



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE**

Facultad de Ciencias y Tecnología de los Alimentos

Trabajo integrador para acceder al título de  
Especialista en Calidad e Inocuidad de Alimentos

**“Evaluación nutricional del subproducto obtenido de la  
extracción de aceite de semilla de Chía en una  
microempresa alimentaria”**

Autor: Ivana Andrea Colin

Tutor: Dr. Andrés Felipe Rocha Parra

Villa Regina

2024

## RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis de composición porcentual de un lote de semilla de Chía (*Salvia hispanica* L.) y del subproducto obtenido luego de la extracción de aceite. Las muestras fueron molidas mediante un molinillo multifunción. Las determinaciones analíticas se realizaron en el laboratorio de Propiedades Nutricionales de la Universidad Nacional de Río Negro de acuerdo a los métodos estandarizados de Association of Official Analytical Chemists (AOAC). En semillas y subproducto se determinó respectivamente el valor energético (477,73 y 407,77 Kcal/100 g), carbohidratos totales (45,42 y 34,01 %), fibra dietaria (20,61 y 31,05 %), proteínas (19,00 y 38,70 %), grasas totales (28,75 y 15,65 %), cenizas (4,64 y 5,42 %), humedad (2,26 y 6,26 %), actividad de agua (0,396 y 0,505) y parámetros colorimétricos ( $L^*$ : 36,65 y 27,2;  $a^*$ : 3,67 y -0,11;  $b^*$ : 9,91 y 1,02). Con esta información de caracterización, se evaluaron los parámetros de calidad y perfil nutricional y se proponen algunas determinaciones fisicoquímicas que pueden ser de interés para futuras aplicaciones de dicho subproducto en la elaboración y/o formulación de alimentos.

Palabras claves: *Salvia hispanica* L., composición porcentual, subproducto.

***A mi familia por el acompañamiento en cada uno de mis propósitos.  
A compañeros profesionales por la predisposición y generosidad de  
siempre.***

## **ÍNDICE**

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	Características de la semilla de Chía.....	5
1.2	Aspectos nutricionales.....	7
1.3	Metodología del proceso de extracción de aceite vegetal.....	9
1.3.1	Extracción por prensado.....	10
1.3.2	Extracción con solvente.....	11
1.3.3	Método por fluidos supercríticos.....	12
2	OBJETIVOS.....	12
3	FUNDAMENTACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO.....	13
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1	Obtención de muestra de semilla de chía y subproducto.....	14
4.2	Preparación de muestras para análisis.....	15
4.3	Metodología analítica.....	15
4.3.1	Determinaciones fisicoquímicas.....	15
4.3.1.1	Determinación de humedad.....	16
4.3.1.2	Determinación de cenizas.....	16
4.3.1.3	Determinación de grasas.....	16
4.3.1.4	Determinación de proteínas.....	16
4.3.1.5	Determinación de fibra dietaria total.....	17
4.3.1.6	Medición de capacidad calórica.....	17
4.3.1.7	Determinación de carbohidratos totales.....	17
4.3.1.8	Determinación de actividad de agua ( $a_w$ ).....	17
4.3.1.9	Determinación de parámetros colorimétricos.....	17
4.4	Análisis estadístico.....	17
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
5.1	Caracterización fisicoquímica.....	18
5.1.1	Composición porcentual de semilla de chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.).....	18
5.1.2	Determinación de actividad de agua en semilla y subproducto.....	19
5.1.3	Composición porcentual del subproducto de chía.....	20
5.1.4	Determinación de parámetros colorimétricos.....	22
6	CONCLUSIONES.....	23
7	PROPUESTAS FUTURAS.....	23
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
9	ANEXOS.....	30

## 1 INTRODUCCIÓN

La semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) es una antigua planta oleaginosa perteneciente a la familia de aromáticas como la menta, el tomillo, el romero y el orégano y se cultivó originalmente en el centro de México y Guatemala. Actualmente se cultiva en varios países y su producción mundial anual es de 30.000 toneladas (Ayerza & Coates 2007). El desarrollo de la chía en Argentina se remonta a mediados de la década del 90. Las condiciones agroecológicas de la región Noroeste Argentino, resultaron propicias para el desarrollo del cultivo, que se encuentra mayoritariamente localizado en la provincia de Salta.

Las propiedades nutricionales beneficiosas para la salud de las semillas de chía se pueden atribuir a su rica composición química, particularmente alto contenido de ácidos grasos esenciales, aminoácidos, polifenoles, vitaminas y bioelementos.

Se ha demostrado que la semilla de chía puede incorporarse a la dieta humana junto con otros granos a fin de producir un balance de proteínas más equilibrado (Ayerza & Coates, 2011). Con respecto a la obtención del subproducto de chía (expeller), luego de la extracción de aceite, su contenido de fibra dietaría representa alrededor de un 40 por ciento.

El expeller tiene la particularidad de presentar composición y calidad muy variables. Esta variabilidad podría atribuirse en parte al tipo de equipamiento y las condiciones durante el procesamiento, tales como presión y temperatura (Bargale y col., 1999). También puede atribuirse a la composición de la materia prima utilizada (García-Rebollar y col., 2016) y particularmente su contenido de humedad (Herman y col., 2016).

En relación a la evaluación del perfil nutricional se define el valor energético de cada macronutriente de acuerdo a las cifras de recomendaciones dietéticas. Éstas establecen que las proteínas deben aportar el 15% de las calorías totales, las grasas un 30% y los carbohidratos un 55% (Zapata y col., 2022).

### 1.1 Características de la semilla de Chía

La semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie perteneciente a la familia Lamiaceae. El género *Salvia* incluye alrededor de 900 especies. *Salvia hispánica* L., se conoce en todo el mundo con otros nombres siendo el más común chía. Otros nombres utilizados son: Chian, Salvia chía, Salvia chian, Salba, y chía negra.

La chía es una planta herbácea anual, que puede crecer hasta 1 m de altura. Sus hojas son alargadas y dentadas, dispuestas una frente a la otra en el tallo y miden de 3 a 5 cm de ancho y de 4 a 8 cm de largo. Las flores son hermafroditas púrpuras o blancas, pedunculadas y se encuentran reunidas en grupos de seis o más (Fig.1).



Figura 1: Cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.)

El fruto es típicamente un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar 4 mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas”, los cuales son monospermicos. Las semillas de chía son pequeñas, tienen forma ovalada y plana (Fig. 2). Miden entre 2.0 a 2.5 mm, 1.2 a 1.5 mm de ancho y 0.8 a 1.0 mm de grosor, y están disponibles en diferentes tonos de color desde marrón oscuro hasta negro y, a veces pardo grisáceo o blanco. El color blanco de las semillas, que es un rasgo recesivo determinado por un solo gen, ha sido seleccionado por algunos productores para fines comerciales. El color de las semillas no tiene un valor significativo, excepto que las semillas blancas cultivadas suelen ser más grandes y gruesas en comparación con las semillas negras.



Figura 2: Semilla de chía (*Salvia hispanica* L.)

El cultivo de *Salvia hispanica* L. se desarrolla ampliamente en áreas con climas tropicales y subtropicales. A escala industrial se cultiva en América del Sur (Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador, Colombia, Paraguay y Perú), América Central (Guatemala, Honduras, Nicaragua, y Panamá), América del Norte (México, USA), y Australia. Se logra un crecimiento normal de dicho cultivo, en suelos con un pH entre 6,5 y 8,5 y temperaturas de 11 a 16 °C. Bajo condiciones agroclimáticas adecuadas, la productividad puede alcanzar alrededor de 600 Kg de semillas por hectárea. México es el principal productor y exportador, mientras que Estados Unidos, Japón y Europa son los mayores importadores. En los últimos años, la importación de semilla de chía se ha incrementado significativamente; por ejemplo, en España la importación aumentó hasta 13 veces desde 1993 hasta 2019 (Motyka y col., 2023). La principal época de siembra es entre diciembre y enero. La fertilización del suelo es crítica para el cultivo porque requiere de nutrientes valiosos. Al igual que con otras especies de naturaleza aceitosa, es importante mantener niveles adecuados de fósforo en el suelo, con el fin de obtener un aceite de buena calidad de las semillas.

## 1.2 Aspectos nutricionales

Las semillas contienen un alto contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3, ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -6, y un bajo contenido de ácidos grasos saturados (Tolentino y col., 2014). La Tabla 1 muestra una caracterización comparativa del perfil de ácidos grasos en semillas de lino, girasol y chía. Cabe señalar que el lino (*Linum usitatissimum*) y la chía son los cultivos agrícolas que presentan la mayor concentración de  $\omega$ -3 (Ayerza & Coates 2011).

**Tabla 1:** Caracterización comparativa de ácidos grasos para semillas

Aceite	Ácido graso (% del total de ácidos grasos).				
	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Chía	6,9	2,8	6,6	19	63,8
Girasol	7	5	25	65	0,5
Lino	5,5	1,4	19,5	15	57,5

**16:0:** ácido palmítico; **18:0:** ácido esteárico; **18:1**( $\omega$ -9): ácido oleico.  
**18:2** ( $\omega$ -6): ácido linoleico; **18:3** ( $\omega$ -3): ácido  $\alpha$ -linolénico.

Como se indica en la Tabla 2, las semillas de chía contienen un alto porcentaje de fibra dietaria comparado con otras semillas, y el contenido de proteínas varía entre 19% y 23%. La mayor proporción de proteína se encuentra en forma de albumina, globulinas, glutelinas y prolaminas. Los aminoácidos esenciales que se encuentran en su mayor parte son cisteína y metionina. Son ricas en carotenoides, vitaminas (vitamina E y vitaminas del complejo B como riboflavina, niacina y tiamina), minerales (fósforo, manganeso, hierro, calcio, potasio y sodio) y también contienen cantidades considerables de antioxidantes, tocoferoles y polifenoles, principalmente ácido clorogénico y ácido cafeico. Los azúcares reductores como glucosa, fructosa, xilosa y ribosa se encuentran ampliamente en semillas oleaginosas. (Ixtaina y col., 2011).

**Tabla 2:** Composición porcentual correspondiente a diversas semillas

<i>Semilla</i>	<i>Proteína</i>	<i>Lípidos</i>	<i>Carbohidratos</i>	<i>Fibra</i>	<i>Cenizas</i>
Girasol <sup>4</sup>	20 - 40	47 - 65	4 - 10	8 - 12	3 - 4
Sésamo <sup>1</sup>	15 - 35	35 - 50	10 - 15	20 -25	5 - 9
Quinoa <sup>3</sup>	12 - 21	2 - 10	50 - 65	8 -14	2 - 3
Chía <sup>2</sup>	19 - 23	30 - 35	29 - 41	18 - 30	4 - 6

<sup>1</sup> USDA, 2022; <sup>2</sup> Xingú y col., 2017; <sup>3</sup> García-Parra & Plazas-Leguizamón, 2018; <sup>4</sup> Caldera y col., 2019.

Las semillas de chía ofrecen beneficios tecnológicos interesantes en el procesamiento de alimentos y, por lo tanto, pueden usarse como ingredientes en alimentos complejos. Por ejemplo, debido a su capacidad de retención de agua, se pueden usar como una alternativa a los huevos o los aceites, en productos horneados. Al absorber agua, las semillas de chía se hinchan y toman la forma de



una red de hidrogel de mucílago rica en fibra dietética, que exhibe efectos emulsionantes, espesantes y espumantes (Motyka y col., 2023).

### 1.3 Metodología del proceso de extracción de aceite vegetal

Entre los métodos de extracción existen dos tipos, por extracción mecánica y por extracción química, dentro de los cuales se emplean diseños que combinan los dos. Para la extracción mecánica se emplea el método de prensado que es tanto continuo como discontinuo; para la extracción química se emplean solventes y fluidos supercríticos (Gutiérrez y col., 2017).

Los aceites comestibles se pueden producir como aceites no refinados (prensados en frío y vírgenes) o refinados. En la producción de aceites sin refinar, se obtiene torta como subproducto. El aceite contenido en este subproducto es extraído por extracción con solvente. El aceite crudo prensado, el aceite crudo extraído o la mezcla, pasa a través de una serie de pasos del proceso de refinación química o física, para obtener aceite refinado comestible (Popović y col., 2020).

La Figura 3, muestra los elementos que conforman un equipamiento utilizado para la producción de aceites mediante presión continua (extracción por extrusado-prensado), seguido de “tortas” y harinas, como subproductos.

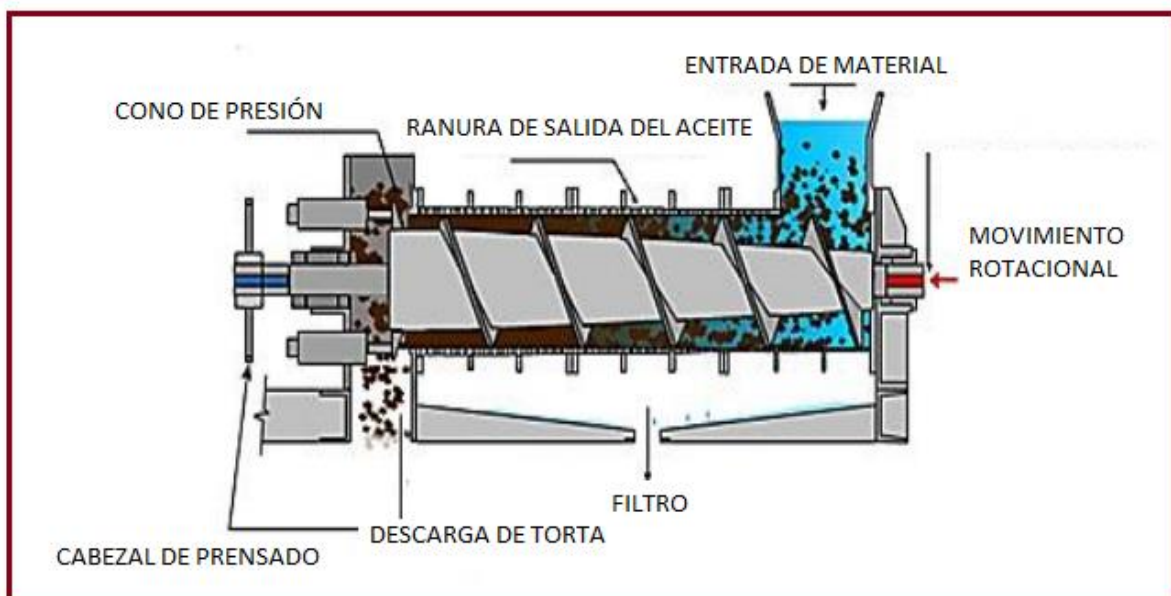


Figura 3: Elementos de una prensa común expeller. Fuente: Screw press machine (Rezig y col., 2020).

Existen diversos métodos de extracción para la producción de aceites. Se pueden clasificar de acuerdo a los equipamientos utilizados y los acondicionamientos y/o tratamientos de la materia prima a la hora de producir el aceite.

A lo largo de los años se han utilizado diferentes métodos para extraer el aceite de las semillas, como el prensado en frío, la extracción con disolventes convencionales, la extracción con solventes supercríticos, el método asistido por ultrasonidos, etc., (Ixtaina y col., 2011). Cada método produce aceite de diferentes tipos de calidad: porcentaje de pureza y rendimiento, contenido de ácidos grasos, conservación del contenido de antioxidantes, carácter organoléptico e inocuidad del aceite. A continuación, se describen las características específicas de cada uno de los métodos estudiados para la extracción de aceites de chía.

### **1.3.1 Extracción por prensado**

En este método se utiliza un dispositivo comprendido por un cilindro metálico con una abertura de aproximadamente 10 cm de altura y 7 cm de diámetro interno. La base de este dispositivo es compacta y plana y se desliza a lo largo del cilindro al aplicar presión.

El aceite de semilla de chía se obtiene mediante el método de prensado. La materia prima ingresa al orificio de entrada y luego mediante un tornillo sin fin, se transporta y comprime. El diámetro del tornillo sin fin, aumenta de tamaño en uno de sus extremos, lo cual permite que, al triturar las semillas y ante el aumento de presión, la "torta" o subproducto sea expulsado por la boquilla del tornillo. En el momento en que el producto sale por el orificio de la matriz, el agua que está íntimamente mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora instantáneamente. Es por ello, que el producto sufre una expansión y las cadenas proteicas, así como las de almidón son modificadas, aumentando la superficie y volviéndose más atacable por las enzimas, con lo cual, el producto se hace más digestible, además de reducir la carga microbiana (Pinho y col., 2021).

Otro de los métodos derivados de este es el prensado discontinuo tipo cerrado, que es un método que consiste en agregar la materia prima dentro de una jaula diseñada para soportar presiones de hasta 41,19 MPa. El diseño del equipo está basado en dos barras con ranuras muy cercanas entre sí, con el objetivo de que el aceite al ser comprimido a través de este sistema (cilindro émbolo) fluya de forma libre entre los canales interiores. Este tipo de prensas pueden alcanzar presiones

más elevadas en comparación con las prensas discontinuas tipo abierto y son ideales para el tratamiento de extracción de semillas que poseen una gran dureza y que tienen gran cantidad de aceite. Al igual que el método discontinuo tipo abierto preserva las propiedades antioxidantes contenidas en el aceite esencial debido a que no se implementa ningún tipo de solvente que degrade estos compuestos (Cefla, 2015).

Otro método es la extracción por prensado en frío. Es un método tradicional que se realiza mediante un tornillo expeller, donde las semillas oleaginosas son prensadas con una palanca mecánica. Los tratamientos previos como el tostado y el remojo en agua hirviendo, suelen emplearse para aumentar el rendimiento y reducir el tiempo de extracción (Akinfenwa y col., 2020). Se sugiere las condiciones de optimización para mejorar el rendimiento del aceite, aumentar la velocidad de la prensa de tornillo (20 rpm), moderar la humectación de la semilla para aumentar la plasticidad de la semilla (0,101 g/g de semilla) y aumentar la temperatura de operación (30°C) y la matriz de restricción (6 mm) (Ixtaina y col., 2011). Informes de literatura demostraron que se obtiene una mayor calidad de aceite con el método de prensado en frío en comparación con las técnicas convencionales de extracción con solventes. Realizando una extracción en frío se obtiene un aceite más puro, y mejor retención del sabor natural, con mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante para su uso como alimentos funcionales (Rodríguez y col., 2023).

### **1.3.2 Extracción con solvente**

Los aceites vegetales de semillas oleaginosas generalmente se obtienen por el método convencional de extracción con solventes. Comúnmente se utiliza hexano y éter etílico, los cuales presentan limitaciones para ser utilizados como solventes en productos para consumo humano e implican tiempos prolongados de extracción y la eliminación incompleta del solvente después de la extracción (Mehmet y col., 2018).

La ventaja de este método de extracción con solvente sobre el expeller de tornillo tradicional, es un mayor rendimiento de aceite (Dabrowski y col., 2018).

### **1.3.3 Método por fluidos supercríticos**

La extracción con fluidos supercríticos (SFE) es una técnica alternativa que aporta grandes ventajas, como la ausencia de luz y oxígeno durante el proceso de extracción, así como la posibilidad de utilizar bajas temperaturas, evitando reacciones de degradación (Aguiar y col., 2012).

Este método se basa en el poder solubilizante del fluido para exhibir propiedades tanto de líquido como de gas simultáneamente a temperatura y presión crítica. En condiciones supercríticas, muestra un alto poder de solvatación con una viscosidad más baja y una tasa de difusión más alta, lo que se requiere de un solvente ideal para la extracción del aceite. Se utiliza preferentemente el dióxido de carbono ya que no es tóxico, no es inflamable, funciona a temperatura ambiente, es relativamente económico y se puede eliminar fácilmente del extracto de aceite (Ixtaina y col., 2011).

Se ha reportado el uso del gas dióxido de carbono para la extracción de aceite en semilla de chía con técnicas SFE. Sus resultados mostraron que el porcentaje de rendimiento de aceite es mayor que el de extracción con solvente. La recuperación de aceite fue reportada en 92.8 % después de 300 minutos. Además, la acidez y el índice de peróxidos fueron más bajos debido a la ausencia de un solvente orgánico, lo que sugiere una ventaja de SFE sobre la extracción con solvente (Uribe y col., 2011; Ixtaina y col., 2010).

## **2 OBJETIVOS**

### ***Objetivo general***

Realizar una caracterización nutricional a través de un análisis de composición porcentual del subproducto o expeller obtenido a partir de la extracción de aceite de semilla de chía en una microempresa productora de aceites.

### ***Objetivos específicos***

- ✓ Determinar las características fisicoquímicas de las semillas de chía utilizadas para la elaboración de aceite.
- ✓ Llevar a cabo la extracción de aceite de semilla de chía por el método de prensado.

- ✓ Evaluar la composición nutricional del subproducto obtenido de la extracción de aceite (valor energético, hidratos de carbono, proteínas, grasas, fibra dietaria).

### **3 FUNDAMENTACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO**

La semilla de chía se caracteriza por su alto contenido de aceite, donde los principales nutrientes son los ácidos grasos poliinsaturados. También tienen un alto contenido de proteínas y antioxidantes. Resulta conveniente aplicar un adecuado método de extracción de aceite con el fin de preservar la calidad tanto del aceite como del subproducto. Se sugiere emplear procesos de extracción simples cuya implementación e inversión sean accesible a productores. En los últimos años ha surgido el interés en el uso de tornillos mecánicos continuos.

Es importante promover la utilización del subproducto o expeller de semilla de chía como ingrediente para el desarrollo de alimentos como por ejemplo en la elaboración de una harina, utilizada en diferentes proporciones en la producción o formulación de panificados, pastas, elaboración de snacks, como agregado en jugos de frutas y así generar tendencia hacia el consumo de productos alimenticios con alto valor biológico y nutricional. En este sentido, se han reportado muchos estudios para agregar valor al expeller, ya que comúnmente este se descarta, se usa como alimento para animales, se comercializa como chía triturada, se destina a la producción de energía, cosméticos, biomateriales o como fertilizante (Vinayashree & Vasu, 2021).

Actualmente los estudios realizados en subproductos de chía, han proporcionado importancia en su aplicación como ingrediente en alimentos debido a sus propiedades biológicas, funcionales y nutricionales. Uno de los estudios recientes, es la obtención de hidrolizados de expeller de chía y obtención de péptidos potencialmente antioxidantes a partir de proteínas de chía (Ozón y col., 2022).

Los factores a tener en cuenta en la caracterización de dicho subproducto son, el contenido de humedad, la actividad acuosa, pH y las principales interacciones de los componentes mayoritarios (carbohidratos, lípidos, proteínas y sus metabolitos intermediarios) durante el almacenamiento y procesado de los alimentos que llevan al deterioro de los atributos de calidad (textura, sabor, color, valor nutritivo). La extracción de aceite por extrusado causa un aumento significativo en el contenido de antioxidantes. Esto puede atribuirse al aumento de la liberación de compuestos bioactivos de la matriz de la pared celular disponibles y tienen la propiedad de

impedir o retardar el enranciamiento de las grasas, interfiriendo en las primeras fases de la peroxidación (Karamač, 2010).

En los últimos años, ha aumentado la demanda de alimentos que cubran los requerimientos nutricionales básicos, presenten adecuadas características organolépticas y contribuyan al bienestar de la salud. Además de considerar el aspecto nutricional, la utilización de los subproductos del prensado de chía contribuye al desarrollo económico local al generar nuevas alternativas económicas y agregado de valor.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Obtención de muestra de semilla de chía y subproducto

Se tomó una muestra de semillas de un lote comercial destinado a la extracción de aceite en una sala de elaboración del establecimiento “Rica Natura” ubicado en la ciudad de General Roca, provincia de Río Negro.

El proceso de extracción de aceite, se llevó a cabo utilizando 2 kilogramos de semillas. Las semillas analizadas presentan las características para la denominación de semilla de chía que establece el Artículo 918 del Código Alimentario Argentino (C.A.A). Las semillas tienen color y tamaño característico, aroma agradable y no se encontraron partículas extrañas.

Utilizando una prensa mecánica de tornillo “expellers” (Figura 4) se realizó la extracción de aceite a una temperatura de rango 45-60°C. La misma fue medida utilizando un termómetro digital a la salida del subproducto de la prensa.



Figura 4: Extrusor con prensa mecánica de tornillo simple

## 4.2 Preparación de muestras para análisis

En las muestras de semillas y de subproducto fueron molidas utilizando un molinillo multifunción marca Damai HC-100 (Fig.5). Para las determinaciones analíticas se tomaron 3 muestras de semillas y 3 muestras del subproducto, las mismas fueron acondicionadas en bolsas ziplock.



Figura 5: Molinillo alta velocidad multifunción Grinder (a). Semilla molida (b). Subproducto o expeller (d). Subproducto molido (c).

## 4.3 Metodología analítica

El análisis composicional se realizó de acuerdo con los procedimientos estandarizados de la AOAC (2000). La actividad de agua ( $a_w$ ) y el color fueron analizados de acuerdo a AOAC (1980) y Zapotoczny & Majewska (2010), respectivamente.

### 4.3.1 Determinaciones fisicoquímicas

En las muestras molidas se determinaron los parámetros colorimétricos, el contenido total de proteínas, cenizas, grasas (extracto etéreo) y fibra dietaría. La determinación de humedad, capacidad calórica y actividad acuosa se realizaron en muestras sin moler. En la Figura 6, se puede observar el diagrama de la metodología analítica propuesta en el presente trabajo.

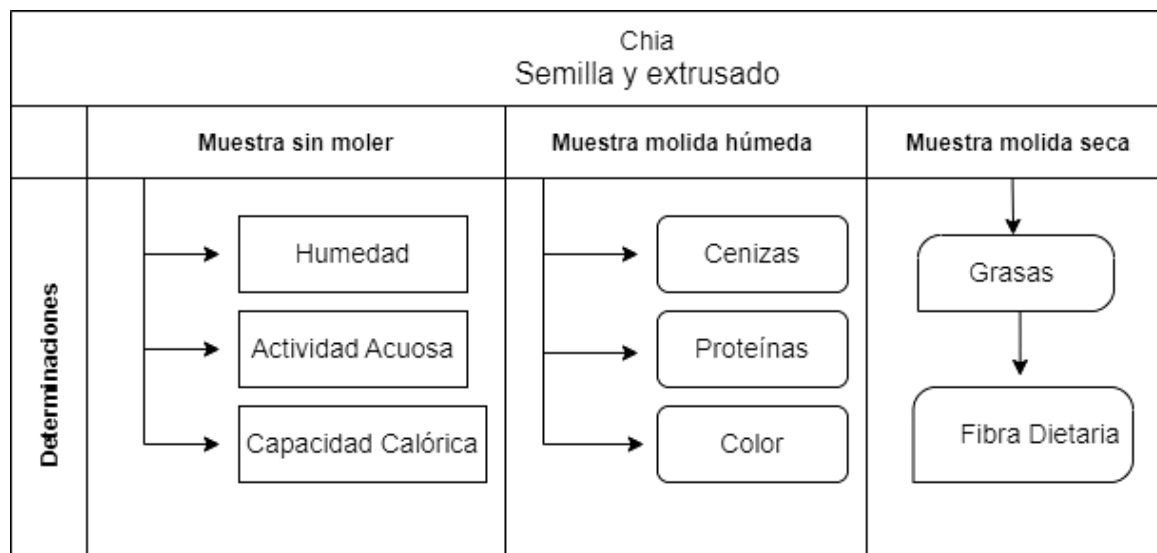


Fig. 6: Diagrama de análisis.

#### 4.3.1.1 Determinación de humedad

La humedad se determinó gravimétricamente en una estufa de vacío a 70°C durante 24 horas (método 934.01).

#### 4.3.1.2 Determinación de cenizas

Las cenizas se consideran como el contenido de minerales totales o el material inorgánico en la muestra. El mismo se determinó gravimétricamente utilizando la técnica de calcinación a 550 °C (método 942.05).

#### 4.3.1.3 Determinación de grasas

Se realizó por el método de Soxhlet. Es un método de extracción semicontinua con el solvente éter de petróleo (rango de ebullición 35-60 °C). El contenido de grasa se determinó gravimétricamente considerando la masa de grasa extraída de la muestra (método 920.39).

#### 4.3.1.4 Determinación de proteínas

La determinación de proteínas se realizó por el método de Kjeldahl. Se basa en la conversión del nitrógeno presente a sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador y calor (método 2001.11).



#### 4.3.1.5 **Determinación de fibra dietaria total**

La metodología utilizada fue basada en la técnica de Prosky (McCleary., 2023). Se utilizó un kit enzimático marca *Megazyme Total Dietary Fibre (200A)*, a pH y temperaturas determinadas (método 985.29).

#### 4.3.1.6 **Medición de capacidad calórica**

Se determina las calorías por gramo de muestra mediante la utilización de un calorímetro isotérmico de bomba *E2K (CAL 2K)* a una presión de 3000 KPa. La calibración se realizó pesando una tableta de Ácido Benzoico como material de referencia estandarizado con un valor certificado de 63181.19 Cal/g.

#### 4.3.1.7 **Determinación de carbohidratos totales**

La determinación se realizó por diferencia calculada en porcentaje (método 986.25).

Carbohidratos =  $100 - ((\text{Humedad (\%)} + \text{Cenizas (\%)} + \text{Proteínas (\%)} + \text{Grasas (\%)})$

#### 4.3.1.8 **Determinación de actividad de agua ( $a_w$ )**

Se realizó una determinación directa de la actividad de agua en la muestra mediante detección del agua libre por sensor electrolítico de humedad (método 32.004-32.009). Se utilizó el equipo *LabMaster- $a_w$*  (Novasina AG, Lachen, Switzerland).

#### 4.3.1.9 **Determinación de parámetros colorimétricos**

Se utilizó el equipo *Colorflex Hunterlab*. Se estandarizó el equipo según procedimiento establecido en el manual de instrucciones. Se realizó la lectura de las coordenadas CIElab ( $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$ ) a través del Software *Colorflex Mini Scan Version 1.21C*.

### 4.4 **Análisis estadístico**

Se realizó estadística descriptiva calculando la media, la desviación estándar y coeficiente de variación para cada variable de respuesta en estudio. Se utilizó las herramientas para análisis de datos de Microsoft Excel.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización fisicoquímica

Los resultados obtenidos de cada determinación fueron analizados teniendo en cuenta los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (C.A.A) y valores reportados en bibliografía.

#### 5.1.1 Composición porcentual de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.)

En la Tabla 3 se muestran los resultados de composición porcentual de semillas de chía determinados en el presente trabajo. El contenido de carbohidratos determinado en las semillas de chía supera, aunque en baja proporción, al valor máximo del rango reportado en la literatura. En cuanto al contenido de grasas, el resultado se aproxima al valor mínimo de referencia. Los valores de cenizas, proteínas, fibra dietaria y valor energético se encuentran dentro de los rangos establecidos por la bibliografía (Xingú y col., 2017).

En comparación con las semillas de quinua, maíz, trigo o arroz, las semillas de chía tienen un contenido calórico superior, aunque su valor energético es menor en comparación con el de las semillas de lino y girasol (USDA, 2022).

**Tabla 3:** Composición porcentual de semilla de chía

Variables (%)	Resultado	Valor bibliográfico
Valor Energético (Kcal/100 g)	477,73 ± 0,04	396 - 609 <sup>(3)</sup>
Carbohidratos	45,42 ± 0,20	29 - 41 <sup>(1)</sup>
Fibra Dietaria	20,61 ± 0,19	18 - 30 <sup>(1)</sup>
Proteínas	19,00 ± 0,01	19 - 23 <sup>(1)</sup>
Grasas	28,75 ± 0,09	30 - 35 <sup>(1)</sup>
Cenizas	4,64 ± 0,06	4 - 6 <sup>(1)</sup>
Humedad	2,26 ± 0,04	máx. 7 <sup>(2)</sup>

Media ± SD (n = 3).

Fuente:<sup>(1)</sup> Xingú y col., 2017; <sup>(2)</sup> Código Alimentario Argentino; <sup>(3)</sup> USDA, 2022.

El contenido de humedad, por otro lado, se sitúa por debajo del porcentaje máximo establecido por el C.A.A lo que podría afectar el rendimiento del aceite durante el prensado. Durante el mecanismo de prensado, las moléculas de agua atraviesan y ablandan los tejidos celulares y facilitan los cambios estructurales debido a la presión ejercida favoreciendo los procesos de extracción. Según registros bibliográficos, el mayor rendimiento de aceite obtenido fue de 261 g/Kg de semilla con un 10% de humedad, y un rendimiento aún mayor de 481 g/kg se logró con un contenido de humedad del 13,6% (González y col., 2016; Martínez y col., 2012). Estos datos sugieren que, un ajuste en el contenido de humedad previo a la extracción podría optimizar el rendimiento del aceite de chía.

### 5.1.2 Determinación de actividad de agua en semilla y subproducto

La actividad de agua ( $a_w$ ) indica el contenido de humedad que está libre en un producto y disponible para reacciones químicas y el crecimiento de microorganismos (Clayton y col., 2012). Los valores de  $a_w$  para las semillas y el subproducto (Tabla 4) indican que ambos son microbiológicamente estables. El valor mínimo al que pueden crecer los microorganismos, es decir por debajo del cual se alteran las actividades fisiológicas necesarias para la división celular, es de  $a_w$  0,60 (Beuchat y col., 2013).

**Tabla 4:** Resultados de  $a_w$

Muestra	$a_w$
Semilla	0,396 ± 0,003
Subproducto	0,505 ± 0,003

Media ± SD (n = 3).

El valor de  $a_w$  se relaciona con el contenido en agua (expresada como masa de agua por unidad másica del material seco) a una temperatura constante, mediante isotermas de sorción de humedad. Generalmente se representan en forma gráfica o mediante una ecuación modelo empírica o teórica como BET (Brunauer, Emmett y Teller) y GAB (Guggenheim, Anderson y De Boer). El valor de la “monocapa BET” corresponde aproximadamente, a la cantidad de agua necesaria para formar una sola capa de moléculas de agua sobre los grupos polares fácilmente accesibles del material seco. Normalmente, a medida que aumenta el valor de  $a_w$ , por encima de

la monocapa, mayor reactividad química, puesto que el agua propicia la movilidad del sustrato y de los productos y participa de las transformaciones hidrolíticas, actividad enzimática, oxidación de lípidos, oscurecimiento no enzimático, entre otras reacciones que se favorecen o se inhiben a partir del valor de  $a_w$  (Moreira y col., 2012).

El resultado de  $a_w$  obtenido en la muestra de semillas se evaluó teniendo en cuenta valores de actividad de agua de la monocapa en semillas de chía reportados en literatura (Arslan-Tontul, 2020). Estos valores de  $a_w$  se encuentra entre 0.1 y 0.15, los mismos constituyen una primera estimación del contenido de agua de máxima estabilidad en las semillas. Podemos determinar entonces, que el resultado de  $a_w$  en la muestra de semilla analizada, se encuentra por encima del valor de referencia para la cubierta monocapa, con lo cual se considera que gran parte del agua en la muestra de semillas es “agua libre” por lo tanto, disponible para participar de las reacciones químicas.

Cuando las condiciones de almacenamiento no son óptimas, las semillas pueden deteriorarse rápidamente por reacciones oxidativas debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales son químicamente inestables en presencia de oxígeno, luz, humedad y calor. Generalmente la velocidad mínima de oxidación de lípidos está comprendida en un rango de  $a_w$  entre 0,2 y 0,4 (Damodaran, S. & Parkin, K. 2019).

Durante el proceso de extracción de aceite, la fracción de lípidos contenida en el subproducto, tiene mayor interacción con el oxígeno. A partir de los efectos de la actividad acuosa sobre la estabilidad de los alimentos, podemos decir que el valor de  $a_w$  determinado en la muestra supera el rango en el cual la velocidad de oxidación es mínima, con lo cual es posible que en el subproducto ocurran reacciones de deterioro por oxidación de lípidos, considerando además el efecto de la temperatura de extracción.

### **5.1.3 Composición porcentual del subproducto de chía**

Tal como se observa en la Tabla 5, los resultados del análisis composicional en el subproducto cumplen con los límites establecidos en el Artículo 1407 bis, capítulo XIX del C.A.A. para harina de chía parcialmente desgrasada.

**Tabla 5:** Composición porcentual del subproducto de chía

<b>Variables (%)</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valor bibliográfico</b>
Valor Energético (Kcal/100 g)	407,77 ± 0,03	394 - 550 <sup>(3)</sup>
Carbohidratos	34,01 ± 0,31	29 - 41 <sup>(1)</sup>
Fibra Dietaria	31,05 ± 0,59	máx. 35 <sup>(2)</sup>
Proteínas	38,70 ± 0,04	mín. 20 <sup>(2)</sup>
Grasas	15,65 ± 0,09	máx. 18 <sup>(2)</sup>
Cenizas	5,42 ± 0,02	máx. 5 <sup>(2)</sup>
Humedad	6,26 ± 0,07	máx. 9 <sup>(2)</sup>

Media ± SD (n = 3)

Fuente:<sup>(1)</sup> Xingú y col., 2017; <sup>(2)</sup> Código Alimentario Argentino; <sup>(3)</sup> USDA, 2022.

El valor energético y el porcentaje de carbohidratos obtenido, se encuentran dentro del rango porcentual encontrado en bibliografía (USDA, 2022; Xingú y col., 2017). El tipo y la calidad de fibra dietaria, dependen significativamente de las condiciones y métodos de procesamiento. Podemos observar que, en el subproducto se determinó mayor porcentaje (31,05 %) respecto a la semilla (20,61 %). Esta diferencia se debe a los cambios en los constituyentes químicos de la semilla durante la extracción de aceite; la presión generada entre el material alimenticio y el tornillo producen fuerzas de corte que alteran los enlaces glucosídicos de carbohidratos dando lugar a fragmentos más pequeños y más solubles. Este efecto termo mecánico, provoca la redistribución de los componentes formadores de fibras solubles e insolubles. Estudios realizados en diferentes matrices alimentarias, han demostrado que los métodos de prensado y extrusión favorecen la conversión de Fibra Dietaria Insoluble (IDF) a Fibra Dietaria Soluble (SDF). La relación entre la IDF y la SDF es una información importante debido a los efectos nutricionales y fisiológicos que ocasiona en los consumidores. Se recomienda una ingesta diaria de fibra de 25 a 30 g, con una proporción de FDI/FDS de 3 a 1 (Capitani y col., 2012).

La cuantificación de proteínas proporcionó un valor superior en la muestra de subproducto (38,70 %) respecto al determinado en semillas (19 %). El contenido de proteínas contribuye al valor nutritivo del subproducto, y su mayor contenido de

humedad se debe a la capacidad de retención de agua o efecto de hidratación de las proteínas. Dependiendo de la proporción de aminoácidos o de cada una de las fracciones proteicas, será la calidad nutricional de su proteína total.

#### **5.1.4 Determinación de parámetros colorimétricos**

Los resultados colorimétricos representados en la Tabla 6 demuestran que el proceso de extracción de aceite afecta significativamente el color del producto, con un cambio notable en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ .

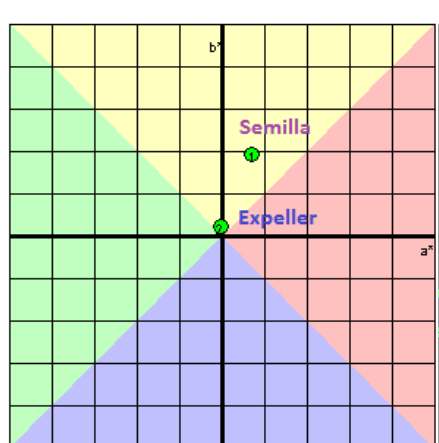
Considerando el contenido de humedad en las semillas y su valor de actividad acuosa, la composición de proteínas y los azúcares reductores que, aunque no fueron determinados en este trabajo, se sabe que son abundantes en semillas oleaginosas, es posible que la diferencia de color se deba a reacciones de Maillard. En ellas, la velocidad de reacción es baja a 30°C y aumenta a partir de los 55 °C, con lo cual se suelen llevar a cabo a temperaturas entre 55°C y 160°C (Cai y col., 2021).

En los procesos por prensado mecánico, como la extrusión, el desarrollo de productos de reacción de Maillard es menor comparado con otros impulsados en condiciones de altas temperaturas y tiempos prolongados como procesos de horneado, cocción o tostado. El desarrollo de color aumenta al aumentar la temperatura, el pH, el tiempo de calentamiento y a valores intermedios de contenido en humedad que se corresponden con el intervalo de  $a_w$  entre 0,3 y 0,7. Se tiene en cuenta además que, la diferencia de color que se observa en la muestra del subproducto respecto a la semilla, se debe a los cambios estructurales que se dan en los principales componentes por la combinación de la fuerza cortante y temperatura dentro de la prensa (Cueto y col., 2015).

El gráfico adjunto ilustra la representación de las coordenadas CIELab ( $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$ ) para cada muestra, destacando visualmente la diferencia de color entre las semillas y el expeller.

**Tabla 6:** valores promedio de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS		
Variables	Muestras	
	Semillas	Expeller
$L^*$	$36,65 \pm 0,27$	$27,2 \pm 0,86$
$a^*$	$3,67 \pm 0,21$	$-0,11 \pm 0,02$
$b^*$	$9,91 \pm 0,72$	$1,02 \pm 0,18$



Media  $\pm$  SD (n = 3)

## 6 CONCLUSIONES

- ✓ La prensa de extracción de aceite de semilla de chía utilizada en este trabajo, permitió la obtención de un subproducto o expeller que cumple con los parámetros fisicoquímicos que caracterizan a la harina parcialmente desgrasada de semilla de chía establecidos por el Código Alimentario Argentino.
- ✓ En cuanto a la composición nutricional, los resultados indican que el subproducto presenta una fuente importante de proteínas y carbohidratos, rica en fibra dietaria. Sin embargo, su alto contenido en grasas totales puede afectar la calidad y estabilidad durante su almacenamiento.

## 7 PROPUESTAS FUTURAS

- ✓ A partir del objetivo planteado en este trabajo y los resultados obtenidos, surge la necesidad de realizar estudios detallados sobre el contenido de fibra dietaria insoluble (IDF) y fibra dietaria soluble (SDF) del subproducto obtenido de la extracción de aceite de semilla de chía, para una mejor determinación de sus propiedades funcionales y calidad nutricional.
- ✓ Se propone evaluar los rendimientos del aceite, realizando prensado con diferente contenido de humedad de la semilla. Se sabe que la adición de agua antes del prensado provoca una expansión y rotura de la estructura celular haciéndola más permeable. Sin embargo, los altos contenidos de humedad en las semillas pueden generar fricción insuficiente durante el prensado y por lo tanto baja recuperación del aceite.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, A. C., Visentainer, J. v., & Martínez, J. (2012). Extraction from striped weakfish (*Cynoscion striatus*) wastes with pressurized CO<sub>2</sub>: Global yield, composition, and kinetic cost estimation. *Journal of Supercritical Fluids*, 71, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.07.005>

Akinfenwa, A. O., Cheikhyoussef, A., Cheikhyoussef, N., & Hussein, A. A. (2020). Cold pressed chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil. In *Cold Pressed Oils: Green Technology, Bioactive Compounds, Functionality, and Applications*.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00015-3>

AOAC Association of Official Analytical Chemists (1980) 13th ed. Water Activity: 32.004-32. 009. Official methods of analysis, 17th edition. Gaithersburg, USA (2000).

Arslan-Tontul, S. (2020). Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. *LWT*, 119.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108859>

Ayerza, R., & Coates, W. (2007). Effect of dietary  $\alpha$ -linolenic fatty acid derived from chia when fed as ground seed, whole seed and oil on lipid content and fatty acid composition of rat plasma. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(1).  
<https://doi.org/10.1159/000100818>

Ayerza h, R., & 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.). *Industrial Crops and Products*, 34(2).  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.007>

Bargale, P. C., Ford, R. J., Wulfsohn, D., Irudayaraj, J., & Sosulski, F. W. (1999). Measurement of consolidation and permeability properties of extruded soy under mechanical pressing. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 74(2).  
<https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0447>



Beuchat, L. R., Komitopoulou, E., Beckers, H., Betts, R. P., Bourdichon, F., Fanning, S., Joosten, H. M., & Kuile, B. H. T. (2013). Low-water activity foods: Increased concern as vehicles of foodborne pathogens. *Journal of Food Protection*, 76(1). <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-211>

Cai, Z., Li, K., Lee, W. J., Reaney, M. T. J., Zhang, N., & Wang, Y. (2021). Recent progress in the thermal treatment of oilseeds and oil oxidative stability: A review. In *Fundamental Research* (Vol. 1, Issue 6). <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.06.022>

Caldera, J. M., Funaro, D. O., García, L., Muñoz, J., Seitz, J., & Bellini Saibene, Y. N. (2019). Conjunto de datos de resultados de la Red Nacional de Cultivares de Girasol del INTA.

Capitani, M. I., Spotorno, V., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2012). Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT*, 45(1). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.012>

Cefla, M.K. (2015). Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia Hispanica* L.) mediante prensado, Esc. Politécnica Nac., p. 158, [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10365>.

Clayton, K., Bush, D., & Keener, K. (2012). Emprendimientos alimentarios - Métodos para la conservación de alimentos. *Purdue Extension*, FS-15-S-W.

Código Alimentario Argentino. (2024). Capítulo XI Alimentos Vegetales y Hortalizas. Capítulo XIX Harinas, Concentrados, Aislados y Derivados Proteicos. [Resolución Conjunta N.º 86/2009 y 711/2009 - Modificación del Código Alimentario Argentino](#).

Cueto, M., Porras-Saavedra, J., Farroni, A., Alamilla-Beltrán, L., Schöenlechner, R., Schleining, G., & Buera, P. (2015). Physical and mechanical properties of maize extrudates as affected by the addition of chia and quinoa seeds and antioxidants. *Journal of Food Engineering*, 167.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.027>

Dabrowski, G., Konopka, I., & Czaplicki, S. (2018). Variation in oil quality and content of low molecular lipophilic compounds in chia seed oils. *International Journal of Food Properties*, 21(1).

<https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1501699>

Damodaran, S., & Parkin, K. (2019). *Química de alimentos de Fennema*. (Artmed, Ed.) (p. 1112). Artmed.

García-Parra, M. Á., & Plazas-Leguizamón, N. Z. (2018). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en los sistemas de producción agraria. *Producción+ Limpia*, 13(1), 112-119.

García-Rebollar, P., Cámara, L., Lázaro, R. P., Dapoza, C., Pérez-Maldonado, R., & Mateos, G. G. (2016). Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of commercial soybean meals. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 245–261.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.007>

González, A., Bodoira, R. M., Penci, M. C., Leon, A. E., Ribotta, P. D., & Martinez, M. L. (2016). Oxidative Stability of Chia Oil: Its Potential Application in Food.

Gutiérrez Suquillo, N. R., Saá Arévalo, I. A., & Vinuesa Lozada, A. F. (2017). Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío. *Enfoque UTE*, 8(2).

<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.153>

Herman, S., Marco, G., Cecilia, B., Alfonso, V., Luis, M., Cristián, V., Sebastián, P., & Sebastián, A. (2016). Effect of water availability on growth, water use efficiency and omega 3 (ALA) content in two phenotypes of chia (*Salvia hispanica* L.) established in the arid Mediterranean zone of Chile. *Agricultural Water Management*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.028>

Ixtaina, V. Y., Vega, A., Nolasco, S. M., Tomás, M. C., Gimeno, M., Bárzana, E., & Tecante, A. (2010). Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.): Characterization and process optimization. *Journal of Supercritical Fluids*, 55(1). <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.06.003>

Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. K., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.006>

Karamać, M. (2010). Antioxidant activity of tannin fractions isolated from buckwheat seeds and groats. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(5). <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1525-x>

Martínez, M. L., Marín, M. A., Salgado Faller, C. M., Revol, J., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2012). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT*, 47(1). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.032>

Mc Cleary, B. v. (2023). Measurement of Dietary Fiber: Which AOAC Official Method of Analysis<sup>SM</sup> to Use. *Journal of AOAC International*, 106(4). <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsad051>

Mehmet Musa Özcan, Fahad Y. Al-Juhaimi, Isam A. Mohamed Ahmed, Magdi A. Osman, Mustafa A. Gassem (2018). Effect of soxhlet and cold press extractions on the physico-chemical characteristics of roasted and non-roasted chia seed oils, *Journal of Food Measurement and Characterization*.

Moreira, R., Chenlo, F., Prieto, D.M. *et al.* Water Adsorption Isotherms of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Food Bioprocess Technol* 5, 1077–1082 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0400-y>

Motyka, S., Skała, E., Ekiert, H., & Szopa, A. (2023). Health promoting approaches of the use of chia seeds. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 103). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105480>

Ozón, B., Cotabarren, J., Valicenti, T., Parisi, M. G., & Obregón, W. D. (2022). Chia expeller: A promising source of antioxidant, antihypertensive and antithrombotic peptides produced by enzymatic hydrolysis with Alcalase and Flavourzyme. *Food Chemistry*, 380, 132185.

Pinho, L. S., Rodrigues, C. E. C., Favaro-Trindade, C. S., & Campanella, O. H. (2021). The Incorporation of Carotenoids on Ready to Eat Foods Studied Through Their Stability During Extrusion Processing. In *Food Engineering Reviews* (Vol. 13, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09285-w>

Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Bulut, S., Romanić, R., & Lazić, V. (2020). Valorization of by-products from the production of pressed edible oils to produce biopolymer films. In *Cold pressed oils* (pp. 15-30). Academic Press.

[Resolución Conjunta 169/2013 y 230/2013 - Modifica el Código Alimentario Argentino.](#)

Rezig, L., Chouaibi, M., Msaada, K., & Hamdi, S. (2020). Cold pressed Cucumis melo L. seed oil. In *Cold pressed oils* (pp. 611-623). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00054-2>

Rodríguez, M. E., Rikal, L., Schneider-Teixeira, A., Deladino, L., & Ixtaina, V. (2023). Extraction method impact on the physicochemical characteristics of lipids from chia nutlets applicable to long-term storage studies. *Food Chemistry*, 427. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136706>

Tolentino, R. G., Vega, M. L. R., Vega y León, S., Fontecha, J., Rodríguez, L. M., & Medina, A. E. (2014). Fatty acid content in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds grown in four Mexican states. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(3).

Uribe, J. A. R., Perez, J. I. N., Kauil, H. C., Rubio, G. R., & Alcocer, C. G. (2011). Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO<sub>2</sub>. *Journal of Supercritical Fluids*, 56(2). <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.12.007>

USDA. (2022). United States Department of Agriculture. World Agricultural Production. In <https://Usdabrazil.Org.Br/>.

Vinayashree S., Vasu, P. (2021). "Biochemical, nutritional and functional properties of protein isolate and fractions from pumpkin (*Cucurbita moschata* var. Kashi Harit) sedes". *Food Chemistry*. 340:128177.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128177>

Xingú, A., González, A., de La Cruz, E., Sangerman, D., Rosas, G., & Arriaga, R. (2017). Chia (*Salvia hispanica* L.) current situation and future trends. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7).

Zapata, M. E., Roviroso, A., & Carmuega, E. (2022). Evaluación de las Guías Alimentarias para la Población Argentina: Inequidad según nivel de ingreso y por región. *Revista Argentina de Salud Pública*, 14(68).

Zapotoczny, P., & Majewska, K. (2010). A comparative analysis of color measurements of the seed coat and endosperm of wheat kernels performed by various techniques. *International Journal of Food Properties*, 13(1).  
<https://doi.org/10.1080/10942910802180174>

## 9 ANEXOS

### A-1: Determinación del contenido de humedad por método gravimétrico

La humedad se calculó como el porcentaje de pérdida de peso después del secado utilizando la siguiente ecuación para el contenido de humedad en base húmeda:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} 100$$

Donde:

- $W_0$ : Peso de la muestra.
- $W_1$ : Peso del crisol más la muestra después del secado.
- $W_2$ : Peso del crisol más la muestra antes del secado.

Procedimiento:

1. Se pesó 5 gramos de muestra homogeneizada en crisoles de vidrio secos previamente tarados.
2. Se colocaron en estufa de vacío a una temperatura de 70°C y a una presión de -0,78 bar, durante 24 horas. (Imagen 1)
3. Se enfrió la muestra en el desecador durante 15 minutos.
4. Se pesó y se realizaron los cálculos correspondientes.



Imagen 1: Estufa al vacío, DZF - 6051.

### A-2: Determinación de cenizas por método gravimétrico

Las cenizas del producto expresado en porcentaje, se calculó sobre la base de peso húmedo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} 100$$

Donde:

- $W_2$ : Masa en gramos de la cápsula con las cenizas
- $W_1$ : Masa en gramos de la cápsula con la muestra
- $W_0$ : Masa en gramos de la cápsula vacía

Procedimiento:

1. Se colocaron los crisol limpio y seco por una hora en una mufla a 550+/- 25 °C.
2. Se llevan al desecador hasta enfriar a temperatura ambiente.
3. Se pesaron los crisoles en balanza analítica y se registró como  $W_0$ .
4. Se pesaron 2 gramos de muestra previamente homogeneizada y se registró como  $W_1$ .
5. Se calentó sobre tela metálica hasta residuo carbonoso. Luego se calcinó en mufla a 550+/-25°C hasta cenizas blancas o de color gris claro y peso constante (Imagen 2).
6. Se enfrió en el desecador y se pesó. Se registró como  $W_2$ .
7. Se realizaron los cálculos.



Imagen 2: Cenizas obtenidas.

### A-3: Determinación de grasas totales por el método de Soxhlet

#### *Procedimiento:*

1. Se pesó 3 g de muestra previamente seca (b.s), acondicionada para el análisis y se introdujo en el cartucho de extracción (22 x 80 mm) marca AquaLab
2. Se pesaron los vasos de aluminios limpios y secos y se colocaron en la gradilla porta-vasos.
3. Se adicionan 50 mL del solvente éter de petróleo a cada vaso.
4. Luego fueron llevados a la unidad de extracción (Imagen 3).
5. A partir de este momento el disolvente empieza un ciclo: *ebullición - evaporación - condensación* sometiendo a la muestra a la acción del disolvente, tanto en estado gaseoso como líquido y extrayendo la grasa de la muestra al vaso de aluminio.
6. Finalizada la etapa de extracción de la grasa se extrajeron los vasos de aluminio y fueron llevados a estufa pre calentada a 105°C durante unos 15 minutos.
7. Luego se enfriaron y se pesaron.
8. Se realizaron los cálculos teniendo en cuenta la masa de muestra y la masa de grasa extraída.



*Imagen 3: Equipo Soxhlet marca Selecta.*



#### **A-4: Determinación del contenido de proteínas por el método de Kjeldahl**

Se llevó la muestra a digestión completa, luego se alcalinizó con hidróxido de sodio y el amoníaco liberado fue arrastrado por destilación (equipo de destilación semiautomático) y recogido sobre una solución de ácido bórico. El borato de amonio formado, se tituló con ácido clorhídrico estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra. El factor de conversión utilizado para el cálculo de proteínas fue 6.25 y se determinó mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{C \times (V_m - V_b) \times PEN}{mm \times fc} \times fp \times 100$$

*Donde:*

- P: Contenido de proteínas en la muestra (% m/m).
- C: Concentración de la solución titulante ácido ( $\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ ).
- $V_m$ : Volumen del titulante consumido en la muestra (ml)
- PEN: Peso equivalente del Nitrógeno ( $14,0067 \text{ g}\cdot\text{eq}^{-1}$ )
- mm: Masa de la muestra (g)
- fc: Factor de conversión de unidades ( $1000 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ )
- fp: Factor de conversión Nitrógeno–Proteínas (6.25).

*Procedimiento:*

##### Preparación de la muestra.

1. Se pesó 1 gramos de muestra previamente, acondicionada para el análisis y se introdujo al tubo de digestión.
2. Se preparó simultáneamente un blanco con 25 ml de agua destilada.

##### Digestión.

3. A cada tubo, ubicados en la gradilla portatubos, se añadió 15 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96-98 % y 1 tableta de catalizador. (*Imagen 4*).
4. Se trasladó el conjunto al bloque digestor (marca Selecta), conectado a una unidad para la extracción de humos o Scrubber con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
5. Desde el controlador de temperatura se inició la digestión. (*Imagen 5*).

### Dilución.

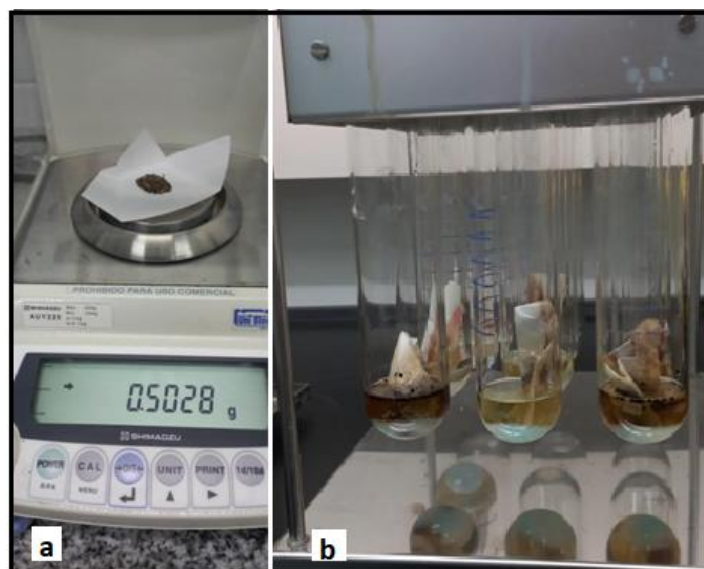
6. Se retiraron los tubos muestra del bloque digestor y se dejó enfriar a temperatura ambiente. (*Imagen 6*).
7. Se añadió 25 ml de agua en cada tubo en forma lenta (tener precaución con la violencia de la reacción).
8. Se dejó enfriar la muestra hasta temperatura ambiente.

### Destilación.

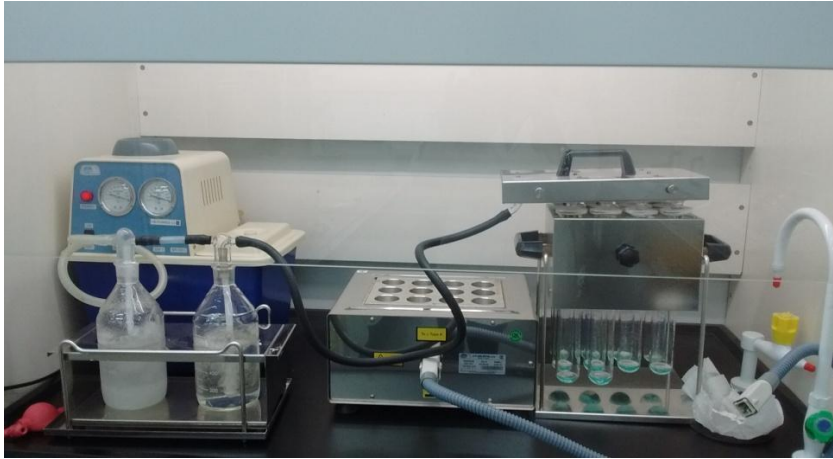
9. Se situó un Erlenmeyer de 250 ml a la salida del refrigerante del equipo de destilación semi automático y se dosificó con 50 ml de ácido bórico y tres gotas de indicador mixto. Verificando que la alargadera del refrigerante quede sumergida dentro del ácido Bórico.
10. Se programó una dosificación de 75 ml de NaOH 40 %.
11. Se inicia la destilación (*Imagen 6*) hasta recoger 250 ml en el Erlenmeyer (50 ml Bórico + 200 ml de destilado).

### Titulación y cálculo del contenido de proteínas.

1. Se preparó la bureta de valoración con ácido clorhídrico 0.1 N.
2. Se valoró el destilado hasta que la solución vira de verde a violeta (indicador mixto).
3. A partir del volumen (ml) de HCl dosificado en la titulación, se calculó el contenido de proteína en la muestra.



*Imagen 4: Preparación de muestras: pesaje de muestra (a); tubos de digestión con ácido sulfúrico, muestra y catalizador (b).*



*Imagen 5: Equipo de digestión Kjeldahl.*



*Imagen 6: Equipo de destilación semi automático PRO-NITRO S.*

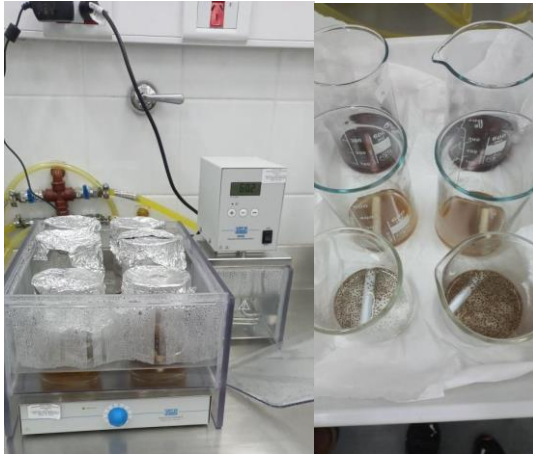
### **A-5: Fibra Dietaria Total**

#### *Soluciones preparadas:*

- Solución buffer 0.08 M pH 6: disolver 1.4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  y 10.94 g de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  en aproximadamente 700 mL de agua destilada. Llevar a 1 litro con agua destilada. Medir pH. Ajustar pH con las mismas sales que conforman la solución buffer.
- Solución de NaOH 0.275 N: disolver 11 g de NaOH en 700 mL de agua destilada, enfriar y llevar a 1 litro de solución final.
- Solución de HCl 0.325 N: diluir 325 mL de HCl 1N y llevar a 1 litro de solución con agua destilada.

*Procedimiento:*

1. Se pesó 1 g de muestra seca y desgrasada y se colocó en un vaso de precipitado de 400 ml.
2. Se adicionan 50 ml de buffer fosfato (pH=6). Se midió el pH y se ajustó a pH 6.
3. Se adiciona 50  $\mu$ L de  $\alpha$ -amilasa.
4. Se cubren los vasos con papel aluminio y se llevó a baño de digestión enzimática a 100 °C (*Imagen 8*) con agitación leve y continua durante 30 minutos. Luego se enfriaron a temperatura ambiente.
5. Se ajustó el pH a 7.5 adicionando 10 mL de NaOH 0.275N.
6. Se adicionaron 100  $\mu$ L de proteasa. Se cubrió el vaso con papel aluminio y se llevó a baño de digestión enzimática a 60 °C con agitación leve y continua durante 30 minutos. Luego se enfriaron a temperatura ambiente.
7. Se ajusta el pH a 4.5 adicionando 10 mL de HCl 0.325N.
8. Se adicionaron 200  $\mu$ L de amilogucosidasa. Se cubrió el vaso con papel aluminio y se llevó a baño de digestión enzimática a 60 °C con agitación leve y continua durante 30 minutos. Luego se enfriaron a temperatura ambiente.
9. Se pesó 0.5 g de celite formando una capa en la superficie del crisol. Se registró el peso. Para lograr una superficie uniforme se puede usar solución de etanol al 78 % y se hizo succión con el equipo de filtración (*Imagen 9*).
10. Se agregaron 280 mL de solución de etanol 95% precalentado a 60°C. Se dejó precipitar a temperatura ambiente durante 60 minutos.
11. Se volcaron los precipitados obtenidos en cada crisol y se filtró (*Imagen 10*).
12. Se realizaron enjuagues en el siguiente orden:
  - a) 20 mL de etanol 78 %, 3 veces.
  - b) 10 mL de etanol 95 %, 2 veces.
  - c) 10 mL de acetona, 2 veces.
13. Se secó el contenido de residuo filtrado obtenido o residuo (*Imagen 11*) en estufa de secado a 105 °C (P1).
14. De los residuos secos obtenidos, se dejaron 2 crisoles para la determinación de proteínas (P2) en desecador y 2 crisoles se llevaron a mufla durante 5 horas a 525 °C.
15. Se enfrió y pesó las cenizas obtenidas (P3). Ver Figura 18.
16. Se calculó el porcentaje de fibra dietética total (FDT).



*Imagen 8: Digestión enzimática VELP SCIENTIFICA.*



*Imagen 9: Filtración.*



*Imagen 10: Obtención de Residuos.*

*Imagen 11: Obtención de cenizas.*

Debido a la acción que tienen las enzimas durante el proceso de digestión sobre los componentes de la muestra, hay una separación de los materiales no digeribles, los cuales se colectan posteriormente, mediante la filtración. El residuo se seca durante toda una noche y posteriormente el contenido de fibra se determina gravimétricamente. Los resultados se informaron en porcentaje de fibra dietaria total (soluble e insoluble) en base seca.

La determinación del porcentaje de fibra dietética total (FDT) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% FDT = \frac{(P1 - P2 - P3 - mb)}{ms} \times 100$$

Donde:

- P1: peso del residuo insoluble (g)
- P2: peso de las proteínas (g)
- P3: peso de las cenizas (g)
- mb: peso del blanco
- ms: peso de la muestra expresada en base seca (g)

### A-6: Medición de Capacidad Calórica

Procedimiento:

1. Se pesó el estándar en el crisol portamuestra, utilizando pinza metálica.
2. Se inserta el peso de la muestra. En el visor se visualiza *INSERT BOMB ENTER MASS 0,5478*.
3. Se colocó el crisol con la muestra en el soporte de crisol asegurando que el hilo de combustión toque la muestra y tratando de no perder muestra del crisol
4. Se insertó todo el sistema montado (crisol, estándar, electrodo) en el recipiente porta muestra. Se enroscó la tapa hasta que hizo tope. Se abrió el sistema de gas (oxígeno) hasta que el manómetro indicó 3000 KPA. ().
5. Luego se llevó al calorímetro y se bajó la tapa. En la pantalla se visualizó la lectura *CLOSE LID ENTER MASS 0,5478*.



Preparación de la muestra. Bomba de combustión calorimétrica

6. Se retiró el recipiente con ganchos de manipulación, se trasladó al sistema de enfriamiento. Luego se despresurizó y limpió.

### **A-7: Determinación de actividad de agua ( $a_w$ )**

#### *Procedimiento:*

1. Se verificó que los parámetros de operación en la cámara de medida como tiempo de estabilización de las lecturas y temperatura, sean los elegidos para la determinación.
2. Se calibró el equipo inicialmente con el patrón de humedad SAL-T  $a_w$  0.75, luego con el de 0.85, 0.33 y 0.11. Finalmente se terminó con el de 0.84 y el de 0.97.
3. Se procedió a la medición de la muestra acondicionada. Se utilizaron las cápsulas con tapa para muestra, llenándolas hasta aproximadamente  $\frac{2}{3}$  de su altura. Las lecturas se realizaron por triplicado.
4. Se colocaron las muestras en la cámara de medición y pre-acondicionamiento. Se cerró la tapa y se inició la medida presionando el botón "Start".
5. Dependiendo de la diferencia de temperaturas entre la del equipo y la del ambiente, el grado de molienda de la muestra, variará el tiempo de estabilización de la muestra. El resultado se visualizó en el display, informando valor de  $a_w$ , temperatura de medición y tiempo.
6. Realizada la primera lectura, se quita la muestra de la cámara de medición, y la que se pre acondicionó se colocó en esta para una nueva lectura, se cerró la tapa y se inició la medición presionando el botón "Start".
7. Se registró el valor de  $a_w$ , temperatura y tiempo de medida.



Muestras para lectura de actividad de agua ( $a_w$ ). Equipo LabMaster

### A-8: Determinación de parámetros colorimétricos

*Procedimiento:*

1. Se realizó la estandarización del equipo con el patrón de color negro y posteriormente se colocó el blanco el software del equipo indicó la condición de iniciación.
2. Se colocó la muestra en una cápsula de cristal, la que se tapó con una cubierta negra.
3. Los valores  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  del sistema Hunter describen los colores en tres ejes de coordenadas. El valor  $L^*$ , indica el grado de claridad-oscurecimiento del producto;  $a^*$  indica color rojo (+) o verde (-) y  $b^*$  indica color amarillo (+) o azul (-). El cálculo de  $\Delta E$  se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

4. Se realizaron tres réplicas por muestra se semilla y expeller.



*Equipo Colorflex Hunterlab.*