



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

Establecimiento de las condiciones de centrifugación para  
la obtención de mucílago de la *Salvia hispánica*

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

P R E S E N T A:

**CITLALLI GUADALUPE ARREDONDO GUERRA  
CHRISTIAN ISRAEL CARRANZA GALLEGOS**

**ASESORES:**

**DRA. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ  
M.N.H. FRIDA ROSALÍA CORNEJO GARCÍA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

**Establecimiento de las condiciones de centrifugación para la obtención de mucílago de la Salvia hispánica**

Que presenta la pasante: **Citlalli Guadalupe Arredondo Guerra**  
Con número de cuenta: **310057873** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

**ATENTAMENTE**  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Noviembre de 2019.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
<b>VOCAL</b>	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Maritza Rocandio Pineda	
<b>2do. SUPLENTE</b>	I.A. Janeli Solis Garfias	

NOTA: los sindocales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

**Establecimiento de las condiciones de centrifugación para la obtención de mucílago de la Salvia hispánica**

Que presenta el pasante: Christian Israel Carranza Gallegos  
Con número de cuenta: 413106313 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Noviembre de 2019.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
<b>VOCAL</b>	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Maritza Rocandío Pineda	
<b>2do. SUPLENTE</b>	I.A. Janeli Solís Garfías	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/javg



---

## AGRADECIMIENTOS

### **UNAM**

La cual nos brindó la oportunidad de desarrollarnos tanto académicamente como culturalmente, permitiéndonos conocer y vivir todo lo que rodea a esta gran institución.

### ***Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán***

En la que pasamos los momentos más agradables y también los más duros, donde conocimos a los maestros, doctores e ingenieros que nos enseñaron el valor y la importancia de la ingeniería. Y de la cual siempre nos sentiremos orgullosos de llevar su nombre en alto.

### ***Dra. Elsa Gutiérrez Cortez***

Por brindarnos la confianza, su apoyo para realizar el trabajo que hoy culminamos. Por permitirnos trabajar a su lado, por compartir su tiempo y sus conocimientos. Al igual que por su paciencia y empeño en el desarrollo de este trabajo.

### ***M.N.H. Frida Rosalía Cornejo García***

Por su colaboración para la realización de este trabajo.

### ***Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas***

Por la determinaciones de difracción de rayos x y su interpretación.

### ***Dra. Alicia del Real Lopez***

Por la toma de micrografía y su interpretación.  
Del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (FATA).

### ***Jurado***

Por las aportaciones, por su tiempo y sobre todo para ser parte del mejoramiento de este trabajo.

### ***Profesores***

Quienes se han tomado el arduo trabajo de transmitirnos sus diversos conocimientos, especialmente del campo y de los temas que corresponden a nuestra profesión. Pero además de eso, que han sabido encaminarnos por el camino correcto, y quienes se han ofrecido a prepararnos para lograr nuestras metas.



---

## **DEDICATORIAS**

### ***Citlalli Gpe. Arredondo Guerra***

#### ***A mis padres***

Por el amor, confianza, paciencia y apoyo brindados; al estar en los momentos difíciles, al darme la fortaleza y el valor para seguir adelante. Por guiar, proteger y alumbrar mis pasos en este largo recorrido, al creer en mí y en este proyecto de vida, formando parte de todos mis éxitos.

El triunfo no es de una sola persona es de varias.

***¡Gracias!***

#### ***A mi Madre***

#### ***Gabriela Guerra Moctezuma***

Que es el ser más maravilloso del mundo; gracias por tu apoyo moral, cariño y comprensión que desde pequeña me has brindado, al guiar mi camino y estar siempre junto a mí en los momentos difíciles.

#### ***A mi Padre***

#### ***Javier Arredondo Sanchez***

Porque desde pequeña ha sido para mí un hombre grande y maravilloso al que he admirado; gracias por guiar mi camino con firmeza enseñándome a aprender de mis errores, para descubrir mis capacidades. Gracias por todo lo que me has dado. Con amor, respeto y admiración papá.

#### ***A mis hermanas***

#### ***Iztli Yaretzi Arredondo Guerra/ Xochitl Gabriela Arredondo Guerra***

Por mostrarme que el amor y la amistad no son sólo conceptos, sino entrega noble y desinteresada, por compartir todas las etapas de mi vida logrando metas conjuntas las tres.

#### ***A mis abuelos***

#### ***Abel Arredondo Ramos/Dimas Guerra Centeno***

Ya no están alado mío, pero su cariño prevalece siempre en mi corazón, fueron hombres, tolerantes, honestos, bondadosos y generosos todos estos valores me los impartieron en la niñez.



***A mis amigas***

***Dinora/Katherin/Stephanny***

Por haberme apoyado en cada una de mis etapas durante la Universidad, por todos los consejos y noches en vela que pasamos juntas estudiando compartiendo conocimientos.

***A mis amigas***

***América/Abigail***

América, quien deposito confianza en mí, por su constante apoyo, por sus indicaciones y orientaciones que son indispensables en mi desarrollo personal y profesional en el ámbito laboral, Abigail por transmitir sus conocimientos, experiencia y brindarme su apoyo constante.



---

## **DEDICATORIAS**

### ***Christian Israel Carranza Gallegos***

#### ***A mi Madre y hermano***

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

#### ***A mi madre***

#### ***Elda Gallegos Cruz***

Gracias por brindarme desde pequeño lo necesario para mi crecimiento personal y profesional siempre siendo un gran ejemplo para mí demostrando que con lucha y perseverancia y pueden lograrse los objetivos que uno se propone. Agradezco a la vida por darme la oportunidad de conocerte y ponerte en mi camino como mi madre.

#### ***A mi hermano***

#### ***Giovanny Carranza Gallegos***

En muchas ocasiones fuiste un padre, en otras tantas un amigo. Fuiste tú quien me enseñó a valorar las cosas, fuiste tú quien me enseñó que la dedicación y el esfuerzo son la base para salir adelante, gracias por dedicarme tu tiempo cuanto te pedía que saliéramos a jugar y tu tenías que estudiar o te encontrabas ocupado sin embargo nunca te negabas.

#### ***A mi padre***

#### ***Alfonso Carranza Castorena***

Por el apoyo brindado todos estos años, te agradezco esas tardes cuando me enseñaste a leer y me hacías entender lo importante que era la comprensión de los textos.

#### ***A mis abuelos***

#### ***Rosario Cruz Martínez/ Benjamín Gallegos Bocanegra***

Les agradezco el cuidarme durante mi infancia y abrirme las puertas de su casa, gracias por esas horas de esfuerzo y dedicación, por siempre estar al pie del cañón cuando más lo requería.



## RESUMEN

Los mucílagos o hidrocoloides son sustancias poliméricas complejas compuestas por hidratos de carbono y son análogas a las gomas. Se obtienen de cactáceas, frutos y semillas, nopal, agave, café, linaza, chía, entre otros. Recientemente los hidrocoloides han tenido un impacto en la industria de alimentos, porque aumentan la viscosidad y se utilizan en el desarrollo de recubrimientos y películas comestibles. Sin embargo, las metodologías de extracción son diversas y reportan bajo rendimiento y costo elevado. El objetivo de esta investigación fue obtener mucílago de chía empleando la operación unitaria de centrifugación. Inicialmente Las semillas fueron separadas mediante centrifuga de canasta y posteriormente se extrajo el mucílago del resto de componentes mediante centrifuga de discos para evaluar la influencia de la temperatura de remojo, velocidad de rotación, abertura de tornillo de en el proceso de extracción y sus relaciones entre sí. Al volumen de la fase ligera se le determino la turbidez, sólidos totales, densidad y viscosidad. Para establecer las condiciones óptimas en función del rendimiento y la eficiencia de separación se aplicó un diseño factorial  $3^3$  a los datos obtenidos en la evaluación de los factores. Posteriormente se aplicó un análisis estadístico de superficie de respuesta. El mucílago obtenido a condiciones óptimas se caracterizó por diferentes técnicas: microscopia electrónica de barrido, difracción de rayos. Las condiciones óptimas fueron temperatura de remojo de 50 °C, velocidad de giro de 7500 rpm y tornillo de gravedad cerrado completamente (100 %). El rendimiento más alto fue de 8.72 g de mucilago/100g de semillas secas y la eficiencia de separación de mucilago más alta fue de 77.85%. El mucilago no presenta rastros de contaminación de fibra insoluble. El difactograma de Rayos X muestra compuestos de calcio, magnesio y de potasio principalmente, por lo que lo hace un importante componente nutricional. Por otro lado, los picos que presentan indican que es un material cristalino y por lo tanto ordenado. Por lo anterior se puede concluir que la separación de mucilago de chía tuvo una excelente eficiencia de separación

**Palabras clave:** chía, eficiencia de separación, mucílago, rendimiento.



---

**ÍNDICE GENERAL****CAPITULO I. ANTECEDENTES**

1.1	<b>Antecedentes históricos de la semilla de chía</b>	1
1.1.1	<b>Definición taxonómica</b>	2
1.1.2	<b><i>Localización de cultivos de la (Salvia hispánica L.)</i></b>	7
1.1.3	<b><i>Producción y superficie mundial</i></b>	9
1.1.4	<b><i>Composición química y aspectos nutricionales de la semilla de chía</i></b>	9
1.1.5	<b><i>Contenido de aceite y composición de ácidos grasos</i></b>	11
1.1.6	<b><i>Ácidos grasos Omega-3.</i></b>	12
1.1.7	<b><i>Ácidos grasos Omega-6</i></b>	12
1.1.8	<b><i>Proteínas y aminoácidos contenidos en la semilla de chía</i></b>	13
1.1.9	<b><i>Vitaminas y minerales</i></b>	15
1.1.10	<b><i>Antioxidantes</i></b>	16
1.1.11	<b><i>Fibra</i></b>	17
1.2	<b><i>Aplicaciones de la semilla de chía y derivados</i></b>	19
1.2.1	<b><i>Extracción del Mucilago de Chía</i></b>	20
1.2.2	<b><i>Procesos de separación por centrifugación</i></b>	22
1.2.3	<b><i>Centrifuga de canasta</i></b>	24
1.2.4	<b><i>Centrifuga de tazón con discos</i></b>	24
1.2.5	<b><i>Técnicas de evaluación</i></b>	25
1.2.6	<b><i>Difracción de rayos x</i></b>	25
1.2.7	<b><i>Microscopia electrónica</i></b>	27

**CAPITULO II METODOLOGIA**

	<i>Planteamiento experimental</i>	29
	<i>Objetivos particulares</i>	29
	<i>Diseño estadístico</i>	30
	<i>Metodología experimental</i>	32
2.0	<i>Adquisición de la semilla de chía</i>	33
2.1.	<i>Estandarización de la extracción del mucilago de S. hispánica L.</i>	33
2.2	<i>Suspensión y homogenización de la semilla de chía</i>	34
2.3	<i>Centrifuga de canasta</i>	34
2.3.1	<i>Volumen obtenido</i>	35
2.3.2	<i>Determinación de densidad del clarificado</i>	37
2.3.3	<i>Viscosidad aparente de la suspensión</i>	38
2.3.4	<i>Determinación de la turbidez</i>	40
2.3.5	<i>Peso del líquido viscoso</i>	42
2.4	<i>Centrifuga de discos</i>	42
2.4.1	<i>Sólidos totales del clarificado o fase ligera</i>	43
2.4.2	<i>Precipitación de la fracción soluble, tamizado y deshidratación del mucilago de chía</i>	45
2.4.3	<i>Secado</i>	46
2.4.4	<i>Molienda y tamizado</i>	47
2.4.5	<i>Eficiencia de separación</i>	47
2.5	<i>Microscopía electrónica de barrido (SEM-AV)</i>	48
2.6	<i>Difracción de Rayos X</i>	49

**CAPITULO III RESULTADOS Y ANÁLISIS**

3.1	<i>Estandarización de la extracción del mucílago de chía</i>	50
3.2	<i>Suspensión y homogenización de la semilla de chía</i>	50



---

3.3	<b>Centrifuga de canasta</b>	50
3.3.1	<b>Volumen obtenido (L) en la centrifuga de canasta</b>	50
3.3.2	<b>Densidad y viscosidad del líquido viscoso en la centrifuga de canasta</b>	52
3.3.3	<b>Turbidez en la centrifuga de canasta</b>	53
3.3.4	<b>Peso total del fluido viscoso obtenido en la centrifuga de canasta</b>	54
3.4	<b>Extracción de mucílago de <i>S. hispánica</i> (chía) en la centrifuga de discos</b>	55
3.4.1	<b>Diseño estadístico en el proceso de extracción de mucílago de <i>S. hispánica</i> chía</b>	55
3.5	<b>Resultados de la caracterización morfológica</b>	65
3.6	<b>Resultados de los difractogramas de rayos X</b>	67
3.7	<b>Conclusiones</b>	68
3.8	<b>Referencias Bibliográficas</b>	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

1.1	Cultivo de la <i>Salvia hispanica</i> L	1
1.2	Planta de la <i>Salvia hispanica</i> L	3
1.3	Semilla <i>Salvia hispanica</i> L	3
1.4	Micrografías obtenidas por SEM de núculas de chía. A) Sección longitudinal, estructura interna (x187), (P) pericarpio, (T) testa, (E) endosperma, (C) cotiledones. B) vista lateral (x145). C) superficie del pericarpio (x1500). D) sección transversal del pericarpio (x 3000), c: cutícula; epi: epicarpo; meso: mesocarpio; lc: capa de esclereidas; endo: endocarpio.	4
1.5	Micrografías obtenidas por SEM de núculas de chía hidratadas	6
1.6	Corte histológico de la semilla de chía	7
1.7	Estructura química del ácido $\alpha$ -linoléico (Omega-3)	12
1.8	Estructura química del ácido araquidónico (Omega-6)	13
1.9	Semilla de la chía sumergida en agua	18
1.10	Diagrama de una separación por centrifugación: a) entrada de la suspensión de alimentación inicial, b) precipitación de los sólidos suspendidos en el líquido, c) separación de dos fracciones líquidas.	22
1.11	Diagrama de una centrifuga de canasta	23
1.12	Diagrama esquemático de una centrifuga de tazón con discos	25
1.13	Características de un pico de difracción: posición, intensidad y forma.	26
1.14	Diagrama de un microscopio electrónico de barrido (MEB).	28

### CAPITULO 2

2.1	Cuadro metodológico del desarrollo experimental	32
2.2	Diagrama de bloques para la extracción de mucilago de chía	33
2.3	Preparación y homogenización de la suspensión de la semilla de chía. a) Impulsor de própela b) Suspensión de mucilago y chía.	34



2.4	<b>Centrifuga de canasta</b>	35
2.5	<b>Probeta con líquido viscoso</b>	36
2.6	<b>a) Probetas a peso cte; b) Peso de probetas</b>	37
2.7	<b>Viscosímetro de <i>Oswald</i></b>	39
2.8	<b>Determinación de turbidez</b>	41
	<b>a) turbidímetro marca Hanna Instruments, modelo LP 2000;</b>	
	<b>b) muestras de las diferentes corridas experimentales</b>	
2.9	<b>Determinación de turbidez del líquido viscoso</b>	42
2.10	<b>a) Centrifuga de discos; b) fase ligera</b>	43
2.11	<b>Determinación de sólidos totales,</b>	44
	<b>a) Charolas de aluminio,</b>	
	<b>b) Muestras con líquido viscoso,</b>	
	<b>c) Secado por charolas.</b>	
2.12	<b>a) Vaciado de suspensión; b) Mucilago de chíá</b>	46
2.13	<b>a) Polvo con impurezas del mucilago de chíá: b) Polvo</b>	47
	<b>retenido en el tamiz, c) Polvo que pasó por el tamiz.</b>	
2.14	<b>a) Porta muestras de bronce, b) Porta muestras con muestra</b>	48
	<b>pegada; c) baño de oro a las muestras.</b>	
2.15	<b>a) Porta muestras en el carro en el interior del microscopio,</b>	49
	<b>b) Microscopio electrónico; c) captura de las micrografías en</b>	
	<b>la computadora.</b>	

### **CAPITULO 3**

3.1	<b>Volumen obtenido en la centrifuga de canasta a diferentes</b>	51
	<b>temperaturas</b>	
3.2	<b>Viscosidad en la centrifuga de canasta a diferentes</b>	52
	<b>temperaturas</b>	
3.3	<b>Turbidez en la fracción viscosa en la centrifuga de canasta</b>	53
3.4	<b>Peso total del líquido viscoso obtenido a diferentes</b>	54
	<b>temperaturas</b>	
3.5	<b>Efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo</b>	56
	<b>y temperatura de hidratación en el rendimiento.</b>	
3.6	<b>Gráfica de superficie de respuesta para el rendimiento</b>	57
	<b>versus la velocidad de giro, y temperatura de hidratación con</b>	
	<b>la posición de tornilla fija.</b>	
3.7	<b>Interacción de la velocidad de giro, posición de tornillo y</b>	57
	<b>temperatura de hidratación en el rendimiento</b>	
3.8	<b>Efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo</b>	58
	<b>y temperatura de hidratación en la eficiencia.</b>	



---

3.9	<b>Gráfica de superficie de la eficiencia de separación versus la velocidad de giro, y temperatura de hidratación con la posición de tornillo fija.</b>	59
3.10	<b>Grafica de efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo y temperatura de hidratación en la eficiencia de separación</b>	60
3.11	<b>Gráfica de superficie de respuesta estimada para al rendimiento</b>	61
3.12	<b>Gráfica de Superficie de Respuesta estimada para la eficiencia</b>	62
3.13	<b>Gráfico de contorno de la superficie de respuesta estimada a 7000 rpm</b>	62
3.14	<b>Gráfico de contorno de la superficie de respuesta estimada a 7500 rpm</b>	63
3.15	<b>Superficie de respuesta estimada de contorno para eficiencia</b>	63
3.16	<b>Micrografías de semillas y de mucílago de chía</b>	65
3.17	<b>Difactograma de rayos X para la muestra óptima</b>	67



---

**ÍNDICE DE CUADROS****CAPITULO 1**

<b>1.1</b>	<b>Taxonomía de la chía</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Características de la localización de los sitios de cultivo de la chía</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Composición proximal correspondiente a diversos cultivos (% b.s.)</b>	<b>10</b>
<b>1.5</b>	<b>Contenido de ácidos grasos (g/kg total de ácido graso) en semilla de chía Ácido</b>	<b>11</b>
<b>1.6</b>	<b>Contenido de aminoácidos de la semilla de chía.</b>	<b>14</b>
<b>1.7</b>	<b>Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas de chía</b>	<b>15</b>
<b>1.8</b>	<b>Concentración de antioxidantes en extractos de semilla de Chía</b>	<b>16</b>

**CAPITULO 2**

<b>2.1</b>	<b>Datos para centrifuga de discos</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>Diseño factorial para la extracción de mucílago de chía</b>	<b>31</b>

**CAPITULO 3**

<b>3.1</b>	<b>Nomenclatura de micrografías obtenidas</b>	<b>66</b>
------------	---	-----------



---

## INTRODUCCIÓN

Las semillas de chía son monos pérmicas, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares en su mayoría y algunos blancos midiendo entre 1.5 a 2.0 mm de longitud (Ugena-Díaz, 2015). El fruto, es un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar cuatro mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas” (Bueno y Sapiro, 2010). Cada núcula tiene un pericarpio claramente estratificado: cutícula, epicarpio, mesocarpio, capa de esclereidas y endocarpio, el cual está en contacto con la testa de la semilla. El mucílago se encuentra en la epidermis del pericarpio de la semilla madura, al encontrarse en contacto con agua se fragmenta la capa superficial de células epidérmicas, lo que permite la salida de las fibras de mucílago o fibra soluble que cubren la semilla. Al hidratarse el mucílago o hidocoloide forma una capa transparente que rodea la semilla con gran fuerza, cuando varias semillas se hidratan forman una solución altamente estable y viscosa, es decir una matriz continua muy difícil de desprenderse y requiere una alta fuerza de separación para recuperar el hidocoloide (Vinitimilla, 2015).

La fibra dietética de acuerdo con la American Association of Cereal Chemists (2001), es la parte comestible de las plantas (hidratos de carbono análogos), resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética está constituida por la fibra dietética soluble (FDS) y la fibra dietética insoluble (FDI). La FDS es aquella que en contacto con agua forma un retículo donde ésta queda atrapada, dando lugar a soluciones de gran viscosidad. Por otra parte, la FDI, es capaz de retener el agua en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad. A partir del estudio de la fibra dietética de *S. hispanica L.*, se ha reportado que, del total de fibra dietética, entre el 49 y 51 % corresponde a FDS y del 48 al 50 % es FDI. Del 90 al 94 % de FDI está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina, mientras que la FDS, está compuesta por azúcares neutros y ácido glucurónico, siendo este el responsable de generar el mucílago (Salgado-Cruz *et al.*, 2005).



Lin *et al.*, (1994) propusieron una estructura tentativa para el mucílago de la semilla de chía, consistiendo en residuos de tetrasacáridos con 4-O-metil- $\alpha$ -D-glucorocopiranosilo, presentándose como ramas de O-2 de algunas unidades de  $\beta$ -D-xilopiranosilo en la cadena principal de unidades de  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-xilopiranosil- $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopiranosil- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-xilopiranosilo. El mucílago en la semilla de chía es un polisacárido heterogéneo cargado negativamente en un intervalo de pH = 2-12 (Ixtania *et al.*, 2008; Timilsena *et al.*, 2016). Posee redes poliméricas tridimensionales y por su acción osmótica capta agua para formar coloides tipo gel (Singh *et al.*, 2007). La FAO desde 1996, declaró al mucílago *Salvia hispanica*, como fuente potencial de polisacárido debido a sus propiedades funcionales. Las propiedades funcionales son la expresión de las propiedades fisicoquímicas porque dependen de las estructuras moleculares o supramoleculares como es el caso de los polisacáridos y proteínas en un medio (Fleury Lahaye, 1991).

El mucílago de chía al formar parte de los hidrocoloides podría ser de utilidad dentro de las diferentes industrias al ser considerado como un ingrediente de origen natural. Podría ser incluido en distintas formulaciones gracias a su alta solubilidad (50g/mL), tomando en cuenta los factores que pueden afectar su funcionalidad (Ávila de la Roda *et al.*, 2015)

Sandoval (2012) realizó la extracción del mucílago de *S. hispanica* L mediante estudio de aislamiento y catacterización de las proteínas de reserva de la semilla de (*S. hispanica* L. Dicha extracción consistió en hidratar la semilla de chía en agua destilada en una relación de 1:10 p/v por 4 h, una vez hinchado el mucílago, lo congelaron a -80 °C durante toda la noche y después fue liofilizado. Posteriormente, retiró el mucílago seco de forma mecánica de acuerdo a lo señalado por Olivos-Lugo *et al.* (2010). Sin embargo, no presentó rendimiento, ni caracterización, ni aplicación alguna, porque su estudio estuvo enfocado al aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de la chía (*Salvia hispanica*, L.).

Por otra parte, Muñoz *et al.* (2012) estudiaron diferentes condiciones de extracción de mucílago de *Salvia hispanica*, en relaciones de semilla-agua 1:20, 1:30 y 1:40 (p/v), la temperatura del agua fue de 20 y 80 °C y dichas mezclas a diferente pH: 4,



6 y 8, (ajustandolo con una solución de NaOH al 0.2 M). Se prepararon mezclas homogéneas por dos horas. Estos autores reportaron un rendimiento del 6.9 %, en una relación de semilla:agua (1:40 p/v), después de 2 h de hidratación a 80 °C.

Otro estudio, Capitani *et al.* (2013) llevaron a cabo la extracción del mucilago de *S. hispánica* utilizando dos metodologías. En el método 1, remojaron las semillas enteras de *S. hispánica* en agua (1:10 m/v), durante 4 h, a temperatura ambiente y con agitación manual durante los primeros 15 min. La mezcla se distribuyó en bandejas (9 x 5 x 15 cm) con 1 cm de espesor, se cubrieron y se congelaron a -20 °C durante 4 días y se liofilizaron a -50 °C, 0.033 mbar, 25 µm Hg por otros 4 días. El mucilago seco se separó de las semillas tamizándolo con malla No. 20 (840 µm) por 15 min 3 veces. Posteriormente el mucilago fue liofilizado. En el método 2 la extracción se realizó con modificaciones del método de Marín-Flores *et al.*, (2008), en el cual las semillas se remojaron en agua en una relación 1:20 m/v durante 1 h y con agitación manual durante 15 min. El mucilago extraído se separó de las semillas por filtración a vacío (220 mbar), a través de una malla comercial. La solución de mucilago obtenida, se concentró en un rotavapor con vacío a 55 °C. En seguida, se congeló a -20 °C durante 4 días y se liofilizó a -45 °C a 0.060 mbar de presión de vacío por 5 días. Posteriormente, el mucilago seco se llevó a un polvo fino. Los resultados arrojaron un rendimiento de extracción similar, con 3.8 % y 3.7 % en base seca, para el método 1 y método 2, respectivamente. Se han manejado diferentes métodos de extracción, con distintas condiciones de proceso, en ocasiones dichas condiciones son extremas. Sin embargo, algunas de las técnicas utilizadas requieren de largos periodos de tiempo, otras con un alto costo, y no garantizan un buen rendimiento y una eficiencia de separación. Esto debido a que en sus investigaciones reportan contaminación de proteínas o de ácidos grasos. En este trabajo se propone encontrar las condiciones óptimas de separación del hidrocoloide, donde se obtenga el mayor rendimiento en mucilago y la mejor eficiencia de separación, presentando evidencias de la calidad del mucilago y de la integridad de la semilla.



## Capítulo I Antecedentes de la semilla de chía

### 1.1 Antecedentes históricos

Se presumen diversos orígenes de la palabra chía, que distinguen a la semilla como única. Según el Náhuatl, la palabra chía significa aceitoso. Los aztecas utilizaban la chía en distintos preparados nutricionales, medicinales y cosméticos. En su cultura, existían comidas típicas como el tzoalli que se preparaban con semillas de chía tostadas, miel de maguey, amaranto, entre otros. También se le conocía como el alimento de caminatas ya que subsistía durante largas travesías. En Mesoamérica pre-colombina la semilla jugaba no solo un papel importante en la nutrición, sino también como ofrenda a los Dioses durante ceremonias religiosas. Tenochtitlán, la capital del imperio Azteca, recibía entre 5,000 y 15,000 toneladas de chía anualmente como tributo de los pueblos conquistados. Después de la conquista, los cinco cultivos básicos de la dieta azteca, la chía y el amaranto perdieron sus lugares privilegiados y casi desaparecieron, pero la especie logró sobrevivir a la persecución de los conquistadores ya que pequeños grupos de la región sudoeste de México y de las zonas montañosas de Guatemala se mantuvieron aislados con el cultivo (Farela-Lara, 2017). En la Figura 1.1 se presenta un plantío de chía.



Fuente: Agritrade, (2014)

**Figura 1.1 Cultivo de la *Salvia hispanica* L**



### 1.1.1 Definición taxonómica

El cultivo de Chía (*Salvia hispanica* L.) se remonta a una especie hispánica, que pertenece a la familia de aromáticas como la menta, el tomillo, el romero y el orégano. En la Tabla 1.1 se muestra la información sobre la taxonomía de la chía.

**Tabla 1.1 Taxonomía de la chía**

<b>Jerarquía</b>	<b>Descripción</b>
<b>Reino</b>	<i>Plantae</i> – Planta
<b>Subreino</b>	<i>Tracheobionta</i> - Planta vascular
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i> – Angiosperma
<b>Clase</b>	Magnoliopsida – Dicotiledónea
<b>Subclase</b>	<i>Asteridae</i>
<b>Orden</b>	<i>Lamiales</i>
<b>Familia</b>	<i>Lamiaceae</i> – Menta
<b>Género</b>	<i>Salvia</i> L – Salvia
<b>Especie</b>	<i>Salvia hispanica</i> L.

Fuente: Muñoz, (2012)

La *Salvia hispanica* L. proviene de una planta herbácea de la familia de las *lamiaceas*, que se compone de hojas anchas con ramificaciones opuestas, tallo hueco y cuadrado. Mide entre 1.20 hasta 1.60 m de alto y 0.4 hasta 0.60 m de ancho entre más espacios tenga la planta aumenta su ramificación y por ende su número de espiga floral es mayor reportándose mejores rendimientos (Minaya, 2016).

Sus flores son hermafroditas, moradas o blancas, pedunculadas y reunidas en grupos de seis o más. Las flores dan lugar a un fruto y cada fruto lleva cuatro semillas muy pequeñas en forma oval (Farela-Lara, 2017).



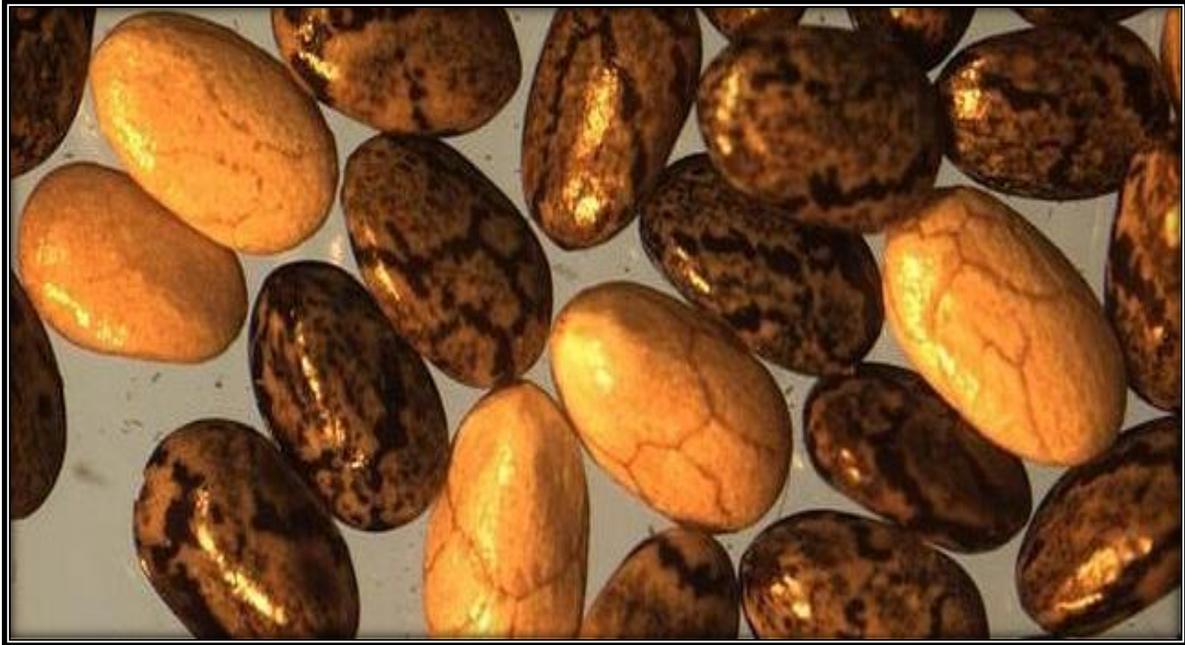
En la Figura 1.2 se muestra la planta de la chíá, en donde las flores tienen una corola que poseen pétalos de color lila con blanco como se observa en la ilustración. La floración se produce entre julio y agosto en el hemisferio norte; al cabo del verano, las flores dan lugar a un fruto en forma de aquenio indehisciente.



*Fuente:* Ugena-Díaz, (2015)

**Figura 1.2 Planta de la *Salvia hispanica* L**

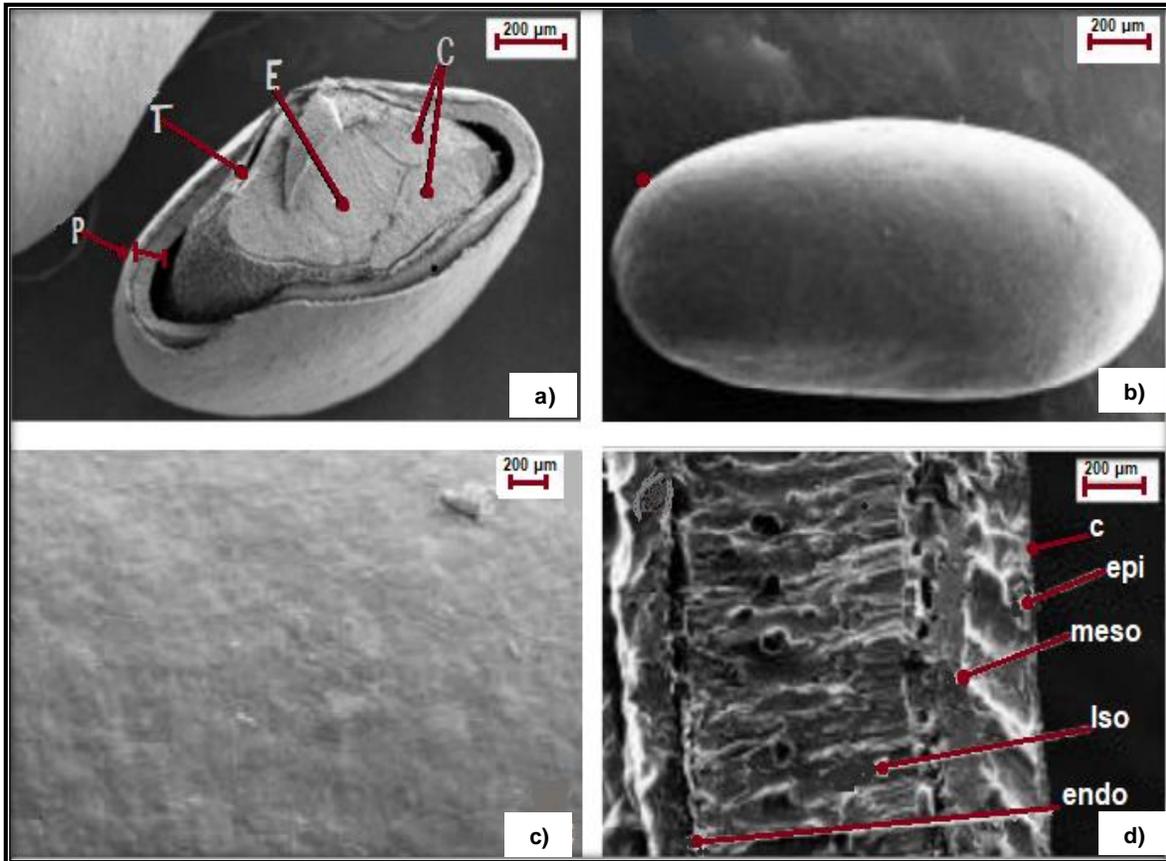
El fruto, al igual que otras especies de esta familia, es un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscientes que se separan para formar 4 mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas” tal como se muestran en la Figura 1.3 (Bueno y Sapio, 2010).



Fuente: Ugena-Díaz. (2015)

**Figura 1.3 Semilla *Salvia hispanica* L**

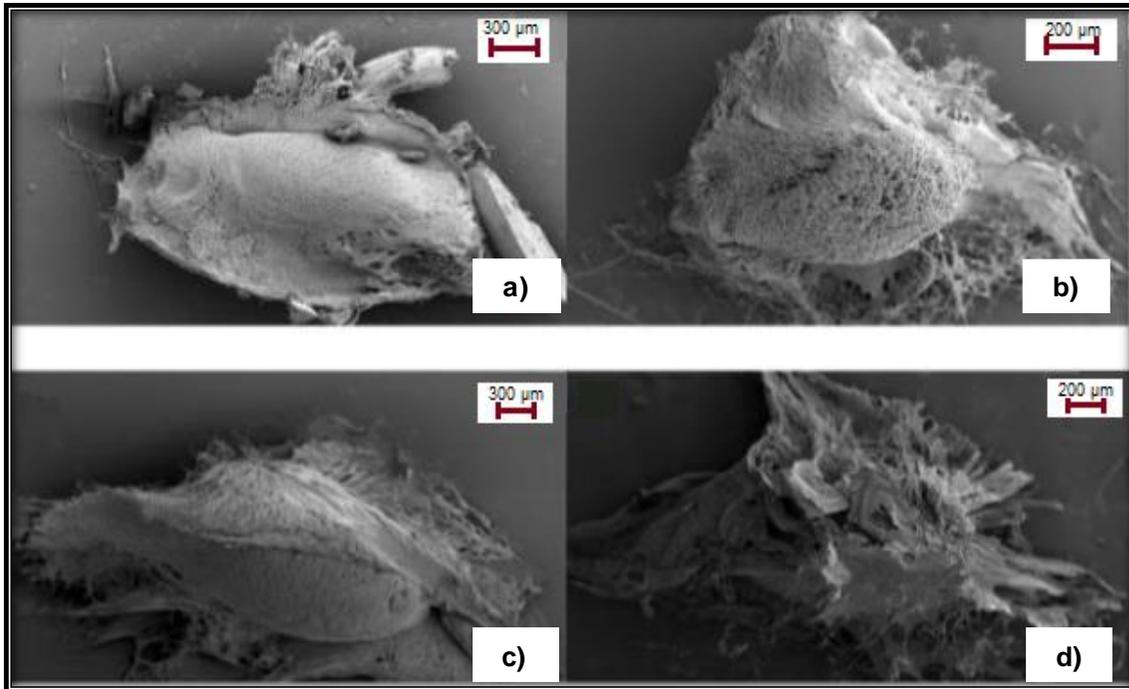
Las semillas son monospermas, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos que miden entre 1.5 a 2.0 mm de longitud, tal como se muestra en la imagen anterior (Ugena-Díaz, 2015). Cada núcula tiene un pericarpio claramente estratificado: cutícula, epicarpio, mesocarpio, capa de esclereidas y endocarpio, el cual está en contacto con la testa de la semilla. La Figura 1.4 muestra las micrografías obtenidas por SEM de las núculas oscuras: glabras, de forma elipsoidal, compuestas por la semilla verdadera y el pericarpio que la rodea. En la Figura 1.4 a) Presenta un corte longitudinal de la semilla de chía y sus partes que consta de una cubierta seminal (testa), el endospermo y el embrión, compuesto principalmente por dos cotiledones.



*Fuente:* Capiro-Morales, (2012)

**Figura 1.4** Micrografías obtenidas por SEM de núculas de chía. a) Sección longitudinal, estructura interna (x187), (P) pericarpio, (T) testa, (E) endosperma, (C) cotiledones. b) vista lateral (x145). c) superficie del pericarpio (x1500). d) sección transversal del pericarpio (x 3000), c: cutícula; epi: epicarpio; meso: mesocarpio; Iso: capa de esclereidas; endo: endocarpio.

Las paredes anticlinales de las células que lo forman llevan refuerzos de fibrillas celulósicas espiraladas acompañadas de inclusiones de morfología y composición variada. Cuando las núculas entran en contacto con el agua, el pericarpio se hincha, la cutícula se rompe al agotar su elasticidad y el contenido de las células se derrama como mucílago rodeando toda la superficie del fruto, quedando adherido a la misma notable tenacidad. En la Figura 1.5 muestra las micrografías de las núculas de la semilla de chía hidratada.



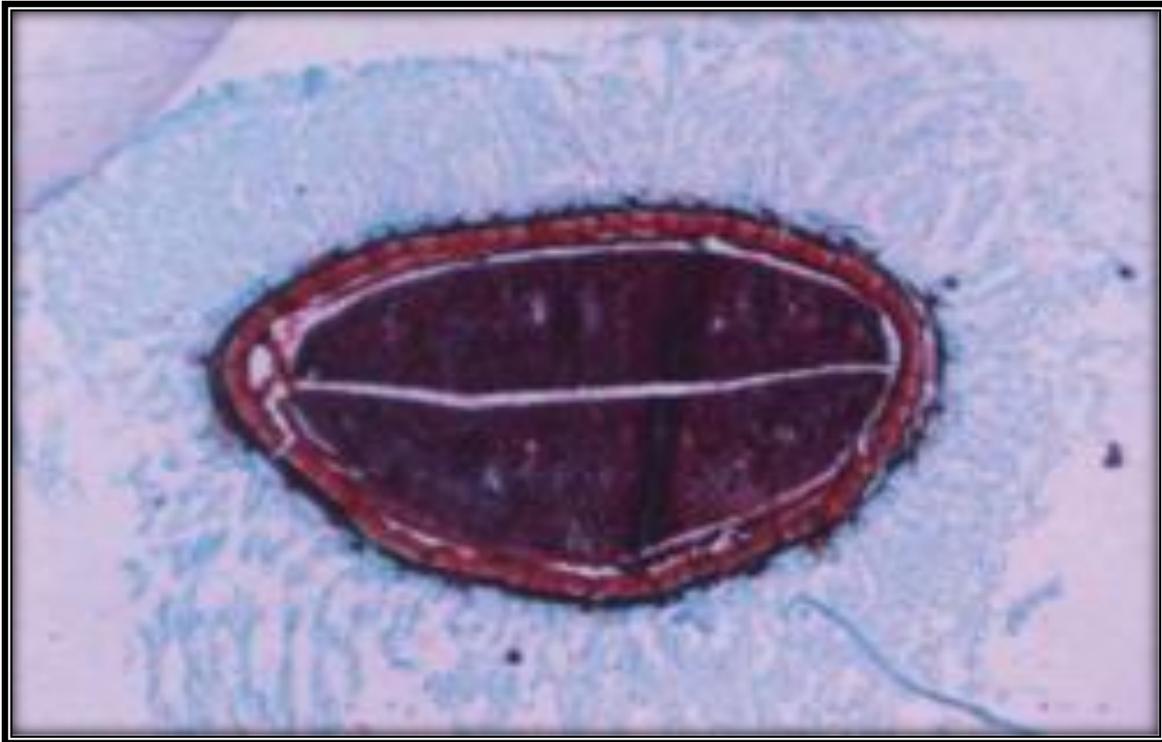
Fuente: Capiro-Morales. (2012)

**Figura 1.5 Micrografías obtenidas por SEM de núculas de chía hidratadas**

En la Figura 1.5 muestra los diferentes tiempos cuando se hidrata la semilla de chía x 80); a): 5; b): 15; c): 30 y d): 60 minutos. Una de las características más importantes de la semilla es que, al ser expuesta en un medio líquido libera un polisacárido conocido como mucílago (Tello, 2014).

Estos son componentes normales de los vegetales, producto de un metabolismo que da paso a la acumulación en células dentro de los tejidos. Sirve como material de reserva de agua en plantas, material hidrocarbonado o como elementos estructurales en algas (vegetales inferiores), proporcionándoles suavidad y elasticidad.

El mucílago aislado tiene la capacidad de retener 27 veces su peso en agua, a diferencia de toda la semilla que se hidrata hasta 12 veces su peso en agua (Guiotto *et al.*, 2016). En la Figura 1.6 se puede apreciar un corte histológico de la semilla chía.



Fuente: Guiotto, (2016)

**Figura 1.6 Corte Histológico de la semilla de la chía**

La capa externa de la semilla, en agua, genera columelas donde se forman brotes filamentosos, silos que luego se integran en una red hidrofílica.

### **1.1.2 Localización de cultivos de la (*Salvia hispanica L.*)**

La *Salvia hispanica L.* se encuentra naturalmente en áreas de bosques de encino o de pino y se distribuye en ambientes semi-cálidos y templados del Eje Neovolcánico Transversal de las Sierras Madre Occidental, del Sur y de Chiapas, en altitudes que oscilan entre 1400 y 2200 m. Históricamente, esta especie ha sido cultivada tanto en ambientes tropicales como subtropicales, en áreas libres de heladas y en regiones con heladas anuales, desde el nivel del mar hasta los 2500 m.

La Tabla 1.2 muestra las características de algunas localidades donde la chía ha sido y es aún cultivada.



**Tabla 1.2 Características de la localización de los sitios de cultivo de la chía**

País	Localidad	Latitud	Elevación (msnm)	T anual/estación <sup>^2</sup> (°C)	Precipitaciones anuales/estación (mm)	Ciclo de cultivo (días)
Argentina	El Camil	25° 05' S	1170	17,3/16,6	560/390	150
Bolivia	Santa Cruz	17° 43' S	437	24,6/22,8	1141/566	150
Colombia <sup>1</sup>	La Unión	4° 32' N	920	24/23,8	1118/341	90
México <sup>1</sup>	México	19° 00' N	2259	15,5/16,3	579/470	150
México	Acatitc	20° 55' N	1680	18,5/0	700/553	150
Perú <sup>1</sup>	Ica	14° 05' S	3936	21,1/20,4	3/1	150

<sup>1</sup> *Discontinuo*

<sup>^2</sup> *Promedio de la estación de cultivo de la chía*

*Fuente: Capitani-Ivana, (2013)*

En la tabla 1.2 se puede hacer un análisis comparativo del tiempo en el ciclo de cultivo de la semilla de chía, que depende de los siguientes factores: la zona debido a que es una planta sensible al fotoperiodo (longitud del día) y la estación de crecimiento de acuerdo a la latitud a la cual se realice el cultivo. Por ejemplo, un cultivo sembrado en La Unión (Valle del Cauca, Colombia) presenta un ciclo de cultivo de 90 días, mientras que la duración del ciclo del mismo cultivar sembrado en El Carril (Salta, Argentina) es de 150 días. A mayores latitudes, como Choele-Choel (39° 11' S, Argentina) y Tucson (32° 14' N, Estados Unidos) la chía no produce semillas ya que la planta muere por la ocurrencia de heladas antes del fin de la floración (Sosa, 2016).

Actualmente, a nivel comercial la chía se cultiva en Argentina, México, Bolivia, Guatemala, Ecuador y Australia. En el año 2008, "The Ord Valley", en el extremo noroccidental de Australia, fue el principal productor de semillas de chía del mundo, con un área sembrada de 750 ha y una perspectiva de cultivo para 2009 de 1700 ha, lo que representa dos tercios de su producción mundial (Matt, 2008).

En países donde las condiciones climáticas no permiten la realización del cultivo a campo (Gran Bretaña), las semillas se siembran en un invernadero durante los meses de marzo y abril. La germinación usualmente tarda un lapso de dos semanas y las plántulas se trasplantan cuando tienen la altura suficiente para ser colocadas en macetas individuales y luego se trasplanta en tierra firme desde finales de la primavera hasta principios del verano (Huxley, 1992).



### **1.1.3 Producción y superficie mundial**

En plantaciones comerciales el rendimiento promedio de esta especie fue de alrededor de 500 - 600 kg/ha, aunque se han logrado obtener hasta 1260 kg/ha (Coates y Ayerza, 1998). En parcelas experimentales de la provincia de Salta, con la implementación de riego y fertilización nitrogenada, se han registrado rendimientos de 2500 kg/ha. La fecha de siembra ha influenciado la producción en el noroeste argentino, abordando la misma desde mediados de enero hasta principios de marzo, siendo óptima la primera quincena de febrero. La temperatura, la luz, el tipo de suelo y la nutrición de las plantas afectan tanto la cantidad como la calidad del aceite contenido en la semilla de chía. Así, se ha registrado una correlación negativa entre las temperaturas medias y el contenido del ácido graso  $\alpha$ -linolénico de la semilla de chía formada a principios de abril y a fines de mayo (Ayerza, 1995). Es probable que las altas temperaturas reduzcan la formación del ácido graso  $\alpha$ -linolénico, tal como ocurre en otras oleaginosas según lo informado por Capitani-Ivana, (2013). Además, la etapa de desarrollo de la planta puede contribuir a diferencias en la composición química de la semilla (Peiretti y Gai, 2009).

### **1.1.4 Composición química y aspectos nutricionales de la semilla de chía**

La Tabla 1.3 muestra la composición de las semillas de chía y la correspondiente a los cinco cereales de mayor importancia a nivel mundial (arroz, cebada, avena, trigo, maíz). En la misma puede observarse que el contenido de proteínas, lípidos, fibra y energía de la semilla de chía es mayor que los presentes en los demás cultivos. Además, si bien la chía es conocida principalmente como una importante fuente de ácidos grasos  $\omega$ -3, también contiene otros compuestos de importancia a nivel nutricional.



**Tabla 1.3 Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos**

Grano	Energía kcal/100g	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
		%				
Arroz <sup>1</sup>	358	0,5	0,5	79,1	2,8	0,5
Cebada <sup>1</sup>	354	12,5	2,3	73,5	17,3	2,3
Avena <sup>1</sup>	389	16,9	6,9	66,3	10,6	1,7
Trigo <sup>1</sup>	339	13,7	2,5	71,1	12,2	1,8
Maiz <sup>1</sup>	365	9,4	4,7	74,3	3,3	1,2
Chía <sup>2,3</sup>	550	19-23	30-35	9-41,0	18-30	4-6,0

*Fuente:* United States Department of Agriculture (2002)

Por otra parte, en la Tabla 1.4 se presenta la composición química de la semilla de chía comparada con cultivos que actualmente están siendo revalorizados. Puede observarse que la semilla de chía presenta un contenido de proteínas similar al de sésamo y un tenor de lípidos semejante al de lino y cártamo (Elleuch *et al.*, 2007; Bozan y Timelli, 2008; Ixtaina *et al.*, 2010). Por otra parte, cabe resaltar que la chía presenta un nivel de ambos componentes superior a los de quinoa y amaranto (Ruales y Nair, 1992; Loubes *et al.*, 2012).

**Tabla 1.4 Composición proximal correspondiente a diversos cultivos (% b.s.)**

Grano	Proteína	Lípidos	Carbohidratos + fibra	Cenizas
Quinoa <sup>1</sup>	14.1	9.7	72.5	3.4
Amaranto <sup>2</sup>	16.2	7.9	71.5	3.3
Sésamo <sup>3</sup>	25.8	52.2	22.7	4.7
Cártamo <sup>4</sup>	12.6	27.5	51.9	1.9
Lino <sup>4</sup>	17.9	33.6	38.1	3.9
Chía <sup>5</sup>	29.0	32.0	34.0	5.0

*Fuente:* Loubes *et al.*, (2012)



### 1.1.5 Contenido de aceite y composición de ácidos grasos

La semilla de chía contiene entre un 0.25 y 0.38 g aceite/g semilla, donde los mayores constituyentes son los triglicéridos, en el que los ácidos grasos poliinsaturados están presentes en altas concentraciones (Ayerza, 1995; Ixtaina *et al.*, 2011). Algunos autores han descrito el contenido de ácidos grasos poliinsaturados presentes en la semilla de chía. En la Tabla 1.5 se describen los contenidos de los algunos ácidos grasos reportados.

**Tabla 1.5 Contenido de ácidos grasos (g /kg total de ácido graso) en semilla de chía**

Ácido graso según el tamaño de cadena e instauraciones	(Peiretti y Gai, 2009)	(Ayerza, 1995)	(Coates y Ayerza, 1996)	(Heuer et al., 2002)	(Ayerza y Coates, 2004)
C <sub>16:0</sub>	71 ± 0.64	62 - 71	64 - 79	76 - 87	66 - 77
C <sub>18:0</sub>	33 ± 0.41	31 - 37	24 - 32	26 - 30	27 - 36
C <sub>18:1 n-9</sub>	60 ± 0.48	73 - 82	60 - 66	61 - 63	68 - 133
C <sub>18:2 n-6</sub>	188 ± 0.25	198 - 208	170 - 201	174 - 187	180 - 211
C <sub>18:3 n-3</sub>	641 ± 0.87	607 - 634	632 - 678	635 - 651	542 - 642
P/s*	7.9 ± 0.66	7.6 - 8.8	7.7 - 9.3	7.3 - 7.8	6.7 - 8.7
n-6/n-3	0.29 ± 0.00	0.31 - 0.33	0.25 - 0.32	0.27 - 0.29	0.29 - 0.38

\*Poliinsaturados/ Saturados

*Fuente:* Loubes *et al.*, (2012)

Según el contenido de ácidos grasos reportados existe una alta coherencia entre los rangos tanto para los ácidos grasos saturados como los insaturados. Entre los ácidos grasos saturados se destaca que el ácido palmítico C16:0 se encuentra en una relación 2:1 con el ácido esteárico, C18:0, respectivamente.

Los ácidos grasos insaturados son tres principalmente: ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3<sub>n-3</sub>), ácido linoleico (C18:2<sub>n-6</sub>) y ácido erúcido (C18:1<sub>n-9</sub>), siendo el  $\alpha$ -linolénico el de mayor abundancia en la semilla de chía, lo que representa una importancia nutricional destacable porque éste participa como precursor de otros ácidos grasos esenciales y además da origen a ciertas prostaglandinas, Leucotrienos y Tromboxano con actividad antiinflamatoria, anticoagulante y antiagregante (Silveira-Rodríguez *et al.*, 2003).



### 1.1.6 Ácidos grasos Omega-3.

Los ácidos grasos omega-3 son aquellos que se derivan del ácido  $\alpha$ -linolénico, el cual actúa en el cuerpo humano como un sustrato para la transformación del ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), mediante la acción de las enzimas de saturación y elongación (Alabdulkarim *et al.*, 2012). En la figura 1.7 se puede apreciar la estructura del ácido  $\alpha$ -linolénico (LA, C18: 3<sub>n-3</sub> omega 3).



*Fuente:* Travieso. (2010)

**Figura 1.7 Estructura química del ácido  $\alpha$ -linolénico (Omega-3)**

El ácido  $\alpha$ -linolénico a pesar de ser el principal precursor del DHA y EPA desarrolla una mínima conversión, de allí la importancia del consumo de alimentos que se conviertan en una fuente directa de EPA y DHA.

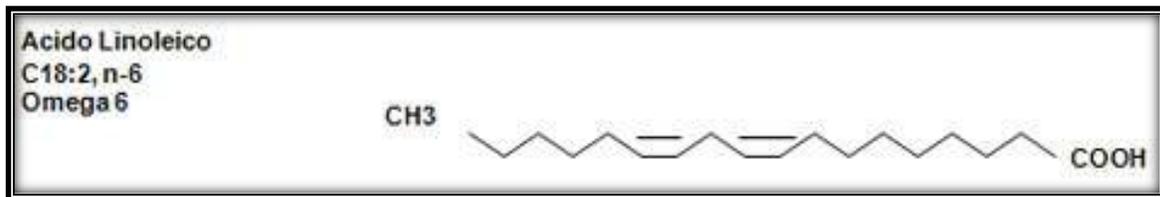
Las fuentes de alimentos más ricas en Omega-3 son los aceites de pescado, en especial los de aguas frías, en estos animales se pueden encontrar en forma de EPA y DHA debido al consumo de los pescados del fitoplancton. Mientras que una de las mejores fuentes vegetales reportadas es el aceite de chía (<60 %), seguido por la linaza (57 %) por la colza, la soja, el germen de trigo y las nueces (entre 7 y 13 %) (Travieso, 2010).

### 1.1.7 Ácidos grasos Omega-6

Los ácidos grasos Omega-6 derivan del ácido linoleico (LA) el cual por medio de enzimas desaturadas y elongadas va a ser precursor de ácido graso Gamma Linoleico (GLA) el cual se encuentra en algunos aceites vegetales y ácido araquidónico (AA) que es uno de los ácidos grasos más importantes asociados a los fosfolípidos de membrana.



A diferencia de los ácidos grasos Omega-3, los Omega-6, por lo general va a ser generadores de prostaglandinas, Tromboxano y Leucotrienos, estimulantes del sistema inmune, vasoconstrictores y procoagulantes, con perfil por tanto potencialmente proinflamatorio, proalergizante y deletéreo a nivel cardiovascular (Silveira-Rodríguez *et al.*, 2003). En la Figura 1.8 se muestra las estructuras del ácido araquidónico (AA, C:20-4, Omega-6).



Fuente: Travieso. (2010)

**Figura 1.8 Estructura química del ácido araquidónico (Omega-6)**

### 1.1.8 Proteínas y aminoácidos contenidos en la semilla de chía

Por otra parte dada la composición de la semilla de chía es importante resaltar la cantidad de proteína que contiene siendo esta de 20 %, nivel que resulta más alto que el que contiene algunos cereales tradicionales como el trigo (13,7 %), el maíz (9,4 %), el arroz (6,5 %), la avena (16,9 %) y la cebada (12,5 %).

Si se hace un análisis del contenido de sus aminoácidos, se puede encontrar que el aporte de lisina es relativamente alto y la cisteína y metionina se pueden comparar favorablemente con otras semillas oleaginosas. Los aminoácidos de la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo cual significa que ésta puede ser incorporada en la dieta humana y ser mezclada con otros granos, a fin de producir una fuente equilibrada en proteínas (Coates y Ayerza, 2006).

Además los aminoácidos que conforman las proteínas contenidas en el aceite de la semilla de chía, existen estudios donde muestran las diferencias en el perfil aminolítico expresado en gramos del aminoácido con respecto al contenido general



de nitrógeno ( $g_{\text{aminoácido}}/16g_N$ ), como se detalla en la Tabla 1.6. el contenido de aminoácidos.

En la siguiente tabla se muestran los aminoácidos esenciales presentes en la semilla de chía. Entre ellos, puede destacarse el contenido de lisina, así como los tenores de metionina y cistina los cuales son mayores en comparación con otras semillas oleaginosas (Ting *et al.*, 1990). Se ha demostrado que la chía puede incorporarse a la dieta humana junto con otros granos a fin de producir un balance de proteínas más equilibrado (Brown, 2003).

**Tabla 1.6 Contenido de aminoácidos de la semilla de chía.**

Aminoácido	$g_{\text{aminoácido}}/16g_N$
Ácido aspártico	7.64
Treonina	3.63
Serina	4.86
Ácido glutámico	12.40
Glicina	4.22
Alanina	4.31
Valina	5.10
Cisteína	1.47
Metionina	0.36
Isoleucina	3.21
Leucina	5.89
Triptófano	0.00
Tirosina	2.75
Fenilalanina	4.73
Lisina	4.44
Histidina	2.57
Arginina	8.90
Prolina	4.40
<b>Total</b>	<b>80.64</b>

*Fuente: (Brown, 2003)*



### 1.1.9 Vitaminas y minerales

La semilla de chía se ha caracterizado por ser una buena fuente de vitaminas y minerales del complejo “B” como la niacina, tiamina y ácido fólico, así como Vitamina “A”. Además, la semilla de chía es una fuente excelente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre, como se muestra en la tabla 1.7. Otra de las grandes ventajas de esta semilla es su bajo contenido en sodio.

Los niveles de hierro encontrados en las semillas de chía y en la harina remanente después de extraer el aceite son muy elevados y representan una cantidad inusual para la semilla. (Coates y Ayerza, 2006)

**Tabla 1.7 Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas de chía**

Nutriente	Semilla entera
<b>Macro elementos (mg/100g)</b>	
<b>Calcio</b>	714.0
<b>Potasio</b>	700.0
<b>Magnesio</b>	390.0
<b>Fósforo</b>	1067.0
<b>Micro elementos (mg/100g)</b>	
<b>Aluminio</b>	2.0
<b>Boro</b>	-
<b>Cobre</b>	0.2
<b>Hierro</b>	16.4
<b>Manganeso</b>	2.3
<b>Molibdeno</b>	0.2
<b>Sodio</b>	-
<b>Zinc</b>	3.7
<b>Vitaminas (mg/100g)</b>	
<b>Niacina, B3</b>	6.13
<b>Tiamina, B1</b>	0.18
<b>Riboflavina, B2</b>	0.04
<b>Vitamina A</b>	44.0 IU

*Fuente:* (Ayerza y Wayne, 2006)



Al igual que otras semillas oleaginosas, la semilla de chía es una buena fuente de tiamina, riboflavina, equivalentes de niacina y además también contiene vitamina A. Con respecto al contenido en minerales, las semillas de chía son una excelente fuente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre. Además, contienen más calcio, fósforo y potasio que el trigo, arroz, cebada, avena y maíz (Bushway *et al.* 1981).

### 1.1.10 Antioxidantes

Los antioxidantes son componentes protectores que consisten en un arreglo enzimático y nutrientes esenciales (como vitaminas y pigmentos) cuya función principal es prevenir la formación de radicales libres e interceptar los que ya se han generado (Shi, 2001). En el en la tabla 1.8 se muestra la concentración de compuestos antioxidantes presentes en la semilla de chía.

**Tabla 1.8 Concentración de antioxidantes en extractos de semilla de Chía**

Compuesto	Concentración (mol/Kg de semilla de chía)
<b>No hidrolizados</b>	
Ácido cafeico	6.6 <sup>10-3</sup>
Ácido clorogénico	7.1 <sup>10-3</sup>
<b>Hidrolizados</b>	
Miricetina	3.1 <sup>10-3</sup>
Quercetina	0.2 <sup>10-3</sup>
Kaempferol	1.1 <sup>10-3</sup>

*Fuente:*(Muller,2015)



La semilla de chía contiene una cantidad de compuestos con potente actividad antioxidante, entre los más importantes se encuentran el ( $\delta$ ) y ( $\gamma$ )-tocoferol y antioxidantes fenólicos tales como ácidos clorogénico, cafeico, flavonoles (miricetina, quecetina y kaempferol). La importancia de los mismos radica en su protección frente a la oxidación lipídica que afecta tanto la calidad de los alimentos como la salud de los consumidores, con el posible deterioro de las características organolépticas, funcionales y nutricionales (Muller, 2015).

### 1.1.11 Fibra

La fibra está compuesta mayormente por carbohidratos complejos y lignina, es recomendable una ingesta diaria entre 20 a 35 gramos de fibra. En el estómago, las fibras solubles retrasan el vaciado gástrico gracias a una propiedad de viscosidad y al aumentar la distensión del estómago, prolongando así la sensación de saciedad. Asimismo, la fibra aumenta la retención de agua en el cuerpo y la biomasa bacteriana en el intestino delgado.

El contenido de fibra de la semilla de chía es del 18 a 30 %, un valor alto en comparación con cereales convencionales como la avena, maíz, trigo, cebada y arroz, tal como se observó en la Tabla 1.4. El contenido de fibra en la harina residual luego de ser extraído su aceite, es aproximadamente de un 40 %, del cual el 5% pertenece a fibra soluble, denominado mucílago. Su consumo resulta ser una alternativa beneficiosa en la salud al mejorar la formación del bolo fecal y permitir una correcta evacuación de las heces, ayudando a prevenir enfermedades como el cáncer de colon o la obesidad, controlando a su vez los elevados niveles de glucosa y colesterol en la sangre (Silva, 2015).

- Fibra insoluble: suele hincharse poco debido a su baja retención de agua y está integrada por celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente. Este tipo de fibra ayuda a la limpieza del organismo, a través de las paredes del intestino, así también aumenta el volumen de las heces, disminuye su consistencia y su tiempo de tránsito, por lo que facilita su excreción.
- Fibra soluble: forman geles viscosos por su alta capacidad de retención de agua y está compuesta por inulina, pectina, gomas y oligosacáridos. Así



también, favorece la creación de flora bacteriana, aumenta el volumen de las heces y disminuye su consistencia. La fibra soluble es capaz de disminuir y atrasar absorción de grasa y azúcares lo que lleva a la regulación de los niveles de colesterol y glucosa en la sangre (Farela-Lara, 2017).

El mucílago de *Salvia hispanica-L.*, tiene la capacidad de formar capas comestibles que junto con proteínas mejoran las propiedades funcionales y mecánicas de las mismas (Hernández y Miranda, 2008).

El mucílago está compuesto por polisacáridos ubicados en la testa (cascarilla), que a su vez está compuesta de tres capas y se encuentra dentro de las células epidérmicas de la semilla madura. Al entrar en contacto con el agua las núculas de la chía se rompen agotando su elasticidad liberando fibras, que están formadas por células de la pared vegetal, estas son fibrillas celulósicas higroscópicas con aberturas espiraladas. Posteriormente las células apocárpicas formarán el denominado mucílago (cápsula transparente), rodeando toda la superficie de la semilla hasta su máxima capacidad (Silvia, 2015). En la Figura 1.9 se muestra la semilla hidratada y su correspondiente mucílago alrededor de las semillas, formando una red tridimensional de forma continua.



*Fuente: Silva, (2015)*

**Figura 1.9 Semilla de la chía sumergida en agua**



El mucílago de la semilla de chía contiene  $48 \pm 0.55$  % del azúcar total de la semilla,  $8 \pm 0.57$  % de cenizas,  $4 \pm 0.05$  % de proteína y  $1.78 \pm 0.02$  % de grasa. Es una potencial fuente de hidrocoloides con diferentes propiedades funcionales útiles para la industria de la alimentación humana, animal y farmacéutica, como espesante, emulsificante o estabilizante en la formación de espumas. En una formulación comercial, se puede remplazar el 100% del estabilizante que se utiliza convencionalmente.

## 1.2 Aplicaciones de la semilla de chía y derivados

En la industria alimenticia, las aplicaciones son varias tanto de la semilla como del aceite, mucílago, proteína o harina extraída de la misma. Algunos de los productos que se comercializan a partir de estas materias primas son: suplementos alimenticios, productos de panadería, pastas, snacks y algunos productos lácteos (Mohd *et al.*, 2012).

A pesar de que el uso de hidrocoloides en formulaciones sea menor al 1%, estos mejoran las características físicas al prevenir procesos como cristalización o separación del producto. El uso de este tipo de hidrocoloides no altera el sabor de los productos a los que son adicionados, además de preservar aromas, por lo que se puede decir que mejora también las características organolépticas (Ávila de la Roda *et al.*, 2015, Capitani-Ivana, 2013).

El mucílago de chía al formar parte de los hidrocoloides podría ser de utilidad dentro de las diferentes industrias al ser considerado como un ingrediente de origen natural. Podría ser incluido en distintas formulaciones gracias a su alta solubilidad (50g/mL), tomando en cuenta los factores que pueden afectar su funcionalidad (Ávila de la Roda *et al.*, 2015; Capitani-Ivana, 2013; Houska *et al.*, 1998;)

El mucílago de chía se ha mezclado en pequeñas cantidades con concentrados proteicos como la soya para dar lugar a películas comestibles que actúan en la conservación de alimentos. Un estudio realizado por Coorey *et al.* (2014) demuestra la efectividad del uso de un 5% del mucilago sin semilla como estabilizante en



productos congelados (Seia y Suárez, 2003; Diaz y Aguilera, 2012; Ávila de la Roda *et al.*, 2015; Capitani- Ivana *et al.*, 2015).

### 1.2.1 Extracción del Mucilago de Chía

El proceso de obtención del mucílago de la semilla de chía parece ser sencillo, por tratarse de un hidrocoloide soluble en agua. Sin embargo, presenta etapas críticas de operación tales como la de llevar a cabo la separación de las semillas del líquido gelatinoso donde se encuentra el mucílago. Debido a que el mucílago retiene en su estructura una elevada proporción de líquido, se dificultan los procesos de escurrido y de deshidratación, por lo que se requiere el uso de alcohol como solvente para precipitar el mucílago o bien la separación por centrifugación (Reynoso-Cortes, 2002).

Muñoz *et al.* (2012) estudiaron diferentes condiciones de extracción de mucílago de *Salvia hispanica*, en relaciones de semilla-agua 1:20, 1:30 y 1:40 (p/v), la temperatura del agua fue de 20 y 80 °C y dichas mezclas a diferente pH: 4, 6 y 8, (ajustandolo con una solución de NaOH al 0.2 M). Se prepararon mezclas homogéneas por dos horas. Estos autores reportaron un rendimiento del 6.9 %, en una relación de semilla:agua (1:40 p/v), después de 2 h de hidratación a 80 °C.

Al siguiente año, San Juan *et al.* (2013) evaluaron el efecto de la temperatura (25, 40, 60 y 70 °C), en semilla de chía completa, se utilizó la relación de chía: agua de 1:50 y tiempo de hidratación de 30 minutos. Se observó que con el incremento de la temperatura (25-70 °C) de extracción el rendimiento aumentó de 2.3 hasta 8.9 %. Las temperaturas de extracción de 60 y 70 °C, proporcionaron rendimientos de extracción similares ( $p > 0.05$ ). El incremento en la temperatura de extracción 25, 40, 60 y 70 °C, tiene el efecto de aumentar el número de etapas de extracción para lograr el equilibrio en la cantidad máxima extraíble de biopolímero de 6, 10, 12 y 14 etapas respectivamente. Las mejores condiciones de extracción del biopolímero de chía se obtuvieron a 60 °C, con 10 etapas y un rendimiento del 8.9 %.

Posteriormente, Dick *et al.*, (2015), extrajeron el mucílago mediante el siguiente método de centrifugación, se remojaron las semillas en agua destilada con una



relación de semilla a agua de 1:30, y se agitaron mecánicamente usando un agitador superior durante al menos 2 horas en 25 °C. La solución de mucílago formada se separó de las semillas de chía por centrifugación ( $11,600 \times g$ , 30 min), posteriormente, se filtró con una bomba de vacío y un tamiz para eliminar el gel estrechamente mucilaginoso unido al recubrimiento de la semilla de chía.

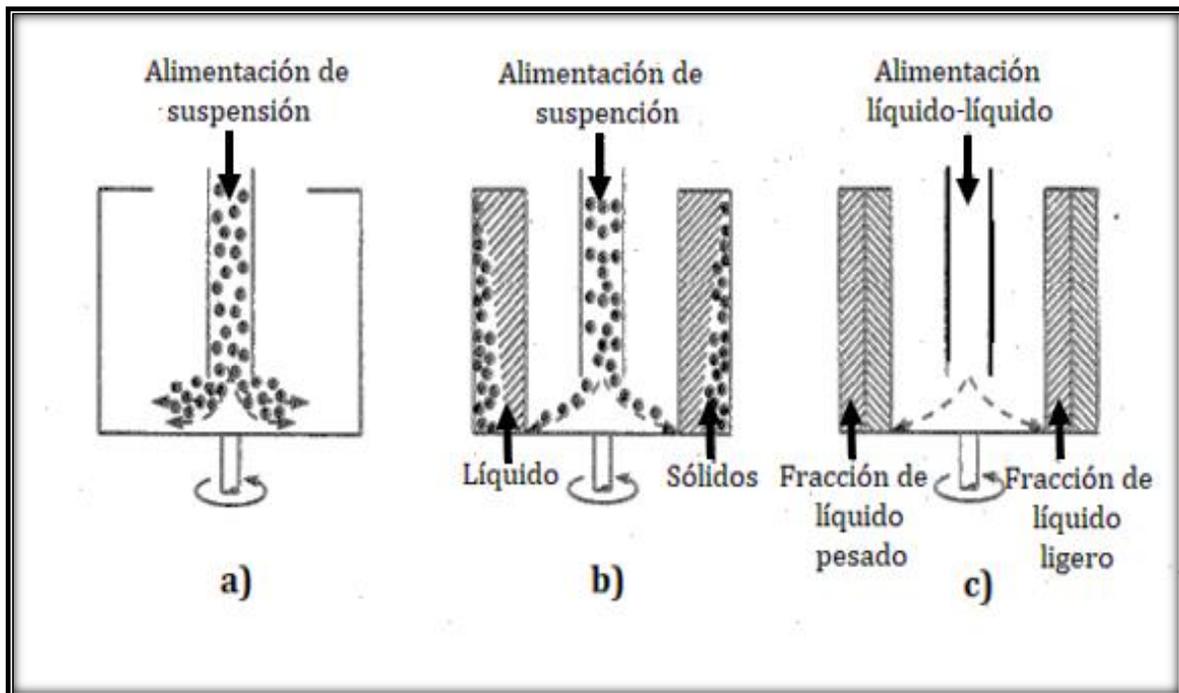
Para el año 2017 Chambi y Puraca, (2017), realizaron una extracción de mucílago de semilla de chía, para posterior aplicación como estabilizante, en la cual hidrataron 200 g de semillas de chía en proporción 1:10 p/v de semilla: agua (2000 mL agua destilada), alcanzando un pH de 8 mediante la adición de una solución base (hidróxido de sodio 0.1 N), llevándolo a una temperatura de  $80 \pm 1.5$  °C, inmediatamente se lleva a cabo la exudación de la semilla mediante agitación manual (1 hora) a 70 y 80 °C, posteriormente se colocaron las mezclas congeladas en el liofilizador por 72 horas obteniendo mucílago seco liofilizado con un rendimiento aproximadamente de 8.0 %.

Xing *et al.*, (2017), investigaron sobre el aislamiento y elucidación estructural por 2D RMN de un oligosacárido en el mucílago de semillas de chía, la extracción se realizó en una suspensión 1g de semilla en 40 mL de agua desionizada, se calentó a 80 °C con agitación constante durante 2 horas, pasó por un tamiz metálico de malla 40 (tamaño de malla  $< 0.42$  mm) El material que pasa a través del tamiz se congela rápidamente en nitrógeno líquido, se liofiliza y se almacena en un desecador a temperatura ambiente. Posteriormente, se suspendieron 40 mg. del mucílago seco en 2 mL de etanol acuoso al 70 % (v / v) y se agitó durante 10 minutos. El sobrenadante recuperado después de la centrifugación a 5000 rpm durante 10 minutos se secó a vacío usando un sistema SpeedVac (Thermo Scientific, Dreieich, Alemania) y el material seco se volvió a disolver en 5 mL de agua desionizada. La solución resultante se cargó en un cartucho de SPE grafitado de carbono (1000 mg / 15 mL, Grace Davison) preacondicionado con 10 mL de acetonitrilo y se equilibró con 10 mL de agua desionizada. Se siguió un lavado con agua de 5 mL mediante elución con 5 mL de cada una de las soluciones de acetonitrilo al 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10 % (v / v) en agua, lo que produjo 8 fracciones individuales, se obtuvo un rendimiento del 8 %.



### 1.2.2 Proceso de separación por centrifugación

Los separadores centrífugos se basan en el principio común de que la rotación de un objeto en torno a un eje o punto central, a una distancia radial constante desde dicho punto, produce una fuerza que actúa sobre dicho objeto. El objeto que gira en torno al eje cambia de dirección constantemente, con lo cual se produce una aceleración aun cuando la velocidad rotacional sea constante. Esta fuerza centrípeta está dirigida hacia el centro de rotación, adicionalmente, el contenido de fluidos y sólidos desarrolla una fuerza igual y opuesta, llamada fuerza centrífuga, dirigida hacia las paredes del recipiente. Esta fuerza causa la sedimentación o precipitación de las partículas a través de una capa de líquido, o la filtración de un líquido a través de un lecho o torta de filtrado en el interior de la cámara de rotación perforada. En la Figura 1.10 se ilustra el fenómeno de separación por centrifugación, Geankoplis (1998).

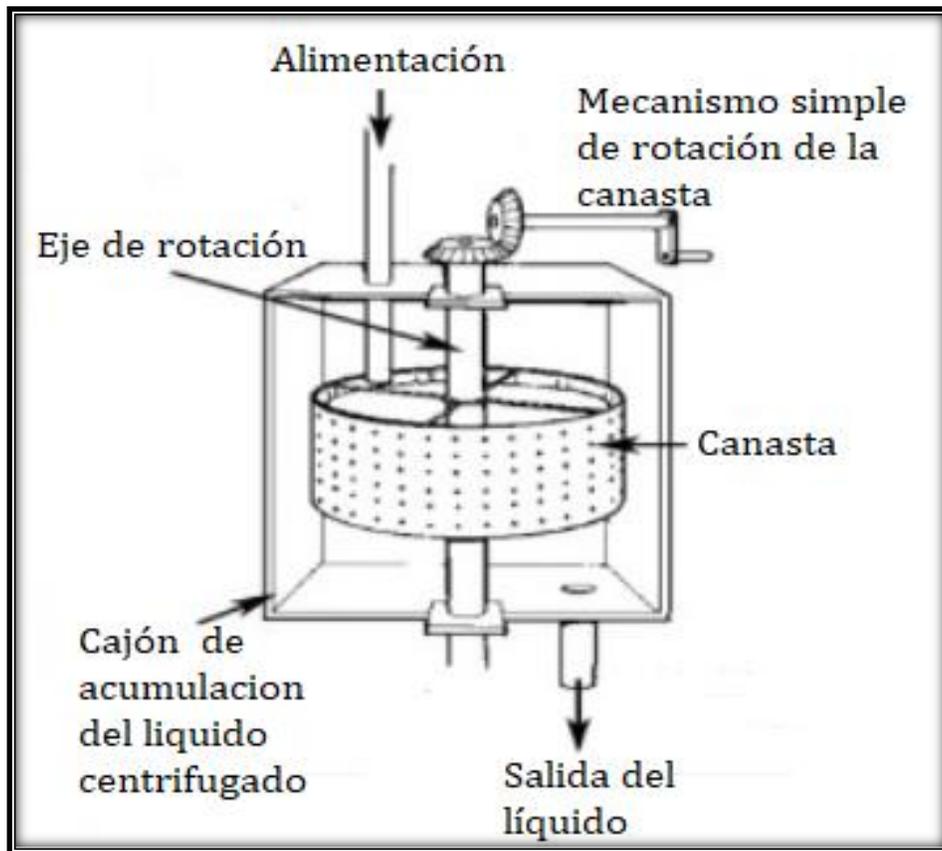


Fuente: Geankoplis, (1998)

Figura 1.10 Diagrama de una separación por centrifugación: a) entrada de la suspensión de alimentación inicial, b) precipitación de los sólidos suspendidos en el líquido, c) separación de dos fracciones líquidas.



En la Figura 1.10 a) se muestra un recipiente cilíndrico o tazón giratorio y la alineación de una suspensión de partículas sólidas en un fluido penetra por el centro. La alimentación es arrastrada de inmediato hacia las paredes del tazón, como se ilustra en la Figura 1.10 b) La fuerza gravitatoria vertical y fuerza centrífuga horizontal actúan sobre líquido y los sólidos. La fuerza centrífuga suele ser tan grande, que es posible despreciar la fuerza de gravedad. Entonces, la capa líquida asume una posición de equilibrio en la superficie casi vertical. Las partículas se precipitan horizontalmente hacia afuera, presionándose sobre la pared vertical del tazón, La Figura c) se muestra la separación de dos líquidos con densidades diferentes en una centrifuga. El fluido más denso ocupara la periferia, pues la fuerza centrífuga es mayor sobre él, (Geankoplis, 1998).



*Fuente: Olvera, (2011)*

**Figura 1.11 Diagrama de una centrifuga de canasta**



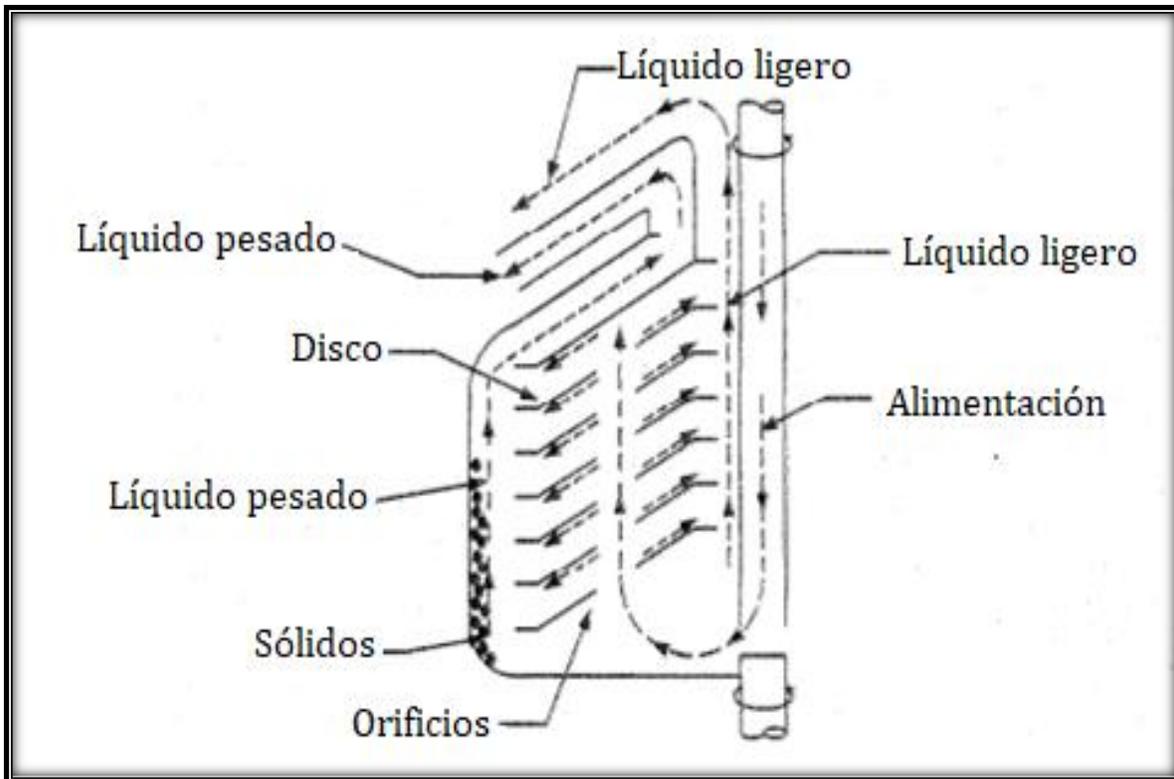
### **1.2.3. Centrífuga de Canasta**

La forman, una pared perforada y un rotor tubular cilíndrico. En la mayoría de los casos cuenta con una pared externa la centrífuga que consiste en una fina malla metálica o una serie de mallas soportadas por una malla gruesa, la cual a su vez es soportada por un plato, como se muestra el diagrama en la Figura 1.11.

En la Figura 1.11 se puede apreciar una centrífuga de canasta, la operación consiste en el paso de una suspensión a través de esta, separando el líquido de un sólido, este pasa a través de la malla, y las partículas muy pesadas se depositan en la en centro (canasta). Estas centrífugas son empleadas en lavadoras caseras y en el lavado y secado de diferentes tipos de materiales fibrosos (Olvera, 2011).

### **1.2.4. Centrífuga de tazon con discos**

La centrífuga de tazón con discos que ilustra la Figura 1.12 se usa con frecuencia en la separaciones líquido-líquido. La alimentación penetra al compartimiento por el fondo y se desplaza hacia arriba a través de orificios de alimentación espaciados verticalmente, llenando los espacios entre discos. Los orificios dividen al conjunto vertical, en una sección interior, en la que está presente la mayor parte del líquido ligero, y una sección externa, donde predomina el líquido pesado. Esta línea divisora es similar a la interfaz de una centrífuga tubular.



*Fuente: Geankoplis, (1998)*

**Figura 1.12 Diagrama esquemático de una centrifuga de tazón con discos**

El líquido pesado fluye por debajo de la superficie interior de un disco hasta la periferia del tazón. El líquido ligero fluye sobre la superficie y hacia la salida de la zona interior. Cualquier cantidad pequeña de sólidos pesados que pueda existir se desplaza hacia la pared exterior. Se requiere limpieza periódica para extraer los sólidos depositados. Las centrifugas de tazón con discos se usan en las separaciones de almidón-gluten, en la concentración de látex de caucho y en la separación de cremas (Geankoplis, 1998).

### **1.2.5. Técnicas de evaluación para determinar la eficiencia y rendimiento de separación del mucilago de chíá.**

### **1.2.6. Difracción de rayos X**

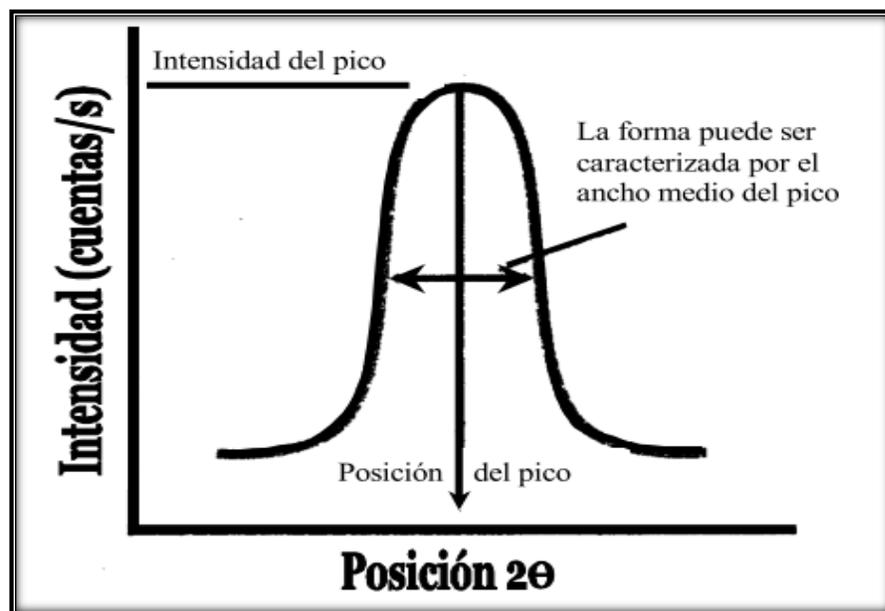
Dada la naturaleza de las muestras en este trabajo, se utilizó un método para polvos, el cual consiste en que un polvo muy fino, compuesto de infinidad de



crisales, es expuesto a un haz monocromático de rayos X donde cada cristal se encuentra orientado de manera aleatoria con respecto al haz incidente, de tal manera que sólo algunos cristales están orientados correctamente, por ello, cada conjunto de planos será capaz de producir la difracción. (Mondragón, 2007).

Cuando los rayos X son dispersados por un cristal, el orden periódico de los sitios dispersantes (electrones) llevan a direcciones alrededor del material, en el cual las ondas del plano incidente se dispersan constructivamente o en fase. En estas direcciones, se logran apreciar los picos, los cuales son la suma de las amplitudes de las ondas del plano incidente dispersadas por los electrones (Aarón, 2001).

Para identificar las diferentes fases cristalinas obtenidas se utilizan los patrones de difracción contenidos en la base de datos JCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standards) de la ICDD (International Center of Diffraction Data). En estas fichas se encuentran los ángulos de difracción, intensidades, espaciados reticulares, índices de Miller de los planos, etc. así como otras características del material, y las condiciones en que se hizo la difracción en la Figura 1.14 muestra tres características de un pico de difracción, posición, intensidad y forma.



Fuente: Aarón, (2001)

Figura 1.13 Características de un pico de difracción: posición, intensidad y forma.



En la Figura 1.13 muestra que la cristalinidad de la muestra se puede interpretar gracias a las diferentes posiciones, alturas, formas y la amplitud de los picos que presenta el difractograma de rayos x (Aarón, 2001). Para calcular el tamaño de cristal se puede utilizar la relación de Scherrer (Ecuación 1.1), con los parámetros obtenidos del difractograma con posición del pico, la longitud de onda de trabajo y de ancho medio pico como se observa en la figura 1.13.

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

**Dónde:**

*d*: Dimensión de cristales que componen al polvo.

*θ*: Ángulo de difracción.

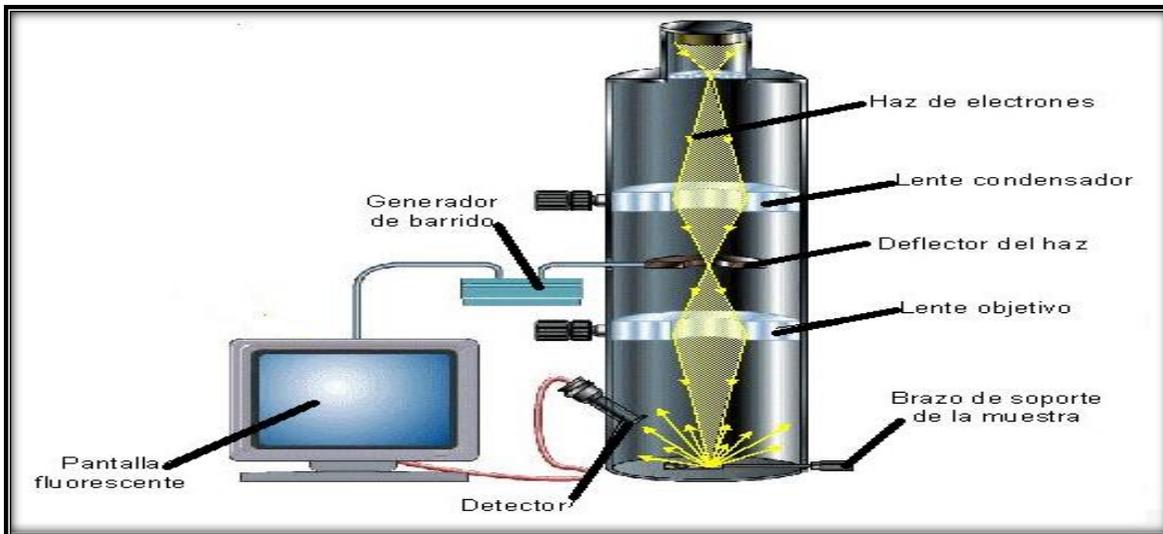
*λ*: Longitud de onda de difracción.

*β*: Ancho del pico medio de difracción en una escala de 2θ en radianes. (ver figura 1.13)

*k*: Constante aproximadamente igual a la unidad, la cual relaciona la forma cristalina con los parámetros *β* y *d*.

### 1.2.7. Microscopía electrónica

La microscopía electrónica de barrido (MEB) se fundamenta en el bombardeo mediante un haz extremadamente fino de electrones de alta energía sobre la superficie de la muestra a analizar, provocando así, la emisión de electrones desde algún punto de la superficie, los cuales son colectados para generar una señal eléctrica amplificada, la Figura 1.14 se muestra un diagrama del microscopio electrónico de barrido (MEB), (Mondragón, 2007).



*Fuente: Mondragón, (2007)*

**Figura 1.14 Diagrama de un microscopio electrónico de barrido (MEB).**

A nivel general, como se aprecia en la Figura 1.14 un microscopio electrónico difiere de un óptico en que el bombardeo de electrones reemplaza a los rayos de luz y las lentes electromagnéticas a las ópticas. Esto mejora mucho la resolución, ya que ésta, es proporcional a la longitud de onda  $\lambda$  de la descarga incidente. Así cuanto menor es  $\lambda$ , menor es el tamaño que podemos diferenciar en el microscopio, lo que significa una mayor resolución.

Cuando el haz primario entra en contacto con la superficie de la muestra una porción de electrones es reflejada de la superficie pero otra parte penetra unas pocas capas atómicas, siguiendo una trayectoria complicada muy diferente de una recta, antes de volver a emerger a la superficie. Es el tratamiento de estos electrones lo que conduce a la obtención de la imagen. Para obtener una imagen es necesario barrer un área de la superficie de la muestra.

Esta técnica nos permite obtener información directa sobre las características microestructurales, morfológicas y topográficas de los materiales sólidos. Por otra parte, también puede dar información indirecta sobre el grado de interacción existente entre dos fases (Mondragón, 2007).



## PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

**PROBLEMA:** Establecer las condiciones óptimas de extracción de mucílago de la semilla de *Salvia hispanica* L. (chía) en la operación unitaria de centrifugación.

**OBJETIVO GENERAL:** Evaluar la influencia de las variables temperatura de hidratación, abertura de tornillo de gravedad, velocidad de giro y las relaciones entre sí en la extracción de mucílago a partir de la semilla de chía, mediante la operación unitaria de centrifugación, seleccionando las condiciones óptimas que permitan obtener la mayor eficiencia de separación y rendimiento; así como también caracterizar el mucílago por microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos x.

### OBJETIVOS PARTICULARES:

- I. Evaluar la influencia de las variables temperatura, abertura de tornillo y velocidad de giro y sus relaciones, durante la separación del mucílago a partir de la suspensión de *S. hispanica* en un separador centrífugo de discos, obteniendo la eficiencia de separación del mucílago y su rendimiento.
- II. Evaluar las diferentes condiciones de extracción de mucílago, por medio de las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido a bajo vacío, para identificar los cambios en la morfología de la semilla de chía y en la limpieza del mucílago.
- III. Identificar los cambios en los componentes minerales presentes en el mucílago debido a las diferentes condiciones de extracción, a través de la técnica de Difracción de rayos X, para conocer su microestructura mineral.



## DISEÑO ESTADISTICO

Para el análisis de los resultados obtenidos en la etapa de centrifugación de canasta se promediaron y se calculó media, desviación estándar y coeficiente de variación. A continuación, en el Tabla 2.1 se presenta el resumen del diseño factorial multinivel.

**Tabla 2.1 Datos del diseño factorial para centrifuga de discos**

<b>Factores: 3</b>	<b>Replicas: 3</b>
<b>Corridas base: 27</b>	Total de corridas: 81
<b>Bloques base: 1</b>	Total de bloques: 1
<b>Número de niveles: 3; 3; 3</b>	

Posteriormente se empleó un diseño factorial de  $3^3$  de acuerdo con el número de factores y niveles establecidos en el estudio para determinar el efecto de cada uno de ellos y de sus interacciones.

En la Tabla 2.2, se presenta la tabla de diseño factorial con las variables de estudio y sus niveles.



**Tabla 2.2 Diseño Factorial para la extracción de mucílago de chíá**

Nombre de la serie	Velocidad de giro (rpm)	Temperatura de hidratación °C	Abertura de tornillos %
C520	5000	25	0
C550	5000	50	0
C570	5000	75	0
C525	5000	25	50
C555	5000	50	50
C575	5000	75	50
C521	5000	25	100
C551	5000	50	100
C571	5000	75	100
C620	6000	25	0
C650	6000	50	0
C670	6000	75	0
C625	6000	25	50
C655	6000	50	50
C675	6000	75	50
C621	6000	25	100
C651	6000	50	100
C671	6000	75	100
C720	7000	25	0
C750	7000	50	0
C770	7000	75	0
C725	7000	25	50
C755	7000	50	50
C775	7000	75	50
C721	7000	25	100
C751	7000	50	100
C771	7000	75	100

En la Tabla 2.2, se presenta el arreglo con variables y niveles de variación. El arreglo se da como un número de serie, en donde el primer número indica la velocidad de giro, temperatura de hidratación y el tercer dígito la altura de tornillo. La letra C al inicio indica la palabra corrida.



## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico que se muestra en la Figura 2.1, el cual contiene el problema, objetivos, variables, actividades preliminares, actividades por objetivo, condiciones de trabajo y las técnicas que se utilizaron para la evaluación de las muestras obtenidas.

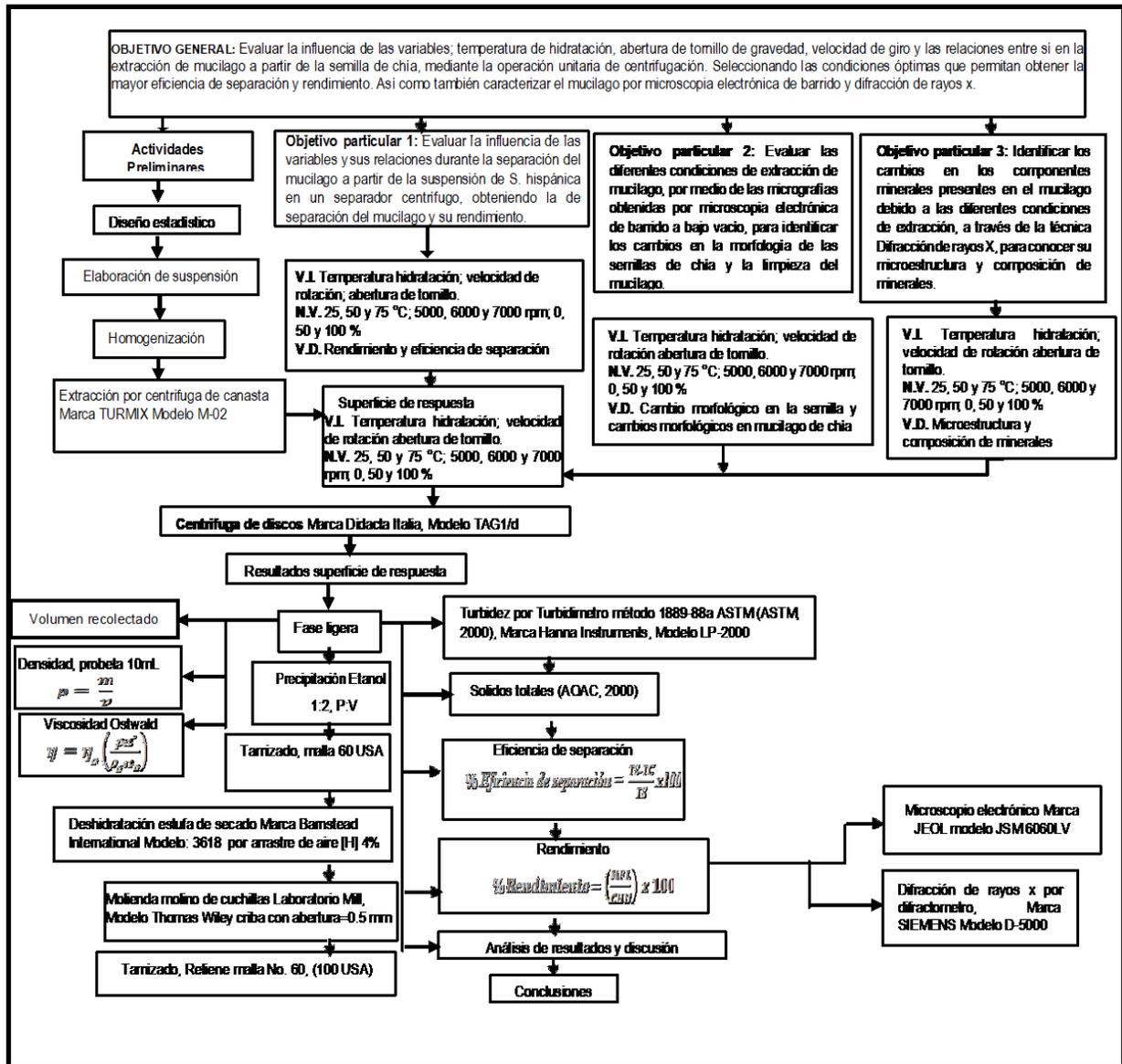


Figura 2.1 Cuadro Metodológico del desarrollo experimental

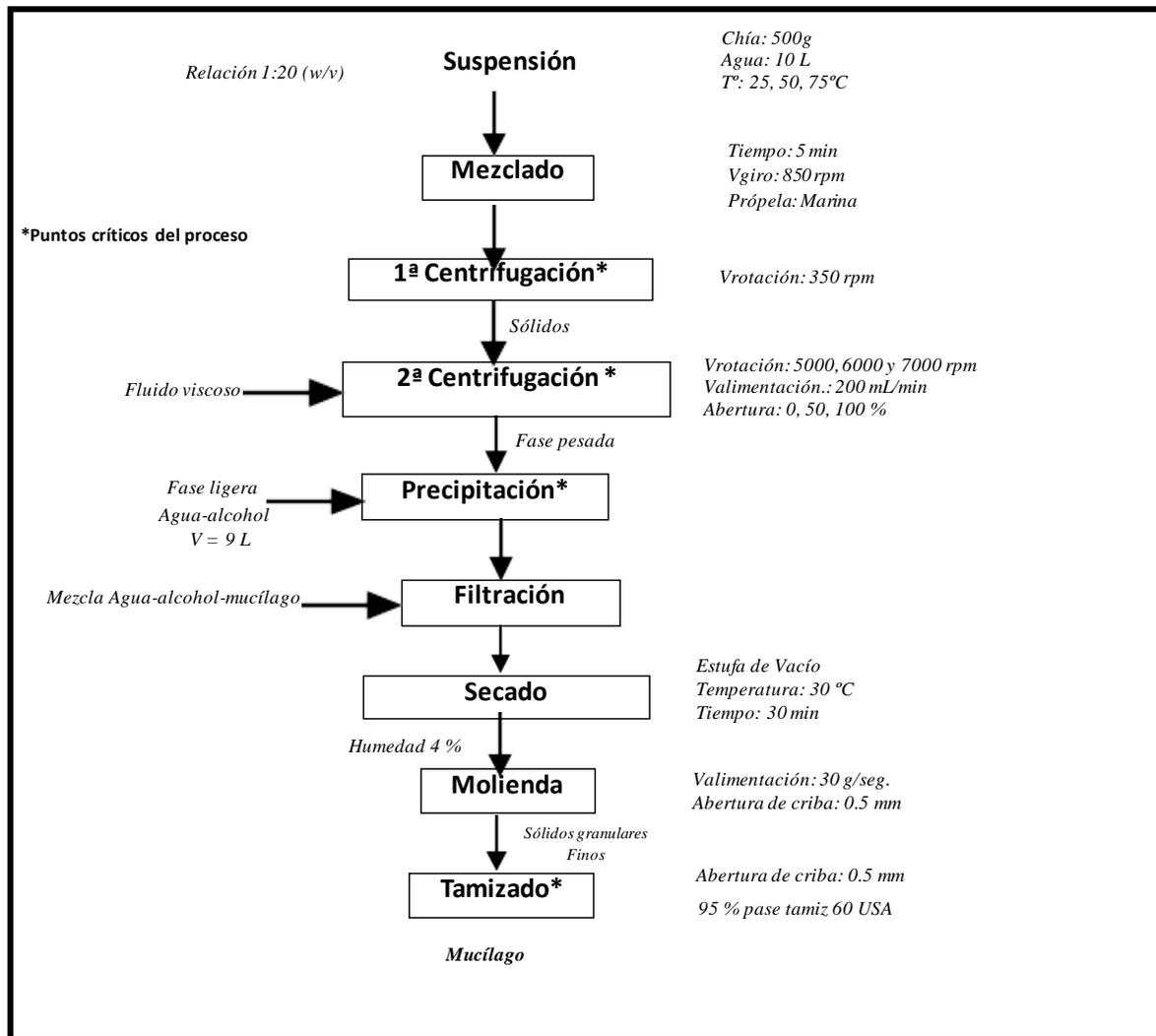


**DESARROLLO EXPERIMENTAL**

**2.0 Adquisición de la semilla de chía**

Se adquirió un costal de 40 kg de semilla de chía en la central de abastos marca “La Altesa”<sup>MR</sup> Tultitlán, México, y se trasportó al Laboratorio Experimental Multidisciplinario en campo 1, Nave 2000, se almaceno a temperatura ambiente en costales hasta su uso.

**2.1 Estandarización de la extracción del mucílago de *S. hispánica*.**

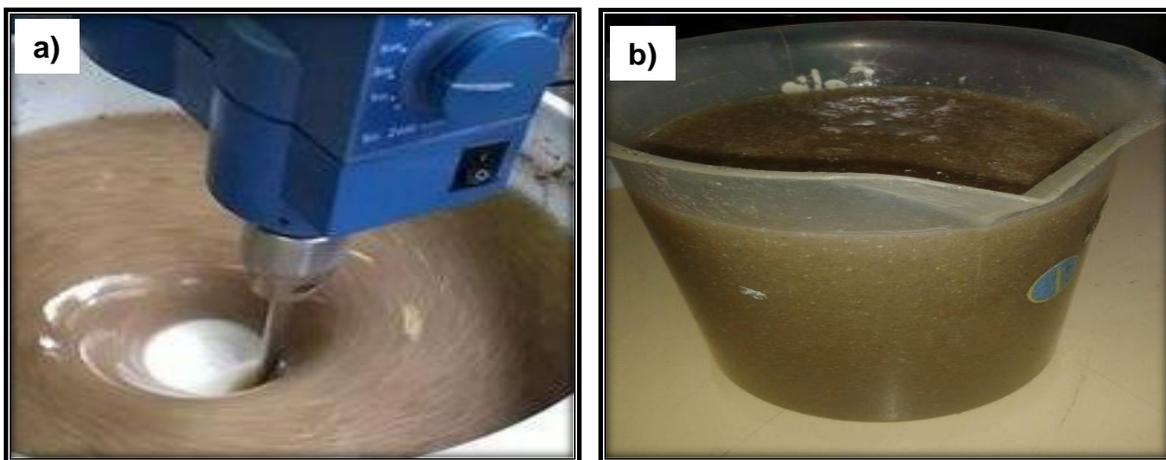


**Figura 2.2 Diagrama de bloques para la extracción de mucílago de chía**



## 2.2 Suspensión y mezclado de la semilla de chía.

Se preparó la suspensión de la semilla de chía en una relación 1:20 m/v, posteriormente se mezcló con un impulsor de propela marina (acero inoxidable) marca IKA-WERKE modelo EUROSTAR BSC.S1, se calentaron 10 L de agua purificada a 25, 50 y 75 °C, por separado. Posteriormente, se adicionaron 500 g de semilla de chia la suspensión se homogenizó en un periodo de 5 min a una velocidad de 850 rpm como se muestra en la Figura 2.3 a) Consecutivamente se dejó reposar y enfriar por 5 h hasta alcanzar 25 °C; transcurrido este período de tiempo se obtuvo un fluido viscoso como se muestra en la Figura 2.3 b) conformado por el mucílago y las semillas de chía, esto indica que las semillas de chía han soltado el hidocoloide pero no se han desprendido de él, formando una matriz continua.



**Figura 2.3 Preparación y homogenización de la suspensión de la semilla de chía a) Impulsor de propela b) Suspensión de mucílago y chía.**

## 2.3 1ª Centrifugación (centrifuga de canasta)

Una vez concluidas las 5 horas de hidratación, la semilla de chía hidratada fue separada del líquido en una centrifuga de canasta (Marca TURMIX Modelo M-02) a una velocidad de 350 rpm, a la temperatura de 25 °C, obteniendo el líquido viscoso y separándolo de las semillas dentro de la canasta (ver Figura 2.4).



**Figura 2.4 Centrifuga de canasta**

En el canasto quedan retenidas las semillas de chía y a la salida del separador fue colocado en un colador con una abertura de  $30\ \mu\text{m}$  que permitió la retención de las semillas que no fueron retenidas por la canasta. El fluido viscoso fue alimentado a una centrifuga de discos y posteriormente centrifugado a las condiciones de velocidad de rotación y abertura de tornillo conforme al diseño experimental. En esta etapa del proceso (1ra centrifugación) es un punto crítico, ya que se eliminan las semillas o fragmentos de ellas que pudieran desprender grasa, proteína y fibra insoluble. El volumen recolectado fue cuantificado con probetas de plástico a la salida de la centrifuga de canasta y fueron evaluados los valores de los parámetros.

### **2.3.1 Volumen obtenido (L)**

Esta recolección se realiza a la salida de la centrifuga de canasta después de la separación de la suspensión de mucílago de chía. Se cuantificó el volumen de salida del líquido viscoso mediante una probeta de plástico graduada como la que se muestra en la Figura 2.5, para cada una de las temperaturas empleadas.



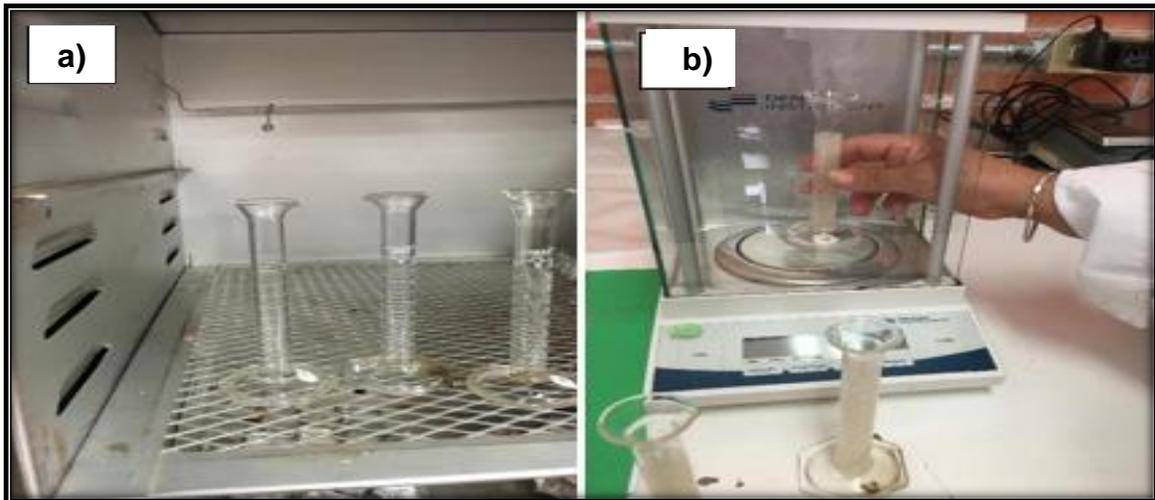
**Figura 2.5 Probeta con líquido viscoso**

En la imagen anterior se observa el líquido viscoso después de salir de la centrifuga de canasta, este líquido contiene solidos solubles (mucílago) e insolubles (fracción de semilla de chíá). Posteriormente, al líquido viscoso se le hicieron pruebas de viscosidad aparente, turbidez. El volumen obtenido fue utilizado en una centrifuga de discos para separar la fracción pesada y la ligera.



### 2.3.2 Determinación de densidad del clarificado

La determinación de la densidad de los clarificados, se llevó a cabo por la metodología de diferencias de peso. El procedimiento fue el mismo para todas las muestras y se llevó a cabo por triplicado: probetas de 10 mililitros limpias y secas como se puede ver en la Figura 2.6 a), se pusieron a peso constante en una estufa de aire forzado a una temperatura de 50 °C. Se pesaron hasta alcanzar el peso constante y se conservaron en un desecador hasta su uso. En las probetas se colocaron 10 mL de fase ligera de cada una de las corridas realizadas, posteriormente se pesaron (Figura 2.6 b).



**Figura 2.6 a) Probetas a peso cte.; Figura 2.6 b) Peso de probetas**

El peso obtenido anteriormente, se le restó el peso de la probeta vacía, se realizó el cálculo de la densidad respecto a la masa sobre el volumen.

Para obtener la densidad de la fase ligera (clarificado) se muestran a continuación:



Para obtener la masa del clarificado se emplea la siguiente relación:

$$\text{Masa de clarificado} = \text{Masa de probeta con clarificado} - \text{Masa de probeta vacía} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Una vez que se tiene la masa del clarificado se procede a calcular la densidad del clarificado mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (g/mL)

$m$  = masa de clarificado (g)

$v$  = volumen de clarificado (mL)

### 2.3.3 Viscosidad de la suspensión

La viscosidad es una propiedad que el mucílago presenta al ser disuelto en agua, por tener la capacidad de hidratarse e hincharse. La determinación de la viscosidad se realizó mediante el viscosímetro de Oswald que se basa en la ley de Poiseville. Se tomaron 10 mL de agua en la boquilla del viscosímetro y con la ayuda de una propipeta, se hizo subir el agua desde la primera marca (M1) de la burbuja superior hasta la segunda marca, ver Figura 2.7. Después se retiró la propipeta e inmediatamente se determinó el tiempo en que cae el agua hasta la segunda Marca (M2).



Figura 2.7 Viscosímetro de Oswald



Este procedimiento se repite con cada muestra 10 veces y se sustituyen los datos en la ecuación 2.3.

$$\eta = \eta_o \frac{(\rho * t')}{\rho_o t_o} \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

Dónde:

$\eta$  = Viscosidad (Pa.s)

$\rho_o$  = Densidad del agua (g/mL)

$\rho$  = Densidad de la muestra (g/mL)

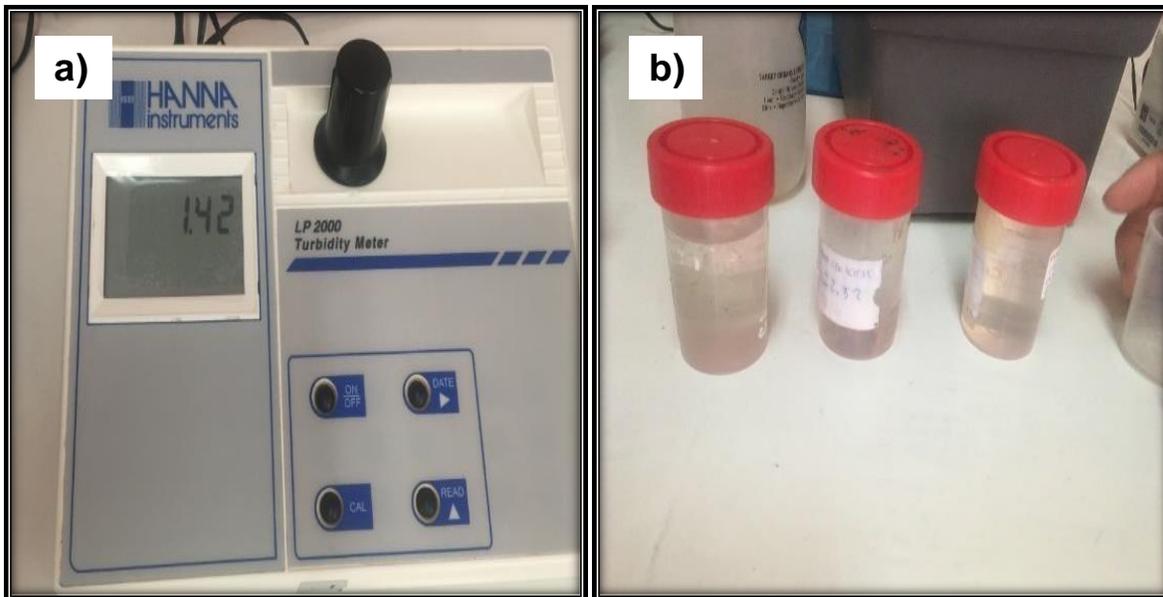
$t_o$  = Tiempo en que tarda el agua en fluir (s)

$t'$  = Tiempo que tarda la muestra en fluir (s)

$\eta_o$  = Viscosidad (Pa.s)

### 2.3.4 Determinación de la turbidez

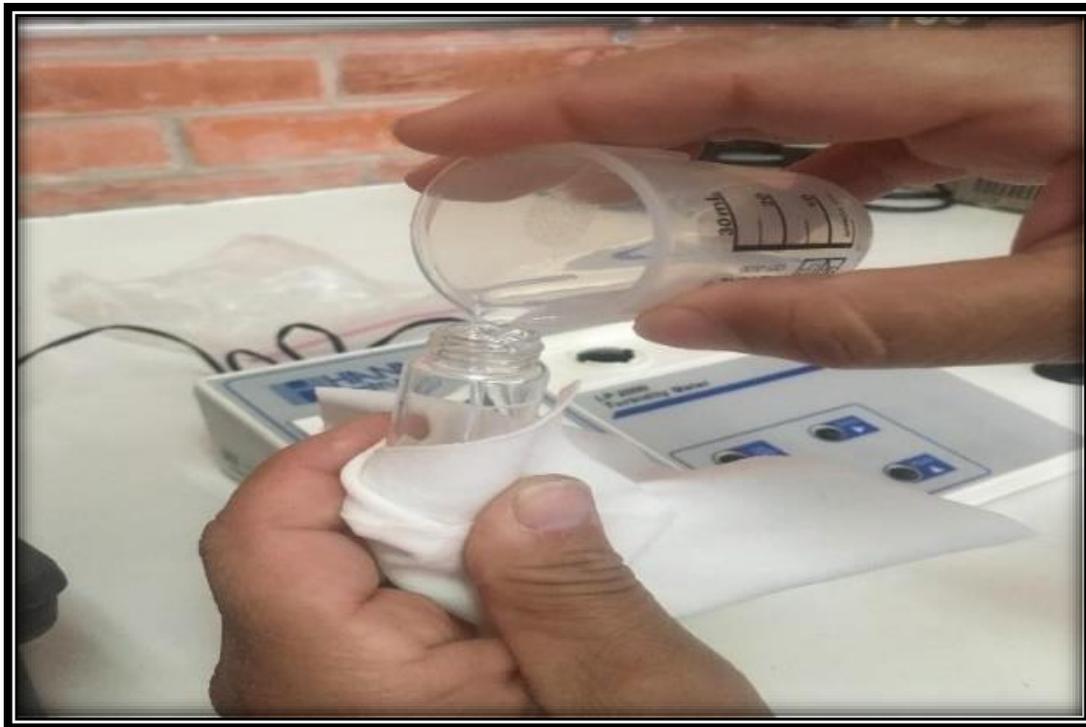
La turbidez es una medida de la luz que deja pasar a través de la suspensión. El equipo utilizó los sólidos solubles presentes mediante el método 1889-88a ASTM (ASTM, 2000) con un Turbidímetro (Hanna Instruments, Mod. LP 2000) como se muestra en la Figura 2.8 a).



**Figura 2.8 Determinación de turbidez a) turbidímetro marca Hanna Instruments, modelo LP 2000; b) muestras de las diferentes corridas experimentales**

En la Figura 2.8 a) se aprecia en turbidímetro donde se realizaron las evaluaciones del líquido viscoso a diferentes temperaturas, se recolectaron 10 mL del líquido viscoso obtenido después de la separación en la centrífuga de canasta, por triplicado como se aprecia en la Figura 2.8 b). Se encendió el turbidímetro y se calibró con agua purificada (ver Figura 2.9). Se tomó con tela de seda la celda de cuarzo y con la ayuda de una piseta se llenó de agua, se cerró el tubo y se introdujo en el turbidímetro haciendo coincidir la marca del tubo con la marca de éste, se oprimió el botón “read” esperando que en la pantalla aparecieran las letras sip y se tomó la lectura.

Una vez calibrado el equipo, la muestra se agitó previamente con un agitador de vidrio y se vació a la celda hasta llegar a la marca, procurando siempre sostenerla con tela de seda para evitar ensuciarla.



**Figura 2.9 Determinación de turbidez del líquido viscoso**

Después de llenar la celda con la muestra, se cerró y se procedió a introducir la misma en el turbidímetro haciendo coincidir la marca de la celda con la del equipo.

### **2.3.5 Peso del líquido viscoso**

Se toma el peso del líquido viscoso al salir de la centrifuga de canasta en una balanza digital para realizar un análisis comparativo con las diferentes condiciones de operación.

### **2.4 Centrifuga de discos**

El fluido viscoso obtenido de la centrifuga de canasta, pasa por una segunda separación mediante una centrifuga de discos (marca Didacta Italia, Modelo TAG1/d)

(Ver Fig. 2.10 a), con las variables la velocidad de rotación (5000, 6000, 7000 rpm) y la abertura de tornillo (0 %, 50%, 100%) de acuerdo con el diseño experimental, manteniendo constante la velocidad de alimentación (200 mL/min). Ahí se obtuvo el mucílago, el cual se conoce como fase ligera ver Figura 2.10 b)



**Figura 2.10 a) Centrifuga de discos; Figura 2.10 b) fase ligera**

Este proceso es crítico y de suma importancia para la extracción de mucílago de chía, en esta parte obtendremos la separación liquido-sólido, la fase ligera fluye sobre la superficie dejando a las partículas de sólidos pesados dentro del tazón, esta fase pesada corresponde a los sólidos insolubles que integran a la suspensión de chía. En la pared exterior de la centrifuga, la fase más ligera sale por la parte superior como se muestra en la Figura 2.10 b), siendo esta una operación crítica debido a que de las condiciones depende obtener mucílago libre de contaminantes por componentes de las semillas y por lo tanto la mayor eficiencia de separación.

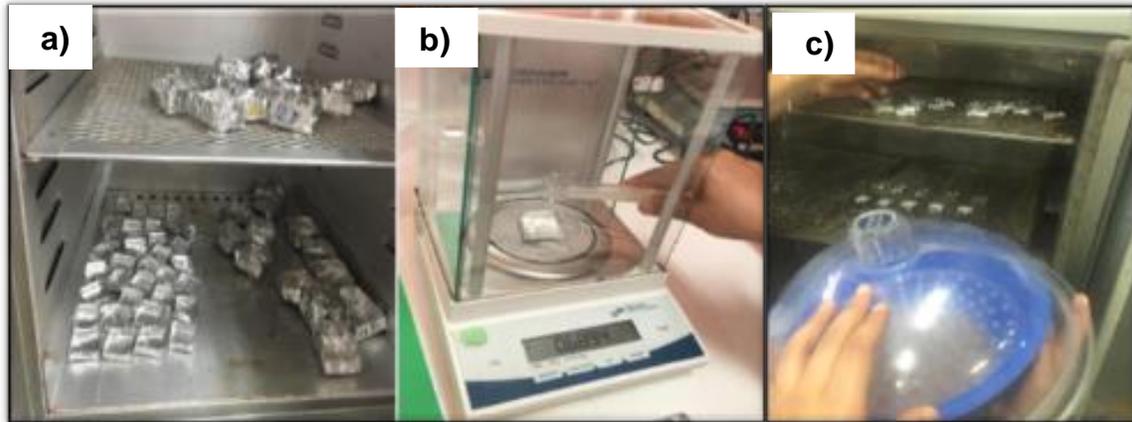
A la fase ligera obtenida se determinó el volumen obtenido, la densidad, la viscosidad y turbidez de acuerdo con los métodos antes mencionados.

#### **2.4.1 Sólidos totales del clarificado o fase ligera**

La prueba de sólidos totales se realizó por un método indirecto. Se utilizó la determinación de humedad de la AOAC, 2000. Al eliminar la humedad quedan los sólidos totales presentes en el líquido viscoso, los cuales se expresan en g. Se hicieron charolas de aluminio, se pesaron, se pusieron previamente a peso constante en una estufa a 50 °C de acuerdo a la Figura 11 a), Posteriormente se colocaron 10 mL de muestra de clarificado o fase ligera Figura 11 b) y se secaron



en una estufa de aire forzado Marca BG Didacta Italia modelo E102, hasta que éstas alcanzaron peso constante. Se dejaron enfriar y se colocan dentro de un desecador, como se muestra en la Figura 2.11 c).



**Figura 2.11** Determinación de sólidos totales, a) Charolas de aluminio, b) Muestras con líquido viscoso, c) Secado por charolas.

Las charolas se pesaron y los valores se utilizaron en la ecuación 2.4 para los cálculos de los sólidos totales presentes en los clarificados.

$$\% \text{ Sólidos totales} = \frac{PCCl_f - PCCl_s - POC}{gM} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

$PCCl_f$  = Peso de la Charola con Clarificado fresco (g)

$PCCl_s$  = Peso de la Charola con Clarificado seco (g)

$POC$  = Peso de la Charola (g)

$gM$  = gramos de Muestra (g)



Dicha prueba se realizó para obtener la cantidad de sólidos totales que quedan después de la centrifugación en los clarificados, para conocer cuánto se redujo de acuerdo a la concentración inicial.

#### 2.4.2 Precipitación de la fracción soluble, tamizado y deshidratación del mucílago de chía

Después de la centrifugación a cada litro de clarificado se adicionaron 2 litros de etanol desnaturalizado con grado de pureza de 96 % (v/v) en una relación de suspensión-etanol de 1:2. Todo el mucílago se separó del agua y se formó un conglomerado.

El rendimiento se determinó utilizando en la ecuación 2.5.

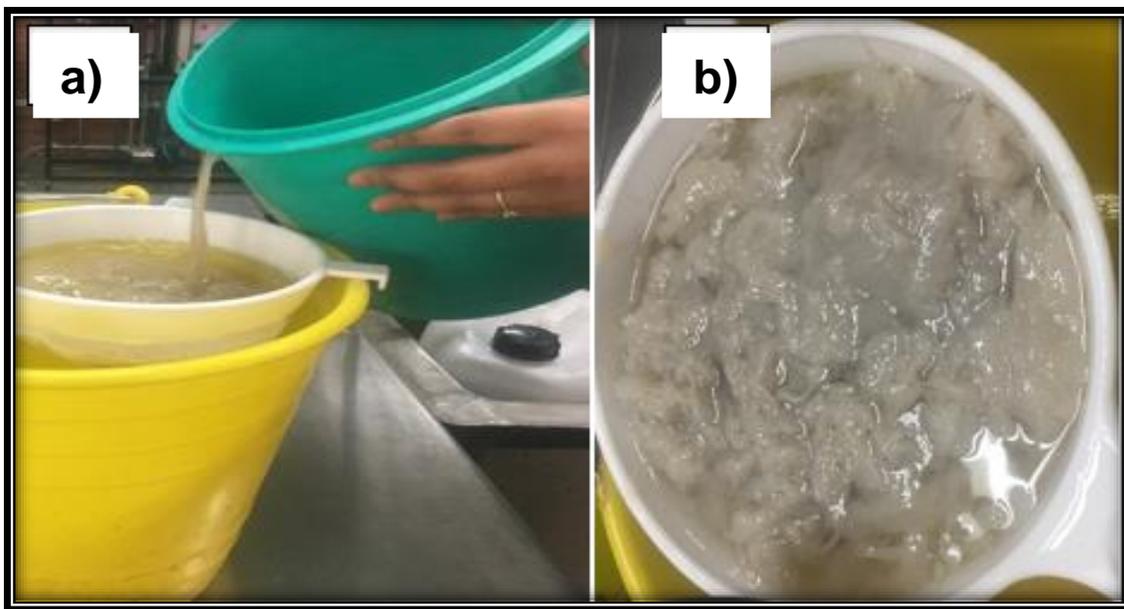
$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{MFL}{CHI} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Dónde:

*MFL = Mucílago de la fase ligera obtenido y deshidratado (g)*

*CHI = Chía utilizada (g)*

El mucílago se separó del agua y se forma un conglomerado. El etanol se emplea para ayudar a que precipite el mucílago que se encuentra en el clarificado ver Figura 2.12 a). Al romperse los enlaces de puente de hidrógeno con el agua, el mucílago forma una red y se concentra todo junto, lo que facilita su extracción por otro método de separación. La cantidad de agua-alcohol se eliminó mediante una criba en una malla del No. 20 serie USA aproximadamente para eliminar el exceso de alcohol, cabe mencionar que este punto del proceso es importante, ya que depende del rendimiento del mucílago obtenido.



**Figura 2.12 a) Vaciado de suspensión; Figura 2.12 b) Mucílago de chíá**

El mucílago tiene un color gris como se ve en la Figura 2.12 b) y la solución de agua etanol se observa un color gris más claro.

### **2.4.3 Secado**

Después del tamizado se colocó el mucílago en charolas para llevar a cabo el deshidratado. El mucílago obtenido se deshidrató a 80 kPa, 30 °C en una estufa de vacío, Marca Barnstead International, modelo 3618, durante 30 minutos, hasta llegar a una humedad del 4 %.

El material sólido se pulverizó en un molino de cuchillas (Laboratory Mill, Mod. Thomas Wiley) utilizando una criba de 0.5 mm como restricción a la salida del molino



#### 2.4.4 Molienda y tamizado

El polvo obtenido fue de 50 g posteriormente se hizo pasar a través de la malla No. 60 USA, como se muestra en la (Figura 2.13 a), en la malla quedó el polvo con impurezas propias del mucílago (Figura 2.13 b). El mucílago fino que pasa a través del tamiz fue pesado en una balanza analítica Marca Ohaus, modelo VOB 120.

La cantidad de mucílago que pasó malla No. 60 fue de 13.5 gramos. El mucílago en polvo seco fue conservado en frascos de propileno con tapa, cerrados herméticamente y almacenados en un desecador para protegerlos de la humedad.

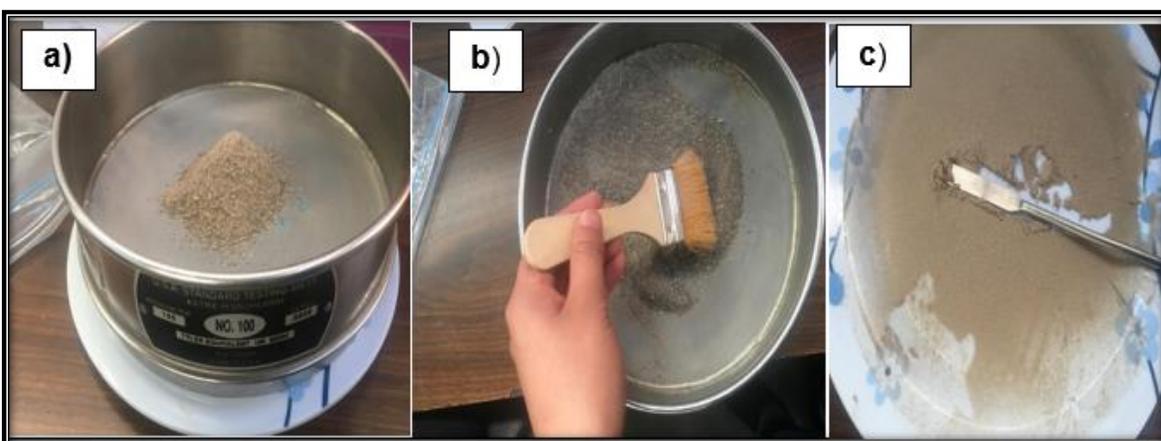


Figura 2.13 a) Polvo con impurezas del mucílago de chía; b) Polvo retenido en el tamiz, c) Polvo que pasó el tamiz

#### 2.4.5 Eficiencia de separación

La eficiencia de separación tiene que ver con la cantidad del componente de interés sin otros componentes como, la grasa, proteína, etc. En este caso, se hace uso del valor de la turbidez de la suspensión y del valor de la turbidez de la fracción ligera obtenida de la centrifuga de discos, utilizando la ecuación 2.6.



$$\% \text{ Eficiencia de separación} = \frac{TS - TC}{TS} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Dónde:

*TS = Turbidez de la suspensión (NTU)*

*TC = Turbidez de la fracción ligera (NTU)*

## 2.5 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-AV)

Esta metodología permitió conocer la morfología de la semilla de chía y del mucílago. Se prepararon porta muestras de bronce Figura 2.14 a), las muestras fueron preparadas y montadas en un porta muestras de bronce una vez que se limpiaron, para retirar impurezas adheridas se utilizó cinta de carbón electro conductiva Figura 2.14 b), con el fin de que la emisión de electrones fuese continua dentro del microscopio , se introdujeron en el microscopio electrónico de barrido a alto vacío (Arenas, 1999). Marca JEOL modelo JSM-6060LV.

A las muestras se les dio, un baño de oro para deshidratarlas de acuerdo a la Figura 2.14 c), con la finalidad de tomar a diferentes ampliaciones (micrografías), se tomaron muestras de la corrida de las condiciones óptimas y de otras cuatro muestras cercanas en el valor de rendimiento.

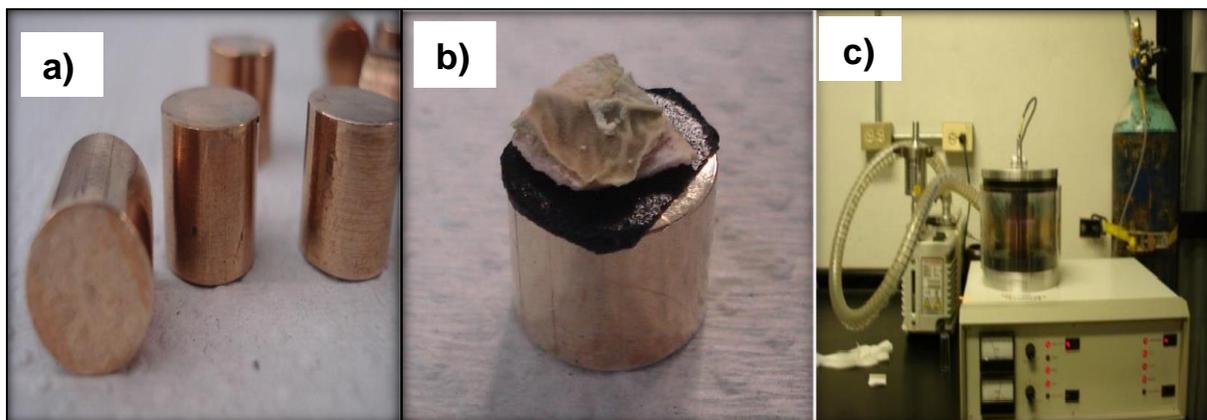
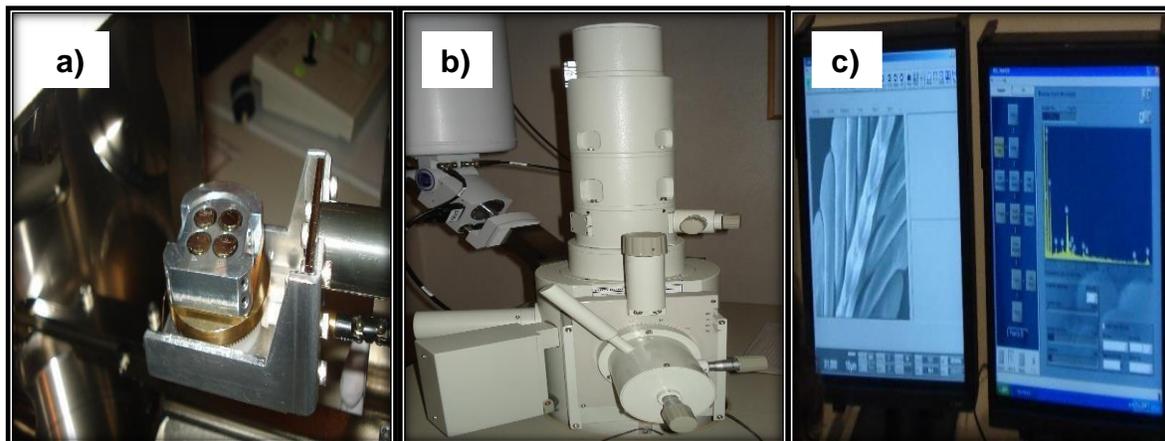


Figura 2.14 a) Porta muestras de bronce, b) Porta muestras con muestra pegada; c) Baño de oro a las muestras.



Posteriormente, se montaron en una porta muestras de aluminio con cuatro unidades como el de la Figura 2.15 a) se ajustaron los porta muestras en el soporte del microscopio JSM-6060LV como se ve en la Figura 2.15 b) y finalmente fueron observadas a diferentes aumentos en una computadora ver Figura 2.15 c).



**Figura 2.15 a) Porta muestras en el carro en el interior del microscopio, b) Microscopio electrónico; c) captura de las micrografías en la computadora.**

Las micrografías se captaron a una misma amplificación para identificar la morfología de la semilla de chía y de las características del mucílago como se observan en las figuras anteriores. Las condiciones de trabajo con las que se operó el microscopio fueron; voltaje de aceleración electrónica 20 kV, con una presión en el intervalo de 237.72–396.20 kgf/m<sup>2</sup> en la cámara de la muestra, las imágenes se obtuvieron en la superficie a partir de la señal electrónica de barrido a alto vacío.

## 2.6 Difracción de Rayos X

Los difractogramas solo se obtuvieron para la muestra de las condiciones optimas, temperatura 50°C, tornillo cerrado a 7500 rpm.

Las estructuras cristalinas de la semilla de chía del mucílago aislado se analizaron utilizando un equipo de difracción de rayos X163. Los patrones de difracción de rayos X se registraron en un difractómetro. 164 (Rigaku Miniflex, Texas-E.E.U.U.) Operando a 35 kV y 15 mA, con una radiación CuK $\alpha$  165 longitud de onda de 1.5406 Å. Las mediciones se realizaron de 5 a 60 ° en una escala de 2  $\theta$ .166 con un 0.02.



### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Estandarización de la extracción del mucílago de *S. hispanica*

De acuerdo con la experimentación se estableció el diagrama de extracción de mucílago de la semilla de chía se establecieron las condiciones de entrada y salida en cada uno de los bloques que corresponden al diagrama de etapas de proceso en la separación de mucílago de acuerdo con la Figura 2.1 (ver capítulo 2).

#### 3.2 Suspensión y homogenización de la semilla de chía.

La elaboración de las suspensiones siguió el mismo procedimiento para tener un mejor control de proceso, únicamente cambió la temperatura del agua de preparación de las suspensiones.

#### 3.3 Centrifuga de canasta.

El líquido obtenido en la fase ligera en la centrifuga de canasta fue evaluado determinando los parámetros de volumen obtenido, viscosidad, turbidez y sólidos totales, que se presentan a continuación:

##### 3.3.1 Volumen obtenido (L) en la centrifuga de canasta

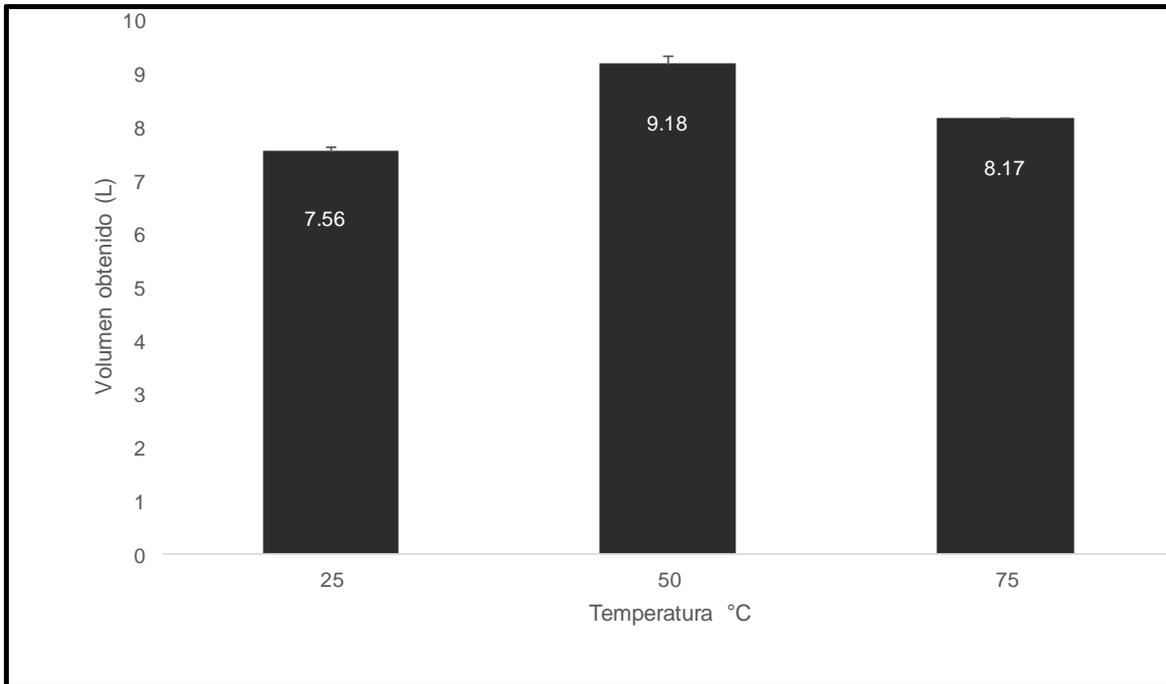
Los resultados de la determinación del volumen de mucílago recolectado se reportan en la Figura 3.1, estos volúmenes fueron obtenidos a distinta temperatura de hidratación. En esta Figura se grafican los promedios y la desviación estándar de tres repeticiones para cada una de las temperaturas manejadas experimentalmente; 25, 50 y 75 °C.

Es importante utilizar una fuerza de separación centrípeta porque a pesar que el mucílago está en la parte más externa de la semilla del pericarpio, también hay fracciones en una parte más interna que se llama cutícula esta se quiebra debido a la falta de elasticidad y las células que se encuentran dentro comienzan a producir mucílago; difícil de separar.

Los volúmenes fueron diferentes y se observa la presencia de semillas de menor tamaño que logran atravesar los orificios de la canasta, estas semillas son eliminadas por un colador. Se terminan de retirar otros componentes del mucilago mediante la centrifugación de discos, ya que tiene un intervalo de trabajo de tamaño



de partículas de 0.5-500 $\mu$ m durante la separación. Este procedimiento asegura no introducir tamaños de sólidos mayores.



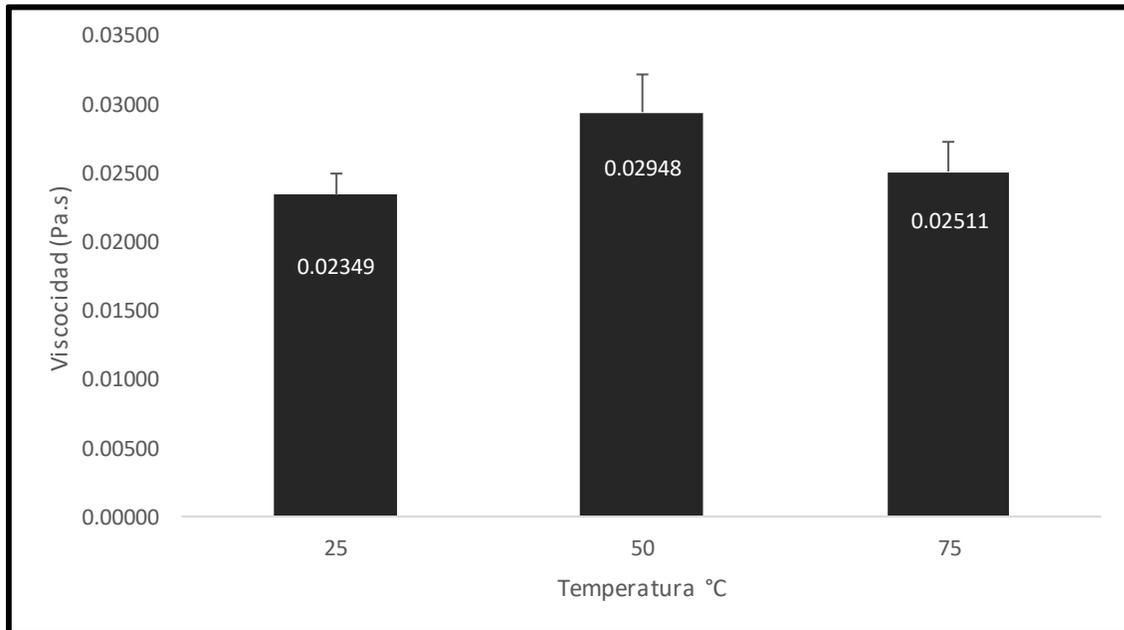
**Figura 3.1 Volumen obtenido en la centrifuga de canasta a diferentes temperaturas**

El mayor volumen recolectado se obtuvo a una temperatura de hidratación de 50 °C (Figura 3.1) siendo el máximo de 9.48 L, la cantidad de agua utilizada fue de 10 L y el mínimo valor obtenido fue de 7.44 L para una temperatura 25 y 75 °C. Probablemente a temperaturas de 25 °C se comienza a hidratar la fibra insoluble que rodea las semillas de chía y el agua es difícil de recuperar. A temperaturas de 75 °C estas muestras presentan mayor cantidad de trozos de semilla de chía lo que quiere decir que las semillas al hidratarse demasiado se rompen. Este hecho presenta mayor absorción de agua y además provoca una contaminación al mucílago porque al romperse las semillas liberan los ácidos grasos, presenta un olor característico de ellos y el color de la fase ligera no es homogéneo, visualmente aparecen tonos de fracciones de más oscuras no continuas.



### 3.3.2 Densidad y viscosidad del líquido viscoso en la centrifuga de canasta.

Los resultados de la densidad sirvieron para la determinación de viscosidad de la extracción de centrifuga de canasta, se reportan en la Figura 3.2. La gráfica presenta la temperatura de remojo de la semilla vs viscosidades.



**Figura 3.2 Viscosidad en la centrifuga de canasta a diferentes temperaturas .**

Como se puede apreciar en la Figura 3.2, el mayor valor obtenido de viscosidad se obtuvo a una temperatura de 50 °C siendo el máximo de 0.03250 Pa.s, para temperaturas de 25 y 75 °C se obtuvo una viscosidad mínima de 0.2220 Pa.s.

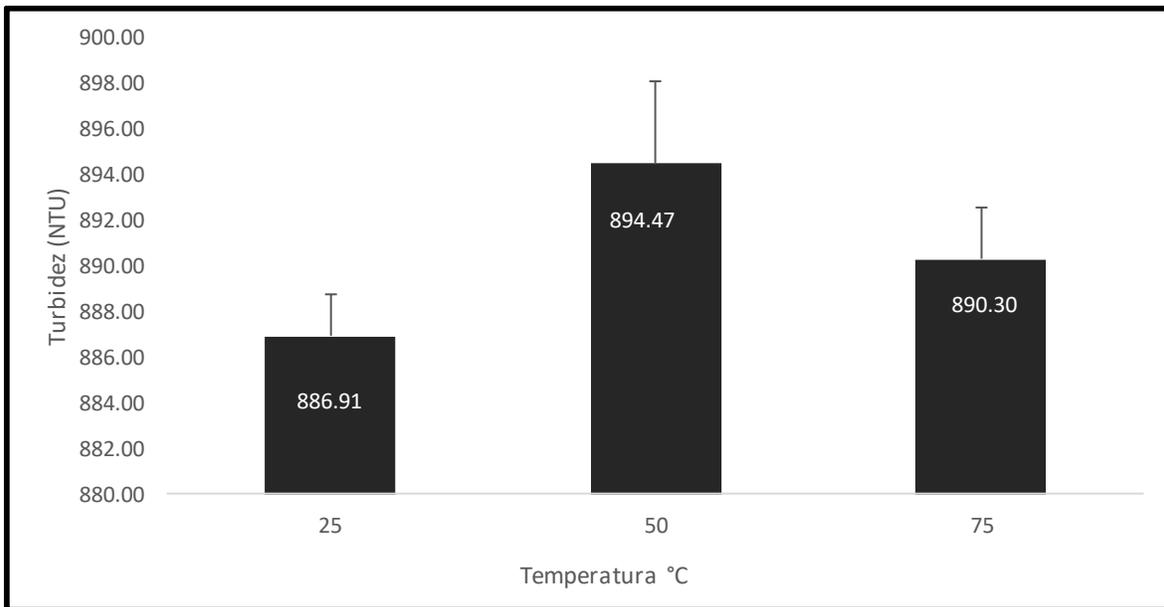
Estos valores nos indican que a una temperatura de 50 °C hay una mayor viscosidad del fluido, esto quiere decir que las moléculas son de mucílago y no de presencia de sólidos insolubles, provocados por el rompimiento de las semillas. A temperaturas de 75 °C probablemente pasan una parte de las núculas de la semilla de chía y parte de fibras insolubles que permiten que el fluido viscoso tenga mayor contaminación y menor valor de viscosidad. En el caso contrario a temperaturas de 25 °C no se ha presentado que la semilla suelte suficiente mucílago y la fase ligera está más diluida lo que hace que la viscosidad sea menor.



### 3.3.3 Turbidez en la centrifuga de canasta.

La **turbidez** indica el grado de falta de transparencia de un líquido, debido en gran medida, a la presencia de partículas que se encuentran en el líquido. En la centrifuga de canasta se obtiene una sola fase que es una matriz viscosa que puede contener sólidos solubles e insolubles.

En la Figura 3.3 se muestra la gráfica que representa los valores obtenidos de turbidez de la extracción a diferentes temperaturas a 25, 50 y 75 °C.



**Figura 3.3 Turbidez en la fracción viscosa en la centrifuga de canasta.**

Como se puede apreciar en la Figura 3.3, el mayor valor de turbidez se obtuvo a una temperatura de 50 °C con un valor máximo de 898.80 NTU. Los valores más bajos se presentaron a temperaturas de 25 °C con un valor menor 885.05 NTU y a 75 °C se registraron valores de 886.88 NTU.

Este hecho puede deberse debido a la cantidad de sólidos insolubles y solubles presentes en la suspensión que se presenta a las diferentes temperaturas.

A temperatura ambiente, al tener un menor valor de turbidez, el líquido viscoso presenta una mínima cantidad de sólidos por lo que es más transparente que los obtenidos a mayores temperaturas.

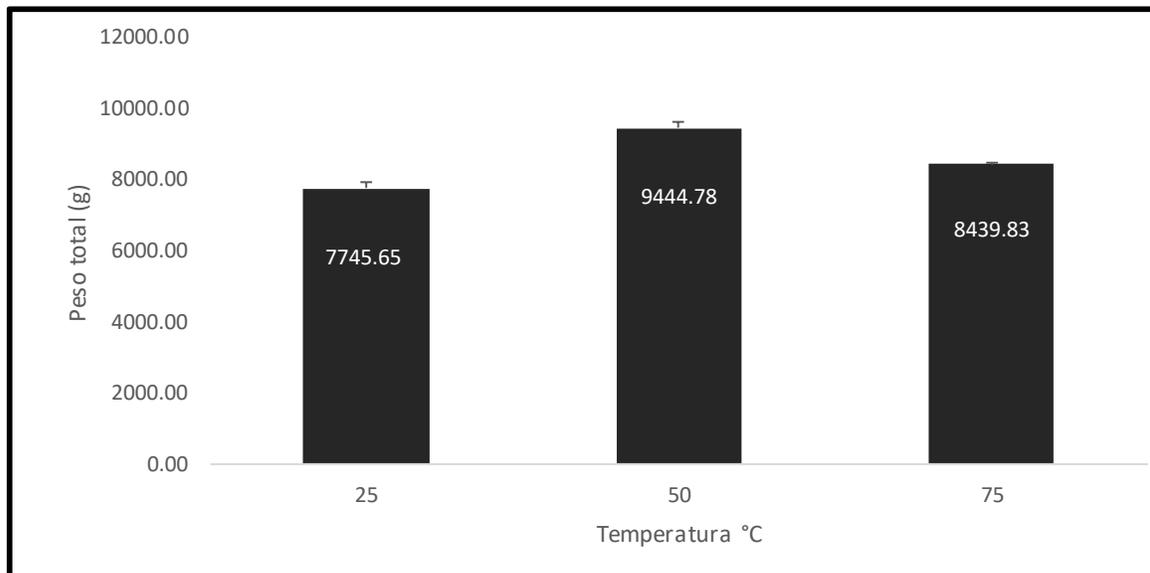
Al ser menor el valor de la turbidez para el fluido viscoso obtenido a 25°C indica que el mucilago presente en la semilla de chía no ha tenido buena hidratación y por lo



tanto no ha desprendido mayor cantidad mucilago. El mucilago obtenido siempre va a contener sólidos insolubles y solubles después de remojar la semilla.

### 3.3.4 Peso total del fluido viscoso obtenido en la centrífuga de canasta

En la Figura 3.4 se aprecian los valores del peso total del líquido viscoso obtenido a diferentes temperaturas después de ser separados en la centrífuga de canasta. El peso del fluido viscoso fue mayor a 50 °C con un valor máximo de 9532.92 g. Así mismo a una temperatura de 75 °C se obtuvo un valor de 8377.34 g y en la extracción que se manejó una temperatura de 25 °C se obtuvo un valor menor 7605.66 g. Por lo que los resultados obtenidos nos indican que a una temperatura de 50 °C aumenta la formación del mucílago de chía el cual forma parte de las tres capas externas que recubren la semilla.



**Figura 3.4** Peso total del fluido viscoso obtenido a diferentes temperaturas



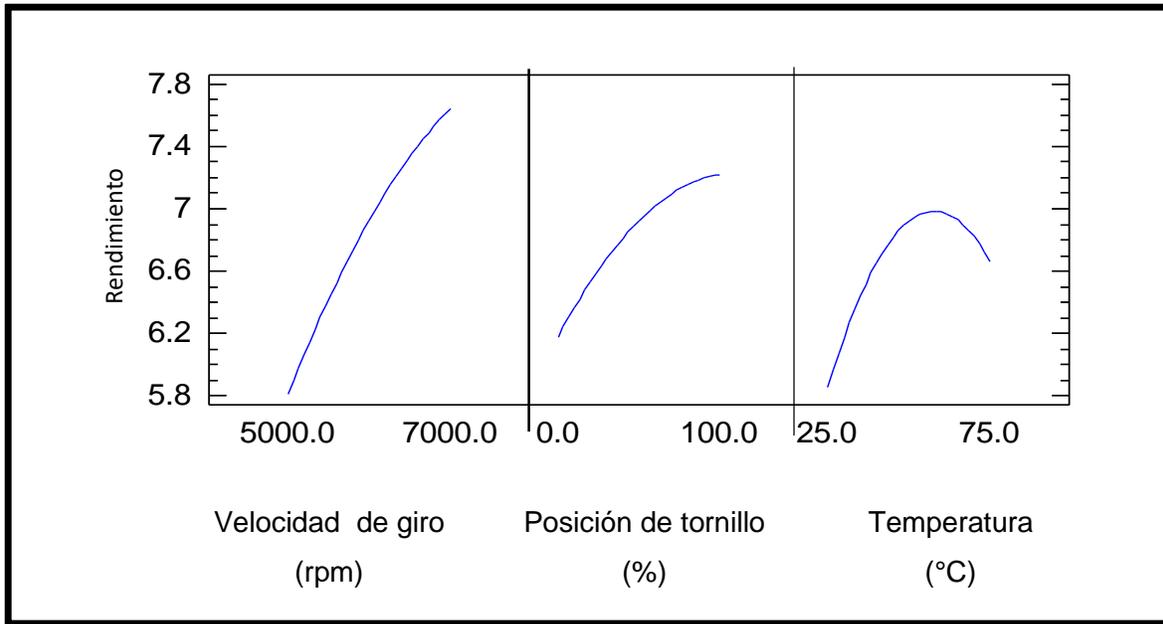
### **3.4 Extracción de mucilago de *S. hispánica* (chía) en la centrifuga de discos**

Los resultados se obtuvieron con la evaluación de las variables críticas en la extracción de mucílago a partir de la semilla de *Salvia hispanica* utilizando la operación mecánica de centrifugación, en las propiedades de la fase ligera tales como, volumen, densidad, viscosidad, turbidez, sólidos totales. Las mejores condiciones de separación de mucílago con el mayor rendimiento y eficiencia de separación se presentaron con temperaturas de 50°C, 7000rpm y con tornillo 100% cerrado.

El mayor valor de turbidez se presentó al menor valor de la velocidad de giro, sin tornillos de gravedad y con la temperatura de proceso mas alta. La menor turbidez fue de  $331.5 \pm 0.56$  NTU a las condiciones anteriores. El rendimiento del presente estudio en comparación con las investigaciones previas de extracción de mucilago de *S. hispanica* descritas en los antecedentes, varía de acuerdo a las operaciones unitarias utilizadas en la separación y a las etapas del procedimiento a seguir para separar el mucílago de la semilla. Muñoz *et al.* (2012) reportaron un rendimiento del 6.9 %, después de 2 h de hidratación a 80 °C y una relación de semilla:agua (1:40 p/v). Capitani *et al.* (2012) estudiaron la extracción del mucilago por dos metodologías (M1 y M2), estas arrojaron un rendimiento de extracción similar entre ellas del 3.8 % y 3.7 % en base seca, para M1 y M2, respectivamente. Es importante mencionar que los autores anteriores no han empleado las operaciones unitarias de centrifugación

#### **3.4.1 Diseño estadístico en el proceso de extracción de mucílago de *S. hispánica* (chia)**

Con todo lo anterior, podemos mencionar que existe la oportunidad de optimizar las condiciones de extracción del mucilago de *S. hispanica* L. De acuerdo con el último diseño factorial completo  $3^3$ , con un total de 27 experimentos base con 3 repeticiones. Y con un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 %, primeramente de cada variable y posteriormente el análisis de sus efectos principales en el rendimiento.



**Figura 3.5 Efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo y temperatura de hidratación en el rendimiento.**

El efecto que tiene la velocidad de giro seguida de la posición del tornillo tienen un comportamiento lineal, mientras que para la temperatura del agua de hidratación de la chía presenta un máximo.

Como lo que se busca es mejorar las condiciones de la extracción del mucílago con el mayor rendimiento, se puede analizar, cómo se modifica el rendimiento con el incremento de la temperatura de hidratación, cuando la velocidad de giro incrementa proporcionalmente y la posición de los tornillos permanece constante. Esto puede hacerse mediante la gráfica de superficie, tal como se presenta

en la Figura 3.6, en donde es más claro observar que los mayores valores de la temperatura se encuentran en puntos medios entre 45 y 55 °C, esto quiere decir que la temperatura de hidratación presenta el efecto significativo sobre el rendimiento. El análisis de varianza (ANOVA) muestra la variabilidad de los factores independientes en el rendimiento y eficiencia.

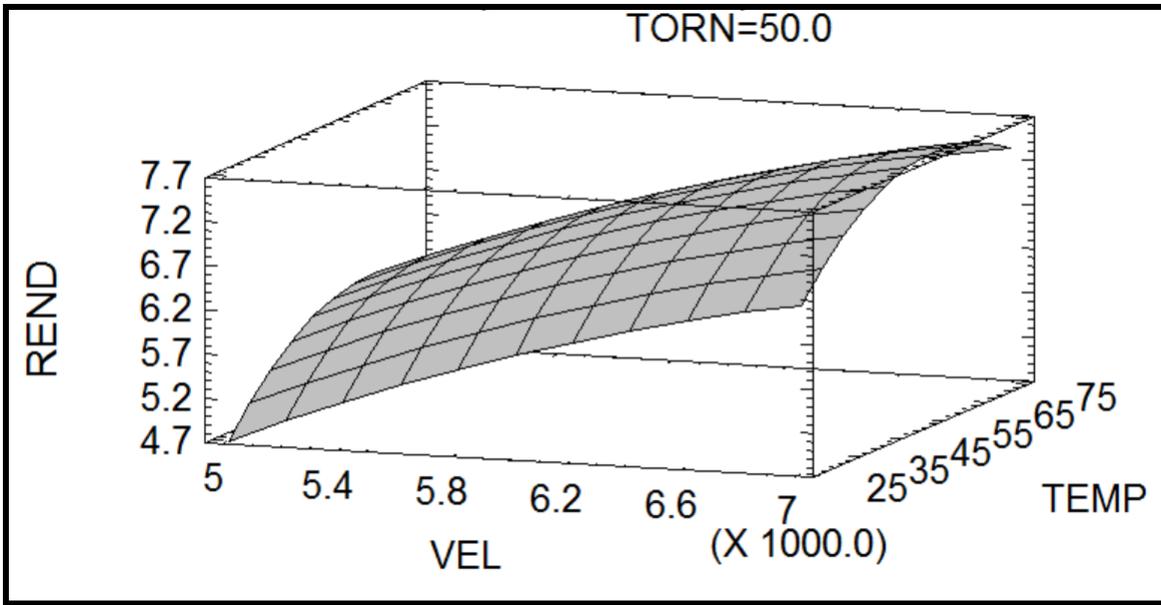


Figura 3.6 Gráfica de superficie para el rendimiento *versus* la velocidad de giro, y temperatura de hidratación con la posición de tornillo fija.

En la Figura 3.7 que muestra la interacción entre las variables; A: es la velocidad de giro; B: es la posición de tornillos; C: es la temperatura del agua de hidratación.

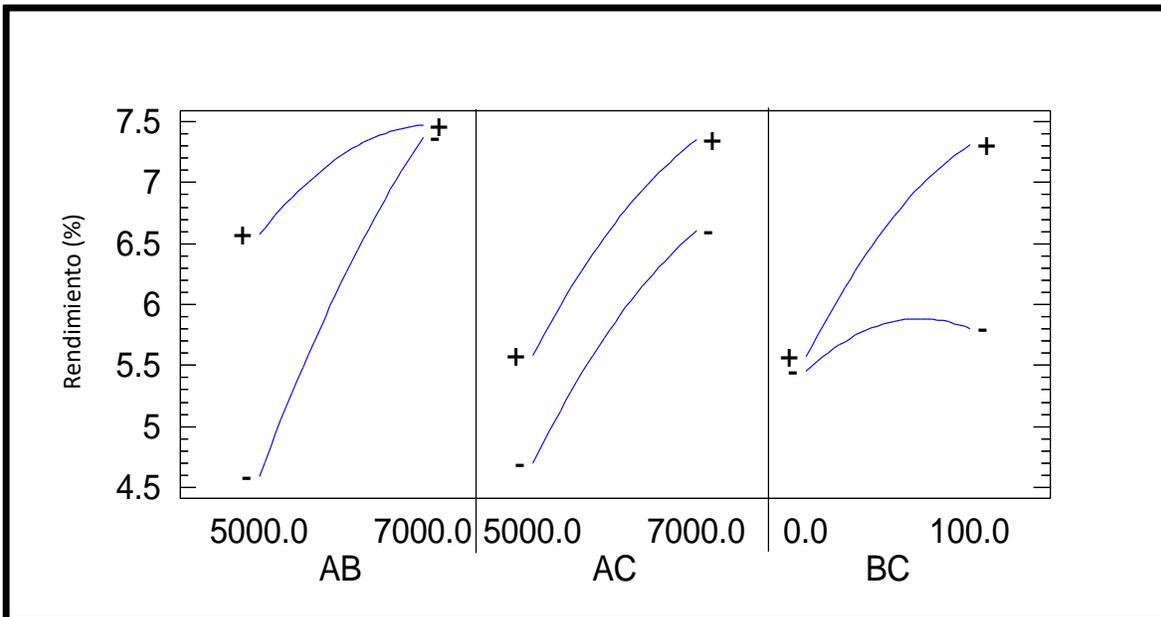
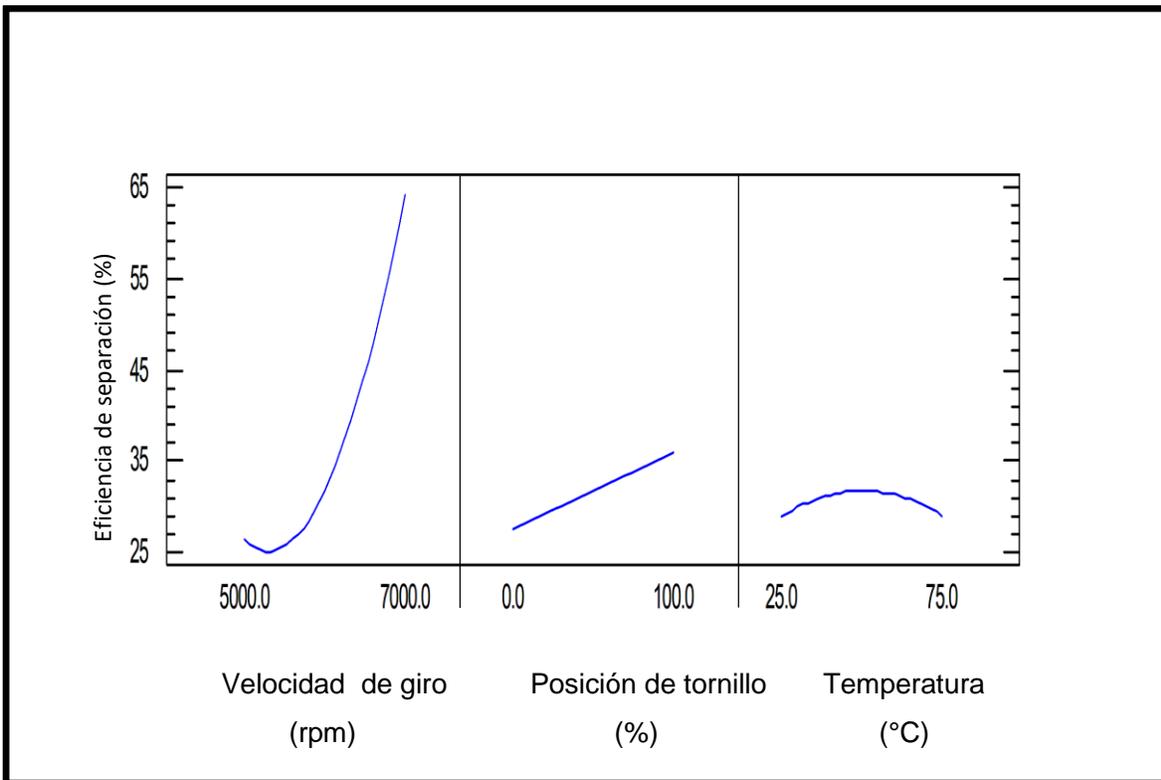


Figura 3.7 Interacción de la velocidad de giro, posición de tornillo y temperatura de hidratación en el rendimiento.



La Figura 3.7, no muestra interacción entre las variables independientes, con respecto al rendimiento, sin embargo, AB y BC presentan acercamientos. Probablemente, si se manejan valores más altos en la velocidad de giro y en la posición de los tornillos se presentara una interacción entre las variables. Por otro lado la posición de los tornillos y la temperatura no tienen interacción entre las variables y hay posibilidad de cambiar la abertura de los tornillos, esto podría provocar interacción entre las variables, aunque lo que es importante es el efecto que causan las variables no propiamente la interacción.

En la Figura 3.8 se presentan los efectos principales de los factores o variables independientes sobre la eficiencia de separación. Cabe destacar que en esta gráfica se muestran las variables por separado.

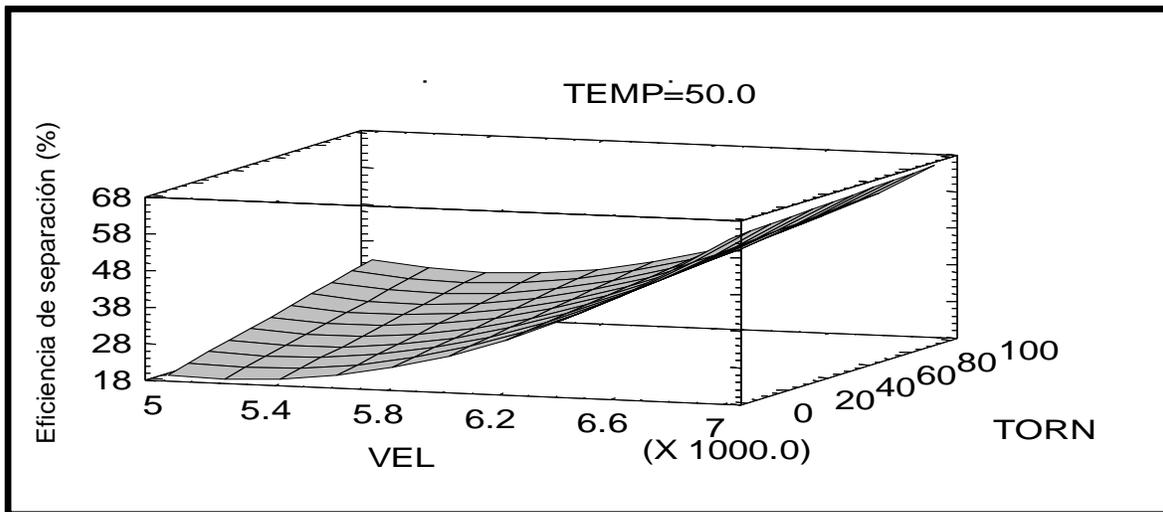


**Figura 3.8 Efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo y temperatura de hidratación en la eficiencia.**



La posición del tornillo tiene un comportamiento lineal a medida que se cierra el tornillo aumenta la eficiencia de forma directamente proporcional, igualmente la velocidad para la separación de un hidrocólido o mucílago, mientras que la temperatura presenta un valor máximo. Este rendimiento se invierte al aumentar la temperatura de remojo de la chía. La Figura 3.9 presenta la gráfica de superficie.

Esta gráfica muestra que al aumentar la velocidad de giro, y al cambiar la posición del tortillo a más cerrado, la eficiencia de separación aumenta



**Figura 3.9 Gráfica de superficie de la eficiencia de separación *versus* la velocidad de giro, y temperatura de hidratación con la posición de tornillo fija.**

La Figura 3.10 muestra las interacciones entre las variables involucradas en la eficiencia de separación.

En la variable de respuesta eficiencia de separación muestra interacción entre las variables independientes, AB que es velocidad de giro y posición de tornillo de gravedad, no existe interacción entre ellas, aunque se acercan mucho. Pero si las variables velocidad de giro y temperatura AC tienen interacción y al aumentar van presentando comportamiento lineal. Las variables posición del tornillo y temperatura tienen una mínima interacción teniendo un comportamiento lineal.

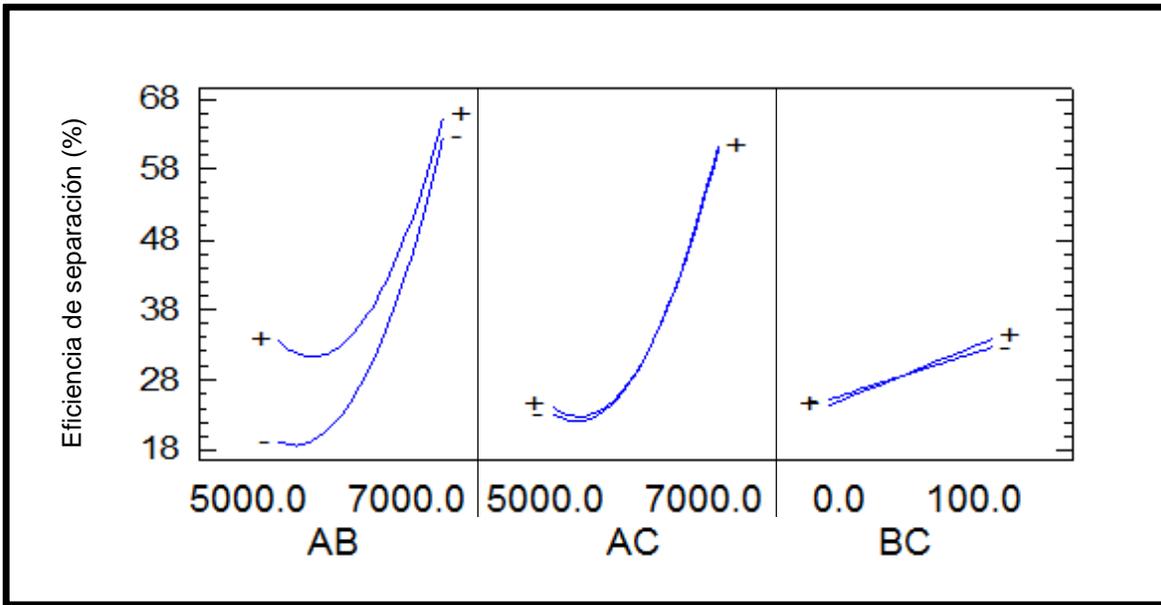


Figura 3.10 Gráfica de efecto principal de la velocidad de giro, posición de tornillo y temperatura de hidratación en la eficiencia de separación.

Para el rendimiento la ecuación 3.1 presenta la regresión de segundo grado presentó una  $R^2$  reliva al rendimiento la cual se presenta en porcentaje siendo este de un 88.47% , lo que indica que los datos del rendimiento siguen este modelo. En el caso de la eficiencia la  $R^2$  es del 96.57 %. Las ecuaciones del modelo de regresión de segundo grado, para el rendimiento y la eficiencia que han sido ajustadas a los datos experimentales son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{RENDIMIENTO} = & (-12.46) + (0.00383)V + (0.0616)P + \\
 & (0.116)T - (1.981 \times 10^{-7})V^2 - (9.372 \times 10^{-6})(V)(P) - (1.33 \times 10^{-6})(V)(T) - 8.955 \times 10^{-5}(P)^2 + (2.797 \times 10^{-4})(P)(T) - 0.00106(T)^2
 \end{aligned}
 \tag{Ecuación 3.1}$$

En donde:

- $V$ : Velocidad de giro (rpm)
- $P$ : Posición de los tornillos (%)
- $T$ : Temperatura del agua de hidratación de la semilla ( $^{\circ}\text{C}$ ).



Y para eficiencia:

$$\begin{aligned}
 \text{EFICIENCIA} = & 365.8 - (0.1386)V + (0.410)P + (0.515)T + (1.342 \\
 & \times 10^{-5})V^2 - (5.737 \times 10^{-5})(V)(P) - (1.509 \times 10^{-5})(V)(T) - (1.469 \times \\
 & 10^{-5})(P)^2 + (0.000414313)(P)(T) - 0.00442824 (T)^2
 \end{aligned}
 \tag{Ecuación 3.2}$$

De acuerdo con los valores de las variables de velocidad de giro, posición de tornillos y temperatura del agua de hidratación en sus unidades originales, esta función puede ser evaluada para obtener las siguientes gráficas (Figura 3.11) de superficie de respuesta.

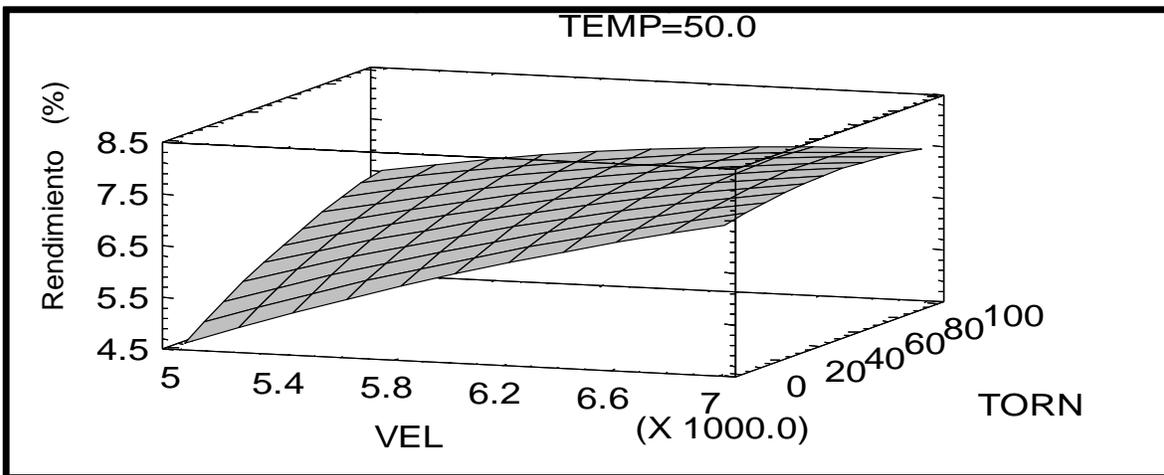


Figura 3.11 Gráfica de superficie de estimada para al rendimiento.

En la Figura 3.11 podemos observar que a una temperatura fija de 50 °C (TEMP), el comportamiento de la velocidad de giro (VEL) y la posición del tornillo (TORN) con respecto al rendimiento, es que una velocidad de giro de 7000 rpm, con tornillos al 100 % se obtendría el mayor rendimiento con alrededor del 6.5 %.

En la Figura 3.12, se aprecia que a la temperatura de 50 °C (TEMP), el comportamiento de la velocidad de giro (VEL) y la posición del tornillo (TORN) con respecto a la eficiencia tienen un máximo. A una velocidad de giro de 7000 rpm, con



tornillos al 100 %, se obtendra una mayor eficiencia de separación siendo esta del 67%.

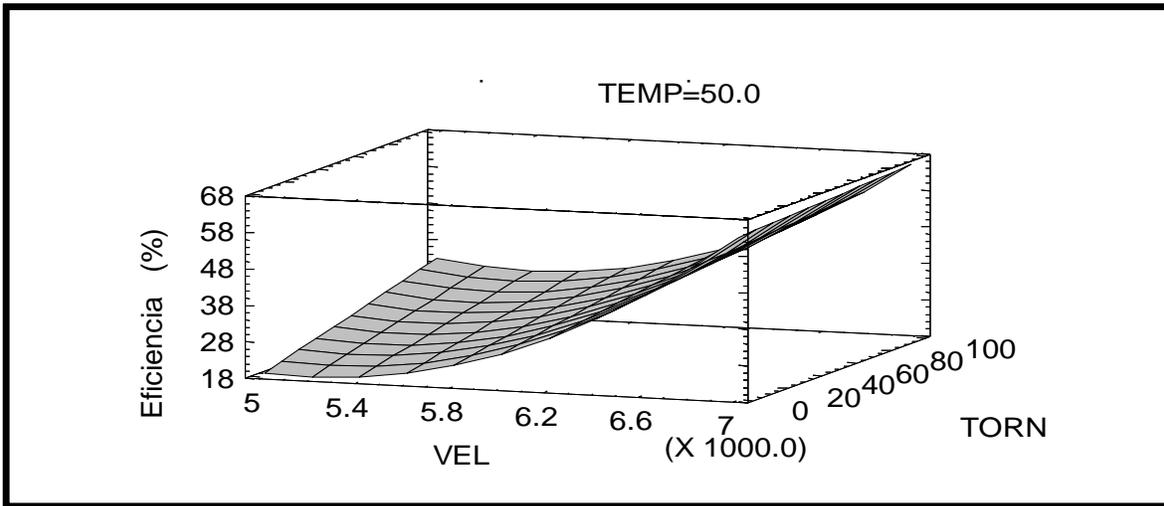


Figura 3.12 Gráfica de Superficie estimada para la eficiencia.

Se presentan las graficas de contorno para 7000 rpm correspondientes al rendimiento en la Figura 3.13.

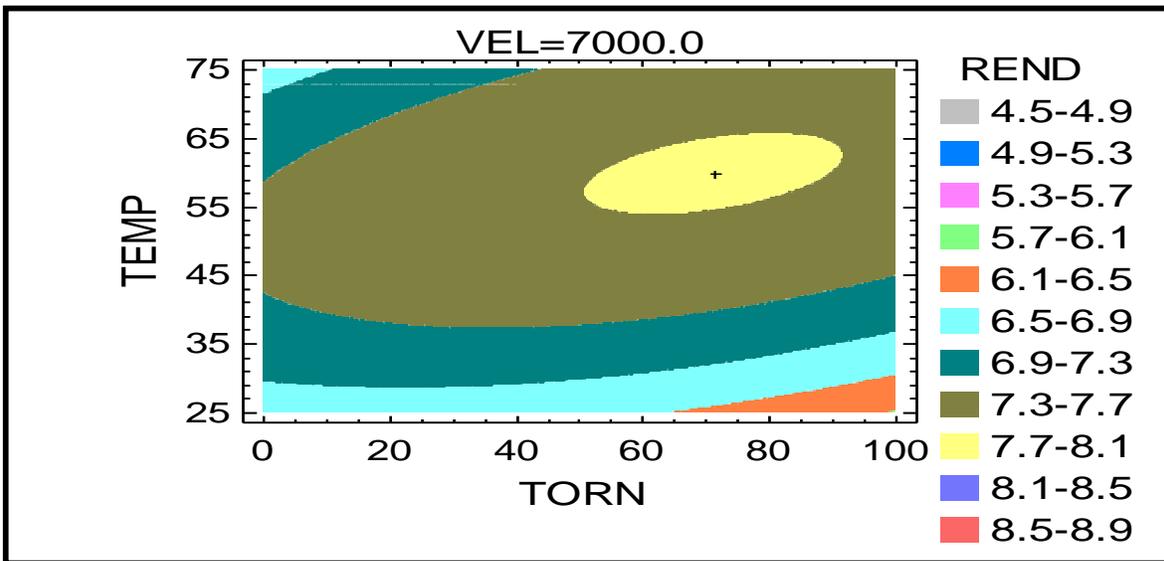


Figura 3.13 Gráfico de contorno de la superficie estimada a 7000 rpm.

Cuando se fija la velocidad de 7000 rpm dentro de los límites de las variables en estudio el gráfico de contorno temperatura vs tornillo queda de la siguiente forma (figura 3.14) .En este gráfico se puede observar, que dentro de los niveles de



variación estudiados (Abertura del tornillo al 100%, temperatura de 50°C y velocidad de giro de 7000rpm). Sin embargo, si se pretende hacer un acercamiento al centro del gráfico podríamos alcanzar entre el 7.3 y 8.1% de rendimiento, la posición de tornillo puede estar entre 0 y el 100 %, para el caso de la temperatura dentro de un intervalo de 45 a 75 °C, como se muestra a continuación (Figura 3.14).

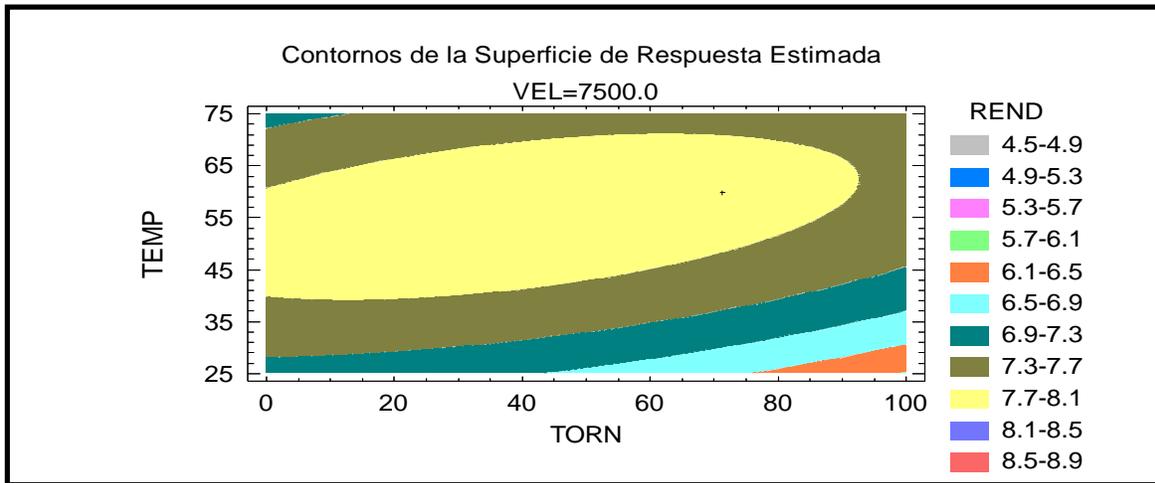


Figura 3.14 Gráfico de contorno de la superficie de estimada a 7500 rpm.

En la Figura 3.15 presenta el gráfico de contorno de superficie de respuesta estimada de las variables independientes con respecto a la eficiencia.

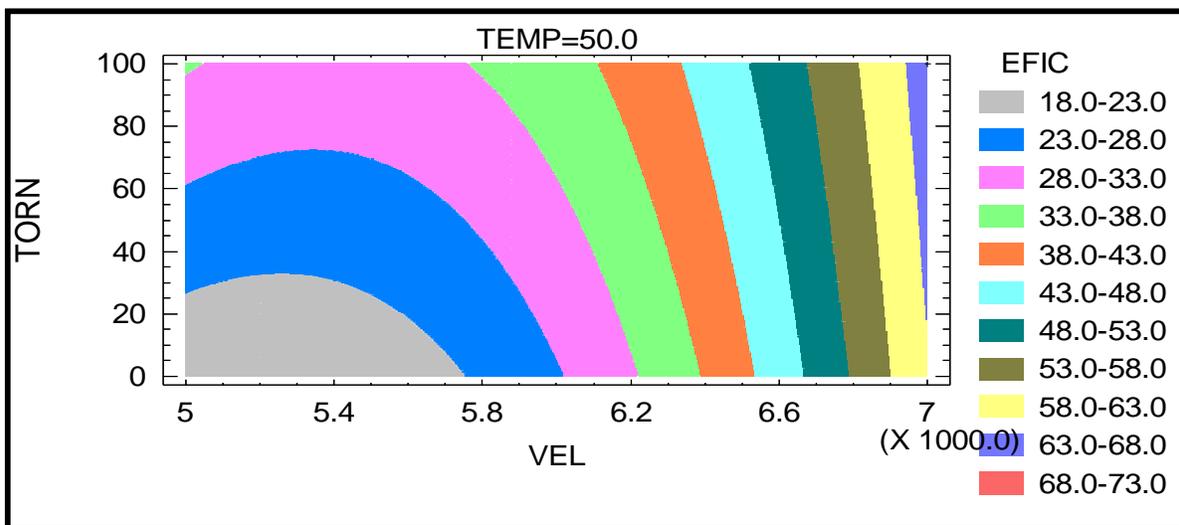


Figura 3.15 Gráfica de contorno de la eficiencia estimada.



Las condiciones para obtener la mayor eficiencia no necesariamente deben ser las mismas que para obtener el mayor rendimiento. Por ejemplo, cuando evalúa la eficiencia en función de la velocidad de giro y posición de tornillos dentro de los intervalos trabajados y se fija la temperatura en 50 °C, se observa que desde velocidades bajas y hasta 6000 rpm aproximadamente, la eficiencia es independiente de la posición del tornillo, es decir, éste puede ocupar cualquier posición sin modificar el valor de eficiencia dada la abertura del contorno. En velocidades altas, la eficiencia es además independiente de la temperatura.

En este sentido, la predicción de las condiciones óptimas de extracción, para alcanzar el mayor rendimiento y eficiencia, en el proceso de recuperación del mucílago de *chìa*, se establece trabajar a 7500 rpm con posición de los tornillos de gravedad al 100 % de la centrífuga de discos, durante el proceso de separación, con agua a la temperatura de 50 °C para la hidratación de la semilla de *S. hispánica* L, en el proceso de extracción de mucílago cuando se emplea la centrifugación como operación mecanico-física de separación. Una vez obtenido el lote de mucílago para todo el trabajo experimental se continuo con su caracterización.



### 3.5 Resultados de la caracterización morfológica.

En la Figura 3.16 se presentan las micrografías obtenidas de semillas y mucilagos de chíá.

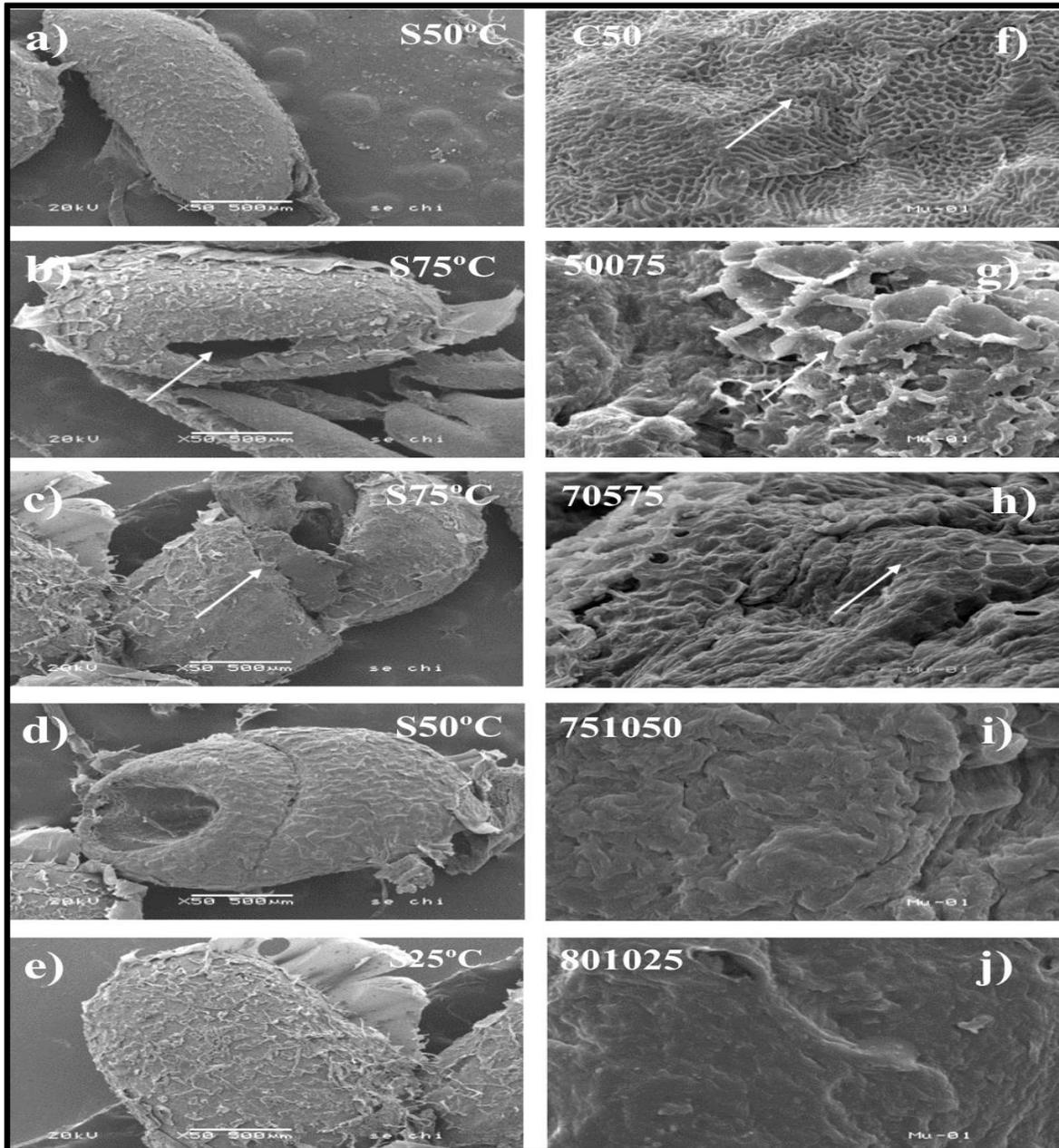


Figura 3.16 Micrografías de semillas y de mucílago de chíá.



En la figura 3.16 las micrografías muestran que las semillas que fueron hidratadas a temperaturas menores de 75 °C a), d), e) permanecen íntegras, mientras que las hidratadas a 75 °C b) y c) se rompen lo que trae como consecuencia que expulse además del hidrocoloide, aceite lo que evidentemente justifica una baja eficiencia de separación.

Por otra parte las micrografías d), i) evidencian las condiciones óptimas de extracción, donde se observa el mucilago limpio, es decir sin presencia de fibra insoluble apreciándose una matriz continua.

En la tabla 3.1 se observa la descripción de la simbología visualizada en las micrografías de la semilla de chía.

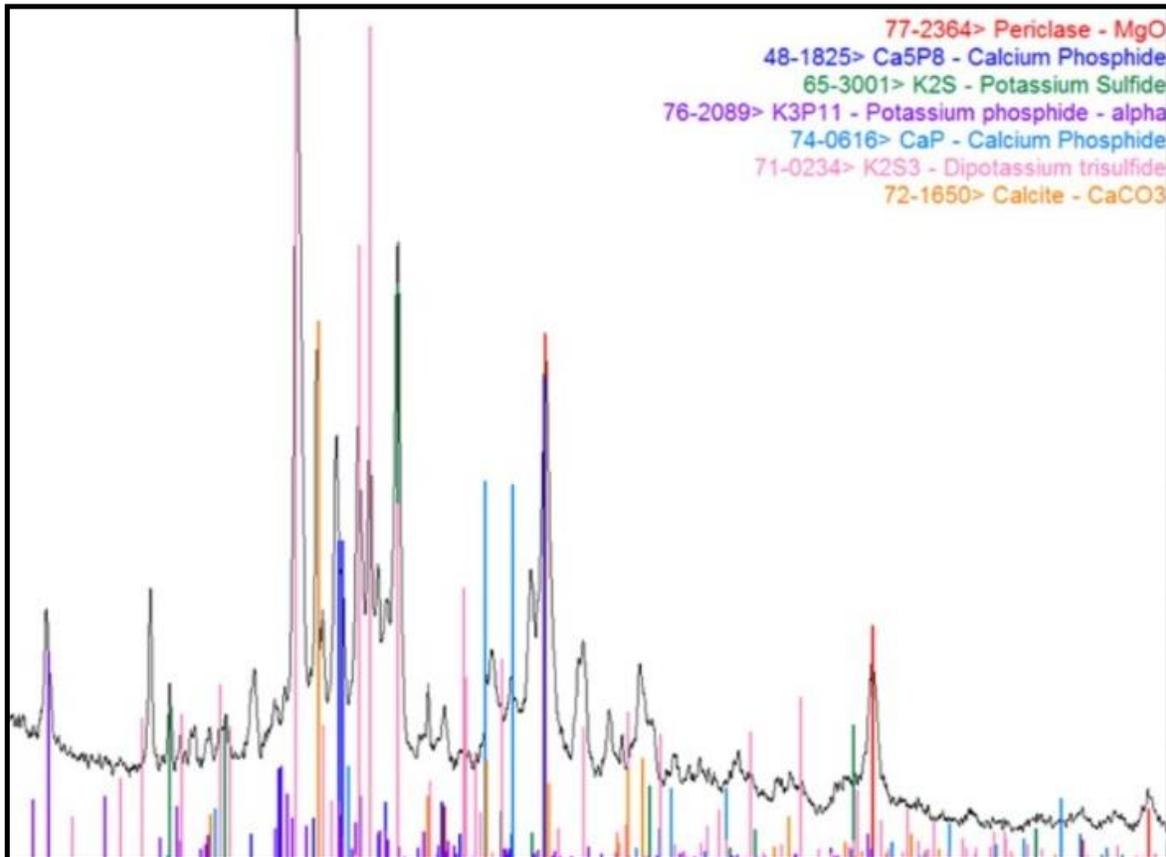
**Tabla 3.1 Nomenclatura de micrografías obtenidas.**

<b>Simbología</b>	<b>Descripción de la simbología</b>
<b>C50</b>	Centrifuga de canasta a 50 °C
<b>50075</b>	5,000 rpm, tornillo abierto, 75°C
<b>70575</b>	7,000 rpm, tornillo al 50%, 75°C
<b>751050</b>	7,500 rpm, tornillo cerrado, 50°C
<b>801025</b>	8,000 rpm, tornillo cerrado, 25°C



### 3.6 Resultados de los difractogramas de rayos X

En la Figura 3.17 presenta el difractograma de rayos X para la muestra óptima que corresponde a 50°C, 7500 rpm, y tornillo cerrado.



**Figura 3.17 Difractograma de mucílago de chía obtenidas a las condiciones óptimas de proceso.**

En el difractograma de mucílago de chía obtenido a las condiciones óptimas, se identificaron varios compuestos cristalinos como óxido de magnesio, fosfito de calcio, fosfato de potasio,  $\alpha$ -Fosfito de potasio, trazas de carbonato de calcio, trisulfito de dipotasio. Este conjunto de compuestos muestran que el mucílago o fibra soluble, aparte de sus propiedades espesantes como hidrocoloide, recubridor de la mucosa intestinal, formador de película, también tiene varios minerales y compuestos muy deseables a la salud. Su estructura es ordenada y la cantidad de compuestos cristalinos hacen que en general sea cristalino.



### 3.7 Conclusiones

La temperatura fue un factor crítico para el rendimiento y la eficiencia de separación de mucilago de chía, dado que las temperaturas superiores a 50 °C provocan la ruptura de la semilla y en consecuencia se presenta la contaminación del mucílago con otros componentes. Por otra parte, al aumentar velocidad de giro de la centrifuga se incrementó considerablemente el rendimiento y la eficiencia de separación siendo la velocidad de 7500 rpm la condición óptima para esta variable.

La abertura de tornillo fue una variable determinante en la eficiencia de separación y el tornillo completamente cerrado presentó los valores más altos.

Las condiciones óptimas para la separación de mucilago fueron la temperatura de remojo a 50 °C, la velocidad de giro de 7500 rpm y el tornillo cerrado de acuerdo con los resultados obtenidos y al análisis de superficie de respuesta.

Las micrografías de microscopia electrónica evidenciaron las mejores condiciones de extracción de mucilago y se correlacionaron con el análisis estadístico.

El difactograma de Rayos X expuso por primera vez que las condiciones de proceso de extracción de mucílago evaluadas influyen en los componentes minerales presentes en el mucílago tales como óxido de magnesio, hexafluoruro de tetrapotasio, pentacalcio, sulfuro de potasio y carbonato de calcio.



### 3.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarón D. R., Introduction to diffraction in materials science and engineering, Ed. John Wiley and Sons, Canada, (2001) 119.
- Agritrade., (2014). Ficha técnica Chía. Recuperado el 02 de 01 de 2018, de Agritrade:<http://agritradecentralamerica.org/wpcontent/uploads/2014/FICHA-TECNICA-CHIA.pdf>
- Alabdulkarim, B., Bakeet, Z. A. N., Arzoo, S., (2012). Role of some functional lipids in preventing diseases and promoting health. Journal of King Saud University - Science, 24(4), 319-329.
- Ávila de la Roda, G., J. Alvarez-Ramirez, E.J. Carter-Vernon, H. Carrillo-Navas y C. Pérez-Alonso., (2015). Viscoelasticity of chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage dispersion in the vicinity of an oil-water interface. Food Hydrocoll. 49, 200-207. Doi: 10.1016/j.foodhyd. 2015.03.017
- Ayerza, R. (1995). Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Five Northwestern Locations in Argentina. Journal of the American Oil Chemists' Society, 9(72), 971-1090.
- Ayerza, R. y Coates W., (2002). "Semillas de chía: nueva fuente natural de ácidos grasos omega-3, antioxidantes y fibra dietética. México.
- Ayerza, R. y Coates W., (2004). Protein and oil content, peroxide index and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and sub-tropical ecosystems of South America. Tropical Science 44, 131-135.
- Ayerza, R. y Coates W., (2005). Chia. Rediscovering a Forgotten Crop of the Aztecs (1st ed.). The University of Arizona Press, Tucson, USA, 197 p.
- Ayerza, R. y Coates., (2006). Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas (1 ed.). Buenos Aires.
- 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* L.). Ind Crops Prod 34, 1366-1371.
- Bozan, B. y Temelli, F., (2008). Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. Bio Tech 99, 6354-6359
- Brown, J., (2003). Chía meal data. , Gilbert, Arizona, USA. .International Flora Technologies Inc (Unpublished), 1.
- Bushway, A., P. Belyea, and R. Bushway., (1981). Chia seed as source of oil, polysaccharide, and protein. Journal of Food Science. 46:1349-1350.
- Bueno, M., y Sapio, O. D., (2010). Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). REDALYC, 9, 221–227.
- Capitani-Ivana M., (2013) Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia hispanica* L.) aplicación en tecnología de alimento. Tesis (Doctoral) Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ciencias exactas.



- Capitani-Ivana, M., Sportono, V., Nolasco, S., Tomás, M., “Caracterización fisicoquímica y funcional de subproductos de Chía (. Salvia hispánica L) de semillas de Argentina. 2012” - Ciencia y Tecnología de Alimentos 45 94-102.
- Capiro-Morales G. (2012) Caracterización fisicoquímica y microbiológica de cubiertas comestibles a base de mucílago de chía (Hyptis suaveolens) aplicadas en manzana para prolongar la vida de anaquel. Tesis (Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Coates, W. y Ayerza R. (Jr)., (1996). Producción Potential of Chia in Northwestern Argentina. *Ind Crops Prod* 5, 229-233.
- Coates, W. y Ayerza R. (Jr) (1997). New crop trials in the Patagonian region of Argentina. Abstracts of an International Conference of the Association for the Advancement of Industrial Crops, 23, Saltillo, México.
- Coates W., Ayerza R. (1998). Commercial production of Chia in Northwestern Argentina. *J. Amer. Chem. Soc.*, 75 (10): 1417-1420.
- Diario Oficial de la Unión Europea (2009). Autorización de la comercialización de semillas de chía (Salvia hispánica L.) como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) N° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Dick, M., Costa, T. M. H., Goma, A., Subirade, M., Rios, A. D. O., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130, 198–205.
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Attia, H. (2007). Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*. 103, 641-650 Endres.
- Farela-Lara, L. (2017) Extracción y caracterización del mucílago de chía para la determinación de los parámetros de la aplicación como aditivo espesante en función a la concentración en mermelada de fresa. Tesis (Ingeniero en industria en alimentos) Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ingeniería.
- Guiotto, E. N.; Capitani, M. I.; Nolasco, S. M. and Tomás, M. C. 2016. Stability of Oil in Water Emulsions with Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Chia (*Salvia hispánica* L.) By *Journal of the American oil Chemists society*. 93(1):133-143.
- Hernández, J. y Miranda, C. (2008). Caracterización morfológica de chía (*Salvia hispánica*). *Fitotecnia Mexicana*. 31(2). 105-113. doi: ISSN0187-7380.
- Houska, M., Valentova, H., Novotna, P., Strohal, J., Sestak, J., y Pokorny. ○ (1998). Shear Rates During Oral and Nonoral Perception of viscosity of fluid foods. *Journal of texture studies*, 29(6), 603-615.
- Huxley. A. (1992). *El (nuevo Diccionario de jardinería RHS*. 1992. MacMillan Press ISBN 0-333-47494-5.



- Ixtaina ,V.Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., (2011) "Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 24, pp. 166-174.
- Jimenez P., Masson L., y Quitral V., (2013). Chemical composition of chia seed, flaxseed and rosehip and its contribution in fatty acids omega-3. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 155–160.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182013000200010>
- Loubes, M.A., Calzetta-Resio, A.N., Tolaba, M.P., Suarez, C. (2012). Mechanical and termal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure. *LWT –Journal of Food Science and Technology* p.46, 519-524
- Matt B (2008). Chia: The Ord Valley’s new super crop. ABC Rural. <http://www.abc.net.au/rural/content/2008/s2367335.htm>. Acceso en Diciembre de 2017.
- Matthäus B, Aitzetmüller K, Friedrich H. The new database “Seed oil Fatty Acids” (SOFA) *Grasas y Aceites* 2003; 54: 188-193.
- Minaya S. Berusska J., (2016) Efecto del uso de semillas de chíá (*Salvia hispánica*) enteras y trituradas en los valores lipídicos y glucémicos en la sangre de dos grupos con diferentes perfiles metabólicos. Tesis (Ingeniero agrónomo) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Mohd, N.; Keong, S.; Yong, W.; Kee, B.; Wei, S. and Guan, S., (2012). The Promising Future of Ch.
- Mondragón Gutiérrez G., (2007). Síntesis de  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$  a baja temperatura. Tesis (Maestría en Ciencia e Ingeniería de materiales). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., Aguilera, J. M., (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108 (1), 216–224.
- Olvera Badillo M., (2011) Diseño de configuración de separador mecánico de líquido con partículas sólidas. Tesis (Ingeniero mecánico) Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.
- Peiretti, P.G. y Gai, F., (2009). Fatty aciid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology* 148 (2-4) 267-275.
- Plants for a Future (2002). Acceso en Agosto de 2017. <http://www.pfaf.org/database/>
- Ryding (1992). Pericarp structure and phylogeny within Lamilacae subfamily Nepetoideae tribe Ocimeae. *Nordic Jour Bot*, 273-298.



- Reynoso-Cortés L. B., (2002). Extracción, separación y caracterización reológica del mucilago de la semilla de chía (*Salvia hispanica*). Tesis de grado. Universidad Simón Bolívar (México).
- Ruales, J. y Nair, B., (1992). Nutritional quality of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 42, 1-11.
- San Juan Santiago, G., Rendón Villalobos, R., Feria, J. S., & Huicochea, E. F., (2013). Extracción acuosa del biopolímero de la chia (*Salvia hispanica* L.). *Memorias Del XXXIV Encuentro Nacional Y III Congreso Internacional de La AMIDIQ*, (May 2013), 125–129.
- Sánchez Paz L., (1991) Determinación cuantitativa de plomo en chiles enlatados mediante técnicas analíticas, nucleares y espectrofotométricas. Tesis (Químico en alimentos). Universidad Nacional del Estado de México. Facultad de química.
- Shi, H., ( 2001). Introducing natural antioxidants. Cap 8 en antioxidantes en Antioxidants in foods. Practical applications. Pokorny, J., Yanishlieva, N., y Gordon M. (editores) pp. 147-158. CRC Press Inc. Boca Raton, FL. EUA.
- Slayter, Slayter., (1992). Light and electron microscopy Cambridge University Press.. Pp 312.
- Sepúlveda E., Sáenz C., Aliaga E., Aceituno C., (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J Arid Environ* 68, 534-545
- Silva S. Cinthya A., (2015) Evaluación técnica comercial del aprovechamiento de la semilla de chía (*Salvia hispanica*) para la elaboración de productos alternos. Tesis Ingeniería Agroindustrial y de alimentos. Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería y de Ciencias Agropecuarias.
- Silveira-Rodríguez, M. B., Monereo-Megías, S., Molina-Baena, B., (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 77, 317-331.
- Tello H. Diego. N., (2014) Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de la chía blanca (*Salvia hispanica*) establecida en la localidad de las Cruces, Provincia de San Juan Antonio. Tesis Ingeniero agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas. Escuela de pregrado.
- Ting, I.P., Brown, J.H., Naqvi, J., Kumamoto, J., Matsumura, M., (1990). Chia: a potential oil crop for arid zones. *Proceedings of the First International Conference on New Industrial Crops and Products*. Eds. HH Naqvi, A Estilai and IP Ting. Association for the Advancement of Industrial Crops, Riverside, USA, pp 197- 202.
- Travieso, J. C. F., (2010). Ácidos grasos omega-3 y prevención cardiovascular. (Spanish). *Revista CENIC Ciencias Biologicas*, 41(1), 3-15.



- Timilsena Y P, Adhikari R, Adhikari B. (2016). Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrates Polimer.* 136. 128-136.
- Ugena-Díaz L., (2015) Aceite de chía. Beneficios e inconvenientes de su consumo. Tesis (Ingeniero) Universidad Complutense. Facultad de Farmacia. United States Department of Agriculture – USDA, (2002). Nutrient Database for Standard Reference. Release 15, Nutrient. Data Laboratory, Beltsville Research Center, US Department of Agriculture, Pennsylvania, USA
- Velasquez Ccosi P. F. y Roque Riveros B. C., (2015) Evaluación de recubrimientos comestibles a base de mucilago de chía (*Salvia Hispanica L.*) sobre la conservación postcosecha de palta (*Persea Americana Mill.*) - ,variedad hass. *Revista: Agroindustria y negocios* 3(4), pag. 17-22.
- Vinitilla P. Emilia y Reinoso G. María J., (2015) Comprobación de métodos para la caracterización de acidos grasos y aminoácidos de las semillas de chía (*Salvia hispánica-L.*). Tesis Ingeniería Agroindustrial y de alimentos. Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería y de Ciencias Agropecuarias.