circ C}$	kJ/kg	83.91
Entalpía de agua (30°C)	$h_{H_2O 30^\circ C}$	kJ/kg	125.74
Densidad de etanol	δ_{Et}	kg/m ³	805
Densidad de agua	δ_{Ag}	kg/m ³	998.35
Densidad de aceite de ricino	δ_{Ac}	kg/m ³	967

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2019.

Realizado: Tierra Ayala, Brayan, 2022.



Gráfico 16-4: Balance de energía tanque de ebullición

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 61-3 Tiempo necesario para evaporar el etanol

$$Q_{entra} = Q_{sale}$$

$$q + m_{Et} * h_{Et20^\circ C} = m_{Et} * h_{Et78^\circ C}$$

$$6000 \text{ W} + \left(\frac{150 \text{ kg}}{\text{t}}\right) \left(276900 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) = \left(\frac{150 \text{ kg}}{\text{t}}\right) \left(433100 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$$

$$6000 \text{ W} = \left(\frac{150 \text{ kg}}{t}\right) \left(433100 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) - \left(\frac{150 \text{ kg}}{t}\right) \left(276900 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$$

$$6000 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 608430000 \frac{\text{J}}{t}$$

$$t = \frac{608430000 \text{ J}}{6000 \frac{\text{J}}{\text{s}}}$$

$$t = 101405 \text{ s}$$

Ecuación 62-3 Masa de vapor generado

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$\dot{m} = \frac{150 \text{ kg}}{101405 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 1.479 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 5.324 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

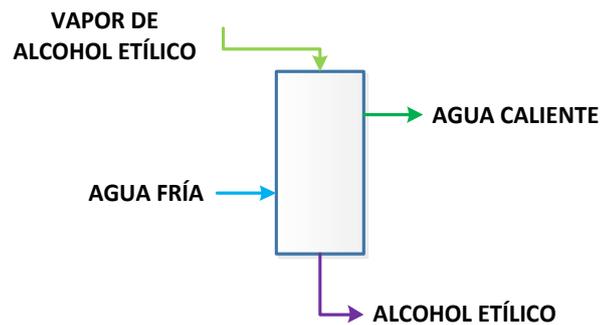


Gráfico 17-4: Balance de energía destilado

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 63-3 Flujo másico del agua que sale del condensador

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_f$$

$$\dot{m}_v \delta \lambda = \dot{m}_f C_{p_a} \Delta T$$

$$(1,39 \times 10^{-6})(963,92)(2277,34) = \dot{m}_f (4,18)(30 - 20)$$

$$\dot{m}_f = 0,073 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ecuación 64-3 Calor disipado en el condensador

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v \delta \lambda$$

$$\dot{Q}_v = (1,39 \times 10^{-6})(963,92)(2277,34)$$

$$\dot{Q}_v = 3,051 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 3051,29 \text{ Watts}$$

4.5.2.3. Desgomado

Tabla 42-3: Datos balance de energía en el proceso de desgomado

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	REACTOR
Temperatura de entrada	T_i	$^{\circ}\text{C}$	20
Temperatura de salida	T_f	$^{\circ}\text{C}$	61
Capacidad calorífica del agua	$C_{p_{\text{agua}}}$	$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	4.187
Capacidad calorífica del ac. fosfórico	$C_{p_{\text{ac}}}$	$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	2.303
Capacidad calorífica de aceite de ricino	$C_{p_{\text{aceite}}}$	$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	1.670
Cantidad de agua	m_a	kg	0.35
Capacidad mezcla	m_T	kg	18.067
Coefficiente de transmisión térmica de material (Acero inoxidable 304)	k	$\frac{\text{J}}{\text{ms}^{\circ}\text{K}}$	50.2

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2019.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 65-3 Calor requerido

$$Q = mC_p\Delta T$$

Donde

Q = Calor requerido (kJ)

m = Masa (kg)

C_p = Capacidad calorífica $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}\right)$

ΔT = Diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Ecuación 66-3 Calor requerido en el tanque de agua

$$Q = m_a C_{p_{\text{agua}}} (T_f - T_i)$$

$$Q = (0.35)(4.18)(61 - 20)$$

$$Q = 59.98 \text{ kJ}$$

Ecuación 67-3 Calor requerido en el tanque de mezclado

$$Q = m_T C_{pT} (T_f - T_i)$$

$$Q = (18.067)(8.16)(61 - 20)$$

$$Q = 6044.495 \text{ kJ}$$

Ecuación 68-3 Cálculo del número de Reynolds

$$NR_e = \frac{\phi_r^2 N \delta}{\mu}$$

Donde

NR_e = Número de Reynolds

ϕ_r = Diametro del rodete (m)

N = Velocidad rotacional (rpm)

δ = Densidad del fluido (kg/m^3)

μ = Viscosidad del fluido (kg/ms)

$$NR_e = \frac{(0,33)^2 (45) (3638,8)}{0,998 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 54144,47$$

Ecuación 69-3 Cálculo del número de Prandt

$$N_{pr} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Donde

N_{pr} = Numero de Prandt

C_p = Capacidad calorifica de la mezcla ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$)

k = Coeficiente transmisión térmica ($\frac{\text{kJ}}{\text{ms}^\circ\text{K}}$)

$$N_{pr} = \frac{(8,16)(0,998)}{0,0502}$$

$$N_{pr} = 162,22$$

Ecuación 70-3 Coeficiente global de transferencia de energía

Las constantes a, b y m son determinadas de acuerdo al tipo de paleta según ANEXO (F)

$$\frac{U\phi}{k} = a(N_{re})^b (N_{pr})^{1/3} \left(\frac{u}{u_w}\right)^m$$

Donde

U = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{K}}$)

u_w = viscosidad del fluido a temperatura de la pared

a, b y m = constantes según el tipo de agitador

$$\frac{U(0,33)}{0,0502} = 0,62(54144,47)^{2/3}(162,22)^{1/3} \left(\frac{0,998}{1 \times 10^{-3}} \right) 0,14$$

$$U = 89583,60 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{K}}$$

4.5.2.4. Neutralización

Tabla 43-3: Datos balance de energía en el proceso de neutralización

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	AGITADOR
Temperatura de entrada	T_i	$^\circ\text{C}$	20
Temperatura de salida	T_f	$^\circ\text{C}$	71
Capacidad calorífica del agua	$C_{p_{\text{agua}}}$	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	4.187
Capacidad calorífica del hidróxido de sodio	C_{p_H}	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	0.057
Capacidad calorífica de aceite de ricino	$C_{p_{\text{aceite}}}$	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	1.670
Capacidad mezcla	m_T	kg	15.6
Coefficiente de transmisión térmica de material (Acero inoxidable 304)	K	$\frac{J}{\text{ms}^\circ\text{K}}$	50.2

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2019.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 71-3 Calor requerido en el tanque de mezclado

$$Q = m_T C_{p_T} (T_f - T_i)$$

$$Q = (15.60)(5.92)(71 - 20)$$

$$Q = 4709.952 \text{ kJ}$$

Ecuación 72-3 Cálculo del número de Reynolds

$$NR_e = \frac{\phi_r^2 N \delta}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0,33)^2 (45)(967)}{0,998 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 4748,28$$

Ecuación 73-3 Cálculo del número de Prandt

$$N_{pr} = \frac{C_p \mu}{k}$$

$$N_{pr} = \frac{(5,92)(0,998)}{0,0502}$$

$$N_{pr} = 117,70$$

Ecuación 74-3 Coeficiente global de transferencia de energía

Las constantes a, b y m son determinadas de acuerdo al tipo de paleta

$$\frac{U\phi}{k} = a(N_{re})^b(N_{pr})^{1/3} \left(\frac{u}{u_w}\right)^m$$

$$\frac{U(0,33)}{0,0502} = 0,62(4748,28)^{2/3}(117,70)^{1/3} \left(\frac{0,998}{1 \times 10^{-3}}\right)^{0,14}$$

$$U = 18244,13 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{s}^\circ\text{K}}$$

4.5.2.5. Decoloración

Tabla 44-3: Datos balance de energía en el proceso de decoloración

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	AGITADOR
Temperatura de entrada	T_i	$^\circ\text{C}$	20
Temperatura de salida	T_f	$^\circ\text{C}$	110
Capacidad calorífica del carbón	C_{pCb}	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	31.40
Capacidad calorífica de aceite de ricino	$C_{p\text{aceite}}$	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	1.670
Capacidad mezcla	m_T	kg	13.08
Coeficiente de transmisión térmica de material (Acero inoxidable 304)	K	$\frac{\text{J}}{\text{ms}^\circ\text{K}}$	50.2

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2019.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 75-3 Calor requerido en el tanque de mezclado

$$Q = m_T C_{pT} (T_f - T_i)$$

$$Q = (13.08)(33.07)(110 - 20)$$

$$Q = 38930.00 \text{ kJ}$$

Ecuación 76-3 Cálculo del número de Reynolds

$$NR_e = \frac{\phi_r^2 N \delta}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0.33)^2(45)(967)}{0.998 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 4748.28$$

Ecuación 77-3 Cálculo del número de Prandt

$$N_{pr} = \frac{C_p \mu}{k}$$

$$N_{pr} = \frac{(33.07)(0.998)}{0.0502}$$

$$N_{pr} = 657.45$$

Ecuación 78-3 Coeficiente global de transferencia de energía

Las constantes a, b y m son determinadas de acuerdo al tipo de paleta

$$\frac{U\phi}{k} = a(N_{re})^b(N_{pr})^{1/3} \left(\frac{u}{u_w}\right)^m$$

$$\frac{U(0,33)}{0,0502} = 0,62(4748.28)^{2/3}(657.45)^{1/3} \left(\frac{0,998}{1 \times 10^{-3}}\right)^{0.14}$$

$$U = 32370.68 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ\text{K}}$$

4.5.2.6. Evaporación

Tabla 45-3: Datos balance de energía en el proceso de decoloración

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDADES	AGITADOR
Temperatura de entrada	T_i	$^\circ\text{C}$	20
Temperatura de salida	T_f	$^\circ\text{C}$	130
Capacidad calorífica de aceite de ricino	$C_{p\text{aceite}}$	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	1.670
Calor latente agua (130 $^\circ\text{C}$)	λ_{agua}	kJ/kg	2173.70
Flujo másico del aceite	\dot{m}_{aceite}	Kg/s	2.267×10^{-3}
Flujo másico del agua	\dot{m}_{agua}	kg	1.388×10^{-5}
Coeficiente global de transmisión de calor	U	$\frac{W}{\text{m}^2 \text{C}}$	2300

Fuente: Separata Ingeniería Química ESPOCH, 2019.

Realizado por: Tierra Ayala, Brayan, 2022.

Ecuación 79-3 Calor requerido por el aceite

$$\dot{Q}_{\text{aceite}} = \dot{m}_{\text{aceite}} C_{p\text{aceite}} (T_f - T_i)$$

$$\dot{Q}_{\text{aceite}} = (2.267 \times 10^{-3})(1.670)(130 - 20)$$

$$\dot{Q}_{\text{aceite}} = 0.416 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 416.448 \text{ W}$$

Ecuación 80-3 Calor requerido por el agua

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v \lambda$$

$$\dot{Q}_v = (1.388 \times 10^{-5})(2173,70)$$

$$\dot{Q}_v = 0.030 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 30.17 \text{ W}$$

Ecuación 81-3 Calor necesario por la evaporación

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{Q}_{\text{aceite}} + \dot{Q}_v$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = 416.448 + 30.17$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = 446.618 \text{ W}$$

Ecuación 82-3 Cálculo de área

$$A_{\text{evap}} = \frac{Q}{U \Delta T_m}$$

$$A_{\text{evap}} = \frac{446.618}{(2300)(43.28)}$$

$$A_{\text{evap}} = 0.0045 \text{ m}^2 = 4486.639 \text{ mm}^2$$

CONCLUSIONES

- Se evaluó las semillas de *Ricinus communis L.* de dos sectores de la provincia de Chimborazo (San Vicente de Lacas y Cubijfes), en el cual se aplicó métodos de ensayo de grasa, humedad y cenizas; presentando un porcentaje de grasas del 48.38 - 47.41%, porcentaje de humedad del 7.03 - 7.66% y porcentaje de cenizas de 3.39 - 2.94%.
- Se estableció las variables óptimas en la etapa de extracción, tomando en consideración la temperatura de secado a 90°C, el solvente etanol 96%, su tamaño de partícula 1.40 mm y la relación soluto a solvente de 1:3, como parámetros necesarios para obtener excelentes rendimientos de aceite. Para mejorar su conservación se realizó una refinación química, desgomado a 61°C con 0.1% de ácido fosfórico 85%, neutralización a 71°C con 2% de hidróxido de sodio, decoloración a 110°C con 1% de carbón activado y una evaporación a 130°C.
- Se realizó la caracterización del aceite de higuera en el que se obtuvo los siguientes resultados: color amarillento; pH de 5.60; densidad 0,967 g/ml; acidez 0,5%; índice de yodo 86,1 cg/g; índice de peróxido 4,7 meqO₂/kg e índice de saponificación 183,09 mg KOH/g
- Se diseñó el proceso de extracción de aceite de higuera con una producción de 8 Litros de aceite refinado por cada 40 kg de semilla de higuera, para lo cual se dimensiona los equipos; extractor sólido-líquido, destilador simple, tanque de almacenamiento para etanol, mientras que, para la refinación de aceite se diseñó 3 reactores, 2 decantadores y 2 tanques para el almacenamiento para la solución de hidróxido de sodio y agua, en cuanto material de construcción se utiliza acero inoxidable AISI 304 de 2mm

RECOMENDACIONES

- Es importante utilizar guantes de cerrajería en el proceso de descascarado ya que en ocasiones las semillas bien con partes metálicas.
- Durante el proceso de desgomado y neutralización tapar el recipiente, el agua caliente produce que la solución salpique.
- En el proceso de refinación no elevar a temperaturas mayores de los 150 °C esto provoca que el aceite se quemé.
- El diseño del proceso de extracción de aceite de higuera es un proyecto confiable, con posibles utilidades a futura debido a la gran demanda que presenta este aceite con aproximadamente 700 procesos industriales

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA GONZALES, I.X. y TORRES TINTAYA, G. Extracción de aceite de chía (*Salvia Hispánica L.*) por el método de prensado continuo (expeller) y discontinuo (hidráulico) de las regiones de Cusco y Arequipa. [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 2015. [Consulta: 27 junio 2021]. Disponible en: https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf.

AGUIRRE MENDOZA, Z. Especies forestales de los bosques secos del Ecuador: Guía dendrológica para su identificación y caracterización. [en línea]. Quito-Ecuador: Ministro del Ambiente, 2012. [Consulta: 27 enero 2021]. Disponible en: https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/21/14042335632720/especies_forestales_bosques_secos_del_ecuador.pdf.

AKPAN, U.G., JIMOH, A. y MOHAMMED, A.D. "Extraction And Characterization Of Castor Seed Oil". *The Internet Journal of Nutrition and Wellness* [en línea], 2006, (Nigeria). pp. 43-52. [Consulta: 27 enero 2021] ISSN 1583-0233 Disponible en: <http://ijs.academicdirect.org>

ARRIOLA GÓMEZ, G. y MONJARAS BLANCO, M.H. Comprobación de pureza de los aceites comestible de diferentes marcas comerciales en el área metropolitana. [en línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. 2003 . [Consulta: 22 agosto 2021]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5600/1/10126050.pdf>.

BELTRÁN CARRERA, P. y VELÓZ GAVILÁNEZ, A. Diseño y construcción de un secador tipo armario para la deshidratación hasta el diez por ciento de berro, espinaca, zanahoria. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consulta: 22 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3654/1/96T00269 UDCTFC.pdf>.

BLANCO RODRÍGUEZ, P. Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Cádiz, Cádiz, España. 2007. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6391/33287107.pdf>.

CÁRDENAS RUIZ, P.M. Rangos de conductividad eléctrica para el análisis del poder germinativo de semillas provenientes de la colección de higuera (*Ricinus communis L.*). [en

línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2020. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21474/1/T-UCE-0004-CAG-259.pdf>.

CEFLA, K.O. Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia Hispanical*) mediante prensado. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10365>.

CENGEL, Y. y BONES, M. *Termodinámica*. 7ma ed. New York-USA: The McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-607-15-0743-3.

CORREA SALGADO, M. L. Análisis comparativo de características físicas y fitoquímicas del aceite de ricino generado en semillas de ecotipos autóctonos de higuerilla (*Ricinus communis*), en Tungurahua y Manabí. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2014.

DANLAMI, J.M., ARSAD, A. y ZAINI, M.A. "Characterization and process optimization of castor oil (*Ricinus communis* L.) extracted by the soxhlet method using polar and non-polar solvents". *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea], 2015, (Malaysia), 47(6), pp. 1-6, [Consulta: 27 enero 2021] ISSN 18761070 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2014.10.012>

DASARI, S.R. y GOUD, V. "Effect of pre-treatment on solvents extraction and physico-chemical properties of castor seed oil". *Journal of Renewable and Sustainable Energy* [en línea], 2014, (India), 6(6). [Consulta: 27 enero 2021] ISSN 19417012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4901542>

DELANI, a. Descascarillado de Cacao . *Delani Trading* [en línea]. Lima: 2019. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://delanitrading.com/categoria-producto/maquinas-para-procesar-cacao/descascarillado-de-cacao/>.

DELANI, b. Molienda de Cacao . *Delani Trading* [en línea]. Lima: 2019. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://delanitrading.com/categoria-producto/maquinas-para-procesar-cacao/molienda-de-cacao/>.

DÍAZ, J. y MEZA, L. Diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de la semilla de tártago. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional Experimental Francisco Miranda, Falcón, Venezuela. 2015 . [Consulta: 11 enero 2021] Disponible en: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf>.

EFTHYMIPOULOS, I., HELLIER, P., LADOMMATOS, N., KAY, A. y MILLS LAMPTEY, B. "Efecto de los parámetros de extracción por solventes en la recuperación de aceite de los granos de café usados para la producción de biocombustibles. *Valorización de residuos y biomasa* [en línea], 2019, (Inglaterra), 10(1), pp. 253-266, [Consulta: 27 enero 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0061-4>

EL DIARIO ECUADOR. 400 toneladas de higuera en la cosecha . *El Diario Ecuador* [en línea] Quito: 2012. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/232314-400-toneladas-de-higuera-en-la-cosecha/>.

GARCÍA, A. Obtención de aceites comestibles a partir de nuevas semillas de girasol enriquecidas en fitoesteroles. (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Pablo Olavide, Sevilla, España. 2019.

GLOBAL FOREST WATCH. *Esmeraldas*, Ecuador Interactive Forest Map . [en línea]. 2020. [Consulta: 9 abril 2021]. Disponible en: <https://www.globalforestwatch.org>.

GÓMEZ GARCÍA, I. Posible utilización de aceite de tártago en la producción de biocombustible. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España. 2015.

GONZÁLEZ, C. y FIGARI, A. Propalma Ecuador : Anuario 2020. [en línea]. Quito, 2020. [Consulta: 25 agosto 2021]. Disponible en: <https://propalmaec.com/anuario-2020/>.

GUILLÉN SÁNCHEZ, J.S. Obtención y Caracterización Físicoquímica Del Aceite de Palta Hass (*Persea Americana*) extraído por método en frío (Prensado) y caliente (Soxhlet). (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de Santa, Nuevo Chimbote, Perú. 2016.

HENAN COMPANY. Prensa De Filtro . *Product on Alibaba.com* [en línea]. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/beer-wine-filter-press-plate-and-frame-filter-press-machine-for-wine-62036417314.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.700578abAZbzHv&s=p.

HEWAVITHARANA, G.G., PERERA, D.N., NAVARATNE, S.B. y WICKRAMASINGHE, I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, no. 8 (2020), pp. 6865-6875. ISSN 18785352. DOI 10.1016/j.arabjc.2020.06.039.

INEC 2020. *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2020.*

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Material de Siembra: Higuierilla. *INIAP* [en línea], Portoviejo, Ecuador, 2019. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/higuierilla/3siembra.pdf>.

JOYMATIC. Intercambiador de Calor Thermal Transfer. *Joymatic* [en línea]. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://joymatic.com/intercambiador-de-calor-aceite-por-agua-4-0-11-0-gpm-1-paso-5-1-10-2-hps-potencia-disipada-puertos-npt-para-500-psi-max.html>.

KOLE, C. y RAMANNA FELOW, R. *The castor bean genome* [en línea]. New Delhi-India, Springer Nature Switzerland AG, 2017. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-66117-9.pdf>.

LOMBEIDA, N. Diseño de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino (*Ricinus communis*). (Trabajo de titulación). (Ingeniería), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2015.

MCKEON, T.A. *Castor (Ricinus communis L.)*. [en línea]. Nueva York-USA, Published by Elsevier Inc, 2016. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00004-X>

MENDOZA REYES, H.S. *Guía del cultivo de Higuierilla*. Portoviejo-Ecuador: Institución Nacional de Investigación Agropecuarias Ecuador, 1985.

MONTOYA, A. Diseño de una columna de destilación para recuperación de una sustancia termosensible. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso., Valparaíso, Chile. 2012 . [Consulta: 11 enero 2021] Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3374_01.pdf

MUBOFU, E. Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials. *Sustainable Chemical Processes*, vol. 4, no. 1 (2016), pp. 1-12. ISSN 2043-7129. DOI 10.1186/s40508-016-0055-8.

NAIK, S.N., SAXENA, D.K., DOLE, B.R. y KHARE, S.K. *Potential and perspective of castor biorefinery*. [en línea]. New Delhi-India, Published by Elsevier Inc, 2018. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00004-X>

PANCHAL, B. "Optimization of Oil Extraction and Characterization from Tamarindus Indica Linn Seed Oil". *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, vol. 2, no. 1 (2014), pp. 1. ISSN 2376-7669. DOI 10.11648/j.ogce.20140201.11.

PATEL, V., DUMANCAS, G., KASI VISWANATH, L., MAPLES, R. y SUBONG, B.J. "Castor oil: Properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production". *Lipid Insights*, [en línea], 2016, (India), 9(2), pp. 1-12, [Consulta: 27 enero 2021] ISSN 11786353 Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5015816/>

PERDOMO, F.A., ACOSTA OSORIO, A.A., HERRERA, G., VASCO LEAL, J.F., MOSQUERA ARTAMONOV, J.D., MILLAN MALO, B. y RODRIGUEZ GARCIA, M.E. "Caracterización fisicoquímica de siete ricinos mexicanos semillas y contenido de aceite de communis L ". *Biomasa y bioenergía*, [en línea], 2012 (México), 48(1). [Consulta: 27 enero 2021] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.020>

PEREA FLORES, M. J. Efecto del secado por lecho fluidizado en la estructura de semillas de Ricinus communis y en la extracción de su aceite como fuente alternativa de biocombustibles. [en línea] (Trabajo de titulación) (Doctoral) Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México. 2011. [Consulta: 27 junio 2021]. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/16065>

PERONA, J. El ricino, lo mismo te decora el jardín que te mata . *Malnutridos* [en línea]. 2018. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://malnutridos.com/2018/07/29/el-ricino-lo-mismo-te-decora-el-jardin-que-te-mata/>.

POZO CANDO, J.P. Oportunidades de Mercado en Colombia y Comercialización de Higuierilla desde la Provincia del Carchi-Ecuador. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniero) Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán, Ecuador. 2015. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/409/1/331>

PRASAD, S.R., BANERJEE, R. y AGARWAL, D.K. "Disolventes y tecnologías verdes para la extracción de aceite de semillas". *Chemistry Central Journal* [en línea], 2017, (India), 9(1), pp. 1-37. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13065-017-0238-8>.

PROAÑO MOLINA, P.M. Investigación de la utilización del aceite de higuierilla, como combustible alternativo al 5-10% en motores diesel con bomba de alta presión convencional. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniero) Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. 2010. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2961/1/T-ESPEL-0712.pdf>.

QUISHPE ROBALINO, M.E. Diseño de un proceso industrial para la elaboración de un ambientador líquido de uso domestico, a partir del aceite esencial de yuquilla (*Cúrcuma longa* L.). [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 22 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/8665/1/96T00467.PDF>.

RENDÓN, N.E. y TRIVIÑO, J.P. Producción y exportación de la higuierilla (*Ricinus Communis* L.) a Colombia como materia prima para la elaboración de biocombustibles. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2009. pp. 56-57 [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6509/1/D-39003.pdfv>.

ROJAS RAMOS, K.M. Obtención y extracción de aceites vegetales. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú. 2019. [Consulta: 1 julio 2021]. Disponible en:

[https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3861/MONOGRAFÍA - ROJAS RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3861/MONOGRAFÍA_RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

SÁNCHEZ MEDINA, I.A. y HUERTAS GRECO, K. Obtención y caracterización de biodiesel a partir de semillas de *Ricinus communis* (Higuerilla) modificado genéticamente y cultivadas en el eje cafetero. [en línea]. (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2013. [Consulta: 9 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3048/6626S211.pdf;jsessionid=1EEC6945E1E04368882A01ECDC3E7496?sequence=1>.

SAYYAR, S., ABIDIN, Z.Z., YUNUS, R. y MUHAMMAD, A. Extraction of Oil from Jatropha Seeds-Optimization and Kinetics Extraction of Oil from Jatropha Seeds-Optimization and Kinetics. *American Journal of Applied Sciences*, vol.6, no. 7 (2017), pp. 1390-1395.

TORRES, A. Extracción de aceite a partir de aceite de granadilla (*Passiflora ligularis*) por prensado en frío y solvente orgánico. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. 2018.

UGALDE, J. y MARÍN, J. Promueven la higuerilla . *El Diario Ecuador* [en línea]. 2015. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/375526-promueven-la-higuerilla/>.

YEBOAH, A., YING, S., LU, J., XIE, Y., AMOANIMAA, H., BOATENG, K., CHEN, M. y YIN, X. 2020. Castor oil (*Ricinus communis*): a review on the chemical composition and physicochemical properties. *Food Science and Technology* [en línea]. 2020, (China), pp. 1-15. [Consulta: 28 enero 2021]. ISSN 0101-2061. Disponible en: doi 10.1590/fst.19620

ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL ETANOL

TABLE 5. Calculated Values of Ethanol Thermodynamic Properties

T	c_p	c_v	h	$\beta_S \cdot 10^3$	$\beta_T \cdot 10^5$
159,05	1,8979	1,417	0	37,47	50,20
163,15	1,9020	1,446	7,79	38,55	50,72
173,15	1,9130	1,499	26,86	41,29	52,71
183,15	1,9259	1,534	46,06	44,21	55,51
193,15	1,9417	1,559	65,39	47,32	58,93
203,15	1,9611	1,582	84,90	50,65	62,80
213,15	1,9848	1,605	104,63	54,21	67,03
223,15	2,0134	1,633	124,61	58,03	71,55
233,15	2,0476	1,667	144,91	62,12	76,32
243,15	2,0880	1,707	165,6	66,50	81,32
253,15	2,1349	1,755	186,7	71,21	86,60
263,15	2,1888	1,811	208,3	76,28	92,20
273,15	2,2501	1,872	230,5	81,73	98,22
283,15	2,3191	1,939	253,3	87,62	104,78
293,15	2,3961	2,011	276,9	94,01	112,00
298,15	2,4376	2,048	289,0	97,41	115,91
303,15	2,4811	2,087	301,3	100,96	120,03
313,15	2,5745	2,166	326,6	108,56	129,01
323,15	2,6762	2,250	352,8	116,94	139,09
333,15	2,7862	2,338	380,1	126,21	150,42
343,15	2,9046	2,432	408,6	136,56	163,12
351,44	3,0089	2,516	433,1	146,11	174,76

ANEXO B: DIMENSIONES, CAPACIDADES Y PESOS DE TUBERÍAS ESTÁNDAR DE ACERO

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in. ²	Área de la sección interior, ft ²	Circunferencia, ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1 345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1 120	2.17
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2 285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1 995	3.00
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3 170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2 745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5 225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4 600	5.02
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7 460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6 600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11 500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10 275	10.25
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15 400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13 850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19 800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17 900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31 150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28 850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45 000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40 550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77 850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71 150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123 000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111 700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174 500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158 350	88.57

ANEXO C: DIMENSIÓN Y CAPACIDAD DE CARCAZA DE INTERCAMBIADORES

Carcaza DI, plg	Tubos de ¾" de, arreglo de 1"					Tubos de 1" DE, arreglo en de 1 ¼"				
	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	32	26	20	20	--	21	16	14	--	--
10	52	52	40	36	--	32	32	26	24	--
12	81	76	68	68	60	48	45	40	38	36
13¼"	97	90	82	76	70	61	56	52	48	44
15¼"	137	124	116	108	108	81	76	68	68	64
17¼"	177	166	158	150	142	112	112	96	90	82
19¼"	224	220	204	192	188	138	132	128	122	116
21¼"	277	270	246	240	234	177	166	158	152	148
23¼"	341	324	308	302	292	213	208	192	184	184
25	413	394	370	356	346	260	252	238	226	222
27	481	460	432	420	408	300	288	278	268	260
29	553	526	480	468	456	341	326	300	294	286
31	657	640	600	580	560	406	398	380	368	358
33	749	718	688	676	648	465	460	432	420	414
35	845	824	780	766	748	522	518	488	484	472
37	934	914	886	866	838	596	574	562	544	532
39	1049	1024	982	968	948	665	644	624	612	600

ANEXO D: PROPIEDADES DE GAS IDEAL DEL AIRE

TABLA A-17											
Propiedades de gas ideal del aire											
T	h	P_r	u	v_r	s°	T	h	P_r	u	v_r	s°
K	kJ/kg		kJ/kg		kJ/kg · K	K	kJ/kg		kJ/kg		kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	22.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

ANEXO E: PROPIEDADES DE AGUA SATURADA

TABLA A-4												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., <i>T</i> °C	Pres. sat., <i>P</i> _{sat} kPa	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827

ANEXO F: VARIABLES PARA TIPO DE AGITADOR

$$\frac{hD_j}{k} = a \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{2/3} \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

The term a has these values:

Agitator	Surface	a
Turbine	Jacket	0.62
Turbine	Coil	1.50
Paddle	Jacket	0.36
Paddle	Coil	0.87
Anchor	Jacket	0.46
Propeller	Jacket	0.54
Propeller	Coil	0.83

The other variables in the equation are

h = heat-transfer coefficient

D_j = diameter of vessel

k = thermal conductivity

L = diameter of agitator

N = speed of agitator in revolutions per hour

ρ = density

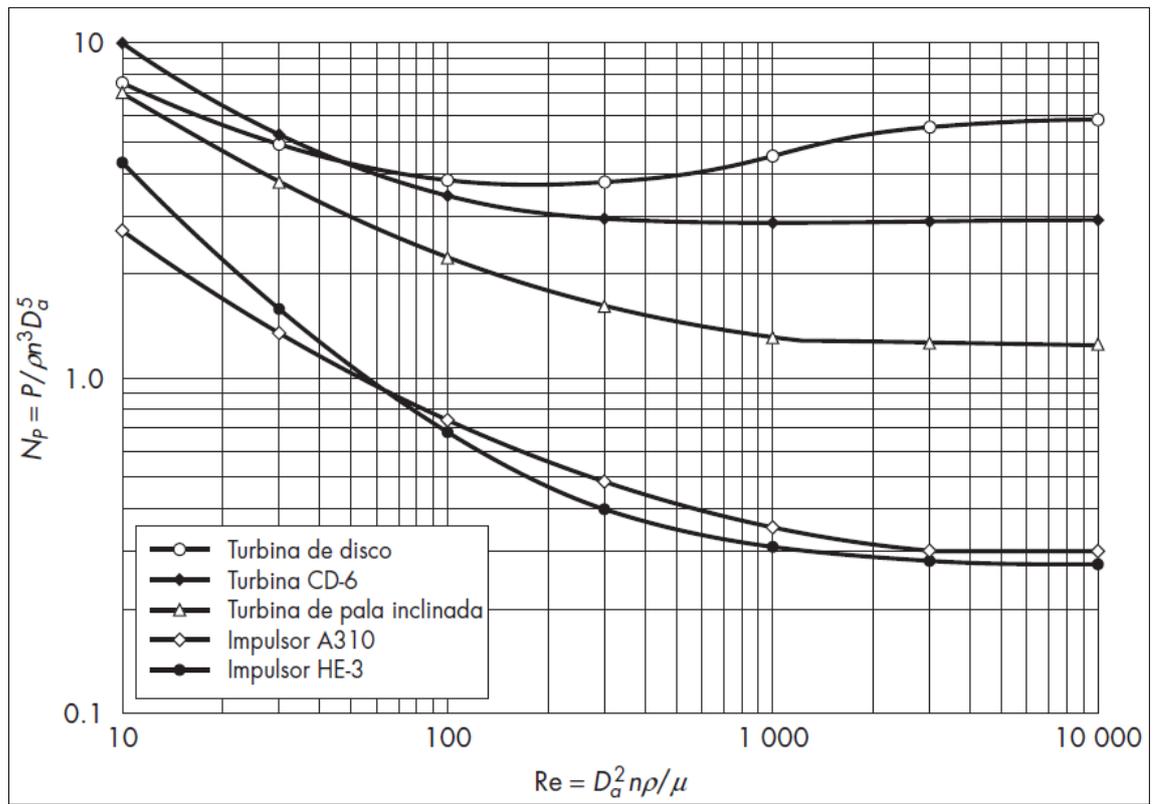
μ = viscosity

c = specific heat

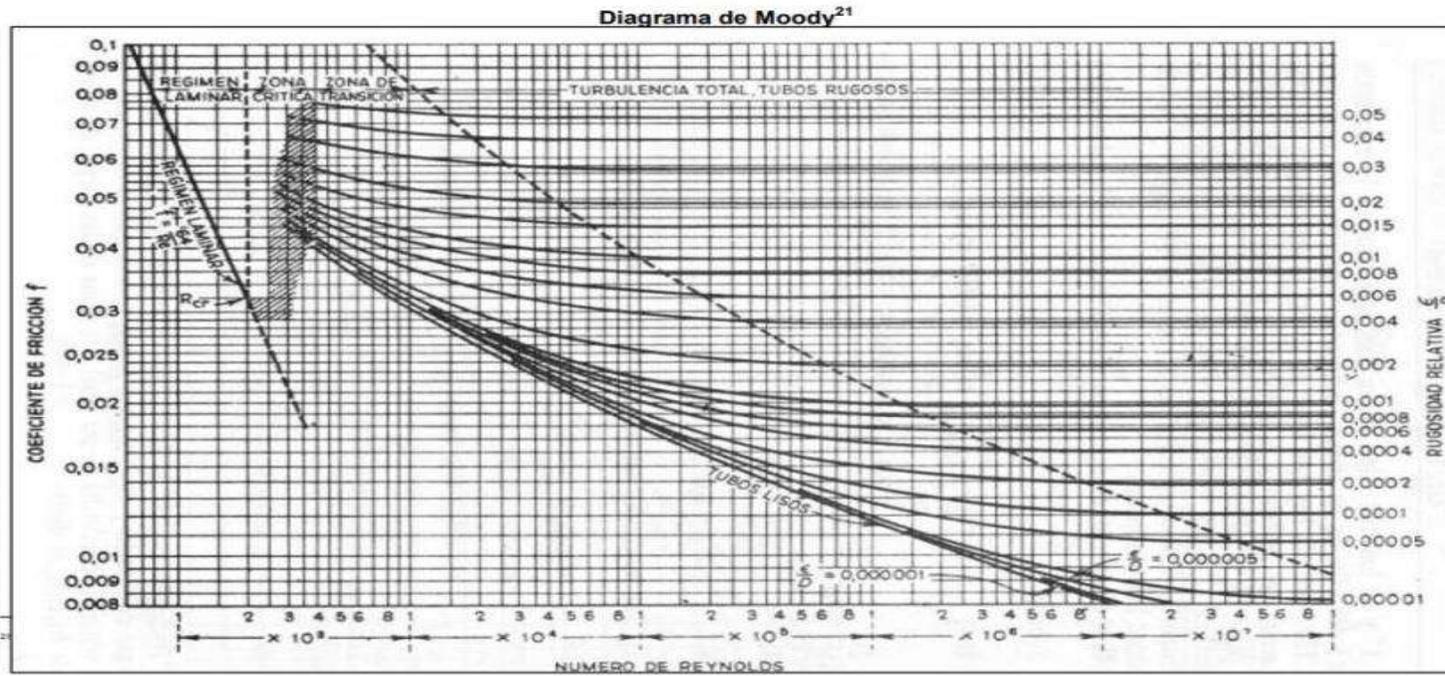
μ_b = viscosity at bulk fluid temperature

μ_w = viscosity at surface temperature

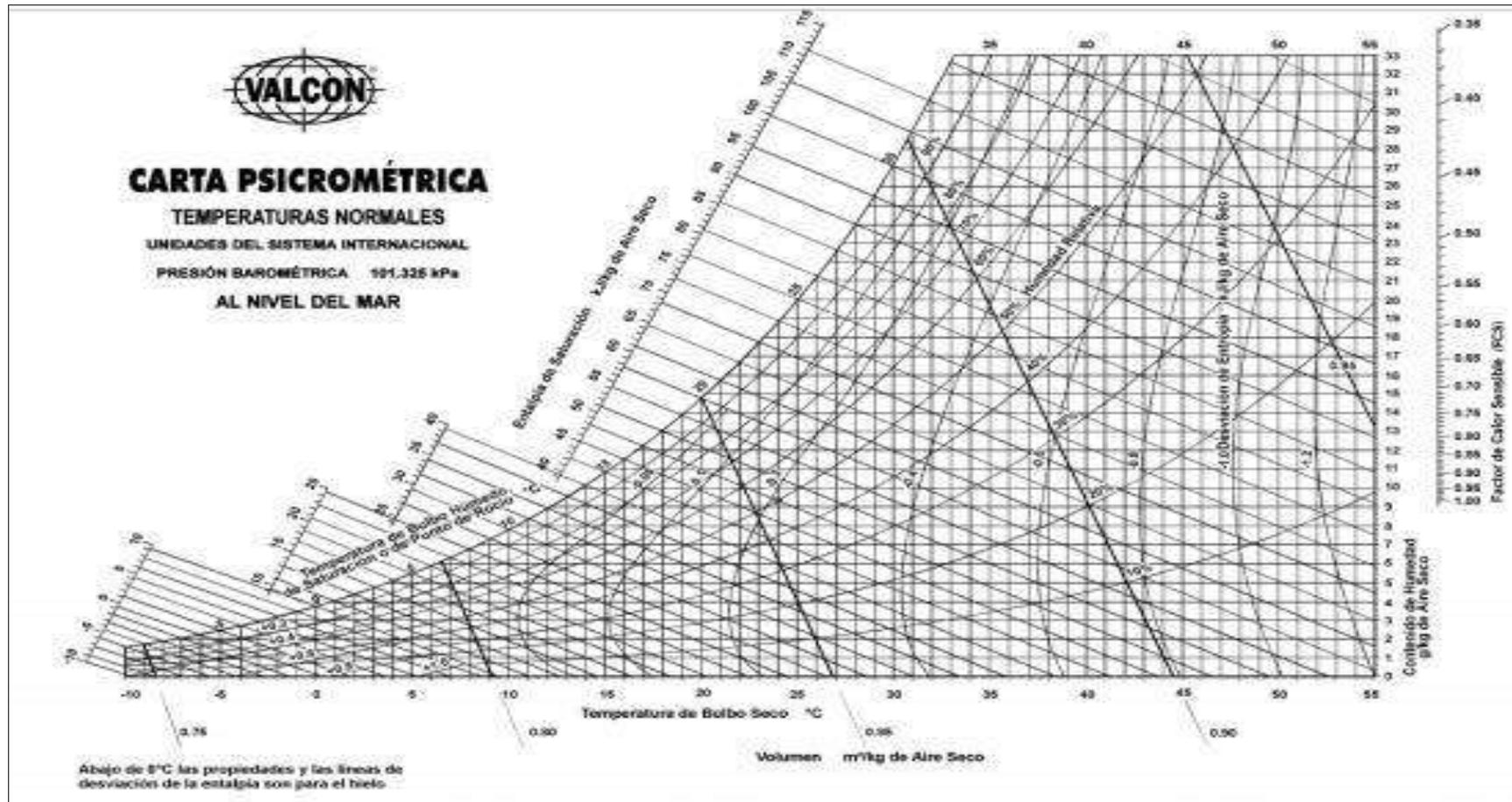
ANEXO G: CORRELACIONES DE POTENCIA



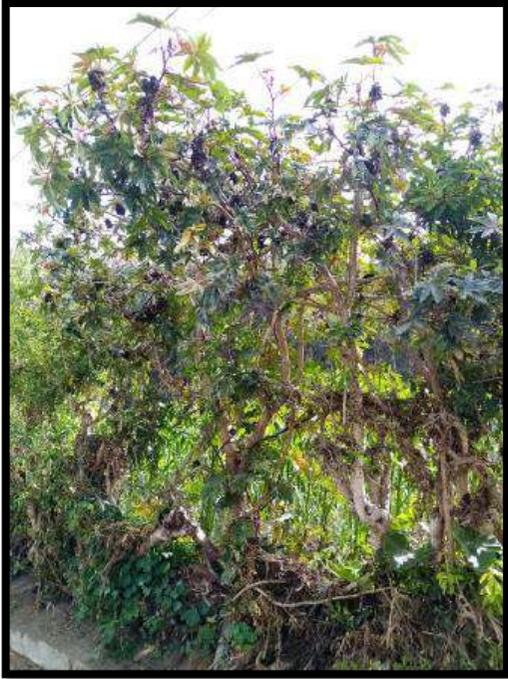
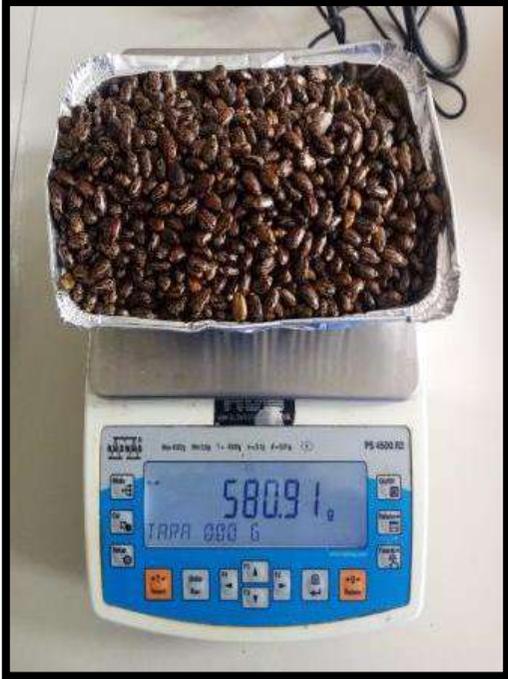
ANEXO H: DIAGRAMA DE MOODY



ANEXO I: CARTA PSICROMÉTRICA



ANEXO J: MATERIA PRIMA (HIGUERILLA)

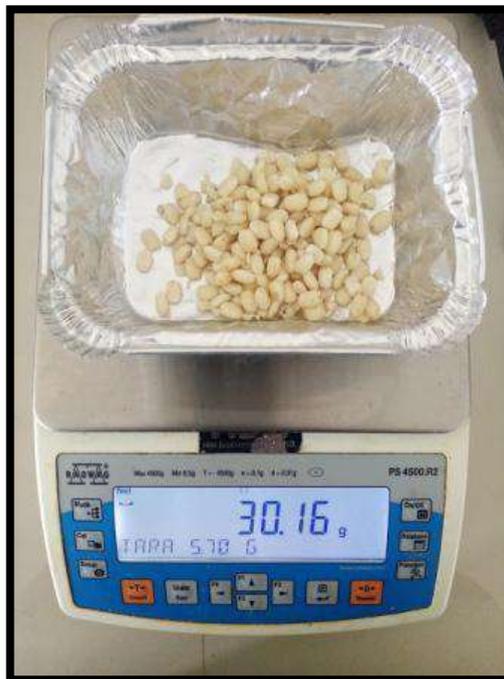
<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 							
<p>NOTAS:</p> <p>a. Plantación de higuera</p> <p>b. Pesaje del fruto de higuera</p> <p>c. Semillas de higuera</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: Brayan Tierra</p>	<p>PROCESO EXPERIMENTAL</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1:2</td> <td style="text-align: center;">2021/07/15</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:2	2021/07/15
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:2	2021/07/15							

ANEXO K: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA

d)



e)



f)



NOTAS: d. Secado de semillas e. Semillas sin cascaras f. Tamizaje de semillas	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Brayan Tierra	PROCESO EXPERIMENTAL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2	1:2	2021/07/15

g)



h)



i)

**NOTAS:**

- g. Diferentes tamaños de partícula
 h. Equipo soxhlet
 i. Equipo rotavapor

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
 Certificado
 Información
 Preliminar
 Por aprobar
 Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Brayan Tierra

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
3	1:2	2019/07/26

ANEXO L: REFINACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA

j)



k)



l)



NOTAS:

- j. Aceite crudo
- k. Reacción de desgomado
- l. Reacción de neutralización

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Brayan Tierra

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
4	1:2	2021/07/15

m)



n)



o)



NOTAS:

- m. Decantación
- n. Decoloración de aceite
- o. Aceite refinado

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input type="checkbox"/> Información | <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ELABORADO POR:
Brayan Tierra

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
5	1:2	2021/07/15

ANEXO M: CARACTERIZACIÓN SEMILLAS DE HIGUERILLA

p)



q)



r)



NOTAS:

- p. Pesaje cápsula y muestra
- q. Determinación de porcentaje de humedad
- r. Determinación de porcentaje de cenizas

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Brayan Tierra

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
6	1:2	2021/03/15

ANEXO N: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA ACEITE DE RICINO REFINADO

s)



t)



u)



NOTAS:

- s. Refractómetro
- t. Viscosímetro
- u. pH aceite refinado

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Brayan Tierra

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
7	1:2	2021/0/15

v)



w)



NOTAS:

- v. Densidad aparente
- w. Índice de acidez

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

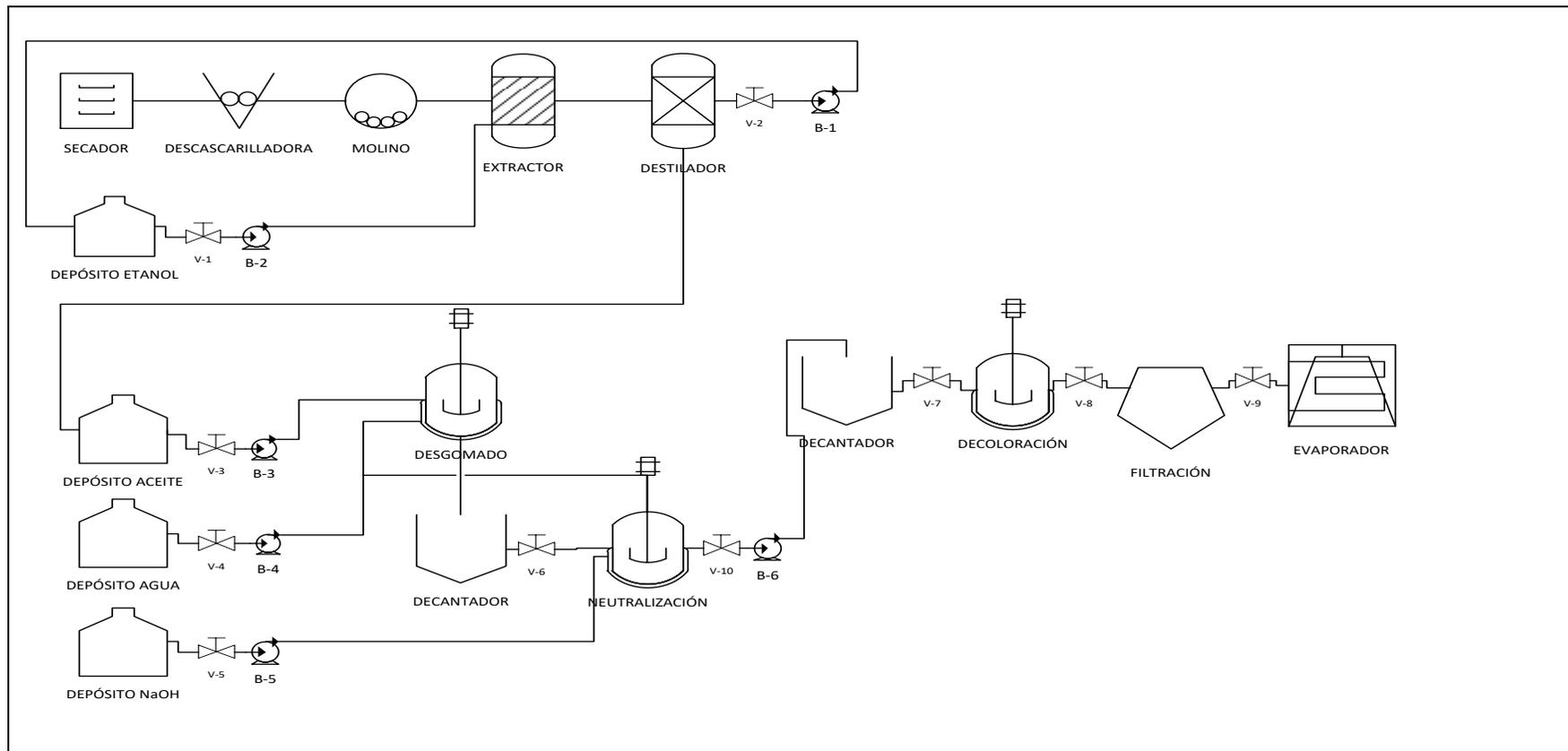
- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 ELABORADO POR:
 Brayan Tierra

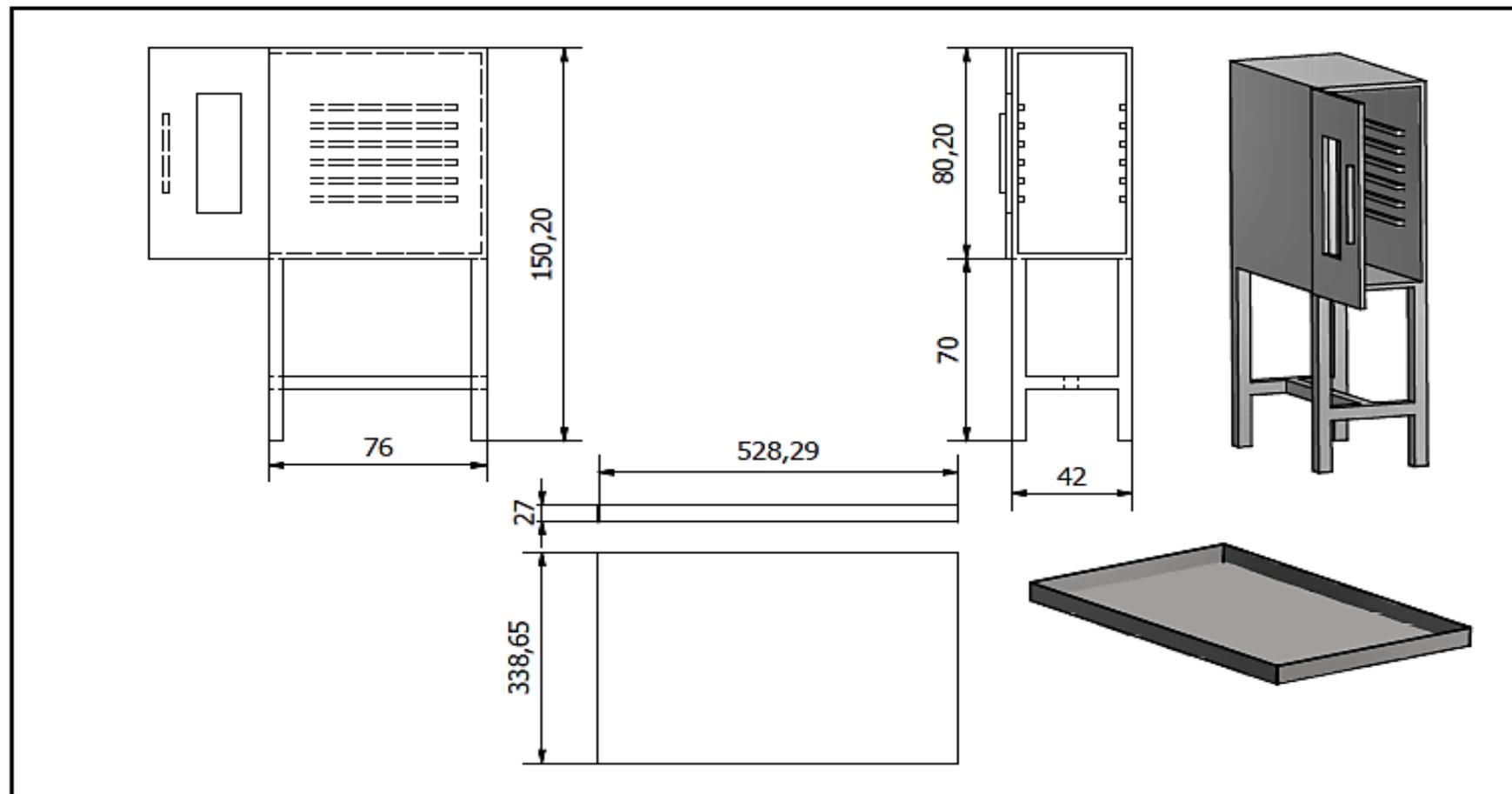
PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
8	1:2	2021/03/15

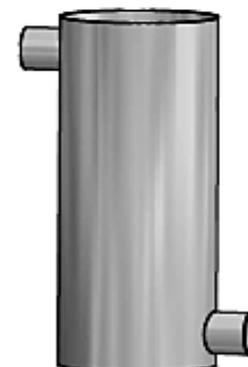
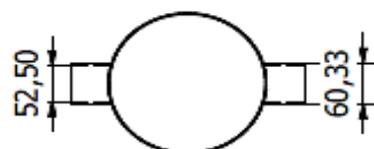
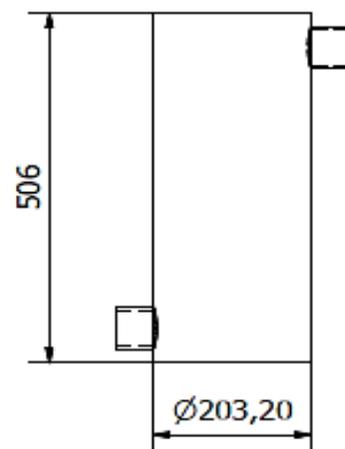
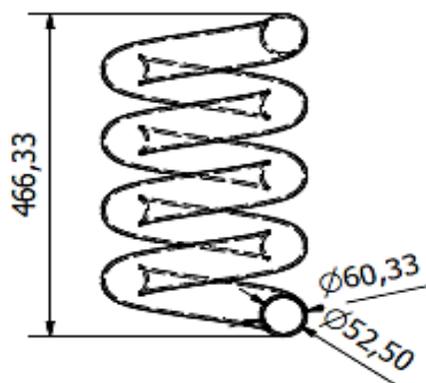
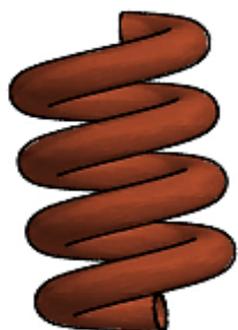
ANEXO O: DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL DE ACEITE DE HIGUERILLA



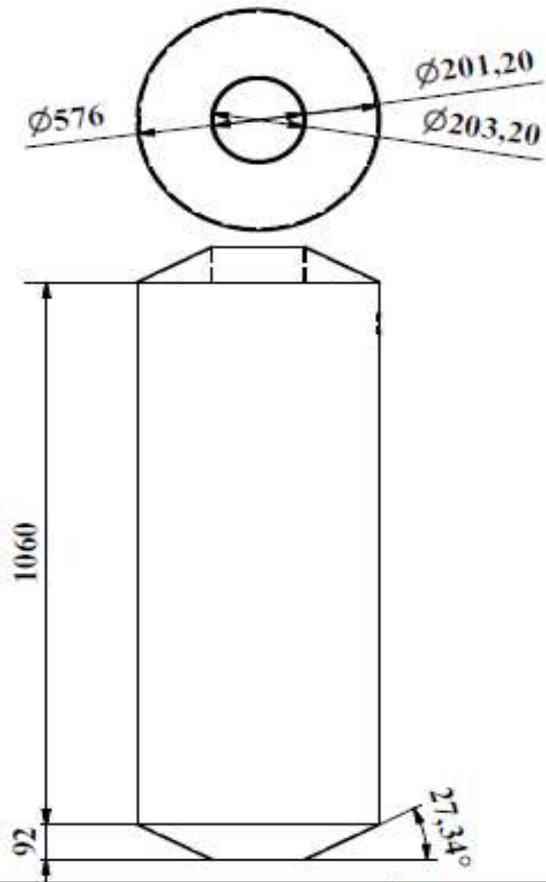
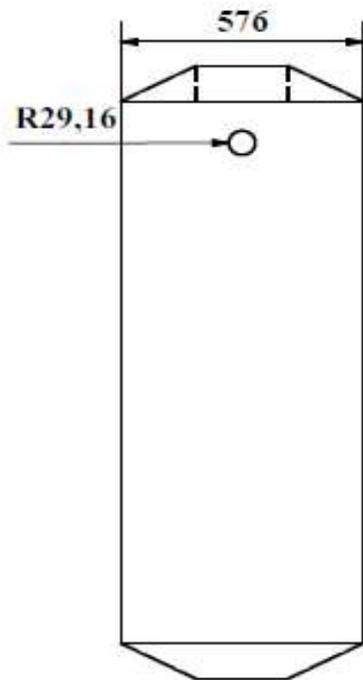
NOTAS: Diagrama flujo de procesos	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Brayan Tierra	PROCESO EXPERIMENTAL		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8	1:2	2021/03/15



ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 	DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN CADA ETAPA.		
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Dario Fernando Guamán Lozada		LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
FECHA: 24/07/2021			1	1 : 2	Acero inoxidable AISI 304
SECADOR.ipt					



ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 	DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN CADA ETAPA.		
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Dario Fernando Guamán Lozada		LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
FECHA: 24/07/2021			2	0.12	Acero inoxidable ATSI 304
CARCASA CONDENSADOR.ipt					



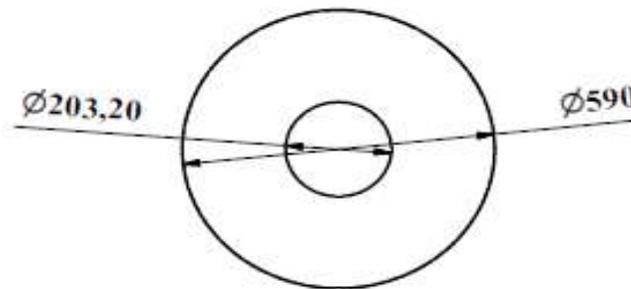
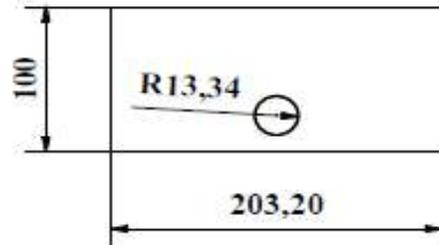
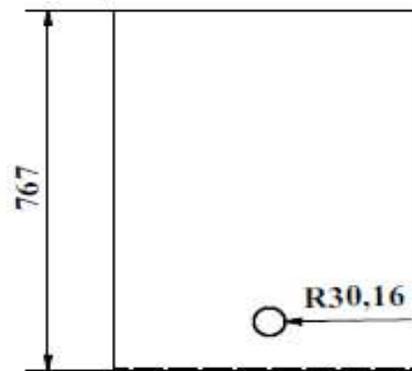
ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
FECHA: 24/07/2021	
TANQUE EXTRACTOR-DESTILADOR.ipt	

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

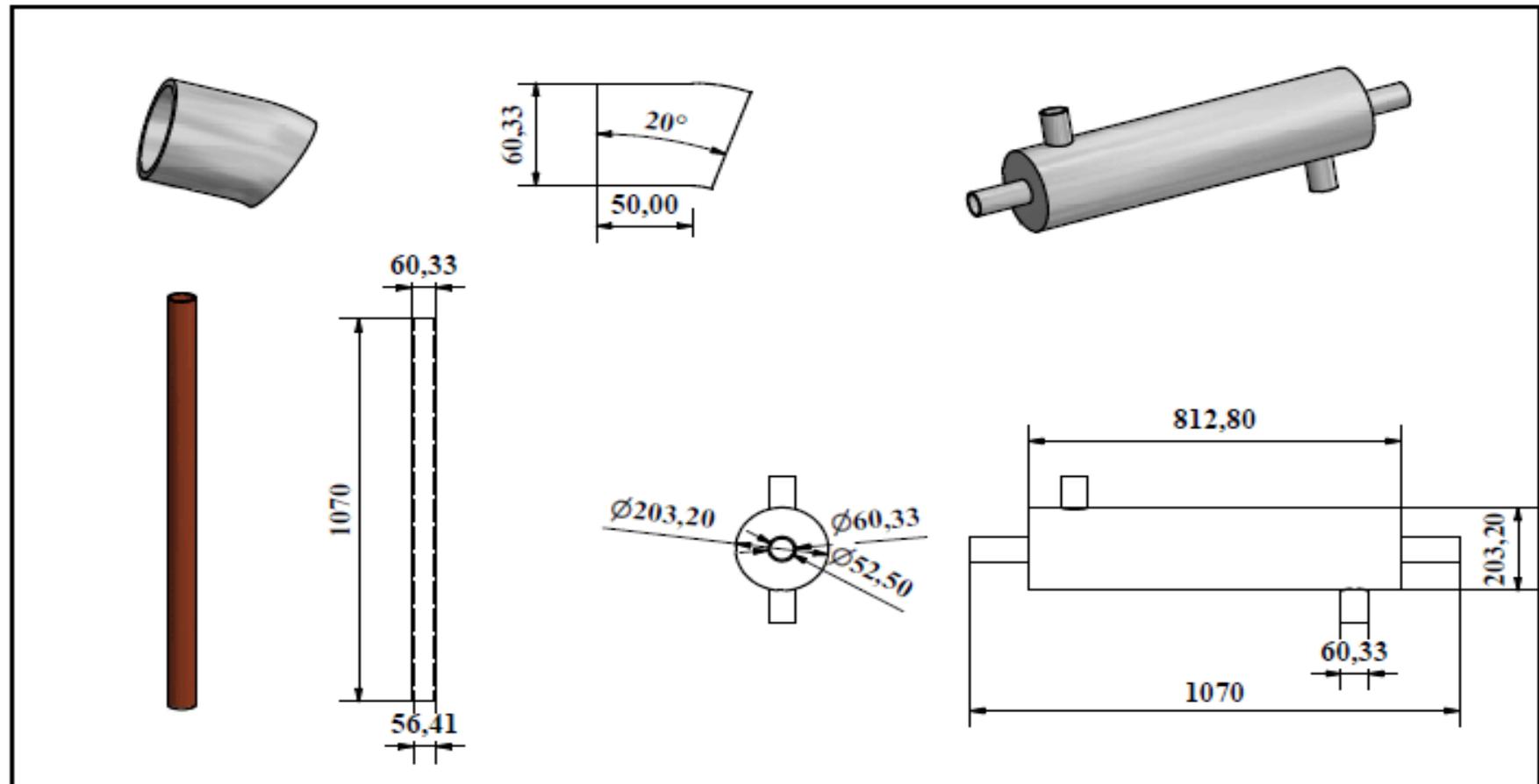


DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.

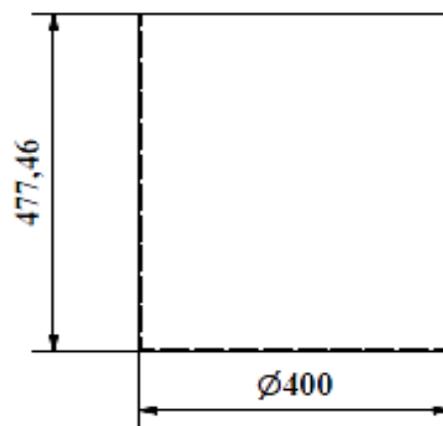
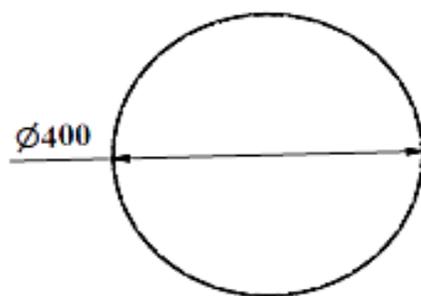
LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
3	0.08	Acero inoxidable AISI 304



ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 	DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.		
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Dario Fernando Guamán Lozada		LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
FECHA: 24/07/2021			4	0.09 : 1	Acero inoxidable AISI 304
TANQUE EBULLICION SOLUTO-SOLVENTE.ipt					



ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 	DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.		
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada		LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
FECHA: 24/07/2021		5	0.08	Acero inoxidable AISI 304	
CONDENSADOR SOLVENTE.ipt					



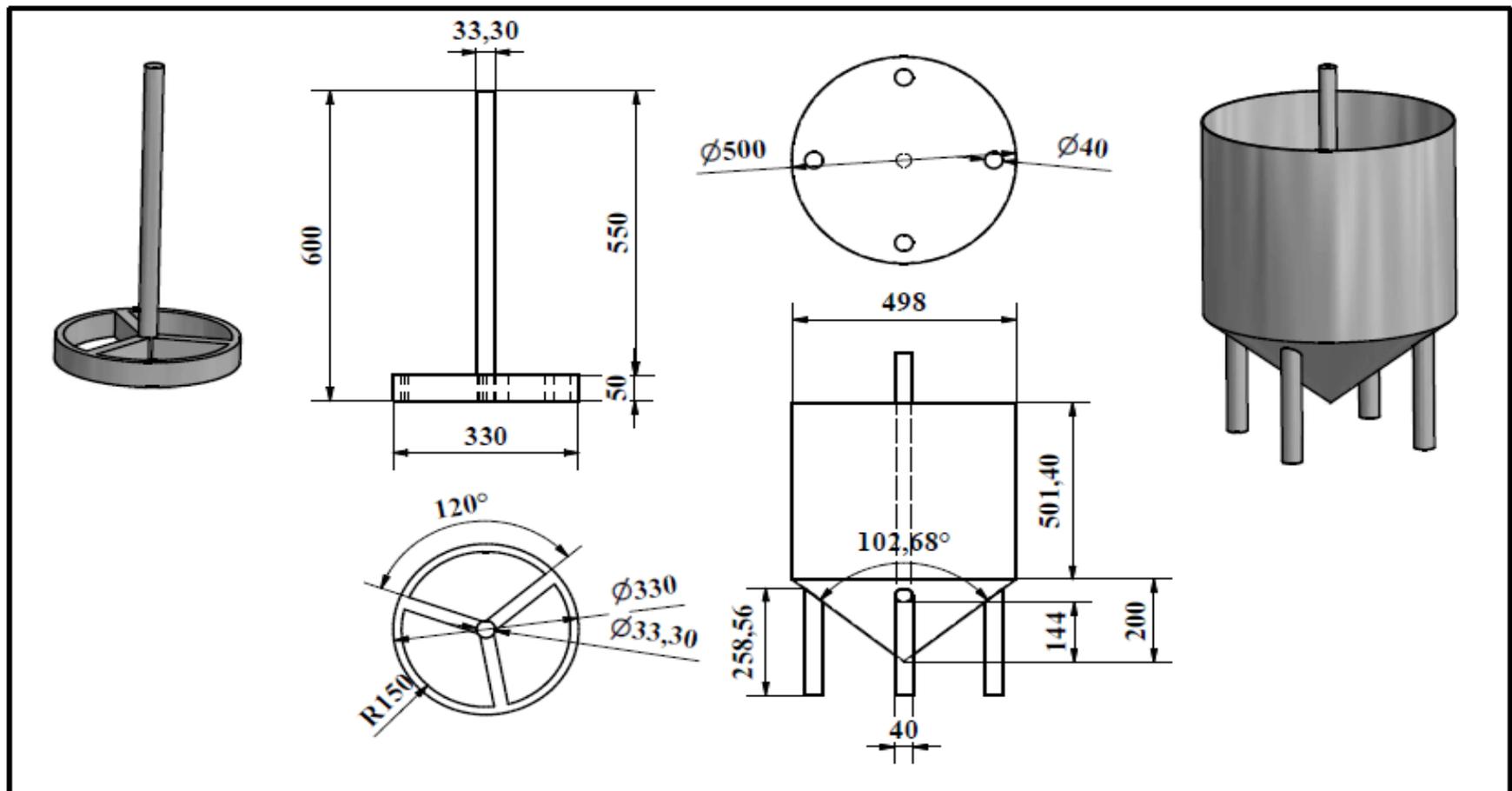
ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
FECHA: 24/07/2021	
TANQUE DEPÓSITO HIDRÓXIDO Y AGUA.ipt	

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**



**DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE
ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN
LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL
ESTUDIO DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN CADA
ETAPA.**

LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
6	0.14 : 1	Acero inoxidable AISI 304

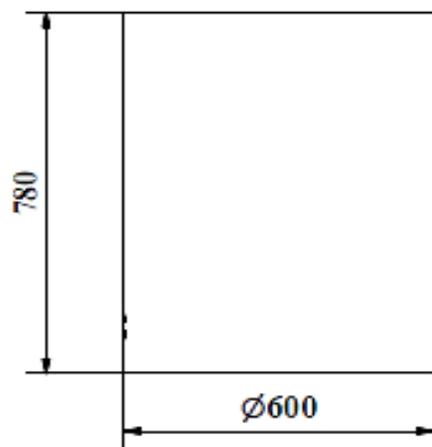
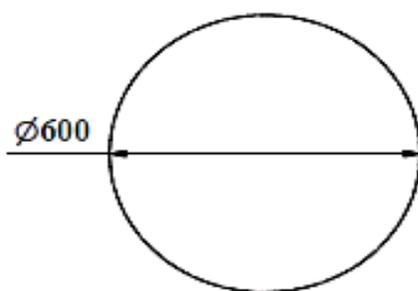


ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
FECHA: 24/07/2021	
REACTOR.ipt	

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**



DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES ÓPTIMAS EN CADA ETAPA.		
LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
7	0.09 : 1	Acero inoxidable AISI 304



ELAB: Brayan Stiven Tierra Ayala

REV: Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada

FECHA: 24/07/2021

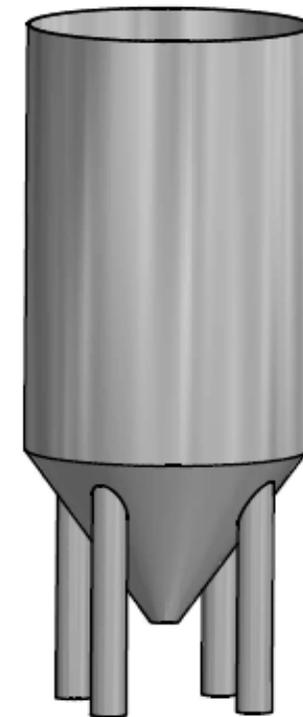
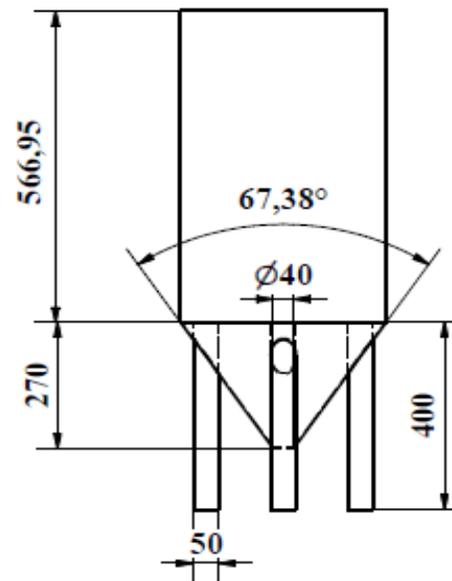
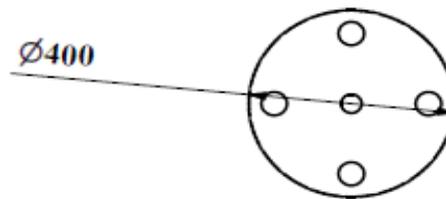
TANQUE DEPÓSITO ETANOL.ipt

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**



DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.

LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
8	0.12 : 1	Acero inoxidable AISI 304



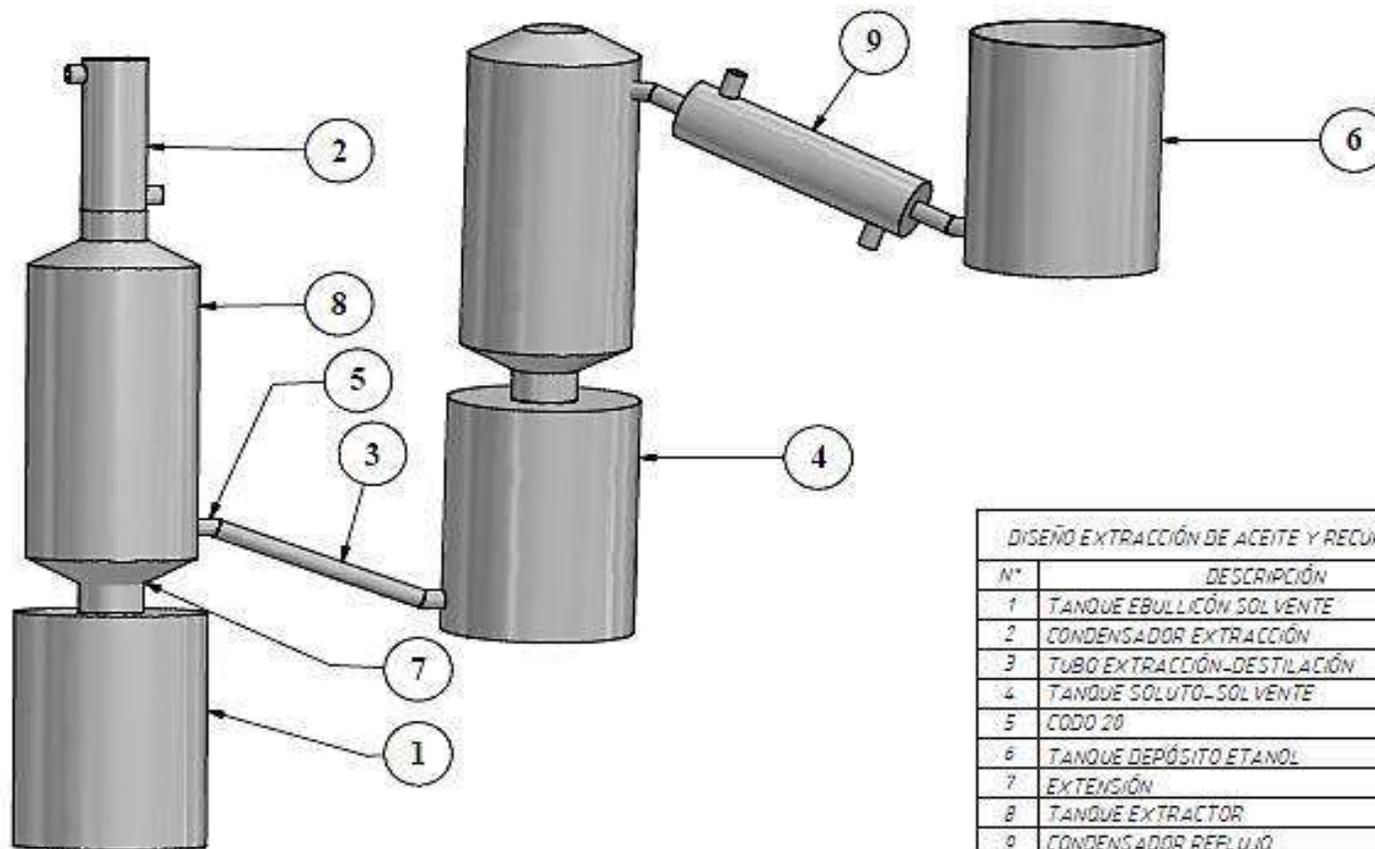
ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Dario Fernando Guamán Lozada
FECHA: 24/07/2021	
DECANTADOR.ipt	

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**



DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.

LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
9	0.11	Acero inoxidable AISI 304



DISEÑO EXTRACCIÓN DE ACEITE Y RECUPERACIÓN SOLVENTE		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT
1	TANQUE EBULLICIÓN SOLVENTE	1
2	CONDENSADOR EXTRACCIÓN	1
3	TUBO EXTRACCIÓN-DESTILACIÓN	3
4	TANQUE SOLUTO-SOLVENTE	1
5	CODO 20	6
6	TANQUE DEPÓSITO ETANOL	1
7	EXTENSIÓN	3
8	TANQUE EXTRACTOR	2
9	CONDENSADOR REFLUJO	1

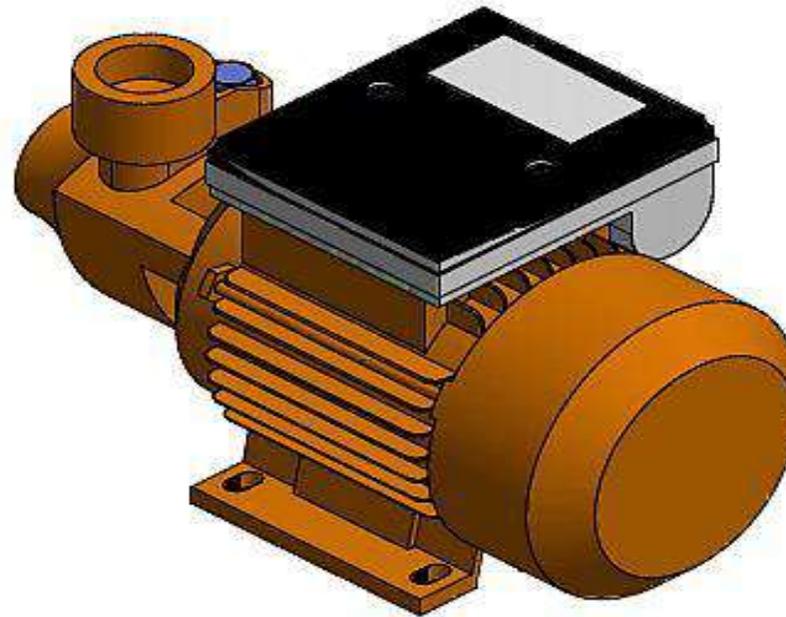
ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
FECHA: 24/07/2021	
EXTRACCIÓN Y RECUPERACIÓN.iam	

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DE CHIMBORAZO**



DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.

LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
10	0.05	



ELAB:	Brayan Stiven Tierra Ayala	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 	DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (<i>Ricinus Communis L.</i>) EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MEDIANTE EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES OPTIMAS EN CADA ETAPA.		
REV:	Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos Ing. Darío Fernando Guamán Lozada		LAMINA:	ESCALA:	MATERIAL:
FECHA: 24/07/2021		11	1 : 2		
BOMBA CENTRÍFUGA.iam					

ANEXO P: INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ACEITE DE RICINO



INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-16-03-21-0773
ORDEN DE TRABAJO No. 21-980

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: TIERRA AYALA BRAYAN STIVEN		DIRECCIÓN: RIOBAMBA	
TELÉFONO/FAX: 2372463	TIPO DE MUESTRA: ALIMENTO	PROCEDENCIA: UNIVERSIDAD	
IDENTIFICACIÓN: ACEITE DE RICINO		CODIGO INICIAL: M1 - FE: 22-02-2021	

Información suministrada por el cliente

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO			
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 05/03/2021	
FECHA DE ANÁLISIS: 05-16/03/2021	FECHA DE ENTREGA: 16/03/2021	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)	
CÓDIGO DE MUESTRA: 21-2483		REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	ACIDEZ (expresada como ácido oleico)	%	0,5	-	^b NTE INEN - ISO 660 *
2	ÍNDICE DE YODO	cg/g	86,1	-	^b PEE.LASA.BR.27 NTE INEN ISO 3961 *
3	ÍNDICE DE PERÓXIDO	meq O ₂ /kg (En grasa extraída)	4,7	-	^b PEE.LASA.BR.28 NTE INEN ISO 3960 *
4	ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	mg KOH/g	183,09	-	^b PEE.LASA.BR.25 NTE INEN ISO 3657 *

Los ensayos marcados con * NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Los ensayos marcados con (b) NO están incluidos en el alcance de acreditación de A2LA.

Q.A VANESSA RENTERÍA
JEFE DE DEPARTAMENTO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

LASA se responsabiliza exclusivamente del resultado correspondiente a los ensayos en la muestra recibida en el laboratorio.

Los criterios de conformidad serán emitidos solamente si el cliente lo solicita por escrito.

El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

ANEXO Q: CERTIFICADO DE DBRA

 espoch Dirección de Bibliotecas y Recursos del Aprendizaje
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA
Fecha de entrega: 11 / 03 / 2022
INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: <i>Brayan Stiven Tierra Ayala</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE	<small>Enteado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, ou=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=UNIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION TECNICA, o=UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO GARCIA RODRIGUEZ Fecha: 2022.03.11 13:05:14 -05'00'</small>
--	--


0454-DBRA-UTP-2022