

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

### **DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE VEGETAL COMESTIBLE DE LAS SEMILLAS DE CHÍA (*SALVIA HISPANICA L.*) MEDIANTE PENSADO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**KLEVER OCTAVIO CEFLA MIRANDA**

**tavo\_edu\_nat@hotmail.com**

**DIRECTORA:**

**DRA. JENNY CUMANDA RUALES NAJERA**

**jenny.ruales@epn.edu.ec**

**Quito, Abril 2015**

© Escuela Politécnica Nacional 2015

Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo Klever Octavio Cefla Miranda, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Klever Octavio Cefla Miranda

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Klever Octavio Cefla Miranda, bajo mi supervisión.

---

Dra. Jenny Ruales  
**DIRECTORA DE PROYECTO**

## **AUSPICIO**

La presente investigación contó con el auspicio financiero de la empresa de alimentos PRODUNUTREC CÍA LTDA., “Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia hispanica L.*) mediante prensado”.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme y concederme paciencia, perseverancia y sabiduría necesarias para culminar mis estudios con éxito.

A toda mi familia; mis hermanos: Efraín, Byron, Elena y mis padres Octavio Cefla y Natividad Miranda, por haber sido mis pilares emocionales y económicos, fundamentales para haber culminado una de mis metas en la vida.

A la Dra. Jenny Ruales, por todos los conocimientos que ha compartido, así como también por dar la tutoría y dirección del presente proyecto de titulación.

A la empresa de alimentos PRODUNUTREC CIA. LTDA. Por el apoyo financiero para el estudio del presente proyecto.

A mis amigos Cesar y Flavio por compartir sus vivencias desde muy chicos, así como también a sus respectivas familias por haberme apoyado los momentos difíciles de mi vida.

Finalmente, a mi novia Gabriela por su apoyo y comprensión, pero no puedo olvidarme de mis amigos, todos aquellos con los que compartí tiempo en mi vida estudiantil.

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mis padres: Octavio Cefla y Natividad Miranda, por haber sido magníficos seres humanos y sobre todo por haber sido unos excelentes padres ya que supieron guiarme y forjarme los mejores valores con amor y sabiduría, para poder ser la persona que soy hoy en día. Gracias por ser coparticipes del esfuerzo y logros de mi vida.*

*Los amo donde quiera que estén y este trabajo es por ustedes...*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>GLOSARIO</b>	xi
<b>RESUMEN</b>	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xv
<b>1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Producción y propiedades de la chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	1
1.1.1 Breve reseña histórica de la chía	1
1.1.2 Cultivo de chía	2
1.1.3 Clasificación taxonómica	2
1.1.4 Descripción taxonómica	3
1.1.5 Producción y distribución nacional de la chía	4
1.1.6 Plagas que afectan al cultivo de chía	5
1.1.6.1 Gusano peludo ( <i>Estigmene acrea</i> )	5
1.1.6.2 Babosa ( <i>Limax maximus</i> )	5
1.1.6.3 Zompopo ( <i>Atta cephalotes</i> )	5
1.1.6.4 Hongos	6
1.1.6.5 Bacterias	6
1.1.7 Composición química y nutricional de la chía	6
1.1.8 Propiedades de las semillas de chía	9
1.1.9 Usos de la chía	10
1.2 Métodos de extracción de los aceites comestibles provenientes de la semilla	11
1.2.1 Preparación de las semillas oleaginosas previo al proceso de extracción	13
1.2.1.1 Limpieza	13
1.2.1.2 Secado de las semillas	13
1.2.1.3 Trituración de las semillas	13
1.2.1.4 Tratamiento térmico de las semillas oleaginosas	14
1.2.2 Métodos de extracción de los aceites vegetales	15
1.2.2.1 Prensado	16
1.2.2.2 Extracción con solventes	24
1.2.2.3 Extracción mediante fluidos supercríticos	26
<b>2 PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>29</b>
2.1 Caracterización físico-química de la materia prima ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	29
2.1.1 Propiedades físicas de las semillas	29
2.1.1.1 Densidad aparente	29
2.1.1.2 Color de las semillas	30
2.1.2 Propiedades químicas de las semillas	30



2.2	Determinación de variables de operación del proceso de extracción del aceite comestible de chía	30
2.2.1	Pruebas experimentales	31
2.2.2	Caracterización físico-química del aceite crudo de chía	33
2.2.2.1	Propiedades físicas del aceite	33
2.2.2.2	Propiedades químicas del aceite	34
2.2.3	Caracterización de la torta residual del proceso de extracción	35
2.3	Diseño de una planta piloto para la extracción del aceite comestible	35
2.3.1	Dimensionamiento de la planta	35
2.3.2	Balances de masa y energía	36
2.3.3	Dimensionamiento de los equipos de la planta	38
2.3.4	Distribución de los equipos en la planta	39
2.4	Evaluación de pre factibilidad económica para la extracción del aceite vegetal de chía	39
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>40</b>
3.1	Caracterización físico-química de la materia prima ( <i>Salvia hispanica</i> L.)	40
3.1.1	Propiedades físicas de las semillas	40
3.1.1.1	Densidad aparente	40
3.1.1.2	Color de las semillas	41
3.1.2	Propiedades químicas de las semillas	42
3.1.2.1	Contenido de humedad en las semillas	43
3.1.2.2	Contenido de fibra cruda	44
3.1.2.3	Contenido de proteínas de las semillas	44
3.1.2.4	Contenido etéreo en las semillas	45
3.1.2.5	Contenido de cenizas en las semillas	45
3.2	Determinación de variables de operación del proceso de extracción del aceite comestible de chía	46
3.2.1	Rendimiento del proceso	46
3.2.2	Características físico-química del aceite crudo de chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.)	50
3.2.2.1	Propiedades físicas del aceite	50
3.2.2.2	Propiedades químicas del aceite	51
3.2.2.3	Contenido de minerales	54
3.2.2.4	Perfil de ácidos grasos	55
3.2.2.5	Contenido de beta-carotenos	61
3.2.3	Caracterización de la torta residual	61
3.2.3.1	Análisis proximal de la torta residual	61
3.2.3.2	Contenido de beta-carotenos	65
3.2.3.3	Contenido de minerales	65
3.3	Diseño de una planta piloto para la extracción del aceite comestible	66
3.3.1	Dimensionamiento de la planta	66

3.3.2	Balances de masa y energía	66
3.3.2.1	Tanque de almacenamiento y envasado	66
3.3.2.2	Tanque de sedimentación	67
3.3.2.3	Filtro	67
3.3.2.4	Prensa expeller	67
3.3.2.5	Tamizadora	68
3.3.3	Dimensionamiento y selección de los equipos de la planta de extracción	70
3.3.3.1	Balanza	71
3.3.3.2	Tamizadora	71
3.3.3.3	Prensa expeller	71
3.3.3.4	Filtro	71
3.3.3.5	Tanque de sedimentación	72
3.3.3.6	Tanque de almacenamiento y envasado	74
3.3.4	Diagrama de bloques del proceso (BFD)	75
3.3.5	Diagrama del flujo del proceso (PFD)	76
3.3.6	Distribución de los equipos en la planta (LAY OUT)	79
3.3.6.1	Área de producción	83
3.3.6.2	Área de recepción y almacenamiento	83
3.3.6.3	Área de almacenamiento	84
3.3.7	Ubicación de la planta	84
3.3.8	Requerimiento de personal en la planta	84
3.4	Evaluación de pre factibilidad económica para la extracción del aceite vegetal de chía	85
3.4.1	Inversión total	85
3.4.1.1	Inversión fija	86
3.4.1.2	Activos diferidos	86
3.4.1.3	Capital de trabajo	87
3.4.2	Costos anuales de producción	87
3.4.3	Flujo de caja	89
3.4.4	Valor actual presente (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)	89
3.4.5	Punto de equilibrio (PE)	91
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>93</b>
4.1	Conclusiones	93
4.2	Recomendaciones	95
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
<b>Tabla 1.1.</b>	Minerales contenidos en la semilla de chía y métodos empleados para su determinación	7
<b>Tabla 1.2.</b>	Vitaminas contenidas en las semillas de chía	8
<b>Tabla 1.3.</b>	Composición nutricional de las semillas de chía en porcentaje (%)	8
<b>Tabla 1.4.</b>	Datos analíticos del contenido de metales pesado en las semillas de chía	8
<b>Tabla 1.5.</b>	Características organolépticas generales de los aceites vegetales comestible	12
<b>Tabla 1.6.</b>	Tipos de extracción de los aceites vegetales comestibles, técnicas empleadas, ventajas y desventajas	15
<b>Tabla 1.7.</b>	Variables dependientes e independientes en el proceso de extracción continúa	23
<b>Tabla 1.8.</b>	Comparación de la extracción de aceites de forma mecánica y con solventes en semillas con bajo, medio y alto contenido de aceites	24
<b>Tabla 2.1.</b>	Combinación de los niveles de trabajo de las dos variables (temperaturas (T) y diámetros de la boquilla (B) de la prensa expeller) consideradas en el proceso de extracción del aceite de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	31
<b>Tabla 3.1.</b>	Densidad aparente de las semillas de chía	41
<b>Tabla 3.2.</b>	Cantidades y porcentajes de semillas oscuras y blancas contenidas en muestras de 5 g de la materia prima	41
<b>Tabla 3.3.</b>	Composición proximal realizada a las semillas de chía	43
<b>Tabla 3.4.</b>	Valores de los niveles de trabajo de las dos variables (temperaturas y diámetros de la boquilla de la prensa expeller) consideradas en el proceso de extracción del aceite de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	46
<b>Tabla 3.5.</b>	Valores de los rendimientos de las diferentes pruebas experimentales y sus repeticiones	47
<b>Tabla 3.6.</b>	Fuentes y diferencias significativas (p)	49
<b>Tabla 3.7.</b>	Resumen de la caracterización físico-química del aceite de chía	50
<b>Tabla 3.8.</b>	Contenido de hierro, calcio, sodio y zinc en el aceite de chía	54

<b>Tabla 3.9.</b>	Perfil de ácidos grasos del aceite de chía	56
<b>Tabla 3.10.</b>	Contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en el aceite	57
<b>Tabla 3.11.</b>	Contenido de omega-3 de los aceites de chía, oliva, girasol y soja	58
<b>Tabla 3.12.</b>	Contenido de omega-3,6 y 9 en el aceite de chía	59
<b>Tabla 3.13.</b>	Relaciones de omega-3, 6 y 9 encontradas en el aceite de chía	59
<b>Tabla 3.14.</b>	Contenido de beta-carotenos en el aceite de chía	61
<b>Tabla 3.15.</b>	Resultados del análisis proximal de la torta residual proveniente del proceso T <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	62
<b>Tabla 3.16.</b>	Contenido de hierro, calcio, sodio y zinc en la torta residual	65
<b>Tabla 3.17.</b>	Requerimientos energéticos de los motores de los equipos de la planta de extracción de aceite de chía	70
<b>Tabla 3.18.</b>	Nomenclatura de los equipos utilizados en la planta de extracción de aceite	79
<b>Tabla 3.19.</b>	Dimensiones de los equipos de la planta de extracción de aceite de chía	83
<b>Tabla 3.20.</b>	Tabla de las inversiones del proyecto	85
<b>Tabla 3.21.</b>	Tabla de las inversiones fijas del proyecto	86
<b>Tabla 3.22.</b>	Activos diferidos	86
<b>Tabla 3.23.</b>	Capital de trabajo	87
<b>Tabla 3.24.</b>	Costos anuales de producción	88
<b>Tabla 3.25.</b>	Costo de producción por cada unidad producida	88
<b>Tabla 3.26.</b>	Flujo de caja	89
<b>Tabla 3.27.</b>	Indicadores financieros del proyecto	90
<b>Tabla 3.28.</b>	Punto de equilibrio del costo de producción y del ingreso total	92
<b>Tabla AXII.1.</b>	Costos del terreno y de la obra civil	128
<b>Tabla AXII.2.</b>	Costos de los equipos y maquinaria	129
<b>Tabla AXII.3.</b>	Costos de los equipos y muebles de oficina	129

<b>Tabla AXII.4.</b> Costos de la materia prima	129
<b>Tabla AXII.5.</b> Costos del personal de la planta	130
<b>Tabla AXII.6.</b> Carga fabril	130
<b>Tabla AXII.7.</b> Depreciación de los equipos	131
<b>Tabla AXII.8.</b> Gastos de administración	131
<b>Tabla AXII.9.</b> Porcentajes de la inversión del proyecto	132
<b>Tabla AXII.10.</b> Valor actual neto	133
<b>Tabla AXII.11.</b> Valor actual neto inferior y superior	134
<b>Tabla AXII.12.</b> Costos fijos, variables, totales e ingresos según el volumen de producción de la planta de extracción del aceite de chía	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b>	<i>Salvia hispanica</i> con flores purpuras y hojas largas	3
<b>Figura 1.2.</b>	Semillas de chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.)	4
<b>Figura 1.3.</b>	Semillas de chía colocadas en agua	11
<b>Figura 1.4.</b>	Esquema de una prensa hidráulica artesanal	16
<b>Figura 1.5.</b>	Esquema de dispositivos de cajetines para el empleo en prensas de tipo abierto	17
<b>Figura 1.6.</b>	Prensa de jaula tipo cerrado	18
<b>Figura 1.7.</b>	Esquema de la prensa filtro utilizada para la extracción de aceites vegetales comestibles	20
<b>Figura 1.8.</b>	Esquema de la prensa cilindro con agujeros utilizada para la extracción de aceites vegetales comestibles	21
<b>Figura 1.9.</b>	Esquema de la estructura celular de las semillas oleaginosas	22
<b>Figura 1.10.</b>	Esquema del equipo de extracción por solventes (Soxhlet)	25
<b>Figura 1.11.</b>	Proceso de extracción de aceites vegetales mediante fluidos Supercríticos	27
<b>Figura 2.1.</b>	Representación y funcionamiento de la prensa expeller	32
<b>Figura 2.2.</b>	Esquema de los equipos y flujos de la planta para la extracción del aceite de chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.)	38
<b>Figura 3.1.</b>	Gráfico de medias e intervalos HSD del factor de temperatura para la masa final del aceite de chía extraído	48
<b>Figura 3.2.</b>	Gráfico de medias e intervalos HSD del factor del diámetro de las boquillas para la masa final del aceite de chía extraído	49
<b>Figura 3.3.</b>	Esquema de los flujos de la planta para la extracción del aceite de chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.)	69
<b>Figura 3.4.</b>	Esquema del tanque de sedimentación	74
<b>Figura 3.5.</b>	Esquema del tanque de almacenamiento y envasado	75

<b>Figura 3.6.</b>	Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite de chía (BFD)	77
<b>Figura 3.7.</b>	Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de chía (PFD)	78
<b>Figura 3.8.</b>	Distribución de los equipos en la planta (LAY OUT)	81
<b>Figura 3.9.</b>	Vista frontal del área de producción	82
<b>Figura 3.10.</b>	Punto de equilibrio	91
<b>Figura AI.1.</b>	Semillas de chía utilizadas en el proceso	108
<b>Figura AI.2.</b>	Semillas de chía clasificadas según el color	108
<b>Figura AIII.1.</b>	Extracción del aceite de chía	112
<b>Figura AIII.2.</b>	Boquillas de la prensa expeller utilizadas en la extracción	112
<b>Figura AX.1.</b>	Aceite de chía antes del proceso de sedimentación	122
<b>Figura AX.2.</b>	Aceite de chía después del proceso de sedimentación	122
<b>Figura AXII.1.</b>	Representación gráfica del punto de equilibrio	135

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b> Clasificación y selección de las semillas de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	108
<b>ANEXO II</b> Informe de resultados del análisis proximal realizado a las semillas de chía y a los residuos de los diferentes procesos de extracción	109
<b>ANEXO III</b> Calculo del rendimiento del proceso, extracción del aceite y boquillas utilizadas en el proceso	111
<b>ANEXO IV</b> Informe de resultados del análisis físico-químico realizado al aceite de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	113
<b>ANEXO V</b> Informe de resultados del análisis de minerales realizado al aceite de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	114
<b>ANEXO VI</b> Informe de resultados del perfil de ácidos grasos realizado al aceite de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	115
<b>ANEXO VII</b> Informe de resultados de beta-carotenos realizado al aceite y a la torta residual de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	117
<b>ANEXO VIII</b> Informe de resultados del análisis de minerales realizado la torta residual del proceso de extracción ( <i>Salvia hispanica L.</i> )	118
<b>ANEXO IX</b> Cálculos y ecuaciones de los balances de masa y energía	119
<b>ANEXO X</b> Representación del aceite antes y después del proceso de la sedimentación	122
<b>ANEXO XI</b> Fichas técnicas de los equipos	123
<b>ANEXO XII</b> Cálculos y tablas del análisis de pre factibilidad del proyecto	128



## GLOSARIO

- Cercospora sp.** Es un hongo, cuya principal característica es ocasionar enfermedades foliares a las plantas, afectando la fotosíntesis de las plantas (Gepp, 2013, p. 3).
- Copra:** Es un producto obtenido de la desecación de la pulpa de la semilla de coco, la cual se comercializa generalmente en ralladura (Riveros, 1997, p. 86).
- Frutos secos (Indehiscentes):** Es un tipo de frutos que no se abren cuando se encuentren maduros, y es necesario abrirlos con implementos como tijeras, machetes, entre otros, intentando no dañar sus semillas (Mesen, Gueva y Jiménez, 1996, p. 25).
- Gluten:** Es una proteína que presenta bajo valor nutricional y tiene capacidad de retener aire en la matriz proteica, se encuentra generalmente en el trigo, cebada, centeno y la avena, éste es utilizado para la elaboración del pan y en la industria alimentaria para dar viscosidad a los alimentos (Parada y Araya, 2010, p. 1322).
- Miricetina:** Es un flavonoide de origen vegetal, el cual presenta beneficios para la salud humana, actúa como un antioxidante (Ortiz, Fernández, Ferreres y Barberán, 2010, p. 22).
- Mucílago:** Es una preparación líquida viscosa, espesa y adherente, se produce por la dispersión de gomas en agua o por la

extracción de principios micilaginosos de sustancias en agua (Alfonso, 2003, p. 851).

**Necrosis:**

La necrosis es una clase de muerte celular, en la cual existe la ruptura de la membrana citoplasmática, lo que ocasiona salida del material intracelular provocando una reacción inflamatoria (Ramírez y Rojas, 2010, p. 1).

**Quercetina:**

Es un flavonoide que actúa inhibiendo a las enzimas conocidas como Na-kinasas, las cuales envían señales a las células cancerígenas para dividirse (Murray, Birdsall, Pizzorno y Reilly, 2010, p. 174).

## RESUMEN

El objetivo principal del presente proyecto fue el diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia hispanica L.*) mediante prensado.

Para alcanzar este objetivo, primero se realizó una caracterización físico-química de la materia prima utilizada en la extracción. Las semillas presentaron un 0,011 % de impurezas; en cuanto al color, las semillas presentaron un porcentaje de 86.6 % de semillas oscuras y 13,2 % semillas blancas, mientras que en la caracterización química las propiedades más importantes fueron: el contenido de humedad 9,07 %, extracto etéreo 29,57 %, proteína 16,04 %, carbohidratos 40,10 % y el valor calórico de 446 kcal/100g.

Posteriormente, se realizó el proceso de extracción del aceite de las semillas de chía mediante una prensa expeller a escala laboratorio, donde la capacidad de la prensa fue de 0,280 kg durante 4 minutos aproximadamente. Durante las pruebas experimentales se trabajó con dos variables de operación: la temperatura y el diámetro de la boquilla de la prensa expeller, el máximo rendimiento (24,80 %) se alcanzó a 64 °C y un diámetro de la boquilla de 0,010 m, mientras el menor rendimiento (18,76 %) se obtuvo a 40 °C y 0,014 m de diámetro de la boquilla.

En la caracterización física del aceite se determinó la densidad relativa del aceite de 929 kg/m<sup>3</sup> y el punto de humo de 185 °C, mientras que en la caracterización química se determinó el índice de acidez de 3,0 mg.KOH/g, índice de peróxido de 2,3 Meq. O<sub>2</sub>/kg, índice de yodo de 157 cgl/g, índice de saponificación de 183 mg.KOH/g y el índice de refracción de 1,4809 n.

Adicionalmente, en la caracterización del aceite se realizó un perfil lipídico, y se determinaron los principales ácidos grasos constituidos en el aceite: ácido linolénico (82,82 %), ácido linoléico (7,60 %), ácido palmítico (3,73 %), ácido oléico (3,61 %), ácido esteárico (1,79 %). En el mismo análisis se evaluó el contenido de omega-3 (82,82 %), omega-6 (7,60 %) y el omega-9 (3,77 %).

Se requieren 45,60 kg por día para cubrir la producción diaria del aceite de 12 L. y se obtiene 24 envases de aceite de 0,5 L. cuyo precio de producción por unidad es de \$ 16, 81 y el precio de venta es de \$ 21.

Finalmente, el análisis de pre factibilidad del proyecto reportó que la implementación de la planta requiere una inversión de \$ 80 264. Los indicadores financieros VAN y TIR son: 48 174,74 y 33,98 %, respectivamente, y se concluye que el proyecto es rentable. Además, el punto de equilibrio indica que se debe producir mínimo 4 019 unidades para cubrir los costos de producción del año 2015.

## INTRODUCCIÓN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia *Lamiaceae*; es una especie nativa de México y Guatemala. Actualmente, los principales países productores de esta especie son: México, Guatemala, Bolivia, Colombia y Argentina. En el Ecuador no se tiene un reporte exacto de la cantidad de chía sembrada, pese a esto, la mayor cantidad de cultivos de esta especie se registran en las provincias de Imbabura y Los Ríos (Rovati, Escobar y Prado, 2010, p. 39).

Para la obtención de los aceites vegetales comestibles existen dos técnicas de extracción muy utilizadas tanto a escala laboratorio como a escala industrial, que son: el prensado, que puede realizarse en caliente o en frío de acuerdo al material vegetal a tratar, y la extracción con disolventes. Sin embargo, el método más utilizado es el prensado; esto se debe básicamente a que muchas veces cuando se trabaja con solventes, estos quedan impregnados en el aceite, reduciendo la posibilidad de utilizarlo como alimento. Adicionalmente, utilizar dicha técnica de extracción aumenta los costos de extracción, ya que no siempre se recupera todo el solvente (Plank, 2005, p. 460).

El consumo de aceites vegetales comestibles en la ingesta diaria es de vital importancia para estar saludables. En general, dichos aceites en su forma pura poseen como principal componente los triglicéridos, quienes a su vez se encuentran constituidos por ácidos grasos insaturados, vitaminas liposolubles, especialmente la vitamina E, y ácidos grasos esenciales que pertenecen al grupo de los Omega-3, que posee varias funciones entre las cuales cabe mencionar protector coronario, estabilizador emocional y removedor de grasa (Rodríguez y Magro, 2008, p. 108).

Actualmente, el consumo de aceites vegetales ha desplazado el consumo de grasas de origen animal, debido que a dicho tipo de grasas se las relaciona con la obesidad y la arterioesclerosis, según la Organización Mundial de la Salud (OMS)

y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Vega, 2004, p. 5).

La chía (*Salvia hispanica L.*) constituyó la base de la alimentación de las culturas Mesoamericanas junto con el maíz y los porotos (Fili, 2012, p. 2). En la época prehispánica se utilizaron el aceite y la harina de ésta planta, debido a que se descubrió que poseen características medicinales y alimenticias (Hernández y Miranda, 2008, p. 1).

Se ha comprobado que las semillas de chía posee un alto contenido nutricional debido a todos los componentes que se encuentran constituidas; estudios revelan que generalmente posee proteína (23,6 % p/p), carbohidratos (18,70 % p/p), lípidos (29,8 % p/p), vitaminas, minerales y fibra (18,00 % p/p); valores que superan el contenido de otros granos como avena, arroz y trigo (Alvarado, 2011, p. 43).

La principal característica de las semillas de chía es la gran cantidad de ácidos grasos esenciales que posee. Estudios demuestran que su aceite contiene un 19 % de ácido linoleico y un 63,8 % de ácido alfa linolénico, clasificado como Omega-3, por lo que su contenido es mucho mayor al que se puede encontrar en algas, hígado de bacalao y salmón (Alvarado, 2011, p. 44).

Actualmente una estrategia de desarrollo de los países es la creación de nuevas empresas ya que promueven un crecimiento económico y generan nuevas fuentes de empleo, razones por las que éstos tipos de proyectos son apoyados e incentivados por gobiernos, instituciones públicas y privadas, quienes observan una alternativa para mejorar la situación económica de un país (Díaz, Urbano y Hernández, 2005, p. 209).

Por todo lo expuesto, y ante la necesidad de un crecimiento económico e industrial en el país, se acentúa el valor de este proyecto, cuya base radica en la extracción del aceite vegetal comestible de chía.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 PRODUCCIÓN Y PROPIEDADES DE LA CHÍA (*SALVIA HISPANICA L.*)

### 1.1.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA CHÍA

La chía (*Salvia hispanica L.*) es una planta perteneciente a la familia *Laminaceae*, fue considerada como sagrada en la época precolombina y un alimento básico para los mayas, junto con el maíz, los frijoles, el poroto y el amaranto; sus principales usos eran medicinales y alimentarios (Di Sapio., Bueno, Busilacchi y Severin, 2010, p. 56; Ixmucane, 2011, p. 44).

En la época prehispanica se utilizaron las semillas de chía para extraer aceites y harinas. Además, en el Codex Florentinus se detalla su importancia en los aspectos de producción y comercialización. Dicho texto explica como los aztecas y los mayas la emplearon con fines medicinales, alimenticios y principalmente como un ofrecimiento a los dioses por todas las propiedades que ésta brindaba. Adicionalmente, fueron utilizadas para la extracción de un aceite utilizado para elaboración de cosméticos y pinturas decorativas. El desplazamiento de esta semilla se produjo por el descubrimiento de América, ya que los colonizadores dieron prioridad a otros cereales (Ayerza, 2006, p. 93; Di Sapio et al., 2010, p. 57).

En los únicos países que se mantuvo el cultivo de la chía fueron en México y Guatemala, y solo hace unos años atrás este tipo de cultivo volvió a tomar importancia debido a las propiedades nutricionales que presenta (Ayerza, 2006, p. 93).

Actualmente se puede encontrar cultivos de chía a lo largo de Centroamérica y América Latina, pero los países que presentan mayor producción son Argentina, México y Bolivia (Ayerza, 2006, p. 93). Cabe recalcar que en estos últimos años la chía ha incrementado su importancia económica debido a que sus semillas se

están exportando a países como Estados Unidos, Costa Rica y ciertos países de Europa (Miranda, 2012, p. 2).

### 1.1.2 CULTIVO DE CHÍA

El cultivo de la chía se desarrolla en condiciones tropicales y subtropicales, no es tolerante a las heladas, los suelos preferidos son arenosos-limosos o arcillosos-limosos si presentan buen drenaje (Ayerza, 2006, p.17; Busilacchi, Quiroga, Bueno, Di Sapia, Flores y Severin, 2013, p. 55).

Las temperaturas óptimas para su crecimiento son entre 16 y 20 °C. Se desarrolla entre los 600 y 1 400 msnm y pluviosidades entre 800 y 900 mm anuales (Miranda, 2012, p. 3). La propagación se realiza por medio de semillas. La densidad de siembra es de 6 a 8 kg/ha. y la humedad relativa entre el 40 y 70 % (Ayerza, 2006, p. 18; Busilacchi et al., 2013, p. 56).

Se requieren entre 120 y 130 días para la cosecha de la chía. Se recomienda el cultivo cuando el 80 % del follaje presenta un color oscuro, simulando sequedad o muerte de la planta (Miranda, 2012, p. 10).

### 1.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La chía es una planta herbácea cuya clasificación taxonómica se presenta a continuación (Muñoz, Cobos, Díaz y Aguilera, 2013, p. 4)

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Angiosperma
<b>Clase:</b>	Dicotiledónea
<b>Orden:</b>	Lamiales
<b>Familia:</b>	Lamiaceae
<b>Género:</b>	Salvia



**Especie:** Hispanica  
**Nombre científico:** *Salvia hispanica* L  
**Nombre común:** Chía

#### 1.1.4 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

En la Figura 1.1, se muestra el esquema de la planta de la chía.



**Figura 1.1.** *Salvia hispanica* con flores purpuras y hojas largas  
(Ali, Keong, Ho, Kee, Tan y Guan, 2012, p. 2)

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta anual, originaria de las áreas montañosas de México. Esta especie llega a medir aproximadamente 1 m de altura. Los tallos presentan forma cuadrangular, son pilosos y acanalados. Sus hojas son pecioladas y de limbo aserrado. Sus flores son hermafroditas, florece durante los meses de verano. El fruto tiene forma de aqueino y en su interior se encuentra una semilla pequeña de forma oval (Muñoz, Cobos, Díaz y Aguilera, 2013, p. 5).

La semilla de la chía pertenece al grupo de los frutos secos indehiscentes, las semillas poseen dimensiones de 1 a 1,2 mm y de 2 a 2,2 mm de ancho y largo, respectivamente. Las semillas son ovaladas, lisas y brillantes; presentan colores marrón, gris, roja oscuro y blanco, usualmente combinados entre ellos (Rovati, Escobar y Prado, 2012, p. 39).



**Figura 1.2.** Semillas de chía (*Salvia hispanica* L.)  
(Rovati, Escobar y Prado, 2012, p. 39)

### **1.1.5 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN NACIONAL DE LA CHÍA**

La producción de la chía en Ecuador reinicia en el 2005, pero no existe información registrada de algún censo realizado para este cultivo por los entes gubernamentales. En los últimos años el cultivo de la chía es aprovechado únicamente para uso de las comunidades y se considera como siembra artesanal (Arroyo, 2011, p. 11).

Algunas localidades siembran a pequeña escala, con superficie de siembra no mayores a una hectárea. La producción de este cultivo se ve afectada por no existir un mercado fijo para la comercialización, pero poco a poco se están dando a conocer en el país y el mundo los beneficios de las semillas de chía y se está consumiendo tanto en el ámbito culinario, como consumo masivo por el alto valor de fibra y omega-3 (Arroyo, 2011, p. 11).

El alto interés nutritivo y económico que despierta el cultivo de chía hace que centros de estudio del país se empiecen a investigar las características y lugares óptimos para cultivar en el Ecuador (Arroyo, 2011, p. 11).

Actualmente, se conoce de publicaciones informativas del país que las provincias más representativas en la producción de la chía para el año 2010 fueron: Los Ríos (45 %), Bolívar (15 %), Imbabura (30 %) y otros (10 %) (Rovati, Escobar y Prado, 2010, p. 39).

## **1.1.6 PLAGAS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE CHÍA**

### **1.1.6.1 Gusano peludo (*Estigmene acrea*)**

El gusano peludo es una plaga parcialmente agresiva ya que consume las hojas provocando una disminución en la fotosíntesis y por lo tanto afectando el desarrollo de la planta (Miranda, 2012, p. 9; Busilacchi et al., 2013, p. 59).

### **1.1.6.2 Babosa (*Limax maximus*)**

La babosa es la principal plaga de los cultivos de chía, ésta ataca las plantas principalmente en las primeras etapas de crecimiento ya que mastica y digiere el tallo. Esta plaga ataca principalmente cuando existe mayor humedad, y para su control se recomienda aplicar cebos envenenados (Miranda, 2012, p. 7; Busilacchi et al., 2013, p. 57).

### **1.1.6.3 Zompopo (*Atta cephalotes*)**

El zompopo es un insecto muy difícil de controlar, ataca a las plantas a lo largo de todo su ciclo de vida pero causa mayores daños al inicio de su desarrollo vegetativo. Producen la defoliación de la planta, provocando un daño hasta del 40

% Para controlar este insecto se recomienda localizar las cuevas para eliminar los huevos y el uso de insecticidas químicos (Miranda, 2012, p. 9)

#### **1.1.6.4 Hongos**

Cuando la planta se encuentra infectada por los hongos *Cercospora* sp. se presentan manchas foliares en las hojas y manchas oscuras en los vértices; para controlar este hongo se recomienda utilizar positrón y triazoles (Miranda, 2012, p. 10).

#### **1.1.6.5 Bacterias**

La presencia de bacterias en las plantas causan afectación en el área foliar, éstas ocasionan manchas oscuras provocando necrosis y caída de las hojas. Se recomienda utilizar bactericidas cúpricos para su control (Miranda, 2012, p. 10; Busilacchi et al., 2013, p. 60).

### **1.1.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LA CHÍA**

La chía es considerada actualmente como una semilla no convencional, pero esta idea cambia con el transcurso del tiempo. Ésta semilla posee grandes cantidades de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico, el cual está asociado con ciertas funciones fisiológicas (Muñoz et al., 2013, p. 7).

Las semillas de chía poseen una cantidad considerable de compuestos con actividad antioxidante como los antioxidantes primarios naturales, ácido cafeico, miricetina y quercetina. Una de sus propiedades principales es que es una fuente natural de omega-3, la cual representa aproximadamente el 75 % del contenido en el aceite de la chía (Muñoz et al., 2013, p. 7; Di Sapio, Bueno, Busilacchi y Severin, 2010, p. 12).

Además, las semillas presentan un alto contenido de fibra, vitaminas y minerales, y son una excelente fuente de proteínas, una propiedad muy interesante es que no contienen gluten (Muñoz et al., 2013, p. 7).

La chía contiene proteína (15-25 %), grasas (30-33 %), carbohidratos (26-41 %), fibra dietética (18-30 %), cenizas (4-5 %), entre otros. Además, la cantidad de metales pesados presentes en las semillas de chía se encuentran en un límite aceptable para el consumo humano, ya que no excede los niveles para ser clasificado como un alimento seguro (Ali et al., 2012, p. 1)

A continuación, en las Tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4, se presentan valores de diferentes compuestos obtenidos de los análisis de las semillas de chía provenientes de México y los métodos utilizados para su determinación:

**Tabla 1.1.** Minerales contenidos en la semilla de chía y métodos empleados para su determinación

MINERAL	RESULTADO (mg/100g)	MÉTODO
Sodio	0,94	AOAC 956.01
Potasio	667,0	AOAC 956.01
Calcio	557,0	Espectroscopia de absorción atómica
Hierro	6,3	Espectroscopia de absorción atómica
Magnesio	390,0	AOAC 985.35
Fosforo	751,0	AOAC 966.01
Zinc	3,7	AOAC 999.11
Cobre	0,20	Manual ISP
Selenio	0,006	AOAC 986.15
Cromo	<0,03	SGS Chile
Cobalto	<0,05	Absorción atómica
Molibdeno	<0,10	Absorción atómica
Niquel	<0,02	Manual ISP (1998)-SGS Chile
Azufre	290,0	Espectroscopia de absorción atómica

(Bresson et al., 2009, p. 8)

**Tabla 1.2.** Vitaminas contenidas en las semillas de chía

VITAMINA	RESULTADO (mg/100g)	MÉTODO
Vitamina A	44,0	Métodos estándar del ensayo de vitaminas (1985), 4ta. Ed. John Wiley & Sons (ISO 17025)
Vitamina C	<3,0	HPLC
Vitamina E	0,74	HPLC
Tiamina	0,18	Métodos estándar del ensayo de vitaminas (1985), 4ta. Ed. John Wiley & Sons (ISO 17025)
Vitamina B2	0,04	Métodos estándar del ensayo de vitaminas (1985), 4ta. Ed. John Wiley & Sons (ISO 17025)
Vitamina B3	6,13	Métodos estándar del ensayo de vitaminas (1985), 4ta. Ed. John Wiley & Sons (ISO 17025)
Vitamina B6	0,1	Métodos estándar del ensayo de vitaminas (1985), 4ta. Ed. John Wiley & Sons (ISO 17025)

(Bresson et al., 2009, p. 9)

**Tabla 1.3.** Composición nutricional de las semillas de chía en porcentaje (%)

NUTRIENTE	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Materia seca	96,0	AOAC 934.06
Proteína	21,1	AOAC 990.03
Grasa	32,8	AOAC 920.39
Carbohidratos	37,5	Diferencia (100 % - cenizas, grasa, humedad)
Cenizas	4,6	AOAC 942.05
Fibra cruda	24,0	AOAC 978.10

(Bresson et al., 2009, p. 7)

**Tabla 1.4.** Datos analíticos del contenido de metales pesado en las semillas de chía

METALES PESADOS	RESULTADO (PPM)	MÉTODO
Arsénico	<0,2	Espectrofotometría de absorción atómica
Cadmio	<0,2	Espectrofotometría de absorción atómica
Mercurio	<0,03	Espectrofotometría de absorción atómica
Plomo	<0,07	Espectrofotometría de absorción atómica

(Bresson et al., 2009, p. 10)

### 1.1.8 PROPIEDADES DE LAS SEMILLAS DE CHÍA

Como ya se mencionó anteriormente, la chía posee una gran cantidad de compuestos esenciales para una buena alimentación, lo cual, incluido en la ingesta diaria, beneficia la salud del consumidor.

La semilla de chía es un alimento completo ya que contiene todos sus componentes originales: el salvado, el germen y el endosperma; ciertas investigaciones han demostrado que ingerir alimentos completos reducen la probabilidad de enfermedades como el sobrepeso y enfermedades cardíacas (Coates, 2013, p. 35).

Los ácidos grasos esenciales (AGE), como el omega-3 juegan un papel importante por que aportan elasticidad a las paredes de las membranas celulares permitiendo el movimiento de los nutrientes; además, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, como la trombosis actuando conjuntamente con el omega-6; a dosis elevadas, de 4 a 8 gramos diarios, se disminuye la presión arterial (Di Sapio et al., 2010, p. 11).

Además, el omega-3 posee propiedades de antiproliferación y antidiseminación, por lo que el consumo adecuado de éste compuesto contribuye a disminuir el riesgo de cáncer arterial (Di Sapio et al., 2010, p. 12). La relación del consumo de omega-3 y omega-6 debe encontrarse entre 4:1 y 10:1.

La chía contiene gran cantidad de antioxidantes principalmente flavonoides y tocoferoles, que son compuestos que ayudan a reducir los radicales libres que pueden ocasionar oxidaciones indeseables. Investigaciones han constatado que los radicales libres ocasionan daños en el ADN, los lípidos, las proteínas y otras moléculas, esto implica el desarrollo del cáncer, enfermedades cardiovasculares y problemas neurodegenerativos (Muñoz et al., 2013, p. 7; Di Sapio et al., 2010, p. 12).

La chía contiene una buena calidad y cantidad de fibra (digerible y no digerible) que aporta beneficios a la salud humana, como por ejemplo retarda el índice de glucosa en la sangre y reduce la absorción de colesterol; además, por su gran contenido de proteínas, es de fácil digestión y de rápida absorción, mejorando el movimiento del tracto intestinal (Di Sapio et al., 2010, p. 12).

### **1.1.9 USOS DE LA CHÍA**

Actualmente, la chía es utilizada para diferentes propósitos en ciertos países como México, Argentina, Chile, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Ecuador, entre otros.

El uso más antiguo de la chía fue su utilización para un producto que los nativos conocían como pinole, para lo cual tostaban las semillas de chía y mezclaban con harina de maíz y agua. Dicha mezcla era consumida de esa manera o en tartaletas cocidas a fuego lento (Coates, 2013, p. 35).

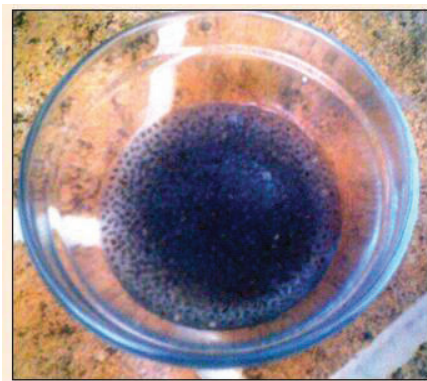
La parte más apreciada de la planta de la chía son las semillas, éstas son utilizadas usualmente para la preparación de refrescos. Así también, se coloca las semillas en agua y se deshace el mucílago que las rodea y se forma una masa gelatinosa (León, 2000, p. 345); ciertos estudios comprobaron que el mucílago podía ser una nueva fuente de polisacáridos, con el potencial de producir diferentes mezclas de polímeros para producir películas y recubrimientos comestibles con mejores propiedades (Muñoz et al., 2013, p. 11).

Las semillas son utilizadas para la obtención de aceites vegetales comestibles debido a las propiedades nutricionales que la chía presenta; y el residuo, también conocido como torta, puede servir como alimento para el ganado.

La chía es utilizada para la producción de harina, para lo cual se deja secar las semillas y se las muele. Con este proceso se obtiene una harina fina de sabor intenso, utilizada para productos de panadería y barras energéticas, además de



ser un suplemento en la alimentación de aves para la producción de huevos y carnes, y también en la dieta de las vacas en producción (Di Sapio et al., 2010, p. 13).

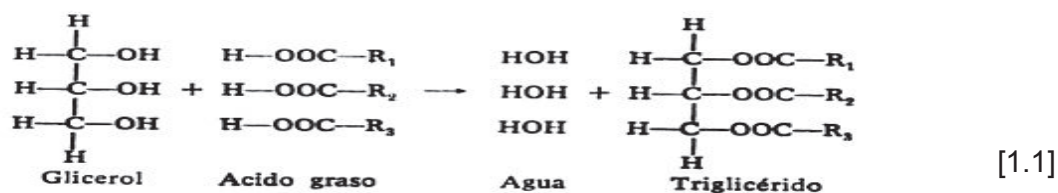


**Figura 1.3.** Semillas de chía colocadas en agua

Los brotes tiernos se consumen como verdura cruda o cocida, especialmente utilizados para preparar ensaladas. Además, se puede extraer un aceite esencial de las hojas de la chía que es utilizado como repelente para insectos (Muñoz et al., 2013, p. 12).

## 1.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES COMESTIBLES PROVENIENTES DE LA SEMILLA

Los aceites son sustancias de origen vegetal, consisten principalmente en mezclas de ésteres de glicerina con ácidos grasos, más conocidos como triglicéridos. Éstos son líquidos en temperaturas ambientales; la reacción química para la formación de los triglicéridos es la siguiente (Bailey, 2001, p. 4):



Los aceites vegetales han tenido gran importancia en la alimentación de las distintas culturas desde épocas prehispanicas, esto se debe a que desempeñan un papel importante ya que contribuyen a la palatabilidad de la dieta alimentaria de la humanidad (Gil, 2010, p. 251).

Desde el punto de vista nutricional, tienen gran importancia, ya que aportan con un alto contenido energético, además de aportar a la dieta ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico y el alfa linoleico, y son un medio de conducción de las vitaminas liposolubles A, D y E (Gil, 2010, p. 251).

Las grasas vegetales se clasifican de forma general en dos grupos: los procedentes de frutos y las obtenidas a partir de semillas oleaginosas

Los aceites vegetales se encuentran generalmente conformados por glicéridos de ácidos grasos, aunque en ciertas ocasiones contienen pequeñas cantidades de otro tipo de lípidos tales como los fosfáticos de constituyentes insaponificables y de ácidos grasos libres naturalmente presentes en el aceite (Programa Conjunto FAO/OMS, 1993, p. 103).

La característica común de los aceites vegetales comestibles es que no contienen colesterol y que en ellos predominan los ácidos grasos insaturados, pero existe diferencias entre los distintos tipos de aceites vegetales dependiendo de su origen (Hernández y Sastre. 1999, p. 342).

En la Tabla 1.5 se presentan las características organolépticas más comunes de los aceites vegetales comestibles.

**Tabla 1.5.** Características organolépticas generales de los aceites vegetales comestibles

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
Contenido de grasa	No menos del 99,5 % (p/p)
Color	Generalmente amarillo pálido
Olor	Olores característicos dependiendo del tipo de aceite

(Programa Conjunto FAO/OMS, 1993, p. 103)

## **1.2.1 PREPARACIÓN DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS PREVIO AL PROCESO DE EXTRACCIÓN**

### **1.2.1.1 Limpieza**

El primer proceso previo a la extracción del aceite es la limpieza de las semillas, con lo cual se logra eliminar los objetos no deseados de la materia prima. En general, se utilizan cribas planas o tambores rotatorios, eliminándose residuos de estacas, tallos, hojas y demás desechos, al igual que la tierra y la suciedad. Cuando existen partículas de hierro se usan imanes electromagnéticos, instalados en cintas transportadoras (Bailey, 2001, p. 424).

### **1.2.1.2 Secado de las semillas**

Para secar la materia prima, generalmente las semillas se coloca a exposición solar; este proceso es realizado con tres finalidades: dar a las semillas la plasticidad que requieren para un prensado eficaz, insolubilizar de los fosfatos y destruir de bacterias y mohos (Valderrama, 1994, p. 91; Bailey, 2001, p. 436).

### **1.2.1.3 Trituración de las semillas**

La trituración de las semillas oleaginosas facilita la extracción del aceite por prensado o por acción de los disolventes. Diferentes estudios y pruebas experimentales han revelado que las semillas trituradas muy finas facilitan la extracción por medio de disolventes, ya que existe un menor recorrido entre el disolvente y el aceite, dentro y fuera de la semilla (Bailey, 2001, p. 428).

El factor que regula la velocidad de extracción del aceite es la resistencia interna de las partículas a la difusión molecular del aceite y el disolvente (Bailey, 2001, p. 429).

Para la trituración de las semillas se utilizan los molinos de martillos o cizallas, pero cuando se trabajan con semillas duras como las copras y babassú se emplean usualmente los molinos de rodillos o molinos de fricción por discos, ya que son más económicos (Bailey, 2001, p. 428; FAO/OMS, 1993, p. 40).

#### **1.2.1.4 Tratamiento térmico de las semillas oleaginosas**

Antes de proceder al proceso de extracción de los aceites, se somete a las semillas a un tratamiento térmico, es decir, la cocción, con el fin de coagular las proteínas de las paredes de las células oleaginosas y hacerlas permeables al paso del aceite (Bailey, 2001, p. 435; Valderrama, 1994, p. 92).

Además, el proceso térmico de cocción ayuda a inactivar las enzimas lipolíticas que ocasionan la degradación del aceite, afectando a la calidad nutricional y organoléptica de los aceites (FAO/OMS, 1993, p. 40).

Estudios han comprobado que el aceite de las semillas oleaginosas es extraído con mayor facilidad por prensado mecánico, cuando han sido sometidas previamente a un proceso de cocción; uno de los efectos de la cocción es unir las pequeñas gotas en otras mayores que puedan fluir más fácilmente de las semillas (Bailey, 2001, p. 435)

Los objetivos del proceso de cocción son los siguientes (Bailey, 2001, p. 436)

- a. Coagulación de las proteínas de las semillas:** agrupando aceites dispersos y convirtiendo a los sólidos de las semillas permeables al flujo de aceite.
- b. Reducción de la afinidad del aceite hacia las superficies de los sólidos** para alcanzar el máximo rendimiento en el prensado.

## 1.2.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES

Existen diversos métodos para la extracción de aceites vegetales comestibles, algunos de ellos se emplean principalmente a nivel industrial, y otros a escala laboratorio y piloto. Dependiendo de la materia prima, se aplican diferentes métodos de extracción, por ende, se obtienen aceites de calidades y porcentajes diferentes, todo depende de los métodos de extracción adecuados.

A continuación, en la Tabla 1.7, se presentan los tipos de extracción de los aceites vegetales, las ventajas y desventajas de los mismos.

**Tabla 1. 6.** Tipos de extracción de los aceites vegetales comestibles, técnicas empleadas, ventajas y desventajas

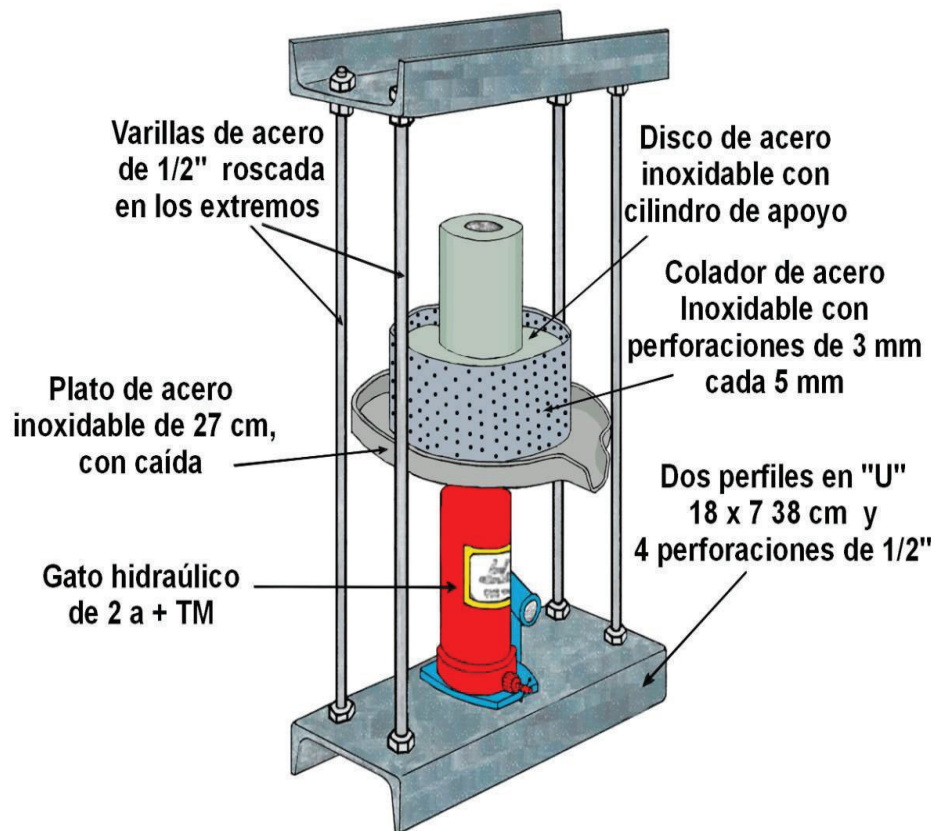
TIPO DE EXTRACCIÓN	TÉCNICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Prensado de las semillas	Técnica de prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4 °C) en la oscuridad  Prensa de tornillo y utiliza calentamiento mediante una resistencia eléctrica	Los aceites presentan mejor conservación de los componentes antioxidantes (quercetina y miricetina), comparada con la extracción con solventes	Rendimientos bajos en la producción del aceite
Extracción con solventes	Método Soxhlet usando generalmente hexano	Favorece las características funcionales del aceite como la retención de agua y la estabilidad de emulsión	Provoca pérdidas ligeras de antioxidantes, además cuestiones de salud y seguridad al medio ambiente por el uso del hexano
Extracción con fluidos supercríticos	Uso del CO <sub>2</sub> en estado supercrítico	Rendimientos altos de extracción del aceite, no se requiere eliminar solventes del aceite o de la torta residual	Instalaciones muy costosas

(Ali et al., 2012, p. 6)

### 1.2.2.1 Prensado

#### a. Prensado discontinuo

Este tipo de prensado es el más utilizado desde tiempos antiguos para la extracción de aceites vegetales de consumo humano, para ello se aplicaba presión sobre una masa de vegetales confinados en bolsas, telas, mallas u otros artificios. Las prensas más antiguas utilizaron palancas, cuñas, tornillos, etc.; pero el más utilizado fue el sistema hidráulico (Bailey, 2001, p. 440; Valderrama, 1994, p. 92).

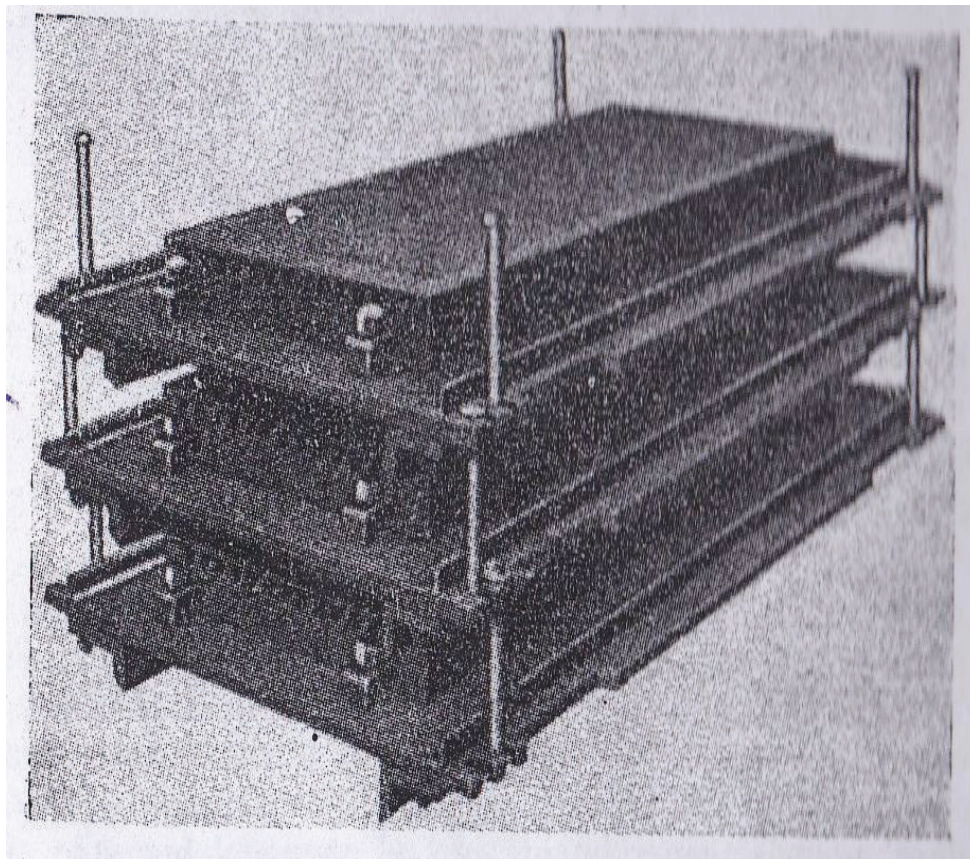


**Figura 1.4.** Esquema de una prensa hidráulica artesanal (ITACAB, 2013, p. 1)

Las prensas discontinuas se clasifican en dos grupos: tipo abierto y tipo cerrado

- **Prensas discontinuas tipo abierto**

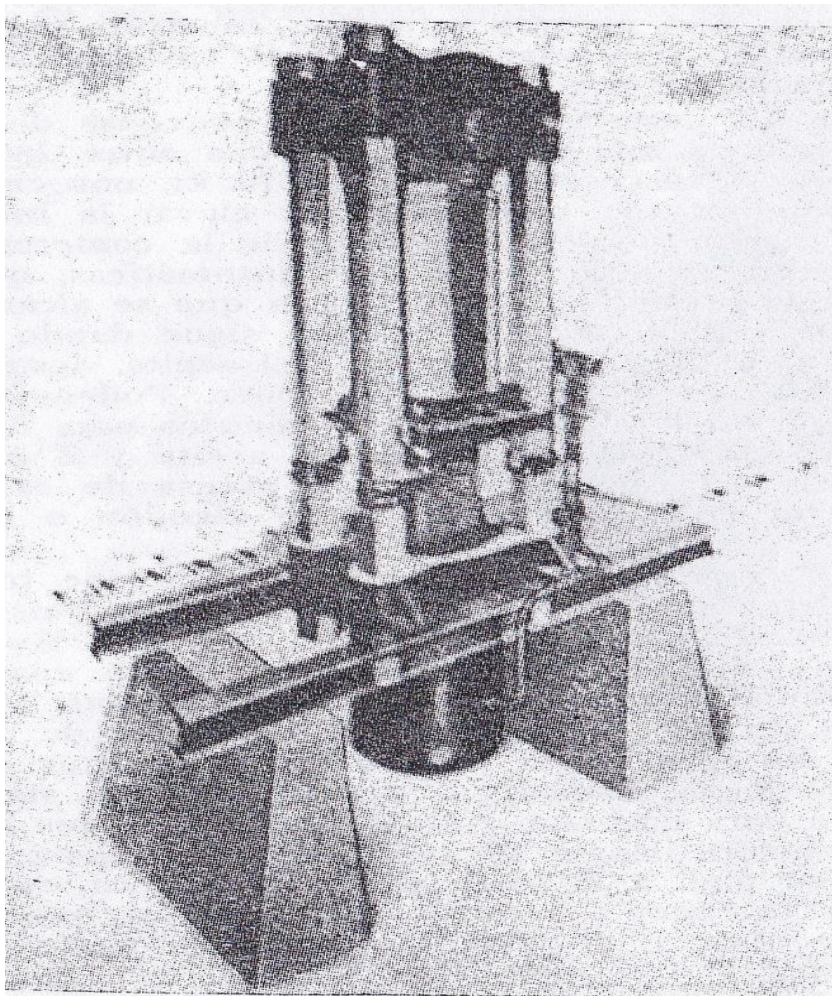
En este tipo de prensas las semillas deben estar confinadas en filtros de tela. Las prensas de este tipo se componen generalmente de cuatro columnas verticales, dentro de la jaula abierta formada por dichas columnas, existe una serie de placas horizontales, que poseen un espacio entre 0,075 a 0,125 m. Debajo del conjunto de placas y unida a un vástago accionado también por debajo, existe una placa de fondo, más pesada. Al levantar el vástago, dichas tortas sufren una compresión, que hace que el aceite fluya de las mismas y caiga dentro de una bandeja, colocada sobre el bloque de fondo (Bailey, 2001, p. 442; Valderrama, 1994, p. 92).



**Figura 1.5.** Esquema de dispositivos de cajetines para el empleo en prensas de tipo abierto (Bailey, 2001, p. 442)

- **Prensas discontinuas tipo cerrado**

En este tipo de prensado las semillas no deben estar confinadas en filtros, sino que son colocados en una especie de jaula. Con este tipo de prensas se alcanzan mayores presiones que con las prensas de tipo abierto, y son ideales para semillas duras, que poseen mucho aceite y poca fibra como son la copra y el palmiste (Bailey, 2001, p. 444; Plank, 2005, p. 460).



**Figura 1.6.** Prensa de jaula tipo cerrado  
(Bailey, 2001, p. 444)

Las jaulas de este tipo de prensa son redondas o cuadradas, se componen de una serie de barras muy próximas entre sí o de placas con ranuras. Los canales interiores, a través de los cuales fluye el aceite, aumentan su ancho de dentro a



fuera de la jaula, para disminuir cualquier tendencia a la obstrucción con partículas sólidas. El aceite se exprime accionando de abajo a arriba un pistón muy ajustado, por medio de un vástago que trabaja hidráulicamente. Las jaulas pueden soportar presiones del orden de  $420 \text{ kg/cm}^3$  (Bailey, 2001, p. 440).

#### **b. Prensado continuo**

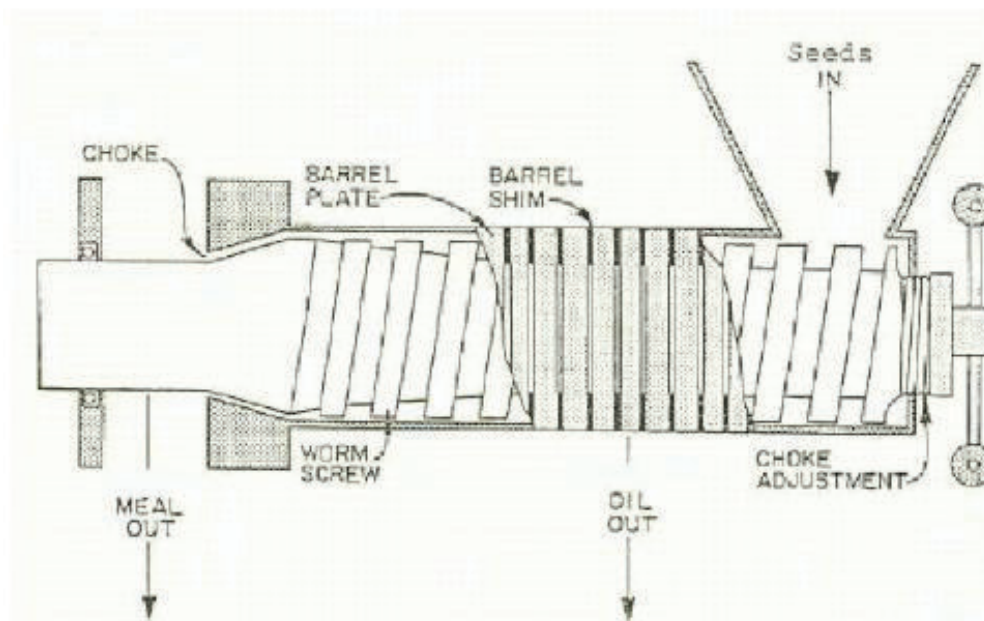
El prensado continuo es realizado de forma común en las prensas expeller o tornillo. Estas prensas soportan altas presiones; generalmente se practica el prensado en dos o tres prensadas, incrementando en cada una de ellas la presión (Bailey, 2001, p. 446).

Existen varios tipos o modelos de prensas expeller, siendo dos los principales diseños, los cuales se diferencian principalmente por la geometría del tornillos, el tipo de restricción o boquilla, la salida del aceite y de la torta residual (Beerens, 2007, p. 14).

- **Prensa filtro (Strainer press)**

En este tipo de prensa el tornillo gira en una jaula de acero templado llena de orificios asemejándose a un colador. Los espacios situados entre las barras de acero permiten la salida del aceite y son ajustables dependiendo del tipo de material de entrada que se quiera utilizar para optimizar el proceso. El diseño de tornillos provoca el desplazamiento del volumen en el extremo de la alimentación hacia la descarga. La torta se presiona fuera del estrangulador y se expulsa en forma de escamas planas.

En la Figura 1.7 se indica la forma de este tipo de prensa (Beerens, 2007, p. 22).

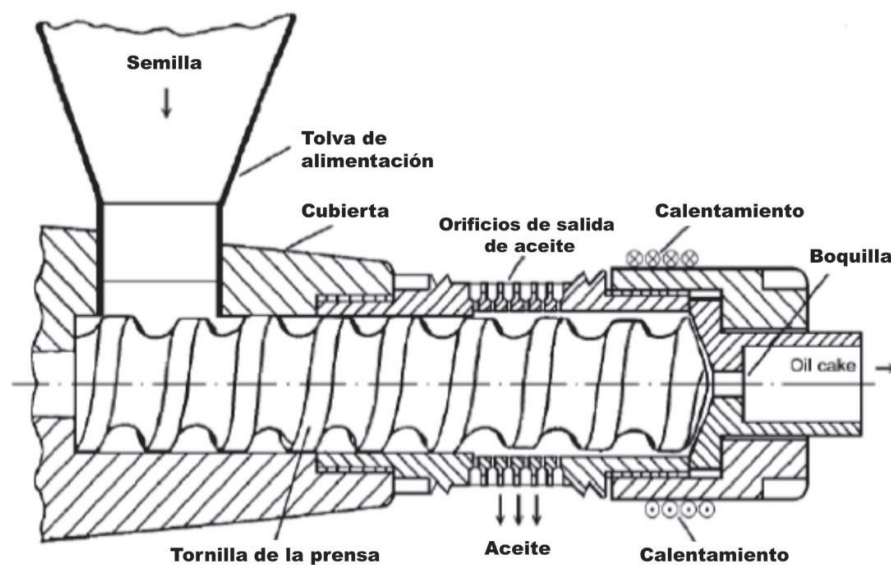


**Figura 1.7.** Esquema de la prensa filtro utilizada para la extracción de aceites vegetales comestibles  
(Beerens, 2007, p. 22)

- **Prensa cilindro con agujeros (Cylinder-hole press)**

El principio de operación de esta prensa es similar al anteriormente mencionado, pero difiere en ciertos aspectos; el aceite es expulsado hacia afuera a través de un agujero perforado en el cilindro como se muestra en la Figura 1.8. El aumento de la presión impulsa a que la torta evacue a través de la boquilla ubicada en extremo del tornillo, con el fin de evitar atoramientos el área de la carcasa de tornillo y el extremo de la boquilla se calientan antes de la operación.

Las prensas de tornillo alcanzan valores de recuperación de aceite hasta el 90-95 %, mientras que la extracción con disolvente es capaz de extraer el 99 %. A pesar de su menor rendimiento, el método de prensado por tornillo es más popular, ya que el proceso es más sencillo, flexible y seguro. Con la prensa de tornillo también se pueden diversificar las cantidades a procesar debido a que se fabrican prensas de tornillo con capacidades de procesamiento que van desde 10 kg/h. hasta decenas de toneladas por hora (Shahidi, 2005, p. 206).

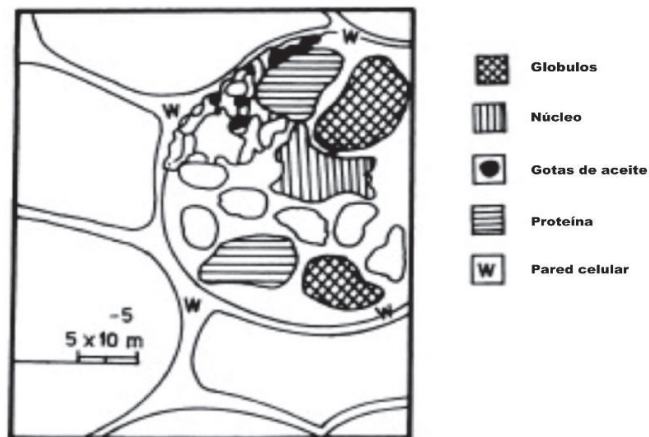


**Figura 1.8.** Esquema de la prensa cilindro con agujeros utilizada para la extracción de aceites vegetales comestibles  
(Beerens, 2007, p. 22)

El funcionamiento de una prensa expeller es el siguiente: la materia prima es alimentada por medio de una tolva, posteriormente es transportada y comprimida por un tornillo sinfín giratorio de diámetro variado; en la carcasa del tornillo se encuentran resistencias eléctricas para incrementar la temperatura de la materia prima y así disminuir la viscosidad del aceite contenido en las semillas, el diámetro del tornillo sinfín aumenta proporcionalmente ocasionando que las semillas trituradas se compacten y aumente la presión; al mismo tiempo obliga a las semillas a pasar a través del cilindro que cubre el tornillo. Posteriormente se expulsa la torta residual por la parte exterior de la boquilla o restricción, en tanto que el aceite es empujado hacia afuera a través de agujeros perforados en el cilindro de la prensa expeller (Beerens, 2007, p. 12; Valderrama, 1994, p. 93).

El aceite se encuentra situado dentro de las células, juntos con otros constituyentes como las proteínas, el núcleo, entre otras, como se muestra en la Figura 1.9. Para que se liberen todos estos elementos es necesario que se rompan las estructuras celulares, lo cual sucede con la fricción generada por el tornillo y el barril de la prensa expeller (Beerens, 2007, p. 13).

La prensa de tornillo es similar a una prensa de jaula tipo cerrada, pero se diferencian en que en la primera la presión se desarrolla por medio de un eje rotatorio o tornillo sinfín, en vez de un pistón de acción intermitente. La presión que se alcanza en este tipo de prensas oscila entre 1 400 y 2 800 kg/cm<sup>2</sup> (Bailey, 2001, p. 447; Beerens, 2007, p. 12).



**Figura 1.9.** Esquema de la estructura celular de las semillas oleaginosas (Beerens, 2007, p. 12)

El nivel de presión dentro del cilindro que cubre al tornillo se encuentra influenciado por el diámetro de la boquilla, el diseño del tornillo y las condiciones de las semillas a ser procesadas, siendo así, la presión aumenta cuando se trabaja con boquillas de menor diámetro (Beerens, 2007, p. 15).

Es importante destacar que en los métodos de prensado las semillas deben contener o ser ajustada su humedad como mínimo a 5 % aproximadamente, debido a que las moléculas de agua atraviesan y ablandan los tejidos celulares y, por lo tanto, facilitan los cambios de forma debido a la presión ejercida. Es así como el ajuste de la humedad de la materia prima favorece los procesos de extracción (Valderrama, J. 1994, p. 93).

Como regla general de uso, se recomienda utilizar la prensa expeller para semillas que contengan entre el 5 y 6 % de aceite (Beerens, 2007, p. 15).

Cuando se trabaja con prensas expeller, se deben considerar algunos parámetros para optimizar la extracción del aceite vegetal, a continuación, en la Tabla 1.8, se describen las variables dependientes e independientes a ser consideradas en el proceso de extracción:

**Tabla 1.7.** Variables dependientes e independientes en el proceso de extracción continúa

TIPOS DE VARIABLES	PARÁMETRO	CONDICIONES
Independientes	Velocidad del tornillo	A mayor velocidad del tornillo se obtiene mayor rendimiento y mayor contenido de aceite en la torta, ya que se tiene menor tiempo para que el aceite drene de los sólidos
	Contenido de humedad	Se requiere un nivel de humedad óptimo para la extracción, el cual oscila entre el 7 y el 10%
	Cocción	La cocción produce la ruptura de las células facilitando la salida del aceite.
Dependientes	Temperatura	La fricción que se genera en el tornillo produce calor que se traspasa al aceite
	Presión	Por lo general, se espera que a mayor presión, mayor cantidad de aceite recuperado
	Requerimiento de energía	El requerimiento de energía está relacionado con la presión en la prensa, la viscosidad del material y la velocidad de rotación

(Beerens, 2007, pp. 16-17)

Las prensas continuas presentan muchos beneficios comparadas con las prensas hidráulicas, entre ellas cabe destacar que se requiere menor mano de obra y se obtiene mayor rendimiento en las extracciones y se acoplan a una gran variedad de materias primas. Su principal desventaja es que presentan un elevado consumo de energía (Bailey, 2001, p. 447).

El aceite obtenido por medio de las prensas expellers contiene mayor porcentaje de sólidos que el obtenido de prensas hidráulicas. Por esta razón, se hace pasar

el aceite por filtros. Las prensas expeller o de tornillo de gran tamaño alcanzan a procesar diario entre 18 a 32 t de semillas (Bailey, 2001, p. 447).

### 1.2.2.2 Extracción con solventes

La extracción de los aceites vegetales mediante solventes es un método muy eficaz, ya que puede reducir el contenido de aceite de las semillas hasta menos de un 1%, este método es muy utilizado cuando se emplean semillas con bajo contenido de aceite (Bailey, 2001, p. 448; Valderrama, 1994, p. 93).

La extracción con solventes alcanza mayores rendimientos cuando se trabaja en un sistema continuo, en contracorriente, en los que el disolvente y las semillas entran en contacto entre sí por corrientes que se mueven continuamente en direcciones opuestas (Bailey, 2001, p. 448; Valderrama, 1994, p. 93).

A continuación, en la Tabla 1.9, se presenta una comparación entre la extracción con disolventes y la extracción mecánica de mayor rendimiento, en semillas con contenidos en aceite, bajo, medio y alta.

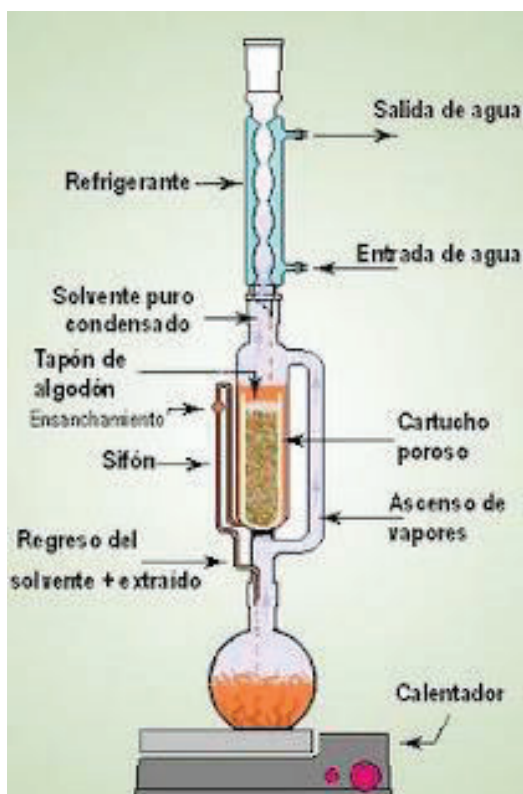
**Tabla 1.8.** Comparación de la extracción de aceites de forma mecánica y con solventes en semillas con bajo, medio y alto contenido de aceites

Parámetro		Contenido bajo (%) (Soya)	Contenido medio (%) (Algodón)	Contenido alto (%) (Cacahuete)
Extracción mecánica				
Aceite		15,0	29,8	48,0
Torta o harina	Aceite	3,6	2,7	2,0
	Sólidos	69,0	60,0	44,0
	Humedad	9,0	5,0	4,0
Extracción con disolventes				
Aceite		18,0	32,0	49,65
Torta o harina	Aceite	0,6	0,5	0,35
	Sólidos	69,0	60,0	44,0
	Humedad	9,0	5,0	4,0

(Bailey, 2001, p. 449)

Éste método presenta rendimientos altos cuando se trabaja a escala laboratorio, en tanto, cuando se trabaja a escala piloto o industrial presenta algunos inconvenientes y la eficacia reduce, ya que se requiere grandes volúmenes de disolvente en relación con el aceite extraído. El disolvente debe ser separado posteriormente, lo cual incrementa los costos de producción (Plank, 2005, 460). En la Figura 1.10, se indica el esquema del proceso de extracción de aceites mediante solventes.

Además del incremento de los costos de producción, existe cierta dificultad para separar totalmente el disolvente con el aceite en ciertas extracciones, provocando una disminución en la calidad del aceite, por lo cual no se recomienda utilizar este método para extraer aceites destinados para el consumo humano (Plank, 2005, p. 460; Valderrama, 1994, p. 93).



**Figura 1.10.** Esquema del equipo de extracción por solventes (Soxhlet)  
(Gracia, 2001, p. 112)

Los disolventes utilizados a nivel industrial son: pentano, hexano, heptano, éter etílico, éter dimetilico, diclorometano, cloroformo, acetona, metanol, etanol, octano; pero el solvente más empleado es la nafta tipo hexano porque es más asequible en el mercado y presenta menor costo (Bailey, 2001, p. 448; Valderrama, 1994, p. 93).

Cuando se realiza la extracción mediante prensado queda aproximadamente de 7 a 10 % de aceite en la torta residual, es por eso que, para optimizar los rendimientos del proceso de extracción, se recomienda combinar los métodos de prensado y posteriormente seguir con el método de extracción mediante solventes. Esta es una práctica habitual en plantas que procesan grandes volúmenes de semillas (más de 15 000 t/año) (Valderrama, 1994, p. 93).

### **1.2.2.3 Extracción mediante fluidos supercríticos**

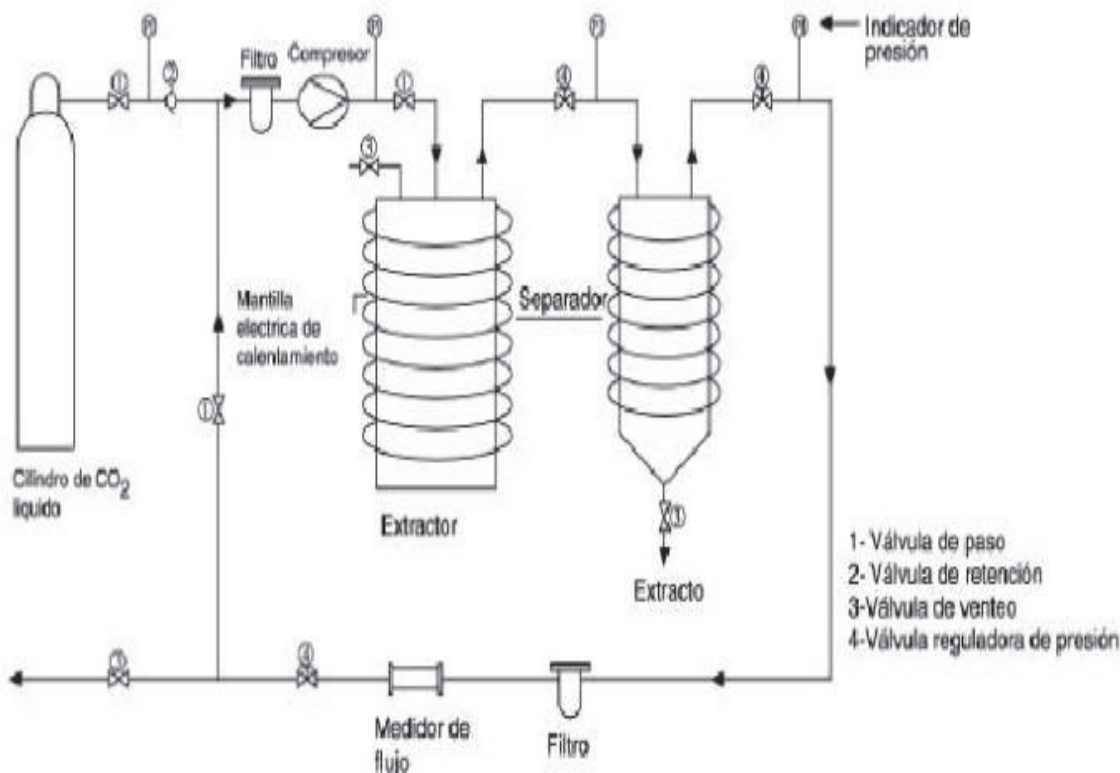
La extracción por fluidos supercríticos es una técnica que se basa en la separación de sustancias, debido a la capacidad que poseen ciertos fluidos en estado supercrítico de alterar su poder disolvente. La capacidad del disolvente puede ser elevada, dependiendo de ciertas condiciones como la presión y la temperatura que se manejan durante el proceso de extracción (Bandoni, 2002, p. 155).

Los fluidos supercríticos son líquidos o gases llevados a condiciones de altas presiones y temperaturas moderadas, por encima del punto crítico. Su propiedad más atractiva es que presentan un elevado poder disolvente en su estado supercrítico (Bandoni, 2002, p. 156).

Para este tipo de extracción, el disolvente más utilizado es el CO<sub>2</sub>, el cual presenta una temperatura de 31 °C y una presión de 72,85 atm cuando se encuentra en estado supercrítico (Raventós, 2010, p. 131).



El proceso de extracción es el siguiente: la materia prima y el CO<sub>2</sub> se disuelven, y se mezclan en un extractor a determinadas condiciones de temperatura y presión, el producto que queda en el recipiente es el refinado y el producto que pasa al separador es el fluido supercrítico conjuntamente con el extracto. El conjunto pasa al separador, donde usualmente se reduce la presión, con el fin de disminuir el poder del disolvente del fluido supercrítico y se produce la separación del extracto y del fluido. El compresor se utiliza para recuperar el CO<sub>2</sub>, para lo cual se presuriza y despresuriza. Adicionalmente, el equipo está compuesto de bombas con las cuales se controlan los flujos de trabajo y se modifican las velocidades de circulación de los fluidos, y también de equipos de control y seguridad, como controles automáticos en el caso de algún incidente (King y List, 1996, p. 133; Raventós, 2010, p. 131).



**Figura 1.11.** Proceso de extracción de aceites vegetales mediante fluidos supercríticos (Bandoni, 2002, p. 156)

Este tipo de extracción presenta como mayor desventaja los costos de implementación de la planta, razón por la cual no se la puede encontrar en zonas

donde no se tiene gran cantidad de dinero; pese a esta desventaja, existen ventajas tales como que el solvente se elimina de forma instantánea y no produce reacciones indeseadas (Bandoni, 2002, p. 157).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA (*SALVIA HISPANICA L.*)

La materia prima utilizada en esta investigación fue la semilla de chía (*Salvia hispanica L.*) proveniente de las plantaciones de la comunidad de Araque, Otavalo, provincia de Imbabura, la cual fue transportada al laboratorio en la ciudad de Quito donde se realizó su caracterización físico-química.

Previo a la caracterización de las semillas de chía, se realizó una pre-selección manual tomando como muestra 0,1 kg de semilla, eliminando todos los cuerpos extraños como pajillas, piedras pequeñas, semillas secas, semillas con el pericardio dañado o semillas peladas, se efectuaron tres repeticiones y se determinó el porcentaje de impurezas (Plank, 1980, p. 460).

#### 2.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS SEMILLAS

##### 2.1.1.1 Densidad aparente

Para la caracterización de la materia prima se determinó la densidad aparente de las semillas, para lo cual se utilizó un recipiente de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad, colocado en una balanza electrónica CAMRY modelo EK3252, 5000 g, 1 g y se taró. Posteriormente, se colocaron las semillas de chía en el recipiente hasta cubrir los 100 cm<sup>3</sup> y se procedió a pesar las semillas (Ospina, 2010, p. 62).

Para validar los datos obtenidos, las pruebas se realizaron por triplicado. La Ecuación [2.1], fue aplicada para determinar la densidad aparente de las semillas de chía.

$$Da = \frac{m_a}{V_a} \quad [2.1]$$

Donde:

$D_a$  = Densidad aparente de las semillas de chía ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M_s$  = Masa de las semillas de chía (g)

$V_s$  = Volumen ocupado por las semillas de chía ( $\text{cm}^3$ )

### **2.1.1.2 Color de las semillas**

Para la caracterización del color de las semillas de chía se tomaron muestras aleatorias de 5 g de la materia prima que se utilizó en las pruebas experimentales y, posteriormente, se procedió a una clasificación manual determinando el porcentaje de semillas blancas y oscuras. Se realizó esta prueba por triplicado.

### **2.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS SEMILLAS**

La caracterización química de las semillas fue realizada con base en las normas AOAC INTERNATIONAL (Association of Official Analytical Chemist) (AOAC; 2005) y se determinó: contenido de humedad AOAC (925.10), contenido de proteínas AOAC (2001.10), contenido etéreo AOAC (920.85) y el contenido de cenizas AOAC (923.03) (AOAC, 2005).

## **2.2 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE COMESTIBLE DE CHÍA**

Para la extracción del aceite comestible de chía se utilizó una prensa expeller y se determinó, mediante pruebas preliminares, que las variables de operación a considerar en este proyecto fueron: temperatura (T) y diámetro de boquilla de la prensa (B).

Para esto se consideraron diferentes valores de temperatura y diferentes diámetros de boquilla de la prensa expeller y, posteriormente, se llegó a definir las temperaturas y diámetros que tienen mayor influencia en el rendimiento del proceso de extracción para aumentar la producción de aceite.

### 2.2.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES

En las pruebas experimentales se trabajó con dos variables: temperaturas de extracción (T) y diámetros de la boquilla (B) de la prensa expeller, cada una de las cuales tienen dos niveles de trabajo resultando cuatro tratamientos experimentales con diferentes valores. En la Tabla 2.1 se detallan las variables y las posibles combinaciones de los niveles de trabajo. Las pruebas experimentales fueron realizadas con dos repeticiones a escala laboratorio.

**Tabla 2.1.** Combinación de los niveles de trabajo de las dos variables (temperaturas (T) y diámetros de la boquilla (B) de la prensa expeller) consideradas en el proceso de extracción del aceite de chía (*Salvia hispanica L.*)

TEMPERATURA	DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS	TRATAMINETO	COMBINACION DE LOS NIVELES DE TRABAJO	NOMENCLATURA
T <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	Tratamiento 1	T <sub>1</sub> y B <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> B <sub>1</sub>
		Tratamiento 2	T <sub>1</sub> y B <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> B <sub>2</sub>
T <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	Tratamiento 3	T <sub>2</sub> y B <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> B <sub>1</sub>
		Tratamiento 4	T <sub>2</sub> y B <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> B <sub>2</sub>

Para la extracción del aceite se aplicó el método de prensado mediante una prensa expeller marca Baldor, a escala laboratorio, la cual posee una capacidad de procesamiento de 0,280 kg de materia prima en 240 s, aproximadamente. En la Figura 2.1 se ilustra la prensa expeller durante la extracción, las partes de la

prensa expeller son: una tolva con un diámetro de 0,16 m y altura de 0,27 m; un tornillo de 0,11 m de longitud, y un motor de 1,5 Hp de potencia.



**Figura 2.1.** Representación y funcionamiento de la prensa expeller

El rendimiento del proceso fue determinado mediante la Ecuación [2.2]:

$$\eta = \frac{Ac}{Ma} \times 100 \% \quad [2.2]$$

Donde:

Ac = cantidad de aceite crudo extraído (g)

Ma = Cantidad de materia prima utilizada (g)

$\eta$  = Rendimiento del proceso (%)

- **Análisis estadístico**

Se examinaron los datos utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion versión XVI.II, mediante un análisis de varianza multifactorial (Multifactor Anova),

con la prueba de diferencia honesta significativa (HSD intervals) y límites de confiabilidad de 95 % (Martin, Ayuga y Gonzales, 2005, p.38).

## **2.2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE CRUDO DE CHÍA**

Las muestras para los análisis físico-químicos fueron tomadas del proceso del cual se obtuvo el mayor rendimiento de aceite, ya que éste es el parámetro de control del proceso.

### **2.2.2.1 Propiedades físicas del aceite**

Dentro de las propiedades físicas se determinó la densidad relativa del aceite mediante el método descrito en la norma AOAC 920.212 (AOAC, 2005) y la prueba de humo para aceites vegetales comestibles (Vega, 2004, p. 64).

- **Determinación de la densidad relativa del aceite**

En esta prueba se utilizó agua destilada como compuesto de referencia y el aceite de chía como muestra específica. Los principales equipos y materiales requeridos para esta prueba fueron un picnómetro de 25 mL, una balanza electrónica ADAM (300 g, 0,0001 g), las muestras de aceite y el agua destilada.

Se pesó el picnómetro vacío en la balanza analítica ( $m$ ), luego se añadió agua destilada al picnómetro, a una temperatura de 20 °C, y se pesó ( $m_1$ ). De la misma forma se procedió con el aceite, se lo agregó al picnómetro a 20 °C y se pesó ( $m_2$ ). Todo el proceso se realizó dos veces, con el fin de validar los resultados (AOAC, 2005)

Después que se obtuvo los tres diferentes pesos se utilizó la Ecuación [2.3] para determinar la densidad relativa.

$$d_{25} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \quad [2.3]$$

Donde:

$m$  = peso del picnómetro vacío (kg)

$m_2$  = peso del picnómetro con el aceite (kg)

$m_1$  = peso del picnómetro con el agua destilada (kg)

- **Punto de humo**

Para esta prueba se colocaron 150 mL de aceite en un recipiente a fuego medio, permitiendo que llegue a temperaturas entre 180 y 220 °C; posteriormente se observó a que temperatura desprendió una corriente de humo y se asignó dicha temperatura como el valor del punto de humo (Vega, 2004, p. 60).

#### **2.2.2.2 Propiedades químicas del aceite**

La composición química del aceite fue determinada mediante las normas AOAC INTERNATIONAL (AOAC, 2005) y las normas INEN como se indica a continuación: índice de yodo (AOAC 920.159), índice de refracción (AOAC 921.08), índice de acidez (INEN #38), índice de rancidez o índice de peróxidos (AOAC 965.33) y el índice de saponificación (AOAC 920.160)(AOAC, 2005).

Se efectuó un análisis del contenido de minerales presentes en el aceite vegetal, los cuales se realizaron con referencia a las normas AOAC y APHA en las cuales se detallan el proceso de espectrofotometría de absorción atómica para determinar el contenido de calcio (APHA 3500-ca), hierro (AOAC 944.02) y zinc (APHA 3500-Zn), en tanto que el contenido de sodio se efectuó por medio de la norma (APHA 3500-Na). (AOAC, 2005; APHA, 2012).



Adicionalmente, se efectuó un análisis del perfil de ácidos grasos para determinar el contenido de omega-3, omegas-6, omega-9 (AOAC 996.06, AOAC 963.22, cromatografía de gases) ácidos grasos saturados e insaturados en el aceite de chía (AOAC, 2005). Este análisis fue realizado en el laboratorio LASA.

### **2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA TORTA RESIDUAL DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN**

Como subproducto de la extracción del aceite se obtuvo un residuo denominado “torta” a la cual se le efectuaron diferentes análisis: contenido de proteínas (AOAC 2001.10), contenido etéreo (AOAC 920.85), contenido de cenizas (AOAC 923.03), y contenido de humedad (AOAC 925.10).

Adicionalmente, se realizó la prueba del contenido de beta-carotenos mediante HPLC (Valcárcel y Gómez, 1988, p. 439) y minerales de acuerdo al procedimiento utilizado en la caracterización de minerales para el aceite (AOAC, 2005; APHA, 2012).

## **2.3 DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE COMESTIBLE**

### **2.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA**

Para realizar el dimensionamiento de la planta piloto se consideró que se va a cubrir el 0,5 % del total de aceite que se importa anualmente en grasas y aceites vegetales; ya que según datos obtenidos del Banco Central del Ecuador, se importan anualmente 534,95 t de grasas y aceites vegetales (Banco Central del Ecuador, 2014).

Para la extracción del aceite vegetal comestible de chía se requieren 5 equipos en la planta de producción: un tamiz, una prensa expeller, un filtro, un tanque de sedimentación y un tanque de almacenamiento. El proceso fue el siguiente: la

materia prima (semillas de chía) fue suministrada por lotes; es decir, se cargó al tamiz (TM) una vez por día para eliminar las impurezas, después las semillas fueron transportadas a la prensa expeller (PR), donde se ajustaron las mejores condiciones de temperatura y diámetro de la boquilla. Posteriormente, el aceite obtenido pasó por un filtro (FT) donde se retuvieron las semillas que no fueron procesadas en la prensa expeller, a continuación el aceite libre de cualquier impureza pasó a un tanque sedimentador (TS) donde se separaron los lodos residuales, dejándolo un tiempo en reposo, y para concluir, el aceite vegetal crudo pasó a un tanque de almacenamiento (TA), listo para ser envasado. El esquema de los equipos de la planta extractora del aceite vegetal comestible de chía se presenta en la Figura 2.2.

### 2.3.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

El balance de masa se realizó en cada uno de los equipos de la planta piloto especificados en la Figura 2.2. Para ello se utilizaron las Ecuaciones [2.4], [2.5], [2.6], [2.7] y [2.8]:

$$M_p = I_m + S_e \quad [2.4]$$

$$S_e = T_a + A_s \quad [2.5]$$

$$A_s = S_{eT} + A_{cL} \quad [2.6]$$

$$A_{cL} = A_{cC} + L_o \quad [2.7]$$

Donde:

$M_p$  = Masa de la materia prima (kg)

$I_m$  = Masa de las impurezas (kg)

$S_e$  = Masa de semillas (kg)

$T_a$  = Masa de la torta (kg)

$A_s$  = Masa del aceite y masa de semillas trituradas (kg)

Set = Masa de semillas trituradas (kg)

ACL = Masa de aceite con lodos (kg)

Acc = Masa de aceite crudo (kg)

Lo = Masa de lodos (kg)

Ace = Masa de aceite crudo listo para envasar (kg)

El balance de energía fue realizado en la parte exterior del tornillo de la prensa expeller, ya que es donde se controlan las diferentes temperaturas de extracción. La carcasa del tornillo se encontraba a temperatura ambiente (15 °C) y se llevó a temperaturas de 40 y 64 °C, que son los niveles de trabajo de la variable temperatura del proyecto.

Para el balance de energía en la carcasa de tornillo se utilizó la Ecuación [2.9]:

$$Q = m_t C_{p_t} \Delta T_t \quad [2.9]$$

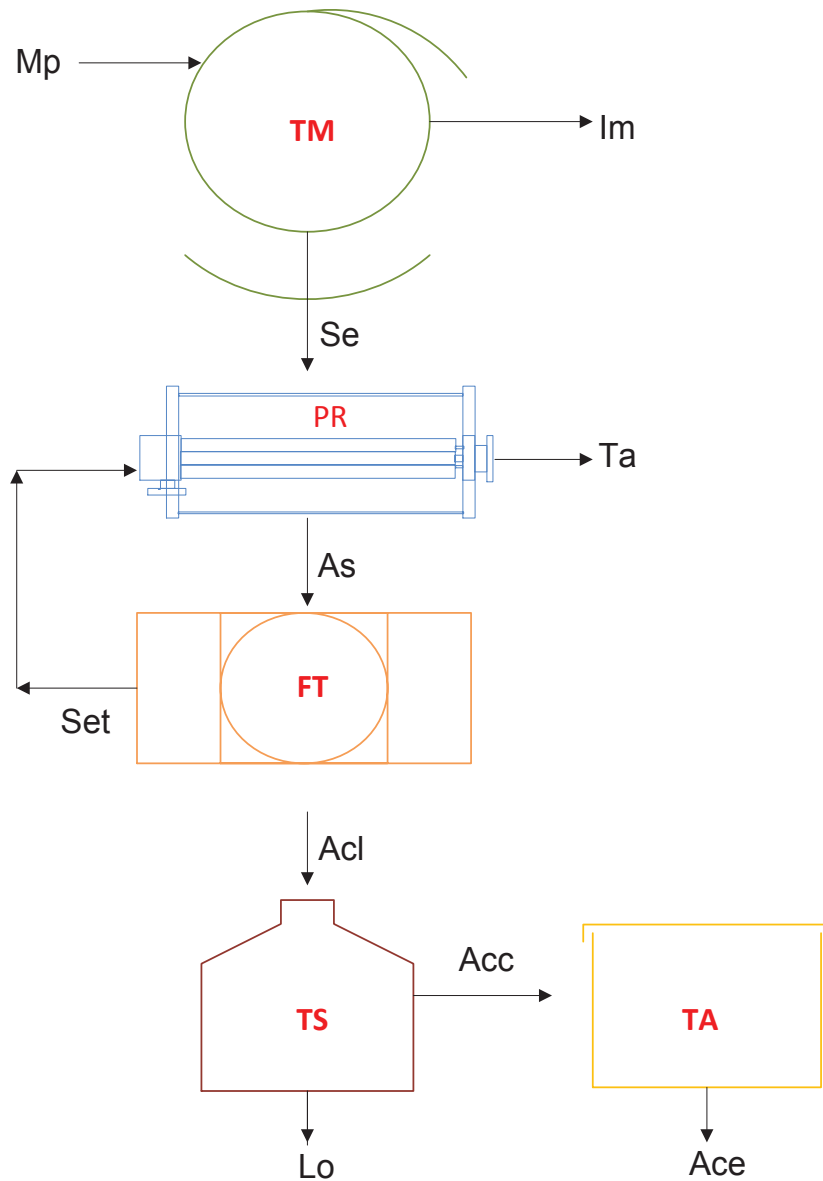
Donde:

Q = Calor requerido para el incremento de temperatura del tornillo (J)

M<sub>t</sub> = Masa de la carcasa del tornillo (kg)

C<sub>p<sub>t</sub></sub> = Calor específico del acero (J/kg°C)

ΔT<sub>t</sub> = Diferencia de temperatura (°C)



**Figura 2.2.** Esquema de los equipos y flujos de la planta para la extracción del aceite de chía (*Salvia hispanica L.*)

### 2.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA

Con la información obtenida de los balances de masa y energía se dimensionaron los equipos de la planta de extracción del aceite y después se escogieron mediante catálogos.

#### **2.3.4 DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA PLANTA**

Para la distribución de los equipos en planta se elaboró un diagrama de bloques (BFD), un diagrama de proceso (PFD), la distribución de los equipos en planta y finalmente se desarrolló el plano de la vista superior de los equipos en la planta.

### **2.4 EVALUACIÓN DE PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE VEGETAL DE CHÍA**

Para la evaluación de pre factibilidad se comparó el costo del aceite que saldrá al mercado ecuatoriano con respecto a otros aceites de chía existentes en el mismo mercado.

El cálculo del precio del aceite fue realizado mediante un análisis de los costos de operación, la materia prima, los equipos y la inversión en la construcción de la planta, en tanto que el ingreso de capital fue determinado con base en el precio del aceite y la cantidad de aceite que se producirá en la planta.

En la etapa final de la evaluación de pre factibilidad del proyecto se realizó el cálculo de los indicadores económicos VAN y TIR y el punto de equilibrio (Sapag Chain, 2003, p. 46).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA (*SALVIA HISPANICA L.*)**

Durante la pre-selección manual realizada en la materia prima con el fin de eliminar las semillas vanas y todos los cuerpos extraños presentes, se encontró que el porcentaje promedio de impurezas es del 0,011 % en relación al peso de la muestra.

Con base en el porcentaje de impurezas antes mencionado se determinó la importancia de colocar un tamizador antes del prensado de las semillas para la extracción del aceite. Adicionalmente, la materia prima suele comercializarse con otro tipo de semillas por lo que se debe prestar mucha atención al conseguir la chía para la extracción del aceite (Farías, Brutti y Politi, 2010, p.15).

En el Anexo I se muestran las semillas y la clasificación realizadas para la caracterización física de la materia prima.

##### **3.1.1 PROPIEDADES FISICAS DE LAS SEMILLAS**

###### **3.1.1.1 Densidad aparente**

Las pruebas para determinar la densidad aparente de las semillas se realizaron por triplicado, en la Tabla 3.1, se presentan los datos obtenidos de los ensayos.

El promedio de las densidades aparentes es de 746,67 kg/m<sup>3</sup>; además, como se puede observar en la Tabla 3.1 las masas registradas en las diferentes repeticiones no difieren de manera significativa, con lo cual se puede concluir que la materia prima es homogénea (Ospina, 2001, p. 64).

**Tabla 3.1.** Densidad aparente de las semillas de chía

Repetición	V <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> )	M <sub>s</sub> (g)	D <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	D <sub>a</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>a</sub> promedio (kg/m <sup>3</sup> )
1	100	75	0,740	740	746,67
2	100	74	0,750	750	
3	100	74	0,740	740	

### 3.1.1.2 Color de las semillas

La materia prima está constituida básicamente con dos tonalidades en lo que respecta a los colores de las semillas: oscuras y blancas, pero éstas presentaron superficies brillantes y lisas. En la Tabla 3.2 se presenta la cantidad de semillas de cada tonalidad y su porcentaje.

**Tabla 3.2.** Cantidades y porcentajes de semillas oscuras y blancas contenidas en muestras de 5 g de la materia prima

Muestra	Número total de semillas (unid.)	Número de semillas oscuras (unid.)	Número de semillas blancas (unid.)	Porcentaje de semillas oscuras (%)	Porcentaje de semillas blancas (%)
1	4890	4244	646	86,8	13,2
2	4798	4163	635	86,9	13,1
3	4874	4222	652	86,6	13,4
Promedios	4854	4210	644	86,8	13,2

Los porcentajes promedio de las semillas son: oscuras del 86,6 % y blancas del 13,2 %; estos valores difieren de los datos encontrados en bibliografía cuyos porcentajes promedio son: oscuras del 91,6 % y blancas del 8,4 %. Esta variación de color influye tanto en el contenido de proteínas como en el perfil lipídico, ya que según bibliografía las semillas oscuras contiene mayor cantidad de proteínas, mientras que las semillas blancas contienen mayor cantidad de ácido linoleico (Ayerza y Coates, 2006, p. 112).

Además, las pigmentaciones de las semillas pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas como temperatura y frecuencia de heladas, es decir que las diferentes tonalidades y los porcentajes presentes en las semillas al concluir la cosecha van a depender del lugar donde se realiza el cultivo (Rovati, Escobar, Prado, 2010, p. 40).

El cultivo de la chía se lo puede realizar en invernaderos con el fin de no exponer a las plantas a condiciones como heladas y temperaturas que puedan afectar al cultivo, las cuales ocasionan que la planta produzca semillas vanas disminuyendo el rendimiento en la extracción del aceite. Se conoce la existencia de plantas que producen semillas de un solo color oscuras o blancas puras, pero aún no se ha logrado explicar de forma científica este comportamiento (Rovati et al., 2010, p. 40).

Como parte de la caracterización física de las semillas se midió su tamaño y se obtuvieron medidas promedio de 2,0 mm de largo y 1,0 mm de ancho aproximadamente. Estos valores son similares a las presentadas por Ixtaina (2010), quien en sus estudios presentó que las semillas median 2,2 mm de largo y 1,2 mm de ancho (p. 46).

### **3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS SEMILLAS**

Para la caracterización química de las semillas, se efectuaron pruebas para determinar el contenido de humedad, contenido de proteínas, contenido etéreo y contenido de cenizas.

En la Tabla 3.3 se indican los resultados obtenidos para la caracterización química de las semillas de chía. Los resultados de estos análisis reportados por el laboratorio se presentan en el Anexo II.



**Tabla 3.3.** Composición proximal realizada a las semillas de chía

ANALITO	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	9,07 ± 0,14	% (g/100g)
Cenizas	5,22 ± 0,24	% (g/100g)
Fibra cruda	18,27 ± 0,41	% (g/100g)
Extracto etéreo	29,57 ± 0,59	% (g/100g)
Proteína	16,04 ± 0,57	% (g/100g)
Carbohidratos totales por diferencia	40,10 ± 0,14	% (g/100g)
Valor calórico	446,00 ± 0,86	Kcal/100g

$\bar{x} \pm \sigma$  (n = 3)

### 3.1.2.1 Contenido de humedad en las semillas

El porcentaje de humedad contenido en las semillas fue del 9,07 %. Según bibliografía, esta humedad no es apropiada para la extracción del aceite de semillas utilizando la prensa expeller, ya que los rangos óptimos de humedad se encuentran entre el 10 y el 20 % (Plank, 2005, p. 460).

Para la ejecución de las pruebas experimentales a escala laboratorio, no se realizó ningún proceso para ajustar la humedad a la recomendada en bibliografía debido a que las semillas utilizadas presentaron una humedad muy cercana a los rangos óptimos, por lo cual no fue necesario incluir un proceso adicional en la extracción del aceite ya que incrementaría los costos de producción del mismo.

Plank (2005), señaló que para ajustar la humedad de las semillas (proceso previo a la extracción del aceite) se debe realizar un baño de aspersión y luego homogenizar las semillas y dejarlas en reposo durante 48 h, pero cuando se ejecutó dicho proceso con las semillas de chía hubo un problema, ya que éstas contienen un mucílago que se desprende cuando las semillas se humedecen, dificultando la extracción debido a la capa gelatinosa que se forma en el entorno de las semilla (p. 460).

Otro problema que presentaron las semillas humedecidas fue que el mucílago que se formaba alrededor se extraía conjuntamente con el aceite, lo que originaba un proceso extra de purificación y desgomado del aceite para separar dichas gomas, ocasionando un incremento en los costos de producción del aceite, además de disminuir la pureza del mismo. Por todos los motivos antes mencionados se evitó realizar este proceso de humidificación de las semillas antes de la extracción.

### **3.1.2.2 Contenido de fibra cruda en las semillas**

Las semillas presentaron 18,27 % de fibra cruda; éste contenido difiere con los de estudios anteriores. Ayerza (2013) encontró que las semillas presentaron un 25,94 % de fibra total, debido a esta cantidad de fibra se atribuye la gran capacidad de absorción de agua en las semillas. Del mismo estudio se conoce que del porcentaje total de fibra, el 37,32 % es fibra soluble y el 62,68 % es fibra insoluble; estos conocimientos pueden ser aprovechados para diseñar productos funcionales provenientes de las semillas de chía (p. 497).

### **3.1.2.3 Contenido de proteínas en las semillas**

Las semillas que se utilizaron para la extracción del aceite contenían un 16,04 % de proteínas. Este valor está por debajo del rango de proteínas en las semillas de chía encontrado en bibliografía, el cual oscila entre el 19 y 23 % (Ayerza y Coates, 2006, p.120).

Las condiciones ambientales influyen en el color de las semillas, y las semillas de diferentes colores presentan diferentes características; una de ellas es el contenido de proteínas. Por lo tanto, condiciones ambientales como temperatura, tipo de suelo, fertilización e irrigación también influyen en el porcentaje de proteínas presentes en las semillas.

Según el estudio realizado por Ayerza y Coates (2007), en el cual se utiliza semillas de tres países diferentes (Argentina, Bolivia y Ecuador), reportó las semillas que se comercializan en Ecuador presentan un valor de 15,95 % de proteínas, este valor concuerda con el valor de proteína encontrado en la semilla que se utilizó para las pruebas experimentales efectuadas en este proyecto (p. 185).

#### **3.1.2.4 Contenido etéreo en las semillas**

Las semillas presentaron un contenido etéreo del 29,57 %, el cual se puede apreciar en los resultados presentados en el Anexo II. Este valor es inferior al esperado, ya que en estudios anteriores se encontró que las semillas de chía presentan 32,40 % de contenido etéreo (Salgado, Cedillo y Beltrán, 2005, p. 361).

En las semillas utilizadas en este proyecto se encontró 0,011 % de semillas vanas e impurezas, este factor influye en el contenido etéreo de las semillas haciendo que dicho valor sean menores a los esperados, ya que las semillas vanas e impurezas contienen bajas cantidades de grasa o en su defecto no contienen grasa, afectando así en el resultado final del análisis. Este factor también influye en todos los valores presentados en los análisis proximales realizados en estas semillas.

#### **3.1.2.5 Contenido de cenizas en las semillas**

En cuanto al contenido de cenizas, Farias, Brutti y Politi (2010) señalaron que las semillas contienen el 4,46 %, mientras que los resultados de los análisis proximales revelan que las semillas utilizadas en este proyecto presentaron el 5,22 % de cenizas. Comparando los dos resultados se puede apreciar que los datos son similares (p.15).

### 3.2 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE COMESTIBLE DE CHÍA

En el proceso se consideraron como variables de operación la temperatura y el diámetro de la boquilla de la prensa expeller, los valores de temperaturas fueron  $T_1 = 40\text{ °C}$  y  $T_2 = 64\text{ °C}$ ; y los diámetros de la prensa son:  $B_1 = 0,010\text{ m}$  y  $B_2 = 0,014\text{ m}$ , como se muestra en la Tabla 3.4. Sin embargo, se pudo tomar temperaturas más altas entre 64 y 90 °C, tratando de incrementar el rendimiento en la extracción, pero las altas temperaturas afectan la calidad nutricional del aceite extraído. En el Anexo III se muestran la prensa expeller y las boquillas utilizadas en la extracción.

**Tabla 3.4.** Valores de los niveles de trabajo de las dos variables (temperaturas y diámetros de la boquilla de la prensa expeller) consideradas en el proceso de extracción del aceite de chía (*Salvia hispanica L.*)

TEMPERATURAS	DIÁMETROS DE LAS BOQUILLAS	PRUEBAS	COMBINACIÓN DE LOS NIVELES DE TRABAJO	NOMENCLATURA
$T_1 = 40\text{ °C}$	$B_1 = 0,010\text{ m}$	Prueba 1	$T_1 = 40\text{ °C}$ $B_1 = 0,010\text{ m}$	$T_1B_1$
		Prueba 2	$T_1 = 40\text{ °C}$ $B_2 = 0,014\text{ m}$	$T_1B_2$
$T_2 = 64\text{ °C}$	$B_2 = 0,014\text{ m}$	Prueba 3	$T_2 = 64\text{ °C}$ $B_1 = 0,010\text{ m}$	$T_2B_1$
		Prueba 4	$T_2 = 64\text{ °C}$ $B_2 = 0,014\text{ m}$	$T_2B_2$

#### 3.2.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO

Se realizaron cuatro pruebas de extracción, con dos repeticiones cada una, en las cuales se trabajó con los diferentes niveles de trabajo. En la Tabla 3.5 se presentan los diferentes rendimientos obtenidos durante las pruebas realizadas.

En el Anexo III se indican los cálculos realizados para determinar el rendimiento del proceso.

**Tabla 3.5.** Valores de los rendimientos de las diferentes pruebas experimentales y sus repeticiones

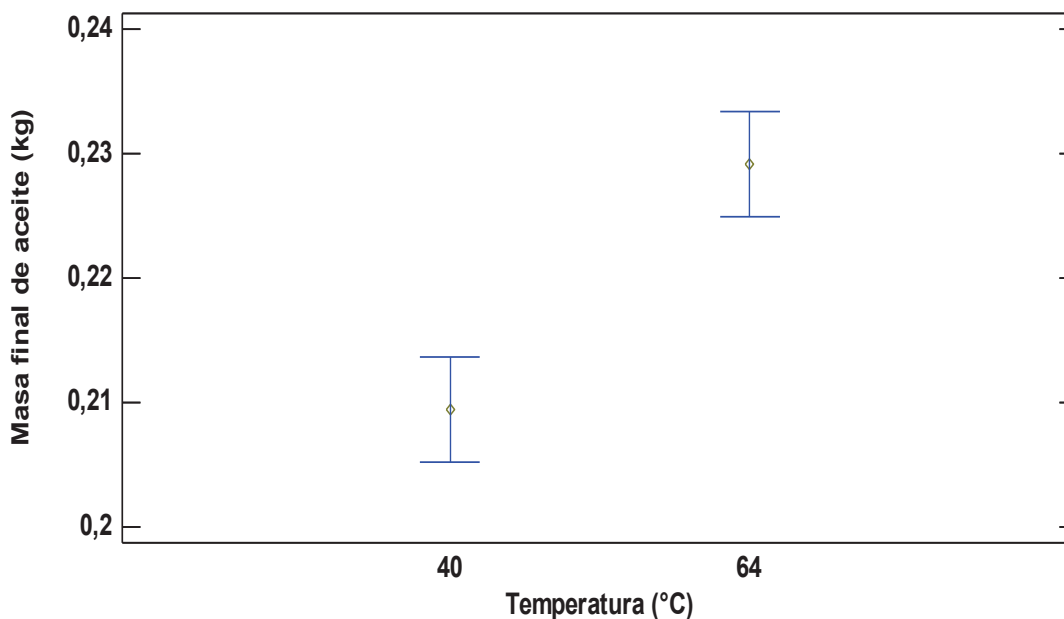
NO. PRUEBA	NOMENCLATURA	VOLUMEN OBTENIDO (L)	MASA OBTENIDA (kg)	RENDIMIENTO (%)
1	T <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0,247	0,2294	22,94
	T <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (R)	0,244	0,2266	22,66
2	T <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0,202	0,1876	18,76
	T <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (R)	0,209	0,1941	19,41
3	T <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0,260	0,2415	24,15
	T <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (R)	0,267	0,2480	24,80
4	T <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0,225	0,2090	20,90
	T <sub>2</sub> B <sub>2</sub> (R)	0,235	0,2183	21,83

R: Repeticiones

- **Análisis estadístico**

Los resultados antes obtenidos se corroboraron realizando un análisis estadístico para determinar la influencia que tiene tanto la temperatura como el diámetro de la boquilla (variables independientes) sobre la masa de aceite extraído (variable de respuesta) (Naghi, 2005, p. 101).

Mediante un análisis de varianza se obtuvieron las Figuras 3.1 y 3.2. En la Figura 3.1 se presenta la variación de la masa de aceite extraída (kg) cuando se trabaja con la temperatura de 40 °C y con la de 64 °C mediante un gráfico de medias. Es evidente que al trabajar con una temperatura de 64 °C la masa extraída aumenta; este fenómeno se debe principalmente a que disminuye la viscosidad del aceite, lo cual facilita la evacuación del mismo. También con la cocción a mayores temperaturas se logra coagular las proteínas de las semillas, provocando una agrupación de las gotas de aceite y haciendo a los sólidos de las semillas permeables al flujo de aceites (Valderrama, 1994, p. 92).

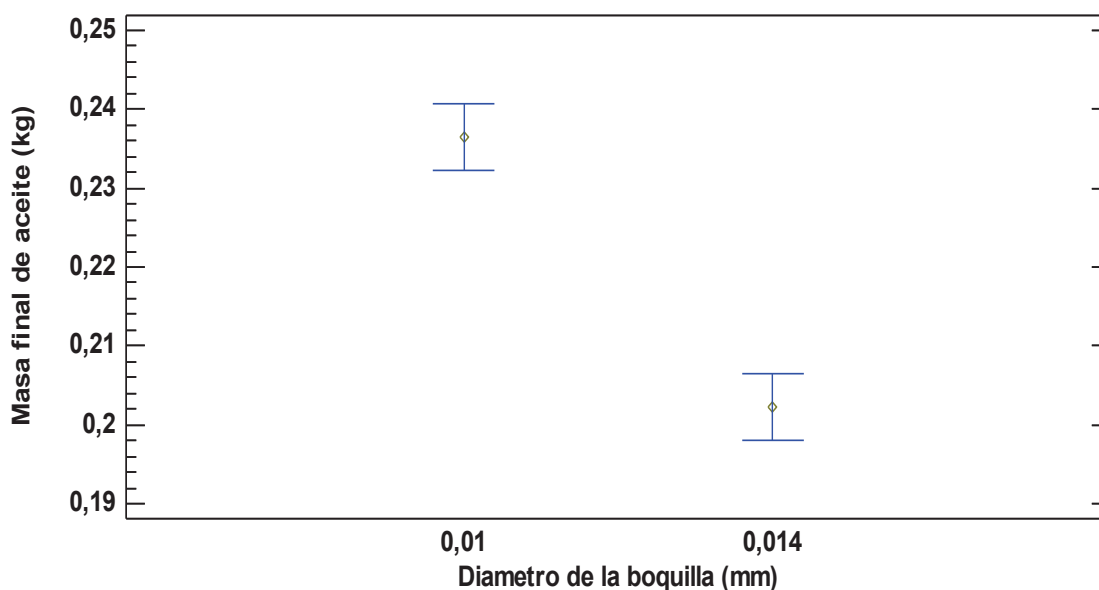


**Figura 3.1** Gráfico de medias e intervalos HSD del factor de temperatura para la masa final del aceite de chía extraído

Es importante recordar que al extraer aceites comestibles no se recomienda trabajar con temperaturas muy elevadas, ya que ocasionaría la degradación de ciertos componentes del aceite. La temperatura máxima recomendada para este tipo de semillas es de 80 °C (Martínez, Marin, Salgado, Revol, Penci y Ribotta, 2012, p. 80).

En la Figura 3.2 se presenta la variación de la masa de aceite extraída (kg) cuando se trabaja con un diámetro de boquilla de 0,010 m y con un diámetro de 0,014 m, mediante un gráfico de medias.

Como se puede observar, al trabajar con un diámetro de boquilla de 0,010 m la masa de aceite de chía extraída aumenta, esto se debe a que los diámetros más pequeños ejercen mayor presión sobre las semillas, provocando mayor liberación del aceite y por ende mayor rendimiento, con esto se asegura que la semilla libere mayor cantidad de aceite. No existen datos bibliográficos sobre diámetros adecuados para cada tipo de semilla.



**Figura 3.2** Gráfico de medias e intervalos HSD del factor del diámetro de la boquilla para la masa final del aceite de chía extraído

En la Tabla 3.5 se presentan los valores de los rendimientos de las diferentes pruebas experimentales y las repeticiones, como se puede observar se presenta mayor rendimiento cuando se trabaja con una temperatura de 64 °C y un diámetro de boquilla de 0,010 m cuyo rendimiento promedio de las dos repeticiones es de 24,47 %, en tanto, que cuando se trabaja con una temperatura de 40 °C y un diámetro de boquilla de 0,014 m se obtuvo el rendimiento más bajo, con un promedio de las dos repeticiones de 19,08 %.

En la Tabla 3.6 se presentan las fuentes de variabilidad y el valor p del proceso de extracción. Como se indica, existieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los factores de temperatura y diámetro de la boquilla, con lo cual se comprueba que existe una diferencia estadística significativa de la temperatura y el diámetro de la boquilla en la masa extraída del aceite de chía.

**Tabla 3.6** Fuentes y diferencias significativas (p)

FUENTE	VALOR- $p$
A:Temperatura	0,0018
B:Díámetro de la boquilla	0,0001

### 3.2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL ACEITE CRUDO DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*)

Las muestras para los análisis físico-químicos se tomaron del proceso T<sub>1</sub>B<sub>2</sub>, con el cual se obtuvo el mayor rendimiento. En la Tabla 3.7 se resumen los valores de la caracterización físico-química del aceite; también es preciso mencionar que en el Anexo IV se pueden observar todos los valores de los análisis físico-químicos realizados en los laboratorios del DECAB.

**Tabla 3.7.** Resumen de la caracterización físico-química del aceite de chía

ANÁLITO	UNIDADES	RESULTADOS
Índice de acidez	mg.KOH/g. aceite	3,0
Índice de peróxido	Meq. O <sub>2</sub> /kg. aceite	2,3
Índice de yodo	cgI/g	157
Índice de saponificación	mg.KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa	183
Índice de refracción	n	1,4809
Densidad relativa (20°/20°)	g/mL	0,9290
Punto de humo	°C	185

$\bar{x}$  (n = 2)

#### 3.2.2.1 Propiedades físicas del aceite

- **Densidad relativa del aceite**

El aceite presentó una densidad relativa de 929,0 kg/m<sup>3</sup>, la cual es promedio de dos determinaciones. En estudios realizados anteriormente se determinó que la densidad relativa del aceite de chía era 931,8 kg/m<sup>3</sup>. Las densidades encontradas en los ambos estudios son similares, es preciso indicar que la densidad presenta diferentes valores dependiendo de la temperatura a la cual se encuentre el aceite (Bailey, 2001, p. 143).



- **Punto de humo**

El valor del punto de humo fue de 185 °C, el cual revela que este tipo de aceite no es adecuado para el consumo en frituras u otros procesos que lleven al aceite a temperaturas mayores a esta, ya que los triglicéridos comienzan a oxidarse en presencia del aire, y posteriormente se descomponen, proporcionando un sabor desagradable a los alimentos preparados con el aceite.

Bailey (2001) en un estudio indica que el aceite de palma presenta un valor de punto de humo de 232 °C, este valor comparado con el reportado para el aceite de chía es alto, es por esta razón que el aceite de palma se utiliza para realizar frituras sin que presenten sabores desagradables en los alimentos que se preparan (p. 128).

### 3.2.2.2 Propiedades químicas del aceite

- **Determinación de acidez**

El aceite presentó una acidez de 3,0 mg.KOH/g. En otro estudio del mismo tipo de aceite se encontro valores entre 0,70 y 2,05 mg.KOH/g (Ixtaina et al., 2011, p. 171).

El aceite de semillas de chía posee una acidez alta en comparación con lo encontrado en bibliografía, pero el valor se encuentra dentro del rango permitido por el Codex Alimentarius para aceites vírgenes cuyo valor máximo recomendado es de 4 mg.KOH/g (FAO, 2000, p. 224).

El cálculo de la acidez no es preciso, ya que para el análisis se tiene que asumir el peso del ácido graso libre, y para este caso se tomó como referencia el ácido oleico, cuyo peso molecular es 282 g/mol; es por eso que no se reportan datos exactos para cada tipo de aceite (FAO, 2000, p. 224).

- **Índice de rancidez**

El aceite extraído presentó un valor de índice de rancidez de 2,3 meq O<sub>2</sub>/kg, este valor concuerda con otros estudios, ya que señalan que el aceite de chía contiene 2,56 meq O<sub>2</sub>/kg (Marineli, Aguiar, Alves, Teixeira, Nogueira y Maróstica, 2014, p. 5).

El valor del índice de rancidez o índice de peróxido presentado en éste aceite es favorable para el consumo humano, ya que según el Codex Alimentarius, los aceites vírgenes comestibles deben contener un valor máximo de 15 meq O<sub>2</sub>/kg. Los aceites con cantidades mayores a 15 meq O<sub>2</sub>/kg del índice de peróxido demuestran una capacidad para deteriorarse, debido a que los dobles enlaces de los ácidos grasos del aceite pueden reaccionar con el oxígeno del aire formando compuestos extraños atribuyendo sabores y olores desagradables, característicos de un aceite enranciado (FAO, 2000, p. 216).

- **Índice de yodo**

El índice de yodo del aceite extraído fue de 157,0 cgl/g, este valor es menor al encontrado en bibliografía para el mismo tipo de aceite, ya que en un estudio anterior se encontró un índice de yodo de 190,0 cgl/g, aproximadamente (Bailey, 2001, p. 143).

El índice de yodo posee una estrecha relación con el grado de instauración de los aceites y con la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en ellos. Se puede observar que los valores del índice de yodo obtenidos para este aceite son mayores al valor del aceite de palma, que tiene un índice de yodo aproximado de 53 cgl/g (Bailey, 2001), por lo que se puede concluir que el aceite pertenece a un aceite de grado poliinsaturado (p. 128).

Basado en el contenido de índice de yodo presentado, se puede apreciar la calidad nutricional del aceite de chía. Por su alta concentración de ácidos grasos insaturados presta beneficios para la salud, como la reducción de enfermedades

cardiovasculares y problemas asociados con el colesterol (Pitchford, 2009, p. 183).

- **Índice de saponificación**

El aceite presentó un índice de saponificación de 183 mg KOH/g, mientras que en otro estudio anterior se determinó que el aceite de chía contiene 193,14 mg KOH/g.

El índice de saponificación depende del peso molecular de los ácidos constituidos en el aceite, así sean los aceites provenientes del mismo tipo de materia prima, éstos pueden diferir en las concentraciones de ácidos grasos. Por esta razón existen diferencias entre los valores de los índices de saponificación de bibliografía y el valor presentado en el presente estudio (Ixtaina, Mattea, Cardarelli, Mattea, Nolasco, Tomas, 2011, p.295).

- **Índice de refracción**

El índice de refracción al igual que el índice de yodo, sirven para caracterizar y medir el grado de saturación de los aceites. En el presente estudio se encontró que el aceite tiene un índice de refracción de 1,4809; este valor es similar al encontrado en el estudio de Ixtaina et al., (2010) que indica que el aceite presenta valores entre 1,4813 y 1,4818 (p. 196).

El índice de yodo es un valor particular, ya que es característico de cada tipo de aceite; este debe encontrarse dentro de ciertos límites para caracterizarlo; este índice se lo puede considerar como un indicador de pureza, es por esta razón que se presentan valores similares entre el presente trabajo y el encontrado en bibliografía.

### 3.2.2.3 Contenido de minerales

En el aceite se ejecutó un análisis del contenido de minerales, entre ellos hierro, calcio, zinc y sodio. En la Tabla 3.8 se presentan los valores obtenidos en los análisis. Los resultados reportados por el laboratorio se indican en el Anexo V.

**Tabla 3.8.** Contenido de hierro, calcio, sodio y zinc en el aceite de chía

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
Cenizas	0,04 ± 0.03	%
Hierro	36,34 ± 0.05	mg/kg
Calcio	2 558,01 ± 0,01	mg/kg
Sodio	0,83 ± 0,07	mg/kg
Zinc	0,00 ± 0,00	mg/kg

$\bar{x} \pm \sigma$  (n = 3)

- **Hierro**

El contenido de hierro en el aceite fue de 3,63 mg/kg; dicho valor se encuentra en el rango reportado por diferentes estudios realizados para el mismo tipo de aceite, los cuales están entre 0,30 y 3,90 mg/kg (Ixtaina et al., 2011, p. 171).

Con el valor de hierro reportado se puede concluir que la mayor cantidad presente en las semillas de chía se queda en la torta residual, ya que en bibliografía se encontró que éstas contienen 164,00 mg/kg, y la harina proveniente de la torta residual contiene 204,00 mg/kg (Ayerza y Coates, 2006, p. 122).

Un valor elevado de los elementos traza como el hierro puede significar un factor negativo en la estabilidad del aceite, ya que los micro elementos pueden actuar como catalizadores en el proceso de auto oxidación de los aceites, interviniendo en su naturaleza biológica, afectando su calidad nutricional y organoléptica (Roca, Cabrera, Lorenzo y López, 2000, p.393).

- **Calcio**

El aceite presentó un alto contenido de calcio con un valor de 2 558,01 mg/kg. No existen reportes anteriores del contenido de calcio en el aceite de chía, pero según Roca et al. (2000) el aceite virgen de oliva contiene entre 0,055 a 2,725 mg/kg de calcio; dicho valor es muy bajo en comparación al reportado en el presente estudio del aceite de chía. El calcio en los aceites ayuda al mantenimiento de los tejidos óseos (p. 396).

- **Sodio**

Los análisis revelaron que el aceite contiene 0,83 mg/kg. No existen reportes del contenido de sodio en estudios anteriores para este tipo de aceite, pero el Codex Alimentarius recomienda que el contenido de sodio sea menos de 1 mg/kg; por lo tanto, basándose en las normas de la FAO, el aceite extraído es recomendable para el consumo humano (FAO, 2000, p. 227).

- **Zinc**

No se detectó zinc en los análisis realizados en las muestras de aceite de chía; el valor encontrado de este mineral puede estar por debajo de los límites de detección en esta prueba, o el aceite de chía no contenía zinc.

#### **3.2.2.4 Perfil de Ácidos Grasos**

El perfil lipídico del aceite se muestra en la Tabla 3.8, y el informe detallado del perfil de los ácidos grasos se presenta en el Anexo VI.

**Tabla 3.9.** Perfil de ácidos grasos del aceite de chía

ÁCIDO GRASO	ABREVIATURA	RESULTADOS (%)
Ácido Caprílico	C 8:0	0,00
Ácido Cáprico	C 10:0	0,00
Ácido Láurico	C 12:0	0,00
Ácido Tridecanoico	C 13:0	0,00
Ácido Mirístico	C 14:0	0,03
Ácido Pentadecanoico	C 15:0	0,00
Ácido Palmítico	C 16:0	3,73
Ácido Heptadecanoico	C 17:0	0,03
Ácido Esteárico	C 18:0	1,79
Ácido Araquídico	C 20:0	0,08
Ácido Behénico	C 22:0	0,05
Ácido Miristoleico	C 14:1	0,00
Ácido Palmitoleico	C 16:1	0,10
Ácido Eicosenoico	C 20:1	0,16
Ácido Erúcico	C 22:1	0,00
Ácido Oleico	C 18:1	3,61
Ácido Linoleico	C 18:2	7,60
Ácido Linolénico	C 18:3	82,82

En los ácidos grasos que se reportan valores de cero, no significa necesariamente que el aceite no presente ese tipo de ácido graso, sino que el aceite puede contener el mismo pero en cantidades muy pequeñas, cuyo valor es menor que el límite de detección.

En la caracterización química del aceite es indispensable analizar los ácidos grasos constitutivos, con el fin de conocer el grado de saturación e insaturación que contiene el aceite, así como también las bondades, beneficios y perjuicios que puede presentar para la alimentación humana. A continuación, en la Tabla 3.10, se presenta la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados contenidos en el aceite.

**Tabla 3.10.** Contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en el aceite

ÁCIDO GRASOS	RESULTADOS (%)
Ac. Grasos saturados	5,71 ± 0.03
Ac. Grasos mono insaturados	3,87 ± 0.01
Ac. Grasos poli insaturados	90,42 ± 0.05

$\bar{x} \pm \sigma$  (n = 3)

Entre los ácidos grasos saturados, el más representativo en el aceite es el ácido palmítico con el 3,73 %; este ácido graso se encuentra en menor porcentaje que lo encontrado en diversos estudios anteriores, como el realizado por Ayerza y Coates (2011) que reportaron que el aceite de chía contenía un 6,89 % (p. 1368).

La diferencia en los valores de los ácidos grasos constitutivos del aceite puede variar debido al lugar donde se cultivan las semillas de chía, y esto puede ser la consecuencia de la variación en los resultados de los ácidos grasos del aceite en los diferentes estudios realizados.

El valor del ácido palmítico del aceite de chía es menor al reportado para otros tipos de aceites gourmet como el aceite de oliva, que tiene un 12,80 %; reportado en otro estudio por López (2003), el segundo ácido graso saturado de mayor importancia encontrado en el aceite de chía es el ácido esteárico, el cual presentó un valor del 1,79 %, mientras que en bibliografía se reporta que el aceite de oliva contiene un 4,20 % (p.30).

Los ácidos grasos monoinsaturados en el aceite están representados por los ácidos palmitoleico, con el 0,10 %, eicosenoico con el 0,16 % y el oleico con el 3,61 %; los dos últimos son parte del grupo omega-9, como se indica en la Tabla 3.10. Estos valores son similares a los reportados en otros estudios para el mismo tipo de aceite, los cuales reportan: palmitoleico con el 0,08 %, eicosenoico con 0,14 % y el oleico con 7,04 % (Marineli et al., 2014, p.4).

El ácido oleico contenido en el aceite de chía es el más representativo del grupo omega-9; en comparación con el aceite de oliva, éste presenta cantidades bajas de dicho ácido graso, ya que se encontró que el aceite de oliva tenía valores entre el 61 y el 83 %; por lo tanto, el aceite de oliva contiene mayor concentración de omega-9 que el aceite de chía (Porrás, Cabrera y Soriano, 1995, p. 281).

El ácido linoleico representa al omega-6 en el aceite, cuyo valor fue del 7,60 %; éste es menor al encontrado en otro estudio para el mismo tipo de aceite, los cuales reportaron un 18,23 % (Marineli et al., 2014, p. 4).

El ácido linolénico es parte del omega-3, se encontró que el aceite de chía contiene un 82,82 %, mientras que Marineli et al. (2014) presentaron en su estudio un valor del 62,80 %; se puede apreciar una diferencia entre los valores de los dos estudios realizados (p. 4).

El aceite de chía presenta cantidades mayores de omega-3 en comparación con otros aceites comestibles. En la Tabla 3.11 se muestra el contenido de omega-3 de algunos aceites comestibles comercializados (López, 2003, p. 30).

**Tabla 3.11.** Contenido de omega-3 de los aceites de chía, oliva, girasol y soja

Tipo de aceite	Contenido de omega-3 (%)
Chía	82,82
Oliva	1,50
Girasol	< 0,20
Soja	6,00-10,00

(López, 2003, p. 30)

En lo que respecta a los ácidos linoleico y linolénico de los datos presentados, se puede apreciar las diferencias encontradas entre el aceite extraído en el presente estudio y los datos reportados en bibliografía. Pese a esto, los distintos tipos de aceites de chía analizados presentaron un alto grado de instauración debido a los altos porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados (linoleico, linolénico) en su composición.

Los ácidos grasos poliinsaturados forman parte de los grupos omega-6 y omega-3 como se indica en la Tabla 3.12. Éstos difieren en el número de dobles enlaces en su estructura, ya que los ácidos del omega-6 disponen de dos dobles enlaces mientras que los del omega-3 disponen de 3 dobles enlaces en su configuración (López, 2003, p. 32).



**Tabla 3.12.** Contenido de omega-3,6 y 9 en el aceite de chía

GRADO DE SATURACIÓN	GRUPO	ÁCIDO GRASO	RESULTADOS TOTAL (%)
Monoinsaturados	Omega-9	Ác. Eicosenoico	3,77
		Ác. Oleico	
Poliinsaturados	Omega-6	Ác. Linoleico	7,60
	Omega-3	Ác. Linolénico	82,82

En los diferentes tipos de aceites de alto grado de insaturación es importante conocer las relaciones entre omega-3, omega-6 y omega-9 que poseen los aceites, ya que las sustancias trabajan en conjunto para brindar beneficios a la salud humana. En la Tabla 3.13 se indica la relación de omega-3, 6 y 9 que presentó el aceite.

**Tabla 3.13.** Relaciones de omega-3, 6 y 9 encontradas en el aceite de chía

RELACIÓN	NOMENCLATURA	VALOR
Omega-6/ omega-3	n-6/n-3	0,092
Omega-6/ omega-9	n-9/n-3	0,045
Ac. Grasos poli insaturados/ Ac. Grasos saturados	PUFA/SFA	15,83

Para la relación de los omega-6 y 3, se consideró el ácido linoleico como parte del omega-6 y el linolénico en representación del omega-3, la relación presentada de n-6/n-3 fue de 0,092, mientras que en otro estudio realizados por Marineli et al. se reportó un valor para la misma relación de 0,29. La diferencia entre las dos relaciones se debe a que en el estudio de Marineli et al. se reportó un valor del 63,80 % de ácido linolénico, el cual es inferior al reportado en este proyecto y por consecuencia disminuye la relación de n-6/n-3 (p. 4).

En lo que se refiere a la relación de n-6/n-3, el aceite de chía presenta una marcada diferencia con la mayoría de otros aceites vegetales comestibles, como por ejemplo los aceites de colza con 2,26, girasol con 30,77, oliva con 17,86, maíz con 76,57 y soja con 6,68 (Tuberoso, Kowalczyk, Sarritzu y Cabras, 2006, p.1497).

El aceite de chía de este proyecto muestra menor relación de n-6/n-3 en comparación con otros aceites del mismo tipo, así como también con aceites provenientes de otras semillas. Se ha asociado la baja relación de omega-6/omega-3 en los aceites de consumo humano con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares (Simopoulos, 2004, p. 80).

En otros estudios no se han reportado los requerimientos o la relación de consumo de omega-9/omega-3 (n-9/n-3). En el aceite de chía este proyecto presentó una relación de 0,045. Los omega-9 no son producidos por el cuerpo humano, pero sí pueden ser sintetizados en el cuerpo a partir de los omegas-3 y 6 (Torres, 2001, p. 1228).

Es importante señalar la importancia que brindan los ácidos grasos pertenecientes al grupo omega-9, ya que éstos son capaces de reducir el colesterol y la hipertensión arterial, entre otros aportes que proporcionan a la salud humana (Torres, 2001, p. 1229).

Se recomienda consumir una relación de omega-6/omega-3 entre 5:1 y 10:1, pero por el alto contenido de omega-3, este aceite se podría utilizar para equilibrar otras dietas con baja proporción en omega-3, como por ejemplo combinarse con dietas elaboradas con aceites ricos en omega-6 como los aceite refinados de maíz (45-65 %), soja (45-60 %), girasol (50-72%) y juntos proporcionar el beneficio que aporta una correcta relación de omega-6/omega-3 (Gil, 2010, p. 307; López, 2003, p. 30).

La relación PUFA/SFA encontrada en el aceite fue de 15,83, mientras que en un reporte anterior indica una relación de 8,7. El alto valor del ácido linolénico reportado hizo que se incrementara esta relación en el aceite de chía del presente estudio (Ixtaina et al. 2011, p. 169).

Según Devlin (2004), la relación de PUFA/SFA de consumo normal es de 0,3; pero se puede obtener una reducción significativa de los niveles de colesterol y de triglicéridos aumentando esta proporción. Se recomienda una proporción de 1 (p.1128).

### 3.2.2.5 Contenido de beta-carotenos

En la determinación de beta-carotenos las muestras de aceite se sometieron a análisis por duplicado. En la Tabla 3.14 se muestra un resumen de los resultados obtenidos. En el Anexo VII se detalla los resultados reportados.

**Tabla 3.14.** Contenido de beta-carotenos en el aceite de chía

REPETICIÓN	ANALITO	RESULTADO (mg/100 g)
1	Beta-carotenos	0,0186
2	Beta-carotenos	0,0200

El aceite presentó un promedio de beta-carotenos de 0,0193 mg/100 g, éste es inferior a los encontrados en otros estudios, los cuales reportan valores entre 0,058 y 0,121 mg/100 g. Sin embargo, el valor encontrado para el aceite de chía en este proyecto es mayor que los reportados en aceites de maní (0,01 mg/100 g) y girasol (0,012 mg/100 g) (Ixtaina, Nolasco y Tomás, 2012, p. 1084; Tuberoso et al., 2006, p. 1498).

## 3.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA TORTA RESIDUAL

### 3.2.3.1 Análisis proximal de la torta residual

Para la caracterización de la torta residual se ejecutó un análisis de todas las tortas residuales que se obtuvieron de los diferentes procesos (T<sub>1</sub>B<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>B<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>B<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>B<sub>2</sub>) realizados en las pruebas experimentales, pero al igual que en el caso del aceite para la discusión de los resultados se priorizó la muestra del proceso del cual se obtuvo el mayor rendimiento en la extracción del aceite. Se analizaron las muestras del proceso de mayor rendimiento con respecto a la extracción de aceite debido a que el aceite de este proceso es el que se va comercialización.

Los valores de los análisis proximales realizados a la torta residual obtenida del proceso T<sub>2</sub>B<sub>1</sub> se indican en la Tabla 3.15, mientras en el Anexo II se muestran los

resultados reportados para todas las tortas residuales obtenidas en los diferentes procesos de extracción.

En la Tabla 3.15 se indica la fibra cruda con un porcentaje diferente al porcentaje de carbohidratos, pero lo cierto es que la fibra cruda forma parte de los carbohidratos totales; es decir, el 15,39 % de fibra cruda está incluida en el 54,69 % de carbohidratos, entonces si se suman todos los porcentajes sin tomar en cuenta la fibra cruda da como resultado el 100 % de contenido en las semillas.

**Tabla 3.15.** Resultados del análisis proximal de la torta residual proveniente del proceso T<sub>2</sub>B<sub>1</sub>

MUESTRA	ANALITO	RESULTADOS	UNIDADES
Torta residual (T <sub>2</sub> B <sub>1</sub> )	Humedad	10,06 ± 0,02	% (g/100g)
	Cenizas	6,46 ± 0,16	% (g/100g)
	Fibra cruda	15,39 ± 0,70	% (g/100g)
	Extracto etéreo	6,07 ± 0,03	% (g/100g)
	Proteína	22,72 ± 1,18	% (g/100g)
	Carbohidrato por diferencia	54,69 ± 1,01	% (g/100g)
	Valor calórico	364 ± 0,36	Kcal/100g

$\bar{X} \pm \sigma$  (n = 3)

Es importante analizar los residuos que quedan después de la extracción del aceite para poder hacer una planificación de lo que se va hacer y a dónde se va a destinar estos remanentes. Como se puede observar en el análisis proximal realizado a los residuos, se analizó el contenido de fibra cruda, carbohidratos, proteína, valor calórico, entre otras propiedades que pueden ser aprovechados tanto para alimentación humana como para la alimentación de los animales en producción.

- **Cenizas**

Las cenizas presentes en la torta fueron del 6,46 %, el cual es un valor mayor que el encontrado en las semillas, por lo que se puede deducir que la torta de chía va

a contener una mayor concentración de minerales que el aceite, el cual presenta un 0,04 % de cenizas (Olivos, Valdivia y Tecante, 2010, p. 93).

- **Humedad**

En comparación con las semillas de chía, la torta presenta un contenido más alto de humedad con el 10,06 %, pero este valor es mucho mayor en comparación con tortas residuales provenientes de otras semillas como por ejemplo la torta de la palma africana, que presentó valores entre 7,50 – 7,80 % (Morán y Ramírez, 1993, p. 4).

- **Fibra cruda**

El valor de la fibra cruda en las semillas enteras fue de 18,27 %, pero éste se redujo después de la extracción del aceite, y la torta presentó un 15,39 %; de lo expuesto en la caracterización de las semillas de chía, éstas presentan un 9,68 % de fibra soluble y 16,27 % de fibra insoluble, éstos valores son importantes si se quiere destinar la torta para la elaboración de algún alimento apto para el consumo humano, como por ejemplo junto con otros ingredientes la elaboración de granola.

- **Extracto etéreo**

El extracto etéreo remanente en la torta fue del 6,07 %; mediante este resultado también se puede cuantificar el rendimiento del proceso. Según el dato obtenido, se puede apreciar que en la torta se quedan retenidas cantidades considerables de aceite el cual se puede obtener por otros procesos alternativos y paralelos al método de prensado, como la extracción por solventes (soxhlet) o también la extracción mediante fluidos supercríticos, pero los dos procesos alternativos

mencionados tienen desventajas, las cuales se mencionan en el capítulo de revisión bibliográfica.

- **Proteína**

Los resultados reportaron que la torta contiene un 22,72 % de proteínas, en tanto que las semillas un 16,10 %, por lo tanto se puede concluir que la proteína se concentró en el remanente de la extracción.

Debido al alto porcentaje de proteínas contenidos en la torta, se podría pensar en un alimento funcional a partir de ésta ya que la proteína de la chía contiene los siguientes aminoácidos: ácido aspártico 9,47 %, treonina 4,25 %, serina 6,02 %, ácido glutámico 15,37 %, glicina 5,23 %, alanina 5,34 %, valina 6,32 %, cistina 1,82 %, metionina 0,45 %, isoleucina 3,98 %, leucina 7,3 %, tirosina 3,41 %, fenilalanina 5,86 %, lisina 5,50 %, histidina 3,19 %, arginina 11,03 % y prolina 5,45 % (Bresson et al., 2009, p. 24; Olivos et al., 2010, p. 92).

- **Carbohidratos**

La torta presentó un 54,69 % de carbohidratos totales, por la concentración de los mismos en la torta también se podría aprovechar para alimentar animales en producción, en conjunto con otros ingredientes y formando un concentrado o balanceado.

- **Valor calórico**

De la torta se puede obtener 364 kcal por cada 100 g, este resultado confirma lo expresado anteriormente, ya que se podría aprovechar la torta para hacer un alimento funcional como una barra energética con alto contenido de omega-3, proteína y minerales (Olivos et al., 2010, p. 94).

### 3.2.3.2 Contenido de beta-carotenos

En lo referente al análisis de beta-carotenos, los residuos de la extracción del aceite estuvieron fuera del límite de detección, por lo tanto, no se reportó un valor de beta-carotenos para la torta residual. En el Anexo VII se detallan los resultados del análisis de beta-carotenos.

### 3.2.3.3 Contenido de minerales

Se realizaron análisis de hierro, calcio, zinc y sodio. En la Tabla 3.16 se presenta un resumen de los resultados, (ver el Anexo VIII).

**Tabla 3.16.** Contenido de hierro, calcio, sodio y zinc en la torta residual

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
Cenizas	6,38 ± 0,04	%
Hierro	286,58 ± 0,08	mg/kg
Calcio	5159,75 ± 0,23	mg/kg
Sodio	105,50 ± 0,70	mg/kg
Zinc	38,68 ± 0,05	mg/kg

$\bar{X} \pm \sigma (n = 3)$

Los minerales analizados en la torta presentaron valores altos en comparación con las cantidades de los minerales encontrados en el aceite de chía; esto se debe a que la torta presentó una mayor concentración de cenizas en la que están contenidos los minerales.

En la torta residual se destaca la gran concentración de calcio (5 159,75 mg/kg), por lo que se podría aprovechar para diseñar algún producto funcional con base en los residuos del proceso de la extracción. En comparación con otros alimentos de consumo diario como la leche bovina 1453,48 mg/kg, los residuos presentaron mayor contenido de calcio (Vasudevan, Sreekumari y Vaidyanathan, 2011, p. 366).

### **3.3 DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE COMESTIBLE DE CHÍA**

#### **3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA**

Como se mencionó en el Capítulo 2, para el diseño de la planta se consideró como base producir el 0,5 % del total de aceite importado anualmente en grasas y aceites vegetales, se tomó esta consideración debido al alto costo de la materia prima y consecuentemente el alto precio de venta al público del aceite. Entonces el producto está destinado a un sector de mercado con mediano y alto poder adquisitivo. De los cálculos se obtuvo que se deben producir 11,15 kg aceite por día.

#### **3.3.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA**

A partir del cálculo de producción diaria de la planta piloto, se procedió a realizar los balances de masa y energía para el diseño de la planta de extracción. Para el balance de masa se utilizaron las ecuaciones [2.4], [2.5], [2.6], [2.7] y [2.8] señaladas en el capítulo 2. En el Anexo IX se muestran los cálculos de los balances de masa y energía de la planta.

##### **3.3.2.1 Tanque de almacenamiento y envasado (TA)**

La masa de aceite en el tanque de almacenamiento deber ser igual a la masa final de aceite que se quiere producir durante el día de trabajo (11,150 kg/d) y a su vez este valor debe ser igual a la masa de aceite crudo después del proceso de sedimentación.

$$Acc = \frac{11,150 \text{ kg}}{d}$$



### 3.3.2.2 Tanque de sedimentación (TS)

En el tanque de sedimentación se separan los lodos que existen en el aceite que no se lograron eliminar en la filtración. De las pruebas experimentales se determinó que los lodos representaron una pérdida del 1,2 % del total del aceite, por lo tanto se obtiene:

$$Acl = 11,280 \frac{kg}{d}$$

En el Anexo X se puede apreciar el aceite antes y después de la sedimentación y los lodos que precipitan en dicho proceso.

### 3.3.2.3 Filtro (FT)

En el filtro ubicado después de la prensa expeller, se capturan las semillas enteras que evadieron la trituración y el prensado, pero también en este filtro se retienen semillas trituradas, las cuales se encuentran concentradas en el aceite. Todas estas semillas no son pérdidas, debido a que se les volvió a agregar en la tolva de la prensa para que se reprocesen.

$$As = 12,650 \frac{kg}{d}$$

### 3.3.2.4 Prensa expeller (PE)

Para el proceso de prensado se alimentan las semillas de forma continua, en este proceso se obtiene un rendimiento promedio del 24,74 % al final de la alimentación de todas las semillas. Durante la extracción se va obteniendo el aceite y la torta residual, simultáneamente.

$$Se = 45,600 \frac{kg}{d}$$

### 3.3.2.5 Tamizadora (TM)

La etapa de limpieza de las semillas se realizó en la tamizadora, en la cual se quedan retenidos los cuerpos extraños más grandes, mientras que las semillas traspasan los orificios de la tamizadora. Para los cálculos en la tamizadora se consideró un porcentaje de impurezas del 0,011 %, este valor fue encontrado anteriormente en el estudio realizado a la materia prima previo a las pruebas experimentales.

$$Mp = 45,605 \frac{kg}{d}$$

Por lo tanto, se requieren 45,605 kg de semillas cada día para producir 11,150 kg de aceite diarios.

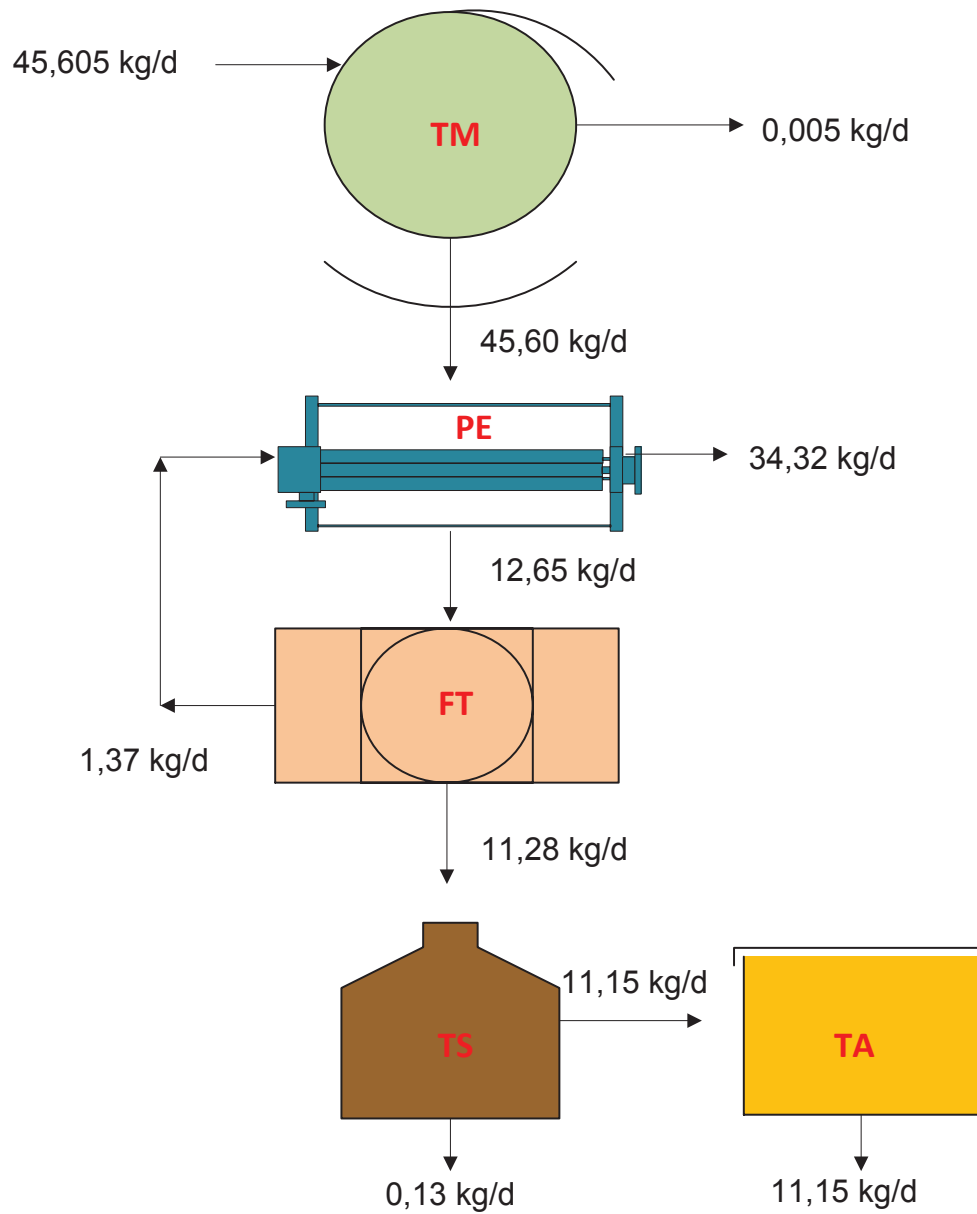
En la Figura 3.3 se presentan los valores de los balances de masa realizados en los diferentes procesos de la extracción.

Se observa que las basuras y cuerpos extraños retenidos en la tamizadora son prácticamente insignificantes en comparación con la cantidad de materia prima que se requiere diariamente. Sin embargo, por razones de seguridad se coloca una tamizadora antes del prensado.

Para el cálculo de producción de la planta se consideró que laborará en promedio 20 días de cada mes, por lo tanto se requieren:

$$Mp_m = 45,605 \frac{kg}{d} \times \frac{20 d}{1 mes} \quad [3.1]$$

$$Mp_m = 912,100 \frac{kg}{mes}$$



**Figura 3.3.** Esquema de los flujos de la planta para la extracción del aceite de chía (*Salvia hispanica L.*)

La planta requiere de aproximadamente de una tonelada de semillas mensuales, por lo tanto el camión de abastecimiento de la materia prima alimentará la planta trimestralmente con tres toneladas aproximadamente, este tiempo es prudencial para mantener las semillas en buena calidad para la extracción, pero también se puede aprovechar para conseguir la materia prima de mejor calidad y lo más económico posible.

El balance de energía se efectuó en la carcasa de tornillo debido a que ahí es donde se trata de controlar la temperatura para la extracción. El cálculo se realizó para una temperatura de 64 °C, ya que a dicha temperatura se obtuvo el mayor rendimiento, mientras que la temperatura de la carcasa se encontraba a la temperatura del ambiente (15 °C). Los cálculos del balance de energía se detallan en el Anexo IX.

$$Q_2 = 0,0194 \text{ KW.h}$$

El requerimiento energético de todos los equipos necesarios para la planta se detallan en la Tabla 3.17

**Tabla 3.17.** Requerimientos energéticos de los motores de los equipos de la planta de extracción de aceite de chía

MOTOR DEL EQUIPO	REQUERIMIENTO ENERGÉTICO (KW.h)
Tamizadora	1,500
Prensa expeller	5,500
Resistencia de la prensa expeller	0,019
Balanza	0,100
<b>Total</b>	<b>7,120</b>

### 3.3.3 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCION DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN

La planta está dividida en cuatro áreas: recepción y almacenamiento de la materia prima, producción, almacenamiento del producto terminado y oficinas. En cada una de éstas se encuentran adaptados los equipos necesarios para el normal funcionamiento de la planta. En el Anexo XI se muestran las fichas técnicas de los equipos, donde se detallan sus características.

### **3.3.3.1 Balanza**

La selección de la balanza (BZ) se realizó con base en la cantidad de materia prima que se va a pesar en la planta. Las semillas de chía se pesan en el área de recepción y almacenamiento, para lo cual se utilizará una balanza cuyas dimensiones son: 0,5 m de largo, 0,5 m de ancho y 1,2 m de altura, con una capacidad de 300 kg.

### **3.3.3.2 Tamizadora**

La tamizadora vibratoria es el primer equipo de la línea de operación ubicado antes de la prensa expeller, sus dimensiones son: 0,6 m de ancho, 0,7 m de largo y 1,20 m de altura. Los orificas de la malla de la zaranda serán de 2 mm de ancho por 2,2 mm de largo, para poder permitir el paso de las semillas y retener los cuerpo extraños de mayor tamaño en comparación con las semillas.

### **3.3.3.3 Prensa expeller**

La prensa expeller es el equipo básico de la planta. Las dimensiones de la prensa seleccionada son 0,950 m de largo 0,450 m de ancho y 0,630 m de profundidad. Este equipo tiene incorporado una resistencia para incrementar la temperatura y poder llegar en menor tiempo a la temperatura de trabajo de la máquina. La prensa expeller es una de las de menor tamaño encontradas en el mercado y tiene una capacidad de 25-30 kg/h.

### **3.3.3.4 Filtro**

El filtro está apoyado en el tanque de sedimentación, y posee las mismas dimensiones que la superficie exterior del tanque de sedimentación cuyas dimensiones son 0,15 m de radio y 0,05 m de espesor.

### 3.3.3.5 Tanque de sedimentación

El tanque de sedimentación requerido en el proceso de extracción fue dimensionado, debido a que no existió un tamaño adecuado en catálogos para este proceso. El tanque tiene una forma cilíndrica y la terminación en forma de cono para almacenar los lodos residuales sedimentados.

Para el dimensionamiento se consideraron las especificaciones de producción diaria, pero por razones de seguridad, el tanque se sobredimensionó con un 20 % de exceso (factor de seguridad) de volumen, como se indica en la Ecuación 3.2 (Bandoni, 2000, p.170).

$$Volumen\ utilizable = 11,2800\ Kg \times \frac{m^3}{929\ Kg} = 0,0121\ m^3 \quad [3.2]$$

Remplazando el volumen utilizable (0,0121 m<sup>3</sup>) en la Ecuación [3.3]:

$$V_{ts} = \frac{Volumen\ utilizable}{0,8} \quad [3.3]$$

$$V_{ts} = 0,0151\ m^3$$

El dimensionamiento del tanque se realizó para sedimentar 0,0151 m<sup>3</sup> y se consideró que el tanque para este proceso tenga 0,15 m de radio. Los cálculos fueron los siguientes:

$$V_{ts} = \pi \times r_{ts}^2 \times h_{ts} \quad [3.4]$$

Entonces:

$$h_{ts} = \frac{0,0151m^3}{\pi \times (0,15\ m)^2} = 0,2200\ m$$

Donde:

$V_{ts}$  = volumen del tanque de sedimentación ( $m^3$ )

$r_{ts}$  = radio del tanque de sedimentación (m)

$h_{ts}$  = altura del tanque de sedimentación (m)

Luego de obtener las dimensiones del tanque, se calcularon las dimensiones del cono del tanque en la parte inferior, donde se retienen los lodos decantados del aceite.

De los cálculos anteriores se determinó que el porcentaje de lodos en el aceite eran el 1,2 %, por lo tanto, se calculó el volumen de lodos que se tendría en  $0,015 m^3$  de aceite.

$$V_{Lo} = 0,0151 \times \frac{1,2}{100} = 2,27^{-4} m^3 \quad [3.5]$$

$$V_{Lo} = V_{Co} = \frac{\pi \times r_{ts}^2 \times h_{Co}}{3} \quad [3.6]$$

Por lo tanto, reemplazando la Ecuación [3.5] en la Ecuación [3.6]:

$$h_{Co} = \frac{3 \times 2,27^{-4} m^3}{\pi \times (0,1500 m)^2} = 9,6^{-3} m \approx 0,0100 m$$

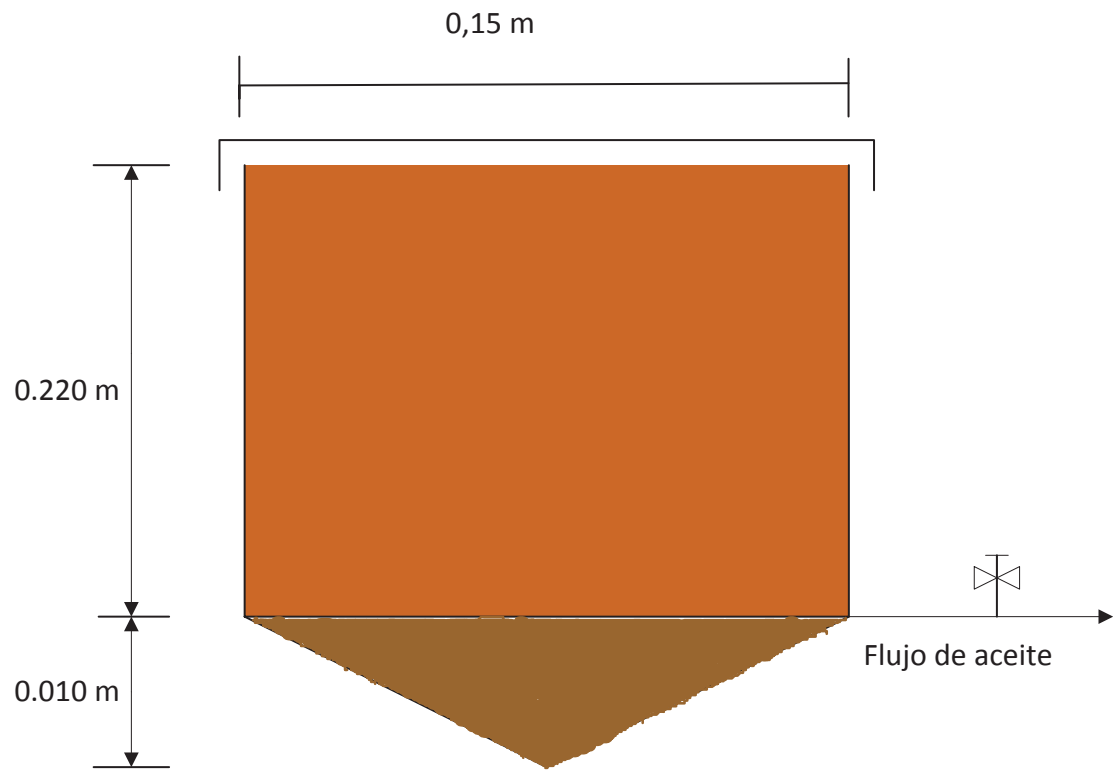
Donde:

$V_{Lo}$  = volumen de los lodos en el aceite

$V_{Co}$  = volumen del cono

$h_{Co}$  = altura del cono

En la Figura 3.4 se presenta el esquema de sedimentación



**Figura 3.4.** Esquema del tanque de sedimentación

### 3.3.3.6 Tanque de almacenamiento y envasado

El tanque de almacenamiento está diseñado para contener el aceite de dos días de trabajo máximo, ya que lo ideal es envasar el aceite inmediatamente luego de la sedimentación para evitar el deterioro del aceite por oxidación en presencia del oxígeno del aire.

$$V_{ta} = 2 \times 11,150 \text{ kg} \times \frac{m^3}{929 \text{ Kg}} = 0,024 \text{ m}^3 \quad [3.7]$$

Para el caso del tanque de almacenamiento y envasado también se consideró un factor de seguridad del 20 % de sobredimensionamiento como en el caso del tanque de sedimentación (Bandoni, 2000, p.170).

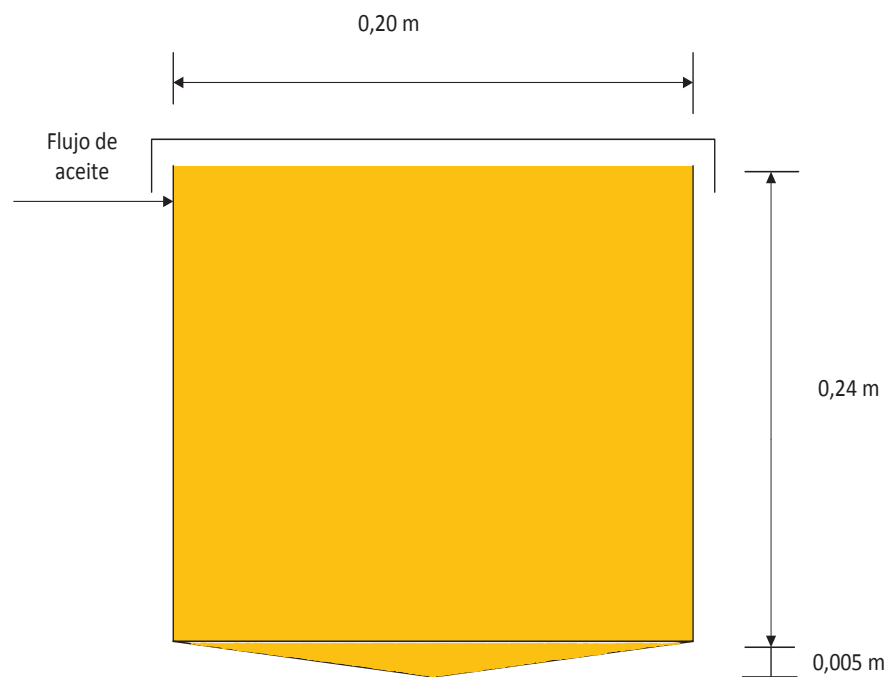


$$V_{ta} = \frac{0,024 \text{ m}^3}{0,8} = 0,030 \text{ m}^3 \quad [3.8]$$

Este tanque se va a diseñar con un radio de 0,2 m

$$h_{ts} = \frac{0,030 \text{ m}^3}{\pi \times (0,20 \text{ m})^2} = 0,24 \text{ m} \quad [3.9]$$

El tanque también consta de un cono en la parte inferior para facilitar el descenso del aceite en el envasado, para el cono de este tanque se consideró una altura de 0,005 m. A continuación, en la Figura 3.5 se presenta el esquema del tanque de sedimentación:



**Figura 3.5.** Esquema del tanque de almacenamiento y envasado

### 3.3.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO (BFD)

El diagrama de bloques del proceso (BFD) para la extracción de aceite de chía se presenta en la Figura 3.6, en el cual no se detallan los flujos de los procesos

intermedios, pero sí se detallan las cantidades de reflujo y los residuos que salen de los diferentes procesos.

El propósito de este diagrama es que cualquier persona con conocimientos básicos en procesos sea capaz de entender de forma rápida y concisa el proceso de extracción del aceite (Vornel, 2009, p. 17).

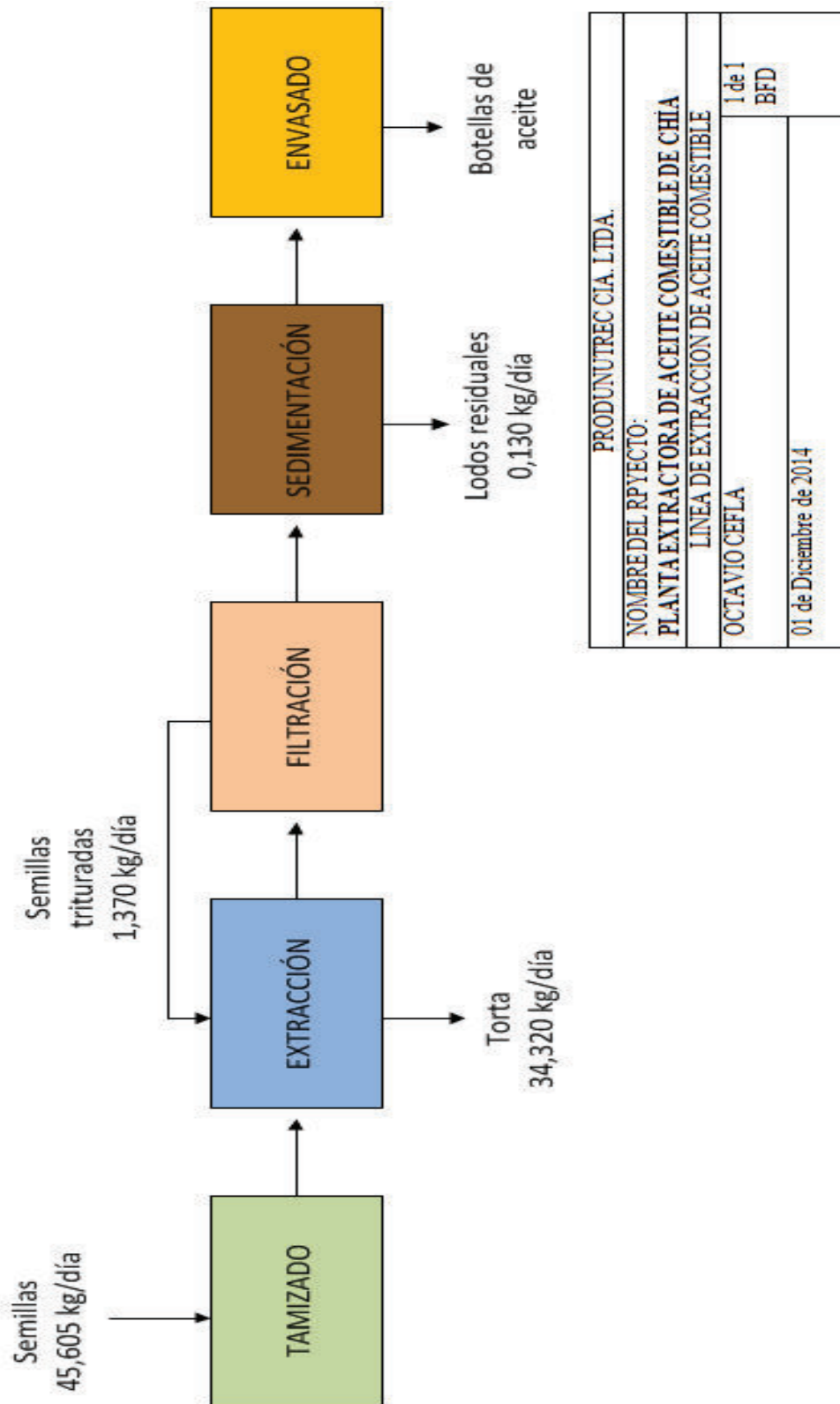
Este diagrama también posee gran importancia para el personal que administra la planta, donde se requiere analizar la extracción minuciosamente en cada etapa del proceso, para la toma de decisiones (Vornel, 2009, p. 17).

### **3.3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO (PFD)**

En el diagrama de flujo se representan los esquemas de los equipos con la simbología que pertenece a cada uno de los mismos, así como también se representan los flujos y las temperaturas de las corrientes del proceso de extracción. Los esquemas para la representación de los equipos fueron tomados del programa “Microsoft-Visio” utilizado para el diseño. En la Figura 3.7 se indica el diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de chía.

Este tipo de diagrama no muestra un exhaustivo detalle de los elementos constituidos en la planta, pero contribuye con el diseño de la planta mediante la disposición secuencial de los equipos del proceso.

El diagrama de flujo tiene el propósito que las personas logren identificar todos los procesos de la planta y también puedan reconocer las distintas líneas de flujo y las condiciones de operación (Vornel, 2009, p. 17).



**Figura 3.6.** Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite de chía (BFD)

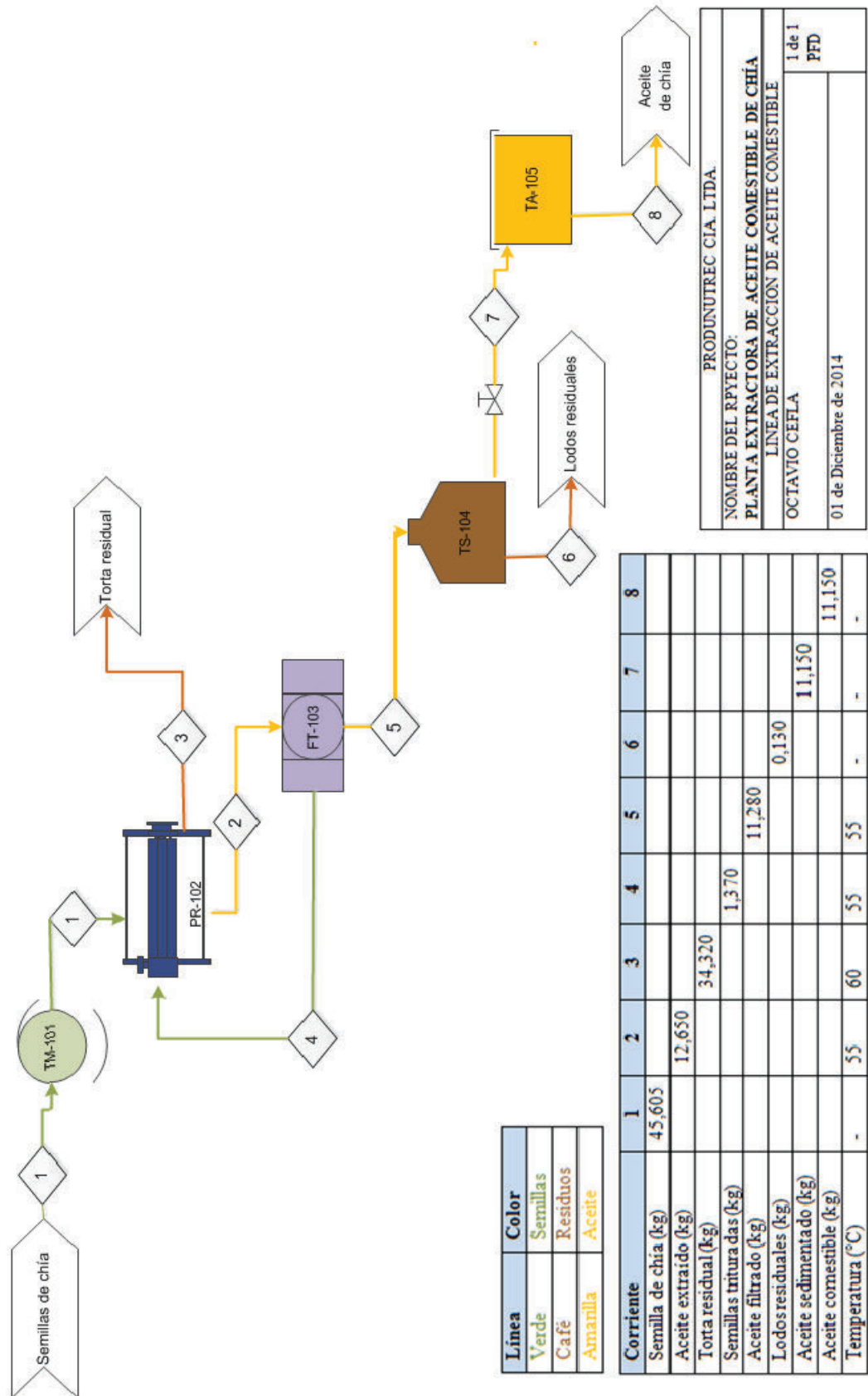


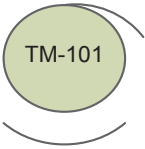
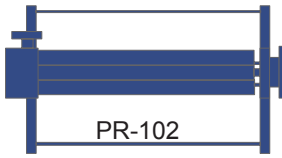

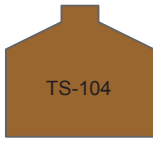
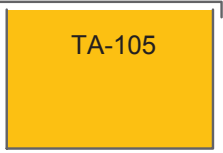
Figura 3.7. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de chia (PFD)

- **Nomenclatura de los equipos**

En la Tabla 3.18 se presenta la simbología utilizada para los equipos del diagrama de flujo de procesos, cada uno de los equipos posee una abreviatura diferente; sin embargo, todos los equipos tienen la secuencia progresiva empezando con el número 100, debido que todos pertenecen a una misma línea de funcionamiento, esta nomenclatura se basa en las normas PEMEX (Unidad Normativa Técnica, 1999, p. 21-22).

Mediante ésta tabla se puede identificar la nomenclatura que describe a cada uno de los equipos del diagrama de flujo.

**Tabla 3.18.** Nomenclatura de los equipos utilizados en la planta de extracción de aceite

Equipo	Descripción	Equipo	Descripción
	Tamizadora		Prensa expeller
	Filtro		Tanque de sedimentación
	Tanque de envasado		

### 3.3.6 DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA PLANTA (LAY OUT)

Como se puede observar en la Figura 3.8, la distribución de los equipos en la planta se realizó en línea. Se aplicó este tipo de distribución ya que esta planta

piloto no requiere un alto número de equipos, y esta distribución permite reducir los tiempos muertos que pudieran existir en el proceso.

La distribución de los equipos en planta se efectuó considerando las dimensiones de todos ellos. Además, la distribución de los equipos dentro del área de producción se diseñó enfocada al producto agrupando la maquinaria, los equipos y el espacio de trabajo de acuerdo con la secuencia del producto en proceso.

En general, la distribución de las diferentes áreas en la planta se consideró al proceso como semi-continuo. Primero se ubica el área de recepción de la materia prima, luego pasa al área de producción y posteriormente se ubica el área de almacenamiento y despacho del producto terminado.

Adicionalmente, es preciso señalar que los equipos están colocados a desnivel como se puede apreciar en la Figura 3.9, con el fin de aprovechar la gravedad para conducir los flujos de un equipo al otro; con este tipo de proceso se evita utilizar bombas para transportar el aceite de un tanque al otro, y por ende, se disminuyen costos de producción.

La planta cuenta con una superficie total de 262,5 m<sup>2</sup>, dentro de la cual se encuentran tres áreas principales para el funcionamiento de la planta: recepción y/o almacenamiento de la materia prima, producción y almacenamiento y/o despacho del producto terminado. Las tres áreas están divididas con paredes para evitar contaminación cruzada pero contienen puertas que comunican las áreas adyacentes.

En general las paredes de la planta son de bloque y enlucidas, mientras que la cubierta del techo es de zinc reforzado.

Las consideraciones mencionadas para la distribución de los equipos y el diseño de la planta permiten reducir los tiempos muertos que puedan existir entre proceso y proceso y se logra conseguir que las operaciones tengan mayor eficiencia y productividad.

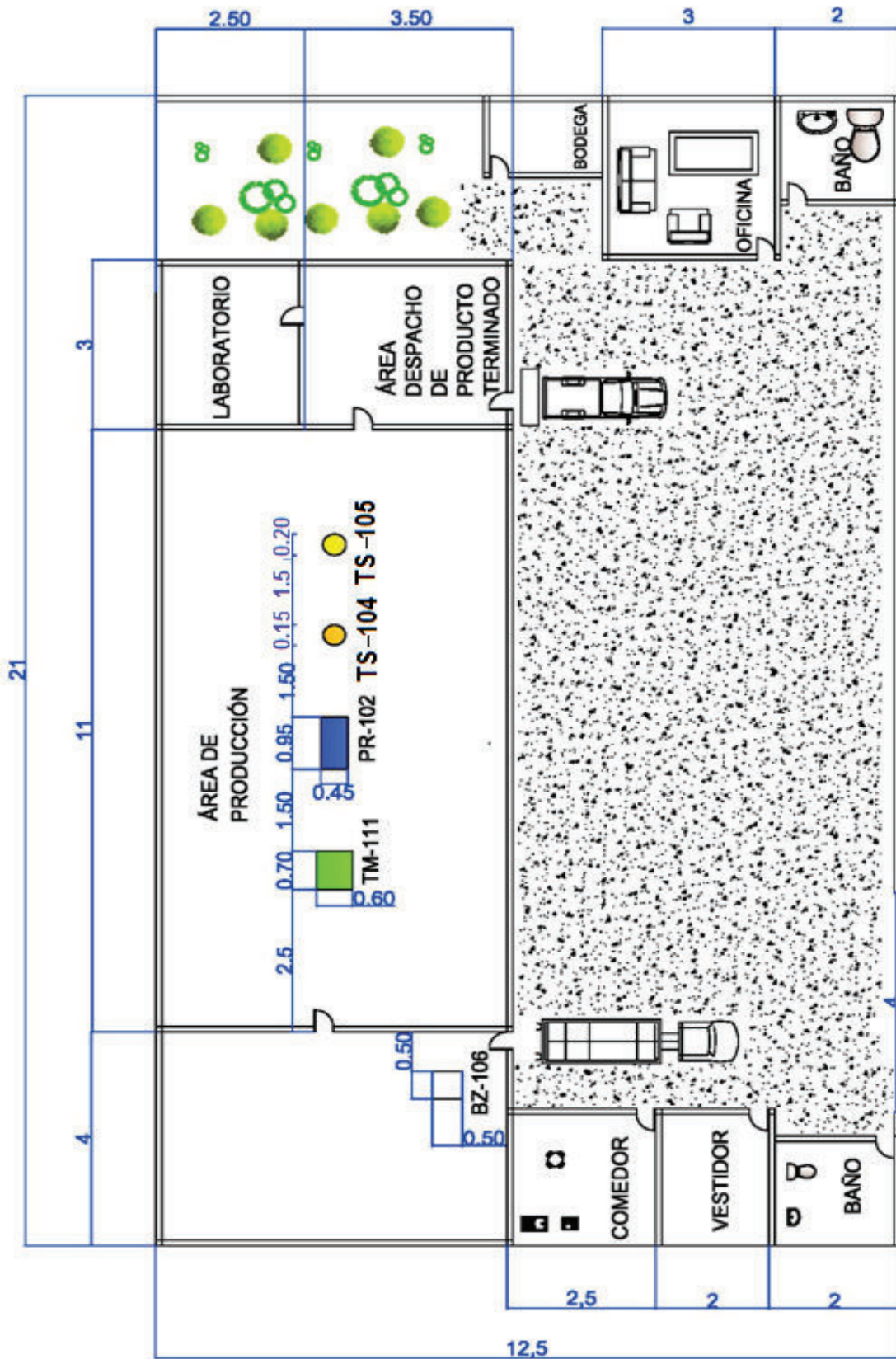


Figura 3.8. Distribución de los equipos en la planta (LAY OUT)

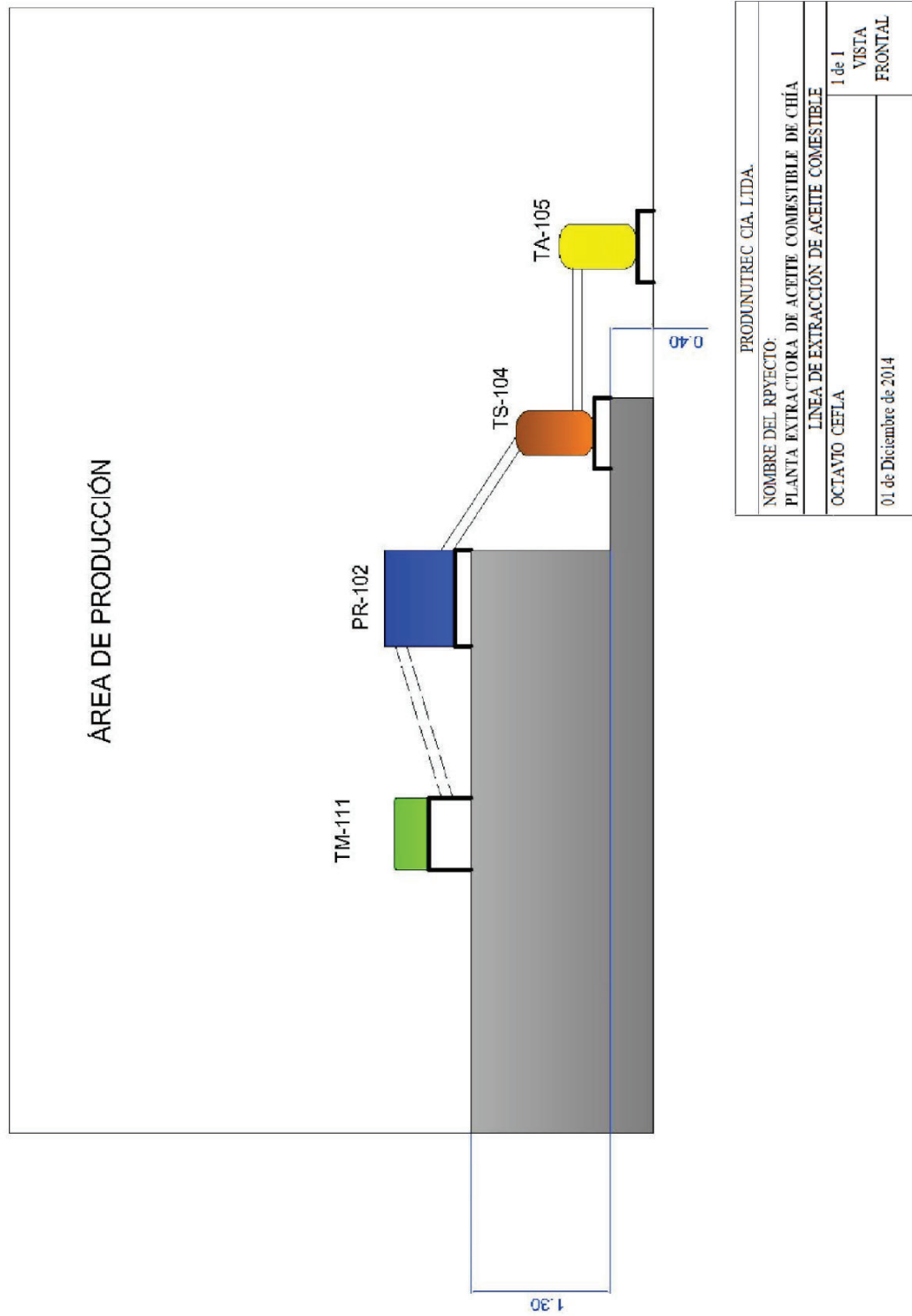


Figura 3.9. Vista frontal del área de producción



### 3.3.6.1 Área de producción

En la Tabla 3.19 se presentan los equipos con las dimensiones respectivas:

**Tabla 3.19** Dimensiones de los equipos de la planta de extracción de aceite de chía

EQUIPO	DIMENSIONES
Tamizadora	0,60 m de ancho 0,70 m de largo 1,20 m de altura
Prensa expeller	0,450 m de ancho 0,950 m de largo 0,630 m de altura
Tanque de sedimentación	0,150 m de ancho 0,150 m de largo 0,230 m de altura
Tanque de envasado	0,200 m de ancho 0,200 m de largo 0,245 m de altura

Cabe mencionar que el filtro que se utiliza para retener las semillas trituradas provenientes de la prensa expeller se encuentra empotrado en la parte superior del tanque de sedimentación; por lo tanto, el filtro tiene un radio equivalente al radio del tanque de sedimentación.

El piso del área de producción está diseñado de hormigón armado con acabado semi-liso para evitar deslizamientos y un desnivel de cinco grados de inclinación para facilitar la limpieza de los equipos y de la sala de producción.

### 3.3.6.2 Área de recepción y almacenamiento

En esta área se encuentra ubicada la balanza, cuyas dimensiones son: 0,5 m de largo, 0,5 m de ancho y 1,2 m de altura; el equipo es movable, ya que se puede desplazar para pesar la materia prima que llega a la planta, y también sirve para pesar las semillas que se van a procesar diariamente.

### **3.3.6.3 Área de almacenamiento**

En el área de almacenamiento del producto terminado no se encuentra ningún equipo, pero si se almacenan los materiales para el empaque y distribución del producto.

### **3.3.7 UBICACIÓN DE LA PLANTA**

La planta será construida en la parroquia Los Tres Naranjos del cantón Cumandá, perteneciente a la provincia de Chimborazo. El lugar posee accesos de primer orden y servicios básicos de agua y energía eléctrica para su funcionamiento.

La chía (*Salvia hispanica L.*) destinada a la extracción del aceite, será transportada desde las provincias de Bolívar y los Ríos, éstas se trasladarán mediante un camión de abastecimiento, pero se efectuarán estudios preliminares para tener plantaciones propias localizadas a 7 km de la planta extractora y se cuenta con una carretera de segundo orden para el transporte de la materia prima.

### **3.3.8 REQUERIMIENTO DE PERSONAL EN LA PLANTA**

La planta fue diseñada a escala piloto; una persona estará encargada de las áreas de recepción, producción y almacenamiento del producto. La planta operará de lunes a viernes en turnos de 8 h diarias.

De la administración de la planta estará encargada una persona, quien entre sus funciones principales se encargará del área de logística, provisión de materia prima y distribución del producto.

### 3.4 EVALUACIÓN DE PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE VEGETAL DE CHÍA

El propósito de la evaluación de pre factibilidad de la planta es obtener valores cuantitativos del proyecto a invertir, con los cuales poder tomar las decisiones más adecuadas en benéfico del proyecto a lo largo de la inversión y funcionamiento de la planta. Para el análisis de pre factibilidad del proyecto se toma un precio referente de 21 dólares por botella de 0,5 litros de aceite de chía.

En el Anexo XII se detallan los valores de los activos fijos y demás rubros considerados para el cálculo de la evaluación de pre factibilidad económica de la planta de extracción de aceite vegetal de chía.

#### 3.4.1 INVERSION TOTAL

Los resultados del total de inversiones se presentan en la Tabla 3.20

**Tabla 3.20.** Tabla de las inversiones del proyecto

<b>INVERSION TOTAL</b>		
<b>Rubros</b>	<b>Valor (USD)</b>	<b>%</b>
Inversiones fijas	55 759	69,47
Capital de trabajo	24 505	30,53
<b>Total</b>	<b>80 264</b>	<b>100,00</b>

El 85 % del proyecto se financia con recursos de terceros, mediante un crédito para financiar el primer año de operaciones de la planta. En la inversión total se consideró todos los recursos necesarios para el normal funcionamiento de la planta como son: financieros, tangibles, intangibles y humanos.

### 3.4.1.1 Inversión fija

En la inversión tangible se incluyó los activos diferidos relacionados con la planta de extracción, así como también se consideró el 2 % del total de activos fijos como imprevistos. En la Tabla 3.21 se resumen los valores de los activos fijos del proyecto.

**Tabla 3.21.** Tabla de las inversiones fijas del proyecto

<b>INVERSIÓN FIJA</b>		
<b>RUBROS</b>	<b>VALOR (USD)</b>	<b>%</b>
Terreno y construcciones	16 750	30,04
Maquinaria y equipo	34 158	61,26
Activos diferidos	3 758	6,74
Subtotal	54 666	98,04
Imprevistos (2%)	1 093	1,96
<b>Total</b>	<b>55 759</b>	<b>100,00</b>

### 3.4.1.2 Activos diferidos

En los activos diferidos se consideraron las inversiones necesarias para la constitución de la planta de extracción de aceite de chía como empresa. En la Tabla 3.22 se resumen los valores de los activos diferidos.

**Tabla 3.22.** Activos diferidos

<b>INVERSIÓN DIFERIDOS</b>	
<b>RUBROS</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Gasto puesta en marcha	508
Constitución de la sociedad	1 100
Gasto de patente	250
Muebles de oficina	1 800
Suministros de oficina	100
<b>Total</b>	<b>3 758</b>

### 3.4.1.3 Capital de trabajo

En la Tabla 3.23 se indica el capital de trabajo necesario para el funcionamiento de la planta.

**Tabla 3.23.** Capital de trabajo

<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	
<b>RUBROS</b>	<b>VALOR (USD)</b>
<b>Materiales directos</b>	
Materia prima	14 502
<b>Mano de obra directa</b>	
Trabajador de planta	1 365
<b>Carga fabril</b>	8 266
<b>Gastos de administración</b>	72
<b>Gastos de venta</b>	300
<b>Total</b>	<b>24 505</b>

El capital de operación sirve para cubrir tres meses de funcionamiento de la planta, se realizó el cálculo del capital de trabajo para éste tiempo debido a el abastecimiento de la materia prima se ejecutará cada tres meses, y también este tiempo será prudente para empezar con la distribución y cobranza del producto terminado.

En el rubro de la carga fabril se considera la mano de obra indirecta, materia indirecta así como otras consideraciones como se detallan en el Anexo XII.

### 3.4.2 COSTOS ANUALES DE PRODUCCIÓN

En los gasto de administración se consideró la amortización de la constitución de la sociedad realizada para 10 años, y también la depreciación de los muebles de oficina realizado para 10 años.

En la Tabla 3.24 se presenta los costos anuales de producción.

**Tabla 3.24.** Costos anuales de producción

<b>COSTOS ANUALES DE PRODUCCIÓN</b>		
<b>RUBROS</b>	<b>VALOR</b>	<b>%</b>
<u>Materiales directos</u>	58 010	59,91
<u>Mano de obra directa</u>	5 460	5,64
<u>Gastos de administración</u>		
a) Depreciación de muebles de oficina	180	0,19
b) Amortización de constitución de la sociedad	110	0,11
<u>Carga fabril</u>		
a) Mano de obra indirecta	15 600	16,11
b) Materiales indirectos	5 914	6,11
c) Depreciación	4 029	4,16
d) Suministros	215	0,22
e) Preparación y mantenimiento	2 245	2,32
f) Seguros	4 491	4,64
g) Imprevistos (2%)	569	0,59
<b>TOTAL</b>	<b>96 823</b>	<b>100,00</b>

- **Costos de producción por unidad producida**

En la Tabla 3.25 se muestra el costo de producción por cada unidad (botella de aceite de 0,5 L).

**Tabla 3.25.** Costo de producción por cada unidad producida

<b>Unidades producidas (unidades)</b>	<b>Costo de producción total (USD)</b>	<b>Costo de producción por unidad (USD)</b>
5 760,00	96 823,00	16,81

### 3.4.3 FLUJO DE CAJA

La Tabla 3.26 muestra el flujo de caja realizado para el proyecto.

**Tabla 3.26.** Flujo de caja

<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>											
<b>AÑO</b>											
<b>CONCEPTO</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
<b>Inversión inicial</b>	<b>80263,42</b>										
<b>Ingreso por ventas</b>	<b>0</b>	<b>120 960</b>	<b>125 844</b>	<b>130 925</b>	<b>136 211</b>	<b>141 710</b>	<b>147 432</b>	<b>153 384</b>	<b>159 577</b>	<b>166 020</b>	<b>172 723</b>
Costos Directos	0	63 470	66 008	68 649	71 395	74 250	77 220	80 309	83 522	86 862	90 337
Carga Fabril	0	29 034	30 196	31 404	32 660	33 966	35 325	36 738	38 207	39 736	41 325
Gastos Ventas	0	1 200	1 248	1 298	1 350	1 404	1 460	1 518	1 579	1 642	1 708
Gastos Administrativos	0	286	297	309	321	334	347	361	376	391	406
<b>Costos Totales</b>	<b>0</b>	<b>93 990</b>	<b>97 749</b>	<b>101 659</b>	<b>105 726</b>	<b>109 955</b>	<b>114 353</b>	<b>118 927</b>	<b>123 684</b>	<b>128 631</b>	<b>133 777</b>
<b>UTILIDAD MARGINAL</b>	<b>0</b>	<b>26 970</b>	<b>28 095</b>	<b>29 266</b>	<b>30 485</b>	<b>31 756</b>	<b>33 079</b>	<b>34 458</b>	<b>35 893</b>	<b>37 389</b>	<b>38 947</b>
Impuestos	0	6 743	7 024	7 316	7 621	7 939	8 270	8 614	8 973	9 347	9 737
Valor Rescate Infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8 375
Valor Rescate Equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 792
<b>FLUJO NETO EFECTIVO</b>	<b>80 263,42</b>	<b>20 228</b>	<b>21 071</b>	<b>21 949</b>	<b>22 864</b>	<b>23 817</b>	<b>24 809</b>	<b>25 843</b>	<b>26 920</b>	<b>28 042</b>	<b>41 377</b>

### 3.4.4 VALOR ACTUAL PRESENTE (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Los indicadores financieros utilizados para evaluar la pre factibilidad del proyecto son la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

Previo los cálculos del valor neto actual y de la tasa interna de retorno, se determinó el valor de la tasa de descuento, para lo cual se tomaron los datos proporcionados por el Banco Central del Ecuador para las tasas de interés, riesgo país y los valores de la inflación del año 2014. En el Anexo XII se detallan los cálculos de la tasa de descuento.

$$i = 13,47 \%$$

A la tasa de descuento se lo considera como el costo alternativo o costo de oportunidad del capital de inversión a invertir en una entidad financiera, este valor puede variar dependiendo de la entidad financiera donde se quiera destinar la inversión (Gómez y Jurado, 2001, p. 82).

Para el cálculo del VAN y el TIR se tomaron los datos de la inversión total, el flujo de caja obtenido anteriormente en la evaluación de la pre factibilidad económica.

En la Tabla 3.27 se presentan los valores de los indicadores económicos calculados para el proyecto. En el Anexo XII se muestran los detalles y fórmulas utilizadas en el cálculo de VAN y TIR.

**Tabla 3.27.** Indicadores financieros del proyecto

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
VAN	48 174,74	USD
TIR	33,98	%

Se requiere una inversión de \$80 264 para la creación de una planta a escala piloto para extracción de aceite comestible de aceite vegetal de chía, con una producción de 2 880 L anualmente, equivalente a 5 760 botellas de 0,5 litros anualmente. Con los antecedentes dichos se obtiene un VAN positivo como se muestra en la tabla 3.25, de lo cual se puede deducir que el proyecto es rentable o factible (Gómez y Jurado, 2001, p. 84).

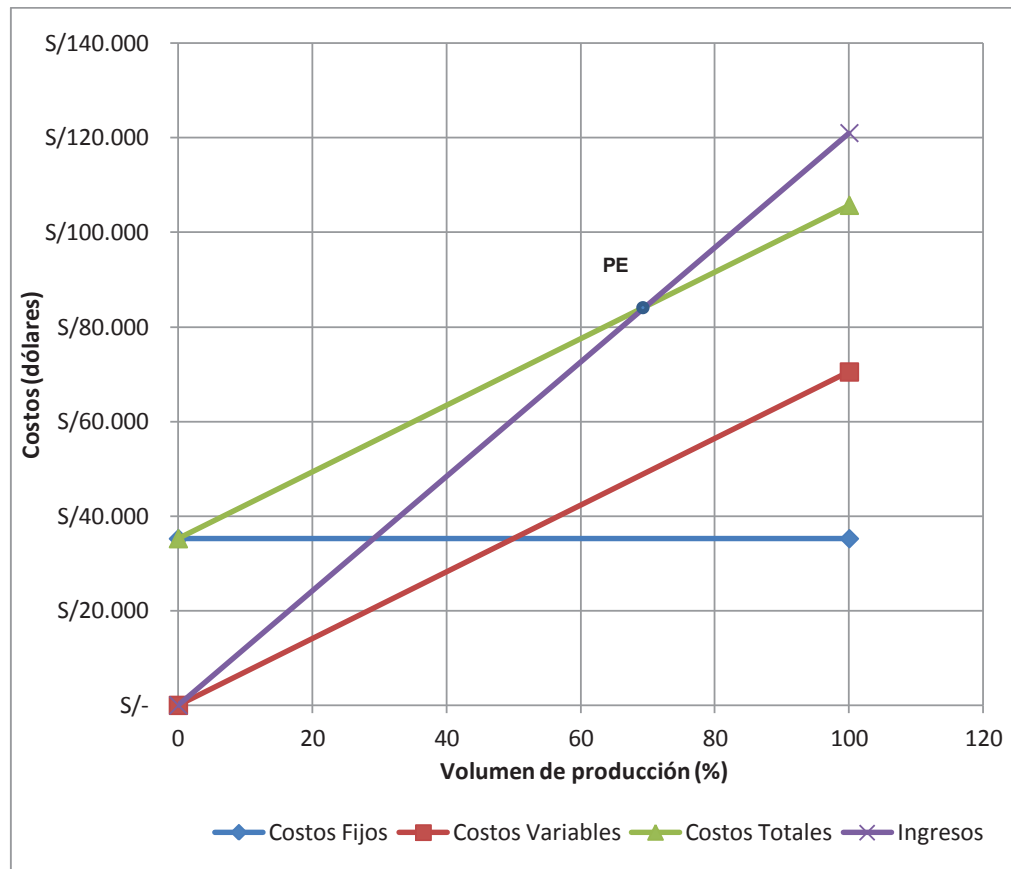
Adicionalmente, se obtuvo la tasa interna de retorno de 33,98 %; al comparar con la tasa de descuento cuyo valor es de 13,47 %, se puede deducir que el interés generado en el proyecto es mayor en comparación al posible valor generado al invertir en una institución financiera.

La tasa interna de retorno (TIR) es el indicador financiero más confiable para determinar la pre factibilidad económica de un proyecto, ya que compara con otra tasa de oportunidad del capital a invertir; es por eso que se puede decir que este proyecto es económicamente factible (Gómez y Jurado, 2001, p. 87).



### 3.4.5 PUNTO DE EQUILIBRIO (PE)

En la Figura 3.10 se ilustra el gráfico elaborado para determinar el punto de equilibrio.



**Figura 3.10.** Punto de equilibrio

El punto de equilibrio se calculó para el año 2015, el cual será el primer año de funcionamiento de la planta de extracción de aceite. En el Anexo XII se detalla el cálculo de punto de equilibrio que se realizó mediante ecuaciones deducidas a partir de la Figura 3.10.

El punto de equilibrio es la intersección donde el ingreso total por el volumen de producción elaborado es igual a los costos totales demandados por la planta de extracción de aceite de chía (Gómez y Jurado, 2001, p. 88).

El valor del punto de equilibrio para el volumen de producción fue de 69,77 %, lo que significa que se debe producir 4 019 unidades anualmente según los siguientes cálculos.

$$\text{Unidades producidas en el punto de equilibrio} = 69,77\% \times P_T \quad [3.10]$$

Entonces.

$$\text{Unidades producidas en el punto de equilibrio} = 0,6977 \times 5760 \approx 4019$$

Donde:

$P_T$  = Producción de unidades totales

En la Tabla 3.28 se presentan los valores donde se equilibran costos totales y unidades de producción.

**Tabla 3.28.** Punto de equilibrio del costo de producción y del ingreso total

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES
Punto de equilibrio de ingreso total	71831,18	USD
Punto de equilibrio de volumen de producción	4019	Envases de aceite de 0,5 litros

Para cubrir los costos totales incurridos en la planta de extracción se debe producir 4 019 unidades anualmente, con el cual se obtiene un ingreso de 71 831,18 dólares, pero el dimensionamiento de la planta está realizada para producir 5 760 unidades, con una ganancia de \$ 120 960 anuales.

En síntesis, para que la planta genere ganancias se debe producir más de 4 019 envases de aceite, mientras que si se producen valores menores, la planta ocasionara pérdidas.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

1. Las propiedades físico-químicas de las semillas de chía como el color, humedad, extracto etéreo, contenido de proteínas, entre otras propiedades, difieren dependiendo del lugar donde se cultive ya que exponen a diferentes condiciones climáticas y labores agrícolas. Las propiedades más importantes para obtener rendimientos óptimos de extracción son el contenido de extracto etéreo y una humedad adecuada de las semillas.
2. Por el resultado presentado en el punto de humo el aceite de chía no puede ser utilizado para frituras, ya que en temperaturas mayores de 185 °C el aceite se empieza a deteriorar y presenta características organolépticas desagradables.
3. La extracción de aceite comestible de chía mediante prensado presentó el máximo rendimiento de 24,80 % cuando se trabajó a una temperatura de 64 °C y el diámetro de la boquilla de la prensa de 0,010 m.
4. El aceite de chía presentó un alto grado de insaturación, debido a las concentraciones de ácidos grasos mono y poli insaturados como los ácidos palmítico (omega-9), linoleico (omega-6) y linolénico (omega-3) con valores de 3,7 %, 7,6 % y 82,8 %, respectivamente.
5. La cantidad de materia prima requerida diariamente por la planta es de 45,6 kg, para producir 12 L de aceite.
6. Como residuo del proceso de extracción se obtiene una torta que contiene nutrientes que podrían ser aprovechados, como los minerales: hierro, calcio, sodio y zinc con 286,5 mg/kg, 5 159,7 mg/kg, 105,5 mg/kg y 38,3

mg/kg respectivamente. En la torta también se queda una cantidad considerable de extracto etéreo de 6,0 %.

7. La distribución de los equipos en la planta presentó una forma lineal y la planta se diseñó en desniveles, con el fin de aprovechar la gravedad para conducir el aceite a los diferentes equipos.
8. La superficie necesaria para la implementación de la planta fue de 262,5 m<sup>2</sup> y la localidad de establecimiento en la parroquia Los Tres Naranjos, del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo.
9. La producción diaria de aceite comestible de chía es 24 botellas con un contenido de 0,5 litros, el costo de producción de una unidad fue de \$ 16,8, mientras el costo de venta propuesto es de \$ 21.
10. Mediante los indicadores económicos del VAN y el TIR, se puede deducir que el proyecto es factible: el VAN de proyecto fue un valor positivo (48 174,7), mientras que el valor del TIR fue de 33,9 %, el cual es mayor en comparación con una tasa de oportunidad a invertir 13,4 %.
11. A través del punto de equilibrio se determinó que hay que producir 4 019 unidades anualmente para cubrir los costos de producción, por encima del este volumen de producción se generan ganancias en la planta de extracción de aceite comestible de chía.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- La torta que queda como residuo después de la extracción presenta propiedades nutricionales que pueden ser utilizadas para elaborar algún alimento destinado para la alimentación humana, así como también se puede producir alimentos destinados para animales en producción.
- Se recomienda realizar ensayos de extracción con temperaturas mayores a 64 °C para determinar otros rendimientos y posteriormente de la extracción realizar el análisis al aceite extraído para determinar si la temperatura afecta a las características químicas del aceite.
- Incentivar la implementación de este tipo de proyectos que por ser innovadores podrían alcanzar éxito en los mercados nacional e internacional.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alfonso, R. (2003). Remington Farmacia. (2da. Ed). Philadelphia, USA: Editorial Médica Panamericana.
2. Alvarado, D (2011). Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispanica L.*) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. *Revista de la universidad de Valle de Guatemala*, 23(1), 43-44
3. Ali, N., Keong, S., Ho, W., Kee, B., Tan, S. y Guan, S. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica L.* *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 12(3), 2-7. doi:10.1155/2012/171956
4. Arroyo, D. (2011). *Estudio investigativo de la chía y su aplicación a la gastronomía.* (Proyecto de titulación previo a la obtención de título de administrador gastronómico no publicado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
5. AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, Artington: USA.
6. APHA, AWWA, WEF. (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater.* (22da. ed.). California, USA: American Public Health Association.
7. Ayerza, R. (2013). Seed composition of two chia (*Salvia hispanica L.*) genotypes which differ in seed. *FOOD SCIENCE AND NUTRITION*, 25(7), 495-500. doi:10.9755/ejfa.v25i7.13569
8. Ayerza, R. y Coates, W. (2006). *Chía: Redescubriendo un alimento de los aztecas.* (1era. ed.) Buenos Aires, Argentina: Del Nuevo Extremo.

9. Ayerza, R. y Coates, W. (2007). Seed yield, oil content and fatty acid composition of three botanical sources of  $\omega$ -3 fatty acid planted in the Yungas ecosystem of tropical Argentina. *Tropical Science*, 47(4), 183-187. doi:10.1002/ts.211
10. Ayerza, R. y Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica*). *Industrial Crops and Products*. 34(1), 1366-1371. doi:10.1016/j.indcrop2010.12.007
11. Bailey, A. (2001). *Aceites y grasas industriales*. (2da. ed.) Barcelona, España: Reverté S.A.
12. Banco Central del Ecuador. (2014). *Asuntos Económicos*. Recuperado de <http://www.bce.fin.ec/index.php/nuevas-publicaciones1> (Noviembre, 2014).
13. Banco Central del Ecuador. (2014). *Grasas y aceites vegetales, y sus fracciones*. Recuperado de [http://www.portal.bce.fin.ec/vto\\_bueno/ComercioExterior.jsp](http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/ComercioExterior.jsp) (junio 2014).
14. Bandoni, A., (2000). *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: Su Aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. (1ra. ed.). Buenos Aires, Argentina: CYTED
15. Beerens, P. (2007). *Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries*. (Tesis de maestría no publicada). Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Países Bajos.
16. Bresson, J., Flynn, A., Heinonen, M., Hulshof, K., Korhonen, H., Lagiou, P., Lovik, M., Marchelli, R., Martin, A., Moseley, B., Przyrembel, H., Salminen, S., Strain, J., Strobel, S., Tetens, I., Berg, H., Loveren, H. y Verhagen, H. (2009). Opinion on the safety of Chía seeds (*Salvia*

*hispanica* L.) and ground whole Chia seeds as a food ingredient. *European Food Safety Authority*, 996(9), 1-26

17. Busilacchi, H., Quiroga, M., Bueno, M., Di Sapia, O., Flores, V. y Severin, C. (2013). Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos tropicales*, 34(4), 55-60.
  
18. Coates, W. (2013). Chía el increíble súper nutriente. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=IG3axiryv7MC&pg=PT26&dq=plantaciones+de+la+chia&hl=es&sa=X&ei=2mLaU8WjD8TooATwp4HIAg&ved=0CCkQ6AEwAQ#v=onepage&q=plantacions%20de%20la%20chia&f=false>
  
19. DECAB 01. (2007). *Método de Análisis. Determinación del contenido de Betacarotenos mediante HPLC*. Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología. Quito, Ecuador.
  
20. Devlin, T. (2004). *Bioquímica: Libro de texto con aplicaciones clínicas*. (4ta. ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
  
21. Días, J., Urbano, D. y Hernández, R. (2005). Teoría económica institucional y creación de empresas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economías*, 11(2), 45-53.
  
22. Di Sapia, O., Bueno, M., Busilacchi, H. y Severin, C. (2010). Chía: Importante antioxidante vegetal. Recuperado de [http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/1249/Chia\\_AM24.pdf?sequence=1](http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/1249/Chia_AM24.pdf?sequence=1) (Agosto, 2014)
  
23. EFSA. (2009). Opinion on the safety of Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) and ground whole Chia seeds as a food ingredient. Recuperado de [http://www.bfr.bund.de/cm/343/efsa\\_opinion\\_on\\_the\\_safety\\_of\\_chia\\_seeds\\_salvia\\_hispanica\\_l.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/343/efsa_opinion_on_the_safety_of_chia_seeds_salvia_hispanica_l.pdf) (Septiembre, 2014).



24. FAO, (2000). *Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias: Requisitos generales*. (2da. ed.). Roma, Italia: Food and Agriculture Organization.
25. FAO/OMS. (1993). Grasas y aceites en la nutrición humana. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=jK76GEHsdkAC&pg=PA39&dq=extraccion+de+aceites+vegetales+comestibles&hl=es&sa=X&ei=VDVBVJSuLKTLSASqnoK4Ag&ved=0CCUQ6AEwAg#v=onepage&q=extraccion%20de%20aceites%20vegetales%20comestibles&f=false> (Noviembre, 2014).
26. Farías, G., Brutti, O. y Politi, M. (2010). Evaluación de calidad comercial de frutos de "chía" (*Salvia hispanica* L.). *Revista Científica Agropecuaria*, 14(2), 13-17. Recuperado de [http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%20014/rca\\_14\\_2\\_pdf/RCA\\_186\\_final.pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%20014/rca_14_2_pdf/RCA_186_final.pdf) (Septiembre, 2014)
27. Gepp, V. (2013). Enfermedades foliares causadas por hongos Recuperado de [http://www.pv.fagro.edu.uy/cursos/pvh/DocsPVH/Hongos\\_foliares\\_Nema\\_Abiot.pdf](http://www.pv.fagro.edu.uy/cursos/pvh/DocsPVH/Hongos_foliares_Nema_Abiot.pdf) (Diciembre, 2014).
28. Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición: Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la nutrición*. (2da. ed.). Madrid, España: Panamericana.
29. Gómez, D. y Jurado, J. (2001). *Financiación Global de Proyectos: Project Finance*. (1ra. ed.). Madrid, España: ESIC
30. Gracia, I. (2001). *Obtención de aceite de orujo mediante extracción con fluidos supercríticos*. Cuenca, España: Universidad de Castilla-La Mancha
31. Hernández, M., y Sastre, A. (1999). *Tratado de nutrición*. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT278&dq=composicion+de+los+aceites+vegetales+comestibles&hl=es&sa=X&ei=PU>

jVUWgGoGwjALax4GQBg&ved=0CCMQ6AEwAg#v=onepage&q=composicion%20de%20los%20aceites%20vegetales%20comestibles&f=false (Julio, 2014).

32. Hernández, J. y Miranda, S. (2008). Caracterización Morfológica de Chía (*Salvia hispanica* L.). *Fitotec*, 31(2), 1.
33. ITACAB. (2013). Elaboración artesanal de aceite. Recuperado de [http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha\\_id=37](http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha_id=37) (Noviembre, 2014).
34. Ixmucane, D. (2011). Caracterización de la semilla del chan (*Salvia hispanica* L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Recuperado de [http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA\\_23\\_pag\\_43-49.pdf](http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA_23_pag_43-49.pdf) (Junio, 2014)
35. Ixtaina V., Nolasco S. y Tomás M. (2012). Oxidative Stability of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Oil: Effect of Antioxidants and Storage Conditions. *American Oil Chemists Society*, 89(2), 1077-1090. DOI 10.1007/s11746-011-1990-x
36. Ixtaina, V. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (salvia hispanica L.) Obtenida mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos.* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
37. Ixtaina, V., Martínez, M., Spotorno, V., Mateo, C., Maesrtri, D., Diehi, B., Nolasco, S. y Tomás, M. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 166-174. doi:10.1016/j.jfca.2010.08.006

38. Ixtaina, V., Mattea F., Cardarelli, D., Mattea M., Nolasco, S. y Tomás, M. (2011). Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Characterization of Argentinean Chia Seed Oil. *American Oil Chemists Society* 88(1), 289-298. doi: 10.1007/s11746-010-1670-2
39. Ixtaina, V., Vega, A., Nolasco, S., Tomás, M., Gimeno, M., Bázquez, E. y Tecante, A. (2010). Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.): Characterization and process optimization. *The Journal of Supercritical Fluids*, 55(2), 192-199. doi:10.1016/j.supflu.2010.06
40. King, J. y List, G. (1996). Supercritical Fluid technology in oil and Lipid Chemistry. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=W65QMeQPOB4C&pg=PA132&dq=extraction+of+edible+oils&hl=es&sa=X&ei=EzdBVPe5F6nksASN4oGIDw&ved=0CCIQ6AEwADgK#v=onepage&q=extraction%20of%20edible%20oils&f=false> (Noviembre, 2014)
41. Leon, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=NBtu79LJ4h4C&pg=PA345&dq=salvia+hispanica&hl=es&sa=X&ei=fqkZVJGcNcz9oQShgYLoBg&ved=0CB8Q6AEwAQ#v=onepage&q=salvia%20hispanica&f=false> (Septiembre, 2014).
42. López, J. (2003). *El Aceite de Oliva*. (1ra. ed.). Madrid, España: EDAF, S.A. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=HmywfS-3JFQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
43. Marineli, R., Aguiar, E., Alves, S., Teixeira, A., Nogueira, M. y Maróstica, M., (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*salvia hispanica* L.). *LWT – Food Science and Technology*, 23(4), 1-7. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.014

44. Martín, S., Ayuga, A. y Gonzales, C. (2005). *Guía completa de Statgraphics: Desde MS-DOS a statgraphics plus*. (1ra. ed.). Madrid, España: Díaz de Santos. Recuperado de [http://books.google.com.ec/books?id=gik3nYmbetwC&printsec=frontcover&dq=Gu%C3%ADa+completa+de+Statgraphics:+%28desde+MS-DOS+a+statgraphics+plus%29&hl=es&sa=X&ei=HHF-VI3LPIWygSI0III&ved=0CBwQ6wEwAA#v=onepage&q=Gu%C3%ADa%20completa%20de%20Statgraphics%3A%20\(desde%20MS-DOS%20a%20statgraphics%20plus\)&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=gik3nYmbetwC&printsec=frontcover&dq=Gu%C3%ADa+completa+de+Statgraphics:+%28desde+MS-DOS+a+statgraphics+plus%29&hl=es&sa=X&ei=HHF-VI3LPIWygSI0III&ved=0CBwQ6wEwAA#v=onepage&q=Gu%C3%ADa%20completa%20de%20Statgraphics%3A%20(desde%20MS-DOS%20a%20statgraphics%20plus)&f=false)
45. Martínez, M., Marín, M., Salgado, C., Revol, J., Penci, M. y Ribotta, P. (2012). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT – Food Science and Technology*, 47(2), 78-82. doi:10.1016/j.wt.2011.12.032
46. Miranda, F. (2012). Guía técnica para el manejo del cultivo de chia en Nicaragua. Recuperado de [http://cecoopsemein.com/Manual\\_de\\_poduccion\\_de\\_CHIA\\_SALVIA\\_HISPANICA.pdf](http://cecoopsemein.com/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HISPANICA.pdf) (Agosto. 2014).
47. Mesen, F., Gueva, A. y Jiménez, L. (1996). Guía técnica para la producción de semilla forestal certificada y autorizada. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Rd0OAQAIAAJ&pg=PA25&dq=frutos+indehiscentes&hl=es&sa=X&ei=sPGIVNypLuPLsAS3pYHQAw&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=frutos%20indehiscentes&f=false> (Diciembre, 2014).
48. Morán, O. y Ramírez, A. (1993). *Los productos de la palma africana y su control*. (1ra. ed.). Santo Domingo, Ecuador: INIAP
49. Muñoz, L., Cobos, A., Díaz, O. y Aguilera, J. (2013). Chia seed (*Salvia hispanica*): An ancient grain and a new functional food. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2013.818014> (Noviembre, 2014).

50. Murray, M., Birdsall, T., Pizzorno, J. y Reilly, P. (2010). La curación del cáncer. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=w2PKw5JFAvgC&pg=PA174&dq=quercetina&hl=es&sa=X&ei=GOWIVNC3GNTGsQS74oLgAw&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=quercetina&f=false> (Diciembre, 2014).
51. Naghi, M. (2005). *Metodología de la investigación*. (2da. ed.). México, México: Limusa, S.A.
52. Olivos, B., Valdivia, y Tecante A. (2010). Thermal and Physicochemical Properties and Nutritional Value of the Protein Fraction of Mexican Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology International*, 16(10), 89-96. doi:10.1177/1082013209353087
53. Ortiz, A., Fernández, M., Ferreres, F. y Barberán, F. (2010). Estudio sobre el contenido en flavonoides de las mieles de la alcarria: su aplicación a la caracterización Geográfico-Botánica. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=BxDHxb6Bc6sC&pg=PA22&dq=miricetina&hl=es&sa=X&ei=O-SIVN3YDfOZsQTVhoCoBA&ved=0CCgQ6AEwAw#v=onepage&q=miricetina&f=false> (Diciembre, 2014).
54. Ospina, J. (2001). *Caracterización Físico Mecánica y Análisis de Calidad de Granos*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
55. Parada, A. y Araya, M. (2010). El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca. *Rev Med Chile*, 138(1), 1322.
56. Pitchford, P. (2009). *Sanando con alimentos integrales: Tradiciones asiáticas y nutrición moderna*. (1ra. ed.). Madrid, España: GAIA.

57. Plank, R. (2005). *El empleo del frío en la industria de la alimentación*. (1er. ed.). Barcelona, España: Reverté.
58. Porras, A., Cabrera, J. y Soriano L. (1995). *Olivicultura y Elaiotecnia*. (1ra. ed.). Murcia, España: COMPOBELL, S.L.
59. Programa Conjunto FAO/OMS (1993). CODEX ALIMENTARIUS: Grasas y aceites y productos derivados. Recuperado de [http://books.google.com.ec/books?id=1FqavQNM0qUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=1FqavQNM0qUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) (Julio, 2014).
60. Ramírez, M. y Rojas, L. (2010). La necrosis, un mecanismo regulado de muerte celular. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180519015008> (Diciembre, 2014).
61. Raventós, M. (2010). Industria alimentario. Tecnologías emergentes. Recuperado de <http://books.google.com.ec/books?id=MNuk-7jKExlC&pg=PA131&dq=extraccion+con+fluidos+supercriticos&hl=es-419&sa=X&ei=H8VWVISOGMSBsQSo4oGQAg&ved=0CCsQ6AEwAw#v=onepage&q=extraccion%20con%20fluidos%20supercriticos&f=false> (Noviembre, 2014)
62. Riveros, H. (1997). *LA AGROINDUSTRIA RURAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: EL CASO DE LOS PAISES ANDINOS*. (5ta. ed.). Bogotá, Colombia: PRODAR
63. Roca, A., Cabrera, C., Lorenzo, M. y López, M. (2000). Niveles de calcio, magnesio, manganeso, zinc, selenio y cromo en aceites de oliva comerciales en Andalucía. *Grasas y Aceites*, 51(6), 393-399.

64. Rodríguez, V. y Magro, E. (2008). *Bases de la alimentación humana*. (1ra. ed.). Madrid, España: Reverté
65. Rovati, A., Escobar, E. y Prado, C. (2010). Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.). *EEAOC – Avance Agroindustrial*, 33(3), 39-43. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/269/20121114121551000000.pdf> (Octubre 2014)
66. Salgado, M., Cedillo, D. y Beltrán, M. (2005). Estudio de las propiedades Funcionales de la Semilla de Chía (*Salvia hispanica*) y de la Fibra Dietaria Obtenida de la Misma. *VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de alimentos*. (p. 358-366). Guanajuato, México.
67. Sapag Chain, N. (2003). *Preparación y evaluación de proyectos*. (4ta. ed.). México, México: McGraw-Hill Interamericana.
68. Shahidi, F. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. (6ta. ed.). California, USA: John Wiley and Sons, Inc.
69. Simopoulos, A. (2004). Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio and Chronic Diseases. *Food Reviews International*, 20(1), 77-90. doi:10.1081/FRI-120028831
70. Snodgrass, K. (1982). Copra and coconut oil. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=O0OsAAAAIAAJ&pg=PA23&dq=copra&hl=es&sa=X&ei=D\\_eIVKnnNcqxggSuloGgCQ&ved=0CDoQ6AEwBA#v=onepage&q=copra&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=O0OsAAAAIAAJ&pg=PA23&dq=copra&hl=es&sa=X&ei=D_eIVKnnNcqxggSuloGgCQ&ved=0CDoQ6AEwBA#v=onepage&q=copra&f=false) (Diciembre, 2014)
71. Torres, L. (2001). *Tratado de cuidados Críticos y Emergencias*. (1ra. ed.). Madrid, España: ARÄN.

72. Tuberoso, C., Kowalczyk, A., Sarritzu, E. y Cabras, P. (2006). Determination of antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *ScienceDirect*, 103(7), 1494-1501. doi:10.1016/j.foodchem.2006.08.014
73. Unidad de Normativa Técnica. (1999). Simbología de equipos de proceso. *PEMEX: Explotación y Producción*, 1(1), 20-21.
74. Valcárcel, M. y Gómez, A. (1988). *Técnicas Analíticas de Separación*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Reverté.
75. Valderrama, J. (1994). Industrialización de la higuera o planta de ricino parte II: extracción de aceite. *Información tecnológica*, 5(3), 91-97
76. Vasudevan, D., Sreekumari, S. y Valdyanathan K. (2011). *Texto de Bioquímica*, (6ta. ed.). México. México: Cuéllar Ayala.
77. Vega, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: Andrés Bello.
78. Vormel, W. (2009). Designing a Process Flowsheet. *CEP Magazine*, 5(1), 15-17.



## **ANEXOS**

## ANEXO I

**CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS SEMILLAS DE CHÍA**  
*(Salvia hispanica L.)*

**Figura AI.1.** Semillas de chía utilizadas en el proceso



**Figura AI.2.** Semillas de chía clasificadas según el color

## ANEXO II

**INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL  
REALIZADO A LAS SEMILLAS DE CHÍA Y A LOS RESIDUOS DE  
LOS DIFERENTES PROCESOS DE EXTRACCIÓN**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**  
 Campus Politécnico José Rubén Orfano Ricuarte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño. Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Ing. Silvia Oleas. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [silvia.oleas@epn.edu.ec](mailto:silvia.oleas@epn.edu.ec)  
 Tita. Elizabeth Venezas. Telf.: 2507 144 ext. 2272. e-mail: [elizabeth.venezas@epn.edu.ec](mailto:elizabeth.venezas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO**

ORDEN: DC-OTI0221-2014

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

Descripción de las muestras	Código de las muestras
M1 torta de chia T1B1	DC-OTI0221-2014
M2 torta T1B2	DC-OTI0221-2014
M3 torta T2B1	DC-OTI0221-2014
M4 torta T2B2	DC-OTI0221-2014
M5 semillas de chia	DC-OTI0221-2014

RESULTADOS

Muestra	Analito	Unidades	Resultados	Método
M1 torta de chia T1B1	Humedad		10,62	AOAC 934.01
	Cenizas		6,66	AOAC 923.03
	Fibra cruda	% (g/100g)	13,52	ICC # 113
	Extracto Etéreo		7,77	VELP SCIENTIFICA SER 148
	Proteína		21,10	AOAC 2001.11
	Carbohidratos totales por diferencia		53,85	FAO
	Valor calórico	Kcal/100g	370	FAO
M2 torta T1B2	Humedad		10,81	AOAC 934.01
	Cenizas		6,51	AOAC 923.03
	Fibra cruda	% (g/100g)	12,96	ICC # 113
	Extracto Etéreo		10,18	VELP SCIENTIFICA SER 148
	Proteína		19,72	AOAC 2001.11
	Carbohidratos totales por diferencia		52,78	FAO
	Valor calórico	Kcal/100g	382	FAO
M3 torta T2B1	Humedad		10,06	AOAC 934.01
	Cenizas		6,46	AOAC 923.03
	Fibra cruda	% (g/100g)	15,39	ICC # 113
	Extracto Etéreo		6,07	VELP SCIENTIFICA SER 148
	Proteína		22,72	AOAC 2001.11



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB )**

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Ing. Silvia Oleas. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [silvia.oleas@epn.edu.ec](mailto:silvia.oleas@epn.edu.ec)  
 Tita. Elisabeth Venegas . Telf.: 2507 144 ext. 2272 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



Muestra	Analito	Unidades	Resultados	Método
M3 torta T2B1	Carbohidratos totales por diferencia	% (g/100g)	54,69	FAO
	Valor calórico	Kcal/100g	364	FAO
M4 torta T2B2	Humedad		10,88	AOAC 934.01
	Cenizas		6,51	AOAC 923.03
	Fibra cruda	% (g/100g)	13,75	ICC # 113
	Extracto Etéreo		8,02	VELP SCIENTIFICA SER 148
	Proteína		21,72	AOAC 2001.11
	Carbohidratos totales por diferencia		52,87	FAO
	Valor calórico	Kcal/100g	371	FAO
M5 semillas de chia	Humedad		9,07	AOAC 934.01
	Cenizas		5,22	AOAC 923.03
	Fibra cruda		18,27	ICC # 113
	Extracto Etéreo	% (g/100g)	29,57	VELP SCIENTIFICA SER 148
	Proteína		16,04	AOAC 2001.11
	Carbohidratos totales por diferencia		40,10	FAO
	Valor calórico	Kcal/100g	446	FAO

**COMENTARIOS:**

Ninguno

**PROFESIONAL RESPONSABLE DEL ANALISIS**

.....  
 Dra. Susana Fuentes

**QUEJAS Y SUGERENCIAS**

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe, u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB, o de la persona Encargada de Recepción de Muestra y Atención al Cliente, ya sea en forma verbal o en forma escrita hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el Servicio al Cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas, tal como se las entrega.

## ANEXO III

### CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO, EXTRACCIÓN DEL ACEITE Y BOQUILLAS UTILIZADAS EN EL PROCESO

#### CALCULO DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO

El cálculo del rendimiento se realizo con base en la cantidad de aceite obtenido y la cantidad de materia prima que se utilizo en cada uno de los proceso de extracción, para cada extracción se utilizo 1 kg de semillas y se calculo le rendimiento como se muestra en el ejemplo de cálculo a continuación.

Para mostrar los cálculos realizados se tomo una de las dos pruebas de extracción con condiciones de operación  $T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $B_1 = 0,01 \text{ m}$  ( $T_1B_1$ ), y se obtuvo 0,249 L, pero de este valor luego de la decantación del aceite se obtuvo 0,002 L aproximadamente de remanente, lo cual representa que en el aceite que se extrae se tiene 0,80 % de impurezas que se les denomino como lodos residuales del aceite. Con la ecuación [Al.1] se calcula la masa obtenida de aceite.

$$0,247 \text{ L} \times \frac{1000\text{cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{0,929 \text{ g}}{1\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 0,229463 \text{ Kg} \quad [\text{AIII.1}]$$

Con la ecuación [Al.2] se cálculo el rendimiento, entonces:

$$\eta = \frac{0,2294 \text{ Kg}}{1 \text{ Kg}} \times 100 = 22,94\% \quad [\text{AIII.2}]$$



**Figura AIII.1.** Extracción del aceite de chía.



**Figura AIII.2.** Boquillas de la prensa expeller utilizadas en la extracción

## ANEXO IV

**INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO  
REALIZADO AL ACEITE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)**



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**  
 Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Ing. Silvia Oleas. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [silvia.oleas@epn.edu.ec](mailto:silvia.oleas@epn.edu.ec)  
 Tigo. Elisabeth Venegas . Telf.: 2507 144 ext. 2272 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO**

ORDEN: DC-OTI0330-2014

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

Descripción de la muestra	Código de la muestra
ACEITE DE CHIA	DC-OTI0330-2014

RESULTADOS:

Muestra:	Analito	Unidades	Resultados	Método
ACEITE DE CHIA	Índice de acidez	mg.KOH/g.aceite	3,0	INEN # 38
	Índice de peróxido	meq. O <sub>2</sub> /Kg. aceite	2,3	AOAC 965.33
	Índice de yodo(WIJS)	cgI/g	157	AOAC 920.159
	Índice de saponificación	mg KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa	183	AOAC 920.160
	Índice de refracción	n	1,4809	AOAC 921.08
	Densidad relativa (20°/ 20°)	g/cc	0,9290	AOAC 920.212

COMENTARIOS:

1.- Se reporta la media de dos determinaciones de cada analito.

PROFESIONAL RESPONSABLE  
DEL ANÁLISIS

-----  
Dra. Susana Fuertes

QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe, u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB, o de la persona Encargada de Recepción de Muestra y Atención al Cliente, ya sea en forma verbal o en forma escrita hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el Servicio al Cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero sí se responsabiliza de las muestras recibidas, tal como se las entrega.

## ANEXO V

**INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MINERALES  
REALIZADO AL ACEITE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)**



**INFORME DE RESULTADOS**

INF.DIV-FQ.16639

SA 18250a

<b>Cliente:</b>	CEFLA OCTAVIO	<b>Lote:</b>	----
<b>Dirección:</b>	CONOCOTO LA ARMENIA	<b>Fecha Elaboración:</b>	----
<b>Muestreado por:</b>	El Cliente	<b>Fecha Vencimiento:</b>	----
<b>Muestra de:</b>	ALIMENTO	<b>Fecha Recepción:</b>	16/09/2014
<b>Descripción:</b>	ACEITE DE CHIA	<b>Hora Recepción:</b>	13:45
		<b>Fecha Análisis:</b>	22/09/2014
		<b>Fecha Entrega:</b>	26/09/2014
		<b>Código:</b>	----

Características Muestra	
<b>Color:</b>	Característico
<b>Olor:</b>	Característico
<b>Estado:</b>	Líquido
<b>Contenido Declarado:</b>	100cc
<b>Contenido Encontrado:</b>	-----
<b>Observaciones:</b>	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio

**RESULTADO FISICO-QUIMICO**

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO INTERNO	METODO DE REFERENCIA
CENIZA	%	0,04	MFQ-03	AOAC 923.03
HIERRO	mg/Kg	3,63	MFQ-67	AOAC 944.02
CALCIO	mg/Kg	2558,01	MFQ-66	APHA 3500-Ca
SODIO	mg/Kg	0,83	MFQ-68	APHA 3500-Na
ZINC	mg/Kg	0,00	MFQ-95	APHA 3500-Zn



  
 Dr. Bladimir Acosta  
 GERENTE GENERAL



## ANEXO VI

## INFORME DE RESULTADOS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS REALIZADO AL ACEITE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)



### INFORME DE RESULTADOS

INF. LASA 29-08-14-2870  
ORDEN DE TRABAJO No. 0021485-14

**SOLICITADO POR:** KLEVER OCTAVIO CEFLA MIRANDA  
**DIRECCIÓN:** CONOCOTO-LA ARMENIA II  
**TELÉFONO / FAX:** 0984021941  
**TIPO DE MUESTRA:** ALIMENTO  
**PROCEDENCIA:** POLITÉCNICA NACIONAL  
**IDENTIFICACIÓN:** ACEITE CRUDO DE CHÍA

**FECHA RECEPCION:** 18/08/2014  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 18/08-29/08/2014  
**FECHA DE ENTREGA:** 29/08/2014  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** UNA (1)  
**MUESTREO:** SOLICITANTE

**COD. MUESTRA:** 11868-14

### SCREENING DE ACIDOS GRASOS

CLASIFICACIÓN	PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO
ÁCIDOS GRASOS SATURADOS	Ácido Caprílico	0,00	%	PEE-LASA-FQ-47 AOAC 996.06 AOAC 963.22  CROMATOGRAFIA DE GASES
	Ácido Cáprico	0,00	%	
	Ácido Láurico	0,00	%	
	Ácido Tridecanoico	0,00	%	
	Ácido Mirístico	0,03	%	
	Ácido Pentadecanoico	0,00	%	
	Ácido Heptadecanoico	0,03	%	
	Ácido Estéarico	1,79	%	
ÁCIDOS GRASOS MONOINSATURADOS	Ácido Araquídico	0,08	%	
	Ácido Behénico	0,05	%	
	Ácido Miristoleico	0,00	%	
	Ácido Palmítoleico	0,10	%	
	Ácido Eláidico	0,00	%	
	Ácido Eicosenoico (OMEGA 9)	0,16	%	
	Ácido Erúico (OMEGA 9)	0,00	%	
	<b>Ac. Grasos saturados</b>	<b>5,71</b>	<b>%</b>	
	<b>Ac. Grasos mono insaturadas</b>	<b>3,87</b>	<b>%</b>	
	<b>Ac. Grasos poli insaturados</b>	<b>90,42</b>	<b>%</b>	
	<b>Grasa</b>	<b>99,9</b>	<b>%</b>	AOAC 989.85

  
Dr. Marco Guizar Ruales  
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012  
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815





## INFORME DE RESULTADOS

INF. LASA 29-08-14-2870  
ORDEN DE TRABAJO No. 0021483-14

**SOLICITADO POR:** KLEVER OCTAVIO CEFLA MIRANDA  
**DIRECCIÓN:** CONOCOTO-LA ARMENIA II  
**TELÉFONO / FAX:** 0984021941  
**TIPO DE MUESTRA:** ALIMENTO  
**PROCEDENCIA:** POLITÉCNICA NACIONAL  
**IDENTIFICACIÓN:** ACEITE CRUDO DE CHÍA

**FECHA RECEPCION:** 18/08/2014  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 18/08-29/08/2014  
**FECHA DE ENTREGA:** 29/08/2014  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** UNA (1)  
**MUESTREO:** SOLICITANTE

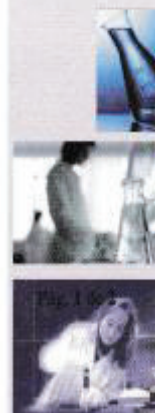
**COD. MUESTRA:** 11868-14

### ANÁLISIS DE EXTRACTO LIPÍDICO

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO
Acido Palmítico	3,73	%	PEE-LASA-FQ-47 AOAC 996.06 AOAC 963.22
Ácido Oléico (OMEGA 9)	3,61	%	
Ácido Linoléico (OMEGA 6)	7,60	%	
Ácido Linolénico (OMEGA 3)	82,82	%	

  
Dr. Marco Quijano Ruales  
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.  
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.



## ANEXO VII

## INFORME DE RESULTADOS DE BETA-CAROTENOS REALIZADO AL ACEITE Y A LA TORTA RESIDUAL DE CHÍA



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**  
 Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
 Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2507 138  
 Personas de Contacto: Dra. Irma Paredes. Telf.: 2507 144 ext. 2490 e-mail: [irma.paredes@epn.edu.ec](mailto:irma.paredes@epn.edu.ec)  
 Tiga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2507 144 ext. 2272 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)  
 Quito- Ecuador



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OTI0331-2014  
 Cliente: PROYECTO DE TITULACIÓN

#### IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

No. muestra	Muestra	Servicio/Analito	Laboratorio
2	M1 – pasta de chía M2 – aceite de chía	Beta carotenos	Química de alimentos y nutrición

#### RESULTADOS

Muestra	Servicio/Analito	Resultado	Unidades	Método
1	Beta carotenos	LND	mg/100 g	Validado DECAB
2		LND		
		0.0186		
		0.0200		

LND= Límite no detectable

#### COMENTARIOS:

- La muestra de aceite presenta valores cercanos al límite de detección: 0.002 mg/100g . El análisis se valida realizando recuperaciones de betacarotenos por duplicado con valores de recuperación de de 90% y 92%.

#### PROFESIONAL RESPONSABLE DEL ANÁLISIS O TRABAJO

\_\_\_\_\_

Ing. Mayra Anaguano

#### QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe, u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB, o de la persona Encargada de Recepción de Muestra y Atención al Cliente, ya sea en forma verbal o en forma escrita hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el Servicio al Cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas, tal como se las entrega.

## ANEXO VIII

**INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MINERALES  
REALIZADO LA TORTA RESIDUAL DEL PROCESO DE  
EXTRACCIÓN (*Salvia hispanica* L.)**



## INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.16640

SA 18250b

<b>Cliente:</b>	CEFLA OCTAVIO	<b>Lote:</b>	----
<b>Dirección:</b>	CONOCOTO LA ARMENIA	<b>Fecha Elaboración:</b>	----
<b>Muestreado por:</b>	El Cliente	<b>Fecha Vencimiento:</b>	----
<b>Muestra de:</b>	ALIMENTO	<b>Fecha Recepción:</b>	16/09/2014
		<b>Hora Recepción:</b>	13:45
<b>Descripción:</b>	TORTA RESIDUAL DEL EXTRACTO DE CHIA	<b>Fecha Análisis:</b>	22/09/2014
		<b>Fecha Entrega:</b>	26/09/2014
		<b>Código:</b>	----

Características Muestra	
<b>Color:</b>	Característico
<b>Olor:</b>	Característico
<b>Estado:</b>	Sólido
<b>Contenido Declarado:</b>	100g
<b>Contenido Encontrado:</b>	----
<b>Observaciones:</b>	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio

## RESULTADO FISICO-QUIMICO

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO INTERNO	METODO DE REFERENCIA
CENIZA	%	6,38	MFQ-03	AOAC 923.03
HIERRO	mg/Kg	286,58	MFQ-67	AOAC 944.02
CALCIO	mg/Kg	5159,75	MFQ-66	APHA 3500-Ca
SODIO	mg/Kg	105,50	MFQ-68	APHA 3500-Na
ZINC	mg/Kg	38,68	MFQ-95	APHA 3500-Zn



Dr. Bladimir Acosta  
GERENTE GENERAL

## ANEXO IX

### CÁLCULOS Y ECUACIONES DE LOS BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

#### BALANCE DE MASA

- **Producción de aceite por día**

$$\frac{534,95 \text{ t}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,5}{100} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ d}} \times \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ t}} = 11,15 \frac{\text{kg.aceite}}{\text{d}} \quad [\text{AX.1}]$$

El balance de masa se realizó con base en las ecuaciones [2.4], [2.5], [2.6], [2.7] y [2.8] señaladas en el capítulo 2.

- **Tanque de almacenamiento y envasado**

$$Acc = Ace \quad [\text{AX.2}]$$

Entonces:

$$Acc = \frac{11,150 \text{ kg}}{\text{d}} \quad [\text{AX.3}]$$

- **Tanque de sedimentación**

El porcentaje de los lodos fue de 1,2 %

$$Acl = \frac{11,150 \text{ kg}}{\text{d}} + \frac{11,150 \text{ Kg}}{\text{d}} \times \frac{1,2}{100} = 11,280 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \quad [2.7]$$

- **Filtro**

El porcentaje de la masa retenida en el filtración fue del 3 % en relación a la masa de alimentación total a la prensa expeller.

$$As = Set + Acl \quad [2.6]$$

$$Set = \frac{3}{100} \times Mp \quad [AX.4]$$

$$As = 0,030 \times Mp + 11,280 \frac{kg}{d} \quad [AX.5]$$

La masa de las semillas enteras y trituradas retenidas en el filtro va a depender del total de materia prima que se suministre a la prensa durante toda la extracción, pero esta masa no va influir en el rendimiento ni en otros cálculos, ya que ésta vuelve al proceso de extracción hasta que la masa de las semillas en el filtro sea prácticamente insignificante. El rendimiento se ha calculado en base a la masa total de materia prima.

$$As = 12,650 \frac{kg}{d}$$

- **Prensa expeller**

El rendimiento promedio del proceso fue de 24,74 %

$$Se = Ta + As \quad [2.5]$$

$$As = Se \times \eta \quad [AX.6]$$

$$As = Se \times \frac{24,74}{100} \quad [AX.7]$$

$$Se = 45,600 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$Ta = 32,95 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

- **Tamizadora**

Se produjeron pérdidas en la tamizadora de 0,011 %

$$Mp = Im + Se \quad [2.4]$$

$$Im = Se \times \frac{0,011}{100} \approx 0,005 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \quad [\text{AX.8}]$$

Entonces reemplazando las ecuaciones [AX.8] en la ecuación [2.4]:

$$Mp = 45,600 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times \frac{0,11}{100} + 45,600 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \quad [\text{AX.9}]$$

## BALANCE DE ENERGIA

El balance de energía realizo en la carcasa de la prensa expeller

$$Q = m_t Cp_t \Delta T_t \quad [\text{AX.10}]$$

$$Q_2 = 2,8 \text{ Kg} \times 510 \frac{\text{J}}{\text{Kg.K}} \times (337 - 288) \text{K} \quad [\text{AX.11}]$$

$$Q_2 = 69,97 \text{ Kj} \approx 0,0194 \text{ KWh}$$

Para el cálculo se considero la masa de la carcasa del tornillo de 2,8 kg, ya que, la masa de la caraca del tornillo representa aproximadamente 2 % del total de peso de la prensa expeller (Beernes, 2007, p. 14)

**ANEXO X****REPRESENTACIÓN DEL ACEITE ANTES Y DESPUÉS DEL  
PROCESO DE LA SEDIMENTACIÓN**

**Figura AX.1.** Aceite de chía antes del proceso de sedimentación

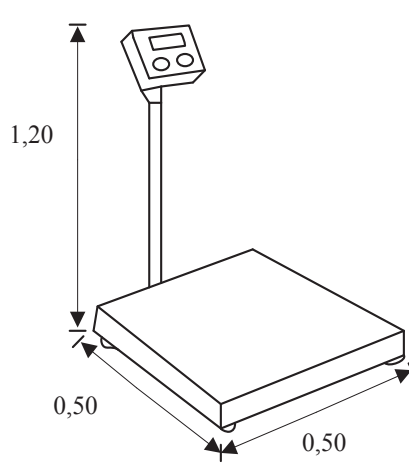


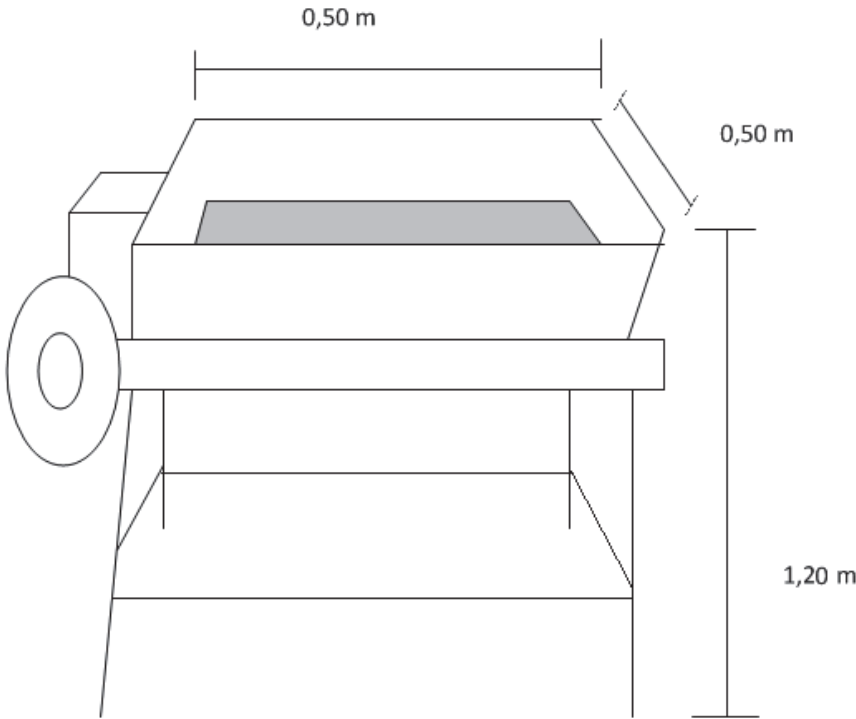
**Figura AX.2.** Aceite de chía después del proceso de sedimentación



## ANEXO XI

## FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Hoja de especificación N° 1	
Balanza	
<b>Identificación:</b>	<b>N° requerido: 1</b>
<b>Fabricante: S&amp;B Import.</b>	<b>Fecha: 17 de diciembre de 2014</b>
<b>Función:</b> Pesar la materia prima al ingreso de la bodega de almacenamiento, así como también pesar la cantidad necesaria de semillas requeridos para la producción diaria de aceite de chía.	
<b>Operación:</b> Batch	
<b>Datos del diseño:</b>	
<b>Longitud:</b> 0,50 m	
<b>Ancho:</b> 0,50 m	
<b>Altura:</b> 1,20 m	
<b>Peso:</b> 20 kg	
<b>Material:</b> Acero y plástico	
<b>Principio de operación:</b> Las semillas se colocan en la plataforma de la balanza y esta indica el peso de las semillas en un panel digital.	
<b>Esquema:</b>	
 <p>El diagrama muestra una balanza industrial con una plataforma cuadrada de 0,50 m de lado y una columna vertical de 1,20 m de altura que sostiene un panel digital.</p>	

<b>Hoja de especificación N° 2</b>	
<b>Tamizadora</b>	
<b>Identificación:</b>	<b>N° requerido:</b> 1
<b>Fabricante:</b> Equipos Industriales S.A.	<b>Fecha:</b> 17 de diciembre de 2014
<b>Función:</b> Retener las impurezas encontradas en las semillas.	
<b>Operación:</b> Batch	
<b>Datos del diseño:</b>	
<b>Longitud:</b> 0,50 m	
<b>Ancho:</b> 0,50 m	
<b>Altura:</b> 1,20 m	
<b>Peso:</b> 35 kg	
<b>Material:</b> Acero	
<b>Principio de operación:</b> Las semilla se colocan en la parte posterior de la tamizadora (malla), y por el movimiento accionado por un motor hace que las semillas pasen los orificios de la malla mientras las basuras de mayor tamaño quedan retenidas en la malla.	
<b>Esquema:</b>	
 <p style="text-align: center;">0,50 m</p> <p style="text-align: right;">0,50 m</p> <p style="text-align: right;">1,20 m</p>	

Hoja de especificación N° 3	
Prensa expeller	
<b>Identificación:</b>	<b>N° requerido:</b> 1
<b>Fabricante:</b> Zhengzhou Azeus Machinery Co., Ltd.	<b>Fecha:</b> 17 de diciembre de 2014
<b>Función:</b> Prensar las semillas para la extracción del aceite	
<b>Operación:</b> Semi-continuo	
<b>Datos del diseño:</b>	
<b>Longitud:</b> 0,95 m	
<b>Ancho:</b> 0,45 m	
<b>Altura:</b> 0,63 m	
<b>Peso:</b> 140 kg	
<b>Material:</b> Acero inoxidable	
<b>Principio de operación:</b> El tornillo de la prensa es accionado por un motor de 4 HP el cual gira para triturar y exprimir el aceite de las semillas.	
<b>Esquema:</b>	

Hoja de especificación N° 4	
Tanque de sedimentación	
<b>Identificación:</b>	<b>N° requerido:</b> 1
<b>Fabricante:</b> Equipos Industriales S.A	<b>Fecha:</b> 17 de diciembre de 2014
<b>Función:</b> Sedimentar los lodos presentes en el aceite de chía	
<b>Operación:</b> Batch	
<b>Datos del diseño:</b>	
<b>Longitud:</b> 0,15 m	
<b>Ancho:</b> 0,15 m	
<b>Altura:</b> 0,23 m	
<b>Peso:</b> 20 kg	
<b>Material:</b> Acero inoxidable	
<b>Principio de operación:</b> El aceite proveniente de la prensa expeller ingresa al tanque por la parte superior donde está ubicado un filtro para retener las semillas y luego el aceite se almacena y se sedimenta los lodos en la parte inferior del tanque.	
<b>Esquema:</b>	
<p style="text-align: center;">0,15 m</p> <p style="text-align: center;">0,220 m</p> <p style="text-align: center;">0,010 m</p> <p style="text-align: right;">Flujo de aceite</p>	

<b>Hoja de especificación N° 5</b>	
<b>Tanque de almacenamiento y envasado</b>	
<b>Identificación:</b>	<b>N° requerido:</b> 1
<b>Fabricante:</b> Equipos Industriales S.A	<b>Fecha:</b> 17 de diciembre de 2014
<b>Función:</b> Almacenar y facilitar el envasado del aceite de chía	
<b>Operación:</b> Batch	
<b>Datos del diseño:</b>	
<b>Longitud:</b> 0,200 m	
<b>Ancho:</b> 0,200 m	
<b>Altura:</b> 0,305 m	
<b>Peso:</b> 30 kg	
<b>Material:</b> Acero inoxidable	
<b>Principio de operación:</b> El aceite llega al tanque de sedimentación, posteriormente se almacena y se envasado por la parte inferior del tanque.	
<b>Esquema:</b>	
<p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 150px;">← 0,20 m →</span>  <span style="margin-right: 100px;">↑ 0,24 m ↓</span>  <span style="margin-right: 50px;">↓ 0,005 m ↓</span> </p>	

## ANEXO XII

### CÁLCULOS Y TABLAS DEL ANÁLISIS DE PRE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

#### INVERSIONES FIJA

- **Terrenos y construcciones**

En la Tabla AXII.1 se muestra los costos de lo terreno y de la obra civil

**Tabla AXII.1.** Costos del terreno y de la obra civil

Terrenos y equipos	
Rubros	Valor
Terreno	6 000
<b>Construcciones</b>	
Planta	7 000
Oficina	2 250
Cerramiento	1 000
Reservorio de agua	500
<b>Total</b>	<b>16 750</b>

- **Maquinaria y equipos**

El costo de los tanques de sedimentación, envasado y la tamizadora corresponde al valor del costo de fabricación en acero inoxidable que se obtuvo en la empresa “Equipos Industriales S.A.” y de la prensa expeller corresponde al costo del equipo y la importación.

En la Tabla AXII.2 se muestra los costos generados de los equipos.

**Tabla AXII.2.** Costos de los equipos y maquinaria

<b>Maquinaria y equipos</b>	
<b>Rubros</b>	<b>Valor</b>
Tamizadora	1 200
Balanza	200
Prensa expeller	2 000
Tanque de sedimentación	170
Tanque de envasado	180
Coche para transportar carga	70
Vehículo	30 000
Gastos de instalación	338
<b>Total</b>	<b>34 158</b>

- **Muebles de oficina (Activos diferidos)**

En la Tabla AXII.3 se muestra los costos diferidos

**Tabla AXII.3.** Costos de los equipos y muebles de oficina

<b>Equipos y muebles de oficina</b>		
<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (USD)</b>
Computador	1	1 000
Escritorios	1	300
Muebles	1	500
<b>Total</b>		<b>1 800</b>

## **CAPITAL DE TRABAJO**

En las Tablas AXII.4 y AXII.5 se muestra los costos de los costos directos del proyecto.

- **Materiales directos**

**Tabla AXI.4.** Costos de la materia prima

Materia prima	Cantidad	Costo/ton (USD)	Costo/anual (USD)
Semillas de chía	10,95	5 300,00	58 010

- **Mano de obra directa**

**Tabla AXI.5.** Costos del personal de planta

Personal	Cantidad	Sueldo mensual (USD)	Total anual (USD)
Semi-calificado	1	350	4 200
Carga sociales (30 %)			1 260
<b>Total</b>			<b>5 460</b>

En la mano de obra directa se considera una persona, la cual es necesaria para operar la planta, se considera el 30 % del sueldo del operario para destinarle a cargas sociales y sueldo de decimos y demás implicaciones que otorga la ley.

- **Carga fabril**

En la carga fabril el sueldo del administrador de la planta que se le considera como mano de obra indirecta. En la tabla AXII.6 se muestra los costos de la carga fabril.

Dentro de la carga fabril también se considera las depreciaciones de la obra civil, de la maquinaria y equipos de la planta y del valor que se asigna como imprevistos de la inversión fija.



Tabla AXII.6. Carga fabril

Carga fabril	
Rubros	Valor anual (USD)
<i>Mano de obra indirecta</i>	
Jefe de planta	15 600
<i>Materiales indirectos</i>	
Envases	3 456
Control de calidad	2 400
Etiquetas	58
<i>Depreciación</i>	4 029
<i>Suministros</i>	
Energía eléctrica	215
<i>Reparaciones y mantenimiento</i>	
Maquinaria y equipo	1 708
Edificios y Construcciones	538
<i>Seguros</i>	
Maquinaria y equipo	3 416
Construcciones	1 075
<i>Imprevistos (2%)</i>	568
<b>Total</b>	<b>33 063</b>

- **Depreciación**

En la Tabla AXII.7 se muestra la depreciación de los equipos

Tabla AXII.7. Depreciación de los equipos de la planta

Depreciación			
Concepto	Vid útil (años)	Costo (USD)	Valor anual (USD)
Obra civil	20	10 750	538
Maquinaria y equipo	10	33 820	3 382
Imp. de la inversión fija	10	1 093	109
<b>Total</b>			<b>4 029</b>

- **Gastos de administración**

En la Tabla AXII.8 se muestra los gastos administrativos.

**Tabla AXII.8.** Gastos de administración

<b>Gastos de administración</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Valor anual (USD)</b>
Gastos de oficina	100
Depreciación de muebles de oficina (10 años)	180
Imprevistos (2%)	6
<b>Total</b>	<b>286</b>

## **CÁLCULO DE LA TASA DE DESCUENTO**

El interés se calculó con base en los datos proporcionados por el Banco Central del Ecuador para las tasas de interés, riesgo país y los valores de la inflación del año 2014 (Banco Central del Ecuador, 2014).

En la tabla AXII.9 se indica los porcentajes de los recursos propios y financiados a invertir en el proyecto.

**Tabla XII.9.** Porcentajes de la inversión del proyecto

<b>Inversión</b>	<b>Valor (USD)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Capital propio	12 040	15
Capital financiado	68 224	85
<b>Total</b>	<b>80 264</b>	<b>100</b>

$i = \text{tasa pasiva (recurso propios)} + \text{tasa activa (recurso de terceros)} + \text{riesgo país}$

[AXII.1]

Tasa pasiva = 5,08 % = 0,0508

Tasa activa = 8,34 % = 0,0834

Riesgo del proyecto = 5,62 % = 0,0562

Por lo tanto, reemplazando los valores en la ecuación [AXII.1]

$$i = 0,0508 (15\%) + 0,0834 (85\%) + 5,62 \%$$

$$i = 13,47 \%$$

### CÁLCULO DEL VAN

Mediante la ecuación AXII.2 Se determino el valor neto actual de la siguiente manera.

$$VAN = \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \frac{FN_3}{(1+i)^3} + \frac{FN_4}{(1+i)^4} + \frac{FN_5}{(1+i)^5} + \frac{FN_6}{(1+i)^6} + \frac{FN_7}{(1+i)^7} + \frac{FN_8}{(1+i)^8} + \frac{FN_9}{(1+i)^9} + \frac{FN_{10}}{(1+i)^{10}} \quad [AXII.2]$$

Donde:

FN = flujo neto de cada año

i = interés

En la tabla AXII.10 se refleja el resumen de los cálculos de flujos netos para cada año y utilizados para el cálculo del VAN

Tabla AXII.10. Valor actual neto

Años	Flujo neto	Flujo neto actualizado
		13,47 %
0	-80 263,42	-80 263,42
1	20 228,00	17 826,00
2	21 071,00	16 365,00
3	21 949,00	15 023,00
4	22 864,00	13 792,00
5	23 817,00	12 661,00
6	24 809,00	11 623,00
7	25 843,00	10 670,00
8	26 920,00	9 795,00
9	28 042,00	8 992,00
10	41 377,00	11 692,00
<b>VAN</b>		<b>48 174,74</b>

### CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno se calculo con la ecuación AXI.4

$$TIR = (T_i) + (T_s - T_i) \times \frac{VAN_1}{VAN_i - VAN_s} \quad [AXI.3]$$

Donde:

Ti = tasa de interés inferior (3 %)

Ts = tasa de interés superior (40 %)

VANi = valor actual neto inferior

VANs = valor actual neto superior

Entonces al aplicar la formula se obtiene:

$$TIR = (0,03) + (0,4 - 0,03) \times \frac{135503,12}{135503,12 - (-26327,17)}$$

$TIR = 33,98 \%$

La tabla AXII.11 muestra los valores anuales del VAN inferior y superior

**Tabla AXII.11.** Valor actual neto inferior y superior

Años	VAN inferior		VAN superior	
	Flujo neto	Flujo neto actualizado	Flujo neto	Flujo neto actualizado
		3,00 %		40,00 %
0	-80 263,42	-80 263,42	-80 263,42	-80 263,42
1	20 228,00	19 639,00	20 228,00	14 448,00
2	21 071,00	19 861,00	21 071,00	10 750,00
3	21 949,00	20 087,00	21 949,00	7 999,00
4	22 864,00	20 314,00	22 864,00	5 952,00
5	23 817,00	20 545,00	23 817,00	4 428,00
6	24 809,00	20 777,00	24 809,00	3 295,00
7	25 843,00	21 013,00	25 843,00	2 452,00
8	26 920,00	21 251,00	26 920,00	1 824,00
9	28 042,00	21 492,00	28 042,00	1 357,00
10	41 377,00	30 788,00	41 377,00	1 430,00
	$VAN_i$	135503,12	$VAN_s$	-26327,17

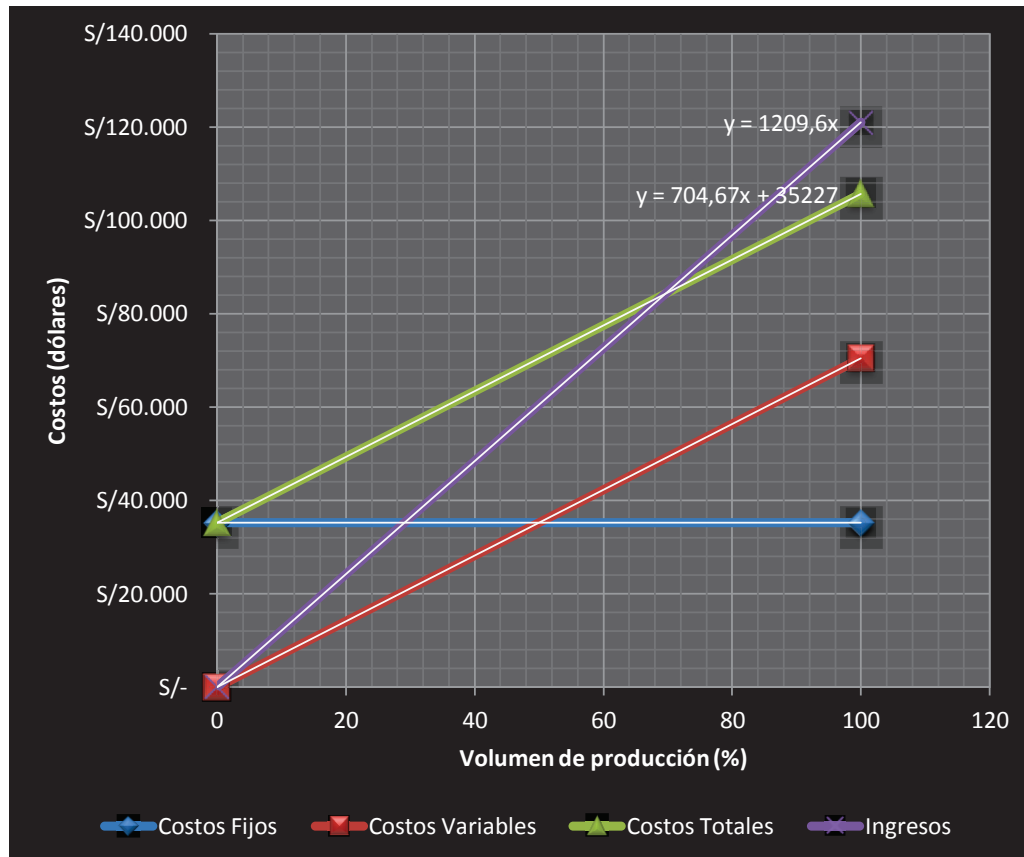
## PUNTO DE EQUILIBRIO

Para determinar el punto de equilibrio se empleo los datos señalados en la Tabla AXII.12.

**Tabla AXII.12.** Costos fijos, variables, totales e ingresos según el volumen de producción de la planta de extracción del aceite de chía

Volumen de producción (%)	Costos Fijos (USD)	Costos Variables (USD)	Costos Totales (USD)	Ingresos (USD)
0	35 227	-	35 227	-
100	35 227	70 467	105 695	120 960

Para determinar el porcentaje de producción y el punto de equilibrio se busca en la grafica las líneas de tendencia de los ingresos y de los costos totales como se indica en la figura AXII.1



**Figura AXII.1** Representación grafica del punto de equilibrio

Entonces, se igualan las ecuaciones indicadas de los ingresos y de los costos totales como se muestra a continuación.

$$y = 1209,6x = 704,67x + 35227 \quad [\text{AXII.4}]$$

$$x = \frac{35227}{504,93} = 69,77$$

$x = 69,77$  % de unidades producidas

$$y = 1029,6 (69,77) = 71831,18$$

$y = 71831,18$  dólares