

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TÍTULO

**MONOGRAFÍA: BIOLOGÍA DE LA CHÍA (*Salvia hispanica* L.)**

**HÉCTOR JULIO ZÚÑIGA SÁEZ**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MONOGRAFÍA: BIOLOGÍA DE LA CHÍA (*Salvia hispanica* L.)**

**MONOGRAPH: BIOLOGY OF CHIA (*Salvia hispanica* L.)**

**HÉCTOR JULIO ZÚÑIGA SÁEZ**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Monografía: Biología de la chía (*Salvia hispanica* L.)**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero Agrónomo

HÉCTOR JULIO ZÚÑIGA SÁEZ

	Calificaciones
<b>PROFESOR GUIA</b>	
Sr. Herman Silva R.	6,4
Profesor de Biología y Ciencias, Mg. Sc. Dr.	
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sra. Cecilia Baginsky G.	6,2
Ingeniero Agrónomo, Dr.	
Sr. Luis Luchsinger L.	6,7
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanas, por el apoyo incondicional que me han entregado durante toda mi vida y por la paciencia que tuvieron durante el transcurso de la carrera. Gracias por darme esta oportunidad de poder retribuirles todo lo intangible que me han dado, con este título universitario.

A mi pareja, Perla, por su compañía durante la carrera, colaboración desinteresada, apoyo constante y por la fuerza entregada en los momentos adversos. Fuiste gran responsable del inicio y no dejaste de estar hasta la finalización de esta memoria, gracias.

A mis abuelas, María y Berta Inés, quienes sin entender mucho lo que hacía, siempre estuvieron preocupadas por mí.

Al profesor Herman Silva Robledo, por su siempre buena disposición, paciencia y consejos que me permitieron llevar a cabo esta memoria.

Al proyecto Fondecyt 1120202 por el financiamiento de esta memoria.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
Palabras clave.....	1
ABSTRACT.....	2
Key words.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivo general.....	4
MATERIALES Y MÉTODO.....	5
Materiales.....	5
Método.....	5
ANTECEDENTES GENERALES.....	7
Antecedentes históricos.....	7
Origen.....	8
Distribución.....	8
BIOLOGÍA DE <i>Salvia hispanica</i> L.....	10
Citogenética.....	10
Descripción morfoanatómica.....	12
Tallos.....	13
Hoja.....	14
Flor.....	16
Fruto.....	16
Semilla.....	17
Taxonomía.....	19
Clasificación taxonómica.....	19
Variedades, genotipos y cultivares.....	23
Fisiología.....	24
Fotoperiodismo.....	24
Fotosíntesis.....	25
Transpiración.....	28
Conductancia estomática.....	29
Fenología.....	30
Fase vegetativa.....	30
Fase reproductiva.....	33

OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE <i>Salvia hispanica</i> L.....	36
Agronomía de la chía.....	36
Requerimientos edafoclimáticos.....	35
Siembra.....	37
Fertilización.....	38
Plagas y enfermedades.....	38
Malezas.....	38
Cosecha.....	39
Rendimiento.....	40
Información nutricional.....	40
Lípidos.....	41
Proteínas.....	43
Fibra.....	44
Antioxidantes.....	44
Uso comercial.....	45
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFIA.....	49
APÉNDICE I.....	66

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Longitud media de los brazos del cromosoma en metafase mitótica .....	11
Cuadro 2. Días grado de los estados fenológicos de la fase vegetativa registrados en dos fechas de siembra.....	31
Cuadro 3. Días grado de los estados fenológicos de la fase reproductiva registrados en dos fechas de siembra.....	34
Cuadro 4. Proporción de ácidos grasos de la semilla de chía. ....	42
Cuadro 5. Composición de ácidos grasos de la semilla de chía. Valores promedio de 25 muestras extraídas de la literatura .....	42
Cuadro 6. Aminoácidos presentes en harina desgrasada de chía.....	43
Cuadro 7. Compuestos antioxidantes presentes en la semilla de chía.....	45

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución de <i>Salvia hispanica</i> L.....	9
Figura 2. Cariograma de <i>Salvia hispanica</i> L.....	10
Figura 3. Estudios del cariotipo de <i>Salvia hispanica</i> L.....	11
Figura 4. Aspecto general de <i>Salvia hispanica</i> L.....	13
Figura 5. Fotomicrografías de la superficie del tallo de <i>Salvia hispanica</i> L.....	13
Figura 6. Fotomicrografías de caracteres anatómicos del tallo de <i>Salvia hispanica</i> L...	14
Figura 7. Fotomicrografías de caracteres anatómicos de la hoja de <i>Salvia hispanica</i> L	15
Figura 8. Aspecto general de la inflorescencia de <i>Salvia hispanica</i> L.....	16
Figura 9. Fotomicrografía del fruto de <i>Salvia hispanica</i> L.....	17
Figura 10. Exomorfología de las semillas de <i>Salvia hispanica</i> L.....	18
Figura 11. Fotomicrografía de la semilla de <i>Salvia hispanica</i> L.....	18
Figura 12. Cladograma del orden Lamiales .....	21
Figura 13. Interrelaciones del orden Lamiales .....	22
Figura 14. Ejemplares de herbario de <i>Salvia hispanica</i> L.....	23
Figura 15. Contenido de clorofila de cuatro accesiones de chía sometidas a riego y déficit hídrico .....	26
Figura 16. Asimilación de CO <sub>2</sub> de cuatro accesiones de chía durante el día.....	27
Figura 17. Tasa de transpiración de accesiones de chía durante el día.....	28
Figura 18. Composición química del grano de chía (% Peso seco).....	41

## RESUMEN

La chía (*Salvia hispanica* L.), planta anual de verano originaria del sur de México y norte de Guatemala, es conocida como la especie vegetal con mayor concentración de ácido graso  $\alpha$ -linolénico de la serie omega 3. Además, posee proteína, fibra y antioxidantes de gran valor nutricional. Esta composición química determina grandes beneficios para la salud, como la disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Debido al creciente interés por la producción del cultivo de chía en Chile y al insuficiente conocimiento que se posee de éste, los objetivos del estudio fueron recopilar y analizar información sobre la biología de la chía, basados en la relevancia que tiene ésta materia cuando se pretenden elaborar sistemas productivos. Los temas tratados fueron: citogenética, morfoanatomía, taxonomía, fisiología y fenología de *Salvia hispanica* L. El estudio concluye que, existe una disímil oferta información sobre los capítulos planteados y que a pesar del exhaustivo tratamiento de esta, no fue posible elaborar los capítulos con la profundidad esperada, debido a la escasa información actualmente publicada. Sin embargo, la generación de investigaciones e información sobre la especie es creciente en el tiempo, en cuanto a número de artículos y diversidad de temas investigados.

### Palabras clave

Agronomía, Fisiología, Fenología, Citogenética, Taxonomía, Morfoanatomía.

## ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is a native plant from southern Mexico and northern Guatemala, renowned for its highest concentration  $\alpha$ -linolenic fatty acid (Omega 3) of the plant species. Furthermore, owns protein, fiber and great nutritional value antioxidants. This chemical composition predisposes great healthy benefits, such as cardiovascular diseases risk reduction. As a result of the increasing interest in chia crop production and insufficient knowledge possessed in Chile, the objectives of this study were to compile and analyze information about the biology of chia, considering the relevance of this matter when it pretends to develop successfully production systems. Topics discussed included: cytogenetic, morphology, anatomy, taxonomy, physiology and phenology of *Salvia hispanica* L. The study concludes that, there is an uneven information offer about the outlined chapters and despite the exhaustively treatment given to this, it was not possible to elaborate the chapters with the expected deepness, because of the low amount of information sources currently published. However, the generation of research and information about chia rises over time, as to number of articles and variety of topics research.

### Key words

Agronomy, Physiology, Phenology, Cytogenetic, Taxonomy, Morph-anatomy.

## INTRODUCCIÓN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta anual de verano originaria del centro sur de México y norte de Guatemala, pertenece a la familia Lamiaceae y fue ampliamente usada por civilizaciones precolombinas de Mesoamérica como: “commodity”, alimento, medicina y aceite (Cahill, 2003; Ayerza y Coates, 2009; Jamboonsri *et al.*, 2012). A pesar del importante rol que tuvo en ese periodo de la historia, el consumo de ésta disminuyó luego de la llegada de los conquistadores españoles a América (Alvarado, 2011). El cultivo de la chía fue radicalmente suprimido por los colonizadores, debido a conflictos culturales y religiosos, sin embargo logró sobrevivir en pequeñas parcelas alejada de las grandes ciudades, en México, Guatemala y Nicaragua (Lobo *et al.*, 2011).

Luego de su parcial desaparición de 500 años aproximadamente, desde el fin del siglo pasado (Beltrán-Orozco, 2003), la chía ha suscitado un creciente interés debido al descubrimiento de múltiples usos y propiedades. Su revalorización se basa en la cantidad de grasa, fibra y proteína de gran valor nutritivo, para ser usada en la industria alimentaria (Vásquez-Ovando *et al.*, 2007).

La semilla de chía se destaca por poseer entre 29 y 32% de aceite en su semilla, siendo principalmente ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) del tipo omega 3 y 6 (Ayerza and Coates, 2004; Dweck, 2005; Bueno *et al.*, 2010). De acuerdo a Beltrán-Orozco *et al.* (2005), la chía es la fuente vegetal con mayor contenido de ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico del tipo omega 3 conocida hasta hoy. Esta composición química sitúa a la semilla de chía como un alimento importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Valenzuela *et al.*, 2011). Desde que Bang *et al.* (1980), estudiaran la relación entre el consumo de AGPI omega 3 y la menor incidencia de enfermedades coronarias en la población de Groenlandia, se han elaborado más de 6.000 publicaciones científicas alrededor de todo el mundo corroborando esta tesis (Carrero *et al.*, 2005).

Debido a sus características nutricionales y funcionales, la chía ha comenzado a tener mayor participación en el mercado de los alimentos ricos en omega 3 (SENASA, 2010), el cual se proyecta aumente su demanda, debido al incremento del consumo por sus conocidos beneficios para la salud (Transparency market research, citado por FIS 2012; Busilacchi *et al.*, 2013; Llorent-Martínez *et al.*, 2013). A nivel mundial, se espera que para el año 2015, la demanda de chía se duplique, alcanzando 22.000 a 40.000 toneladas. Como consecuencia, Chile tiene una demanda de empresas importadoras, principalmente estadounidenses, por semilla de chía de origen local, gatillado por su favorable condición climática en la zona norte del país (De Kartzow, 2013). En este sentido, la oferta de chía está supeditada a países que posean la condición climática adecuada para albergar al cultivo (De Kartzow, 2013). Además de su gran demanda, la chía posee ventajas comparativas con variados alimentos ricos en omega 3 que están establemente posicionados en el mercado, tal como el pescado graso o también denominado pescado azul, el cual es escaso debido a su histórica sobreexplotación (SERNAPESCA, 2011); y la semilla de linaza (*Linum*

*usitatissimum* L.), conocida por poseer compuestos antinutricionales, motivo por el cual ha sido prohibido el consumo en Francia e Italia y limitada la ingesta en Alemania, Suiza y Bélgica (Tosco, 2004).

Los beneficios de la chía han desencadenado el interés tanto en consumidores como productores. Sin embargo la especie carece de información necesaria para llevar a cabo sistemas productivos con rendimientos altos y estables. La mayor parte de la información disponible sobre la chía está enfocada en el efecto que tienen los factores ambientales en la composición de ácidos grasos y proteínas de la semilla. Luego, en una menor proporción de artículos científicos, la búsqueda entrega información sobre: beneficios para la salud que conlleva ingerir productos que contienen chía como ingrediente, avances en los manejos agronómicos necesarios para la óptima producción del cultivo, y aspectos relacionados con la biología de la especie. En base a lo anterior, la ciencia todavía busca corroborar el valor nutritivo y la estabilidad de la composición química de las semillas de *Salvia hispanica* L., para ser usadas en la industria alimentaria.

En la actualidad, la búsqueda de documentos e investigaciones que aborden la biología de la chía, entrega escasos resultados, a pesar de que ésta es un tema relevante cuando se pretenden desarrollar sistemas productivos (Parrish and Fike, 2007). Aún más, de acuerdo a Blum (2009), para realizar con éxito la producción de un cultivo, se debe tener conocimiento sobre tres tópicos fundamentales: la biología de la especie, información de variables climáticas y características de suelo en donde se pretenda establecer.

La comprensión de la biología puede ser utilizada como base para la introducción del cultivo de chía a territorio nacional, precisando o ampliando las zonas con potencial de establecimiento. Así lo han hecho varios países de Sudamérica, los cuales tienen a la chía como una alternativa para diversificar la agricultura y estabilizar la economía de zonas áridas y semiáridas (Ayerza and Coates, 1996). También la información puede ser empleada para asentar las bases de los manejos agronómicos que la especie requiere para su óptima producción (Parrish and Fike, 2007).

Por lo anterior, esta monografía busca entregar a la comunidad científica y técnica, una investigación en base a literatura científica, de los diversos aspectos de la biología de *Salvia hispanica* L., para ser utilizada en futuras investigaciones sobre el cultivo.

### **Objetivo general**

Recopilar, analizar y estructurar información obtenida sobre la biología de *Salvia hispanica* L.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Materiales**

En el presente estudio se realizó una recopilación y análisis de distintas fuentes de información, publicadas principalmente desde el año 1990 a la fecha; las que fueron revisadas de acuerdo a su influencia científica, aplicada según criterios de Journal Citation Reports (2013):

- Revistas académicas y de investigación indizadas por el Institute for Scientific Information (ISI).
- Actas de congresos o seminarios nacionales e internacionales de carácter académico.
- Memorias de título.
- Boletines informativos de empresas calificadas del rubro agrícola.
- Informes técnicos de organizaciones gubernamentales nacionales e internacionales.
- Entrevistas de expertos.

### **Método**

Para lograr el objetivo planteado, el trabajo monográfico se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por Gonçalves (2004, citado por Lipiante 2007), quien menciona la realización de las siguientes etapas:

- Elección del tema: la biología de la chíá se seleccionó como tema por ser delimitable; realista, en función a la bibliografía disponible; y por el dominio metodológico del autor.
- Motores de búsqueda: se realizó la exploración de los artículos de interés en los buscadores electrónicos que proveen de información científica, almacenes de publicaciones periódicas y en portales colectores de tesis universitarias.
- Preparación de la bibliografía: se realizó el análisis de la información y la elaboración de la bibliografía, discriminando los artículos de acuerdo al grado de competencia con el tema y su importancia científica.
- Estructura de la monografía: la estructura general de la monografía se realizó en base al manual de redacción y presentación de proyectos de memoria y memorias de

título de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Los capítulos y subcapítulos se mencionan a continuación:

- Citogenética
  - Descripción morfoanatómica
    - Tallo
    - Hoja
    - Flor
    - Fruto
    - Semilla
  - Taxonomía
    - Clasificación taxonómica
    - Genotipos, cultivares y variedades
  - Fisiología
    - Fotoperiodismo
    - Fotosíntesis
    - Transpiración
    - Conductancia estomática
  - Fenología
    - Fase vegetativa
    - Fase reproductiva
- 
- Evaluación de la monografía: posterior a la escritura del trabajo, se revisó el contenido y la forma del manuscrito, buscando que sea coherente y tenga una secuencia lógica; finalmente se revisó la redacción, vocabulario, ortografía y la concordancia de los distintos capítulos y subcapítulos con el tema central.

## ANTECEDENTES GENERALES

### Antecedentes Históricos

Hace más de 3.500 años antes de la era cristiana, existe evidencia que la chía fue usada para alimentación humana en Mesoamérica, región del planeta probablemente cuna de la agricultura y fitodomeesticación (Hernandez y Herrerias, 2004; Casas y Caballero, 1995; Raya-Perez *et al.*, 2010). Entre los años 2.600 y 2.000 A.C., las civilizaciones Tolteca y Teotihuacana cultivaban chía antes de la llegada del imperio Azteca al centro de México y durante la época del 1.500 a 900 A.C. la chía ya era un pilar fundamental en la alimentación de varias civilizaciones Mesoamericanas del valle de México (Beltran-Orozco y Romero, 2003; Coates, 2011).

Los Aztecas le atribuyeron gran valor a esta planta milenaria, ellos la usaron como alimento (Ayerza y Coates, 2004), medicina, pintura y de manera religiosa (Alvarado, 2011). Como uso alternativo se menciona que fue moneda de cambio y tributo, ya que cada año las ciudades conquistadas pagaban desde 5 a 15.000 toneladas de chía a la ciudad de Tenochtitlan, capital del imperio Azteca (Ortiz de Montellano, 1993; Codex Mendoza, citado por Ayerza y Coates, 2004).

En cuanto al uso alimentario, la chía fue un ingrediente básico para platos y bebidas de consumo diario para los aztecas, ésta se elaboraba de diferentes formas, como: semilla, mezclada con otros alimentos, en forma de harina y con agua emulando una bebida refrescante y nutritiva. Un alimento cotidiano para ellos era la mezcla de semillas tostadas de chía y amaranto, que formaban una masa llamada “tzoalli”, en lengua nahua (Ayerza y Coates, 2006). Una característica importante para ese momento era la gran capacidad de almacenaje que tenía la harina de chía, en comparación con harinas de otras oleaginosas contemporáneas (Ayerza y Coates, 2006). Al ser considerada una semilla altamente energética, la milicia azteca almacenaba semillas de chía para ser consumida en sus batallas y ejercicios militares, esto los llevó a dominar las tribus que habitaban en el valle de México (Paredes-Lopez *et al.*, 2006).

Además de su uso principalmente alimenticio, la chía fue considerada un insumo para la realización de obras artísticas. El aceite de chía, llamado “chiamatl” por los aztecas, se utilizaba como base de barnices que servían para pintar la cara y cuerpos de los indios, proteger estatuas religiosas de las inclemencias del tiempo, darle brillo a sus pinturas (Coates, 2011) y otorgarle una calidad excepcional a manuscritos creados en la época (Ayerza y Coates, 2006).

Sobre el aspecto religioso, se conoce que los aztecas utilizaban a *Salvia hispanica* L. en sus ceremonias. En ellas ofrendaban galletas de chía a sus dioses (Carrasco *et al.*, 1997; Batalla, 2010) y la semilla la entregaban como diezmo regularmente (Ayerza y Coates,

2006). Las religiones Azteca y Católica, coexistieron en América hasta que los evangelizadores españoles observaron similitudes que encontraron terriblemente hereje, esto determinó que los conquistadores decretaran la erradicación de la religión Azteca. Por este motivo cultivos imperantes en ese momento como el amaranto y la chía, dejaron de comercializarse (Ayerza y Coates, 2006).

La conquista española reprimió a los nativos, erradicó sus tradiciones y eliminó los sistemas productivos y de comercialización de los productos agrícolas en uso. Varios cultivos de gran relevancia en la dieta azteca perdieron su estatus (Ayerza y Coates, 2006) y la introducción de especies europeas a América como: el trigo, cebada y arroz, dejaron en el olvido alimentos que para ese entonces eran imprescindibles. La chía desapareció parcialmente durante 500 años (Ayerza and Coates, 2011), sólo una mínima cantidad siguió cultivándose en pequeñas parcelas de México, Guatemala y Nicaragua (Lobo *et al.*, 2011).

### **Origen**

En el centro-sur de México y norte de Guatemala, fracción de lo que antiguamente se denominaba Mesoamérica, se establece el origen de la especie *Salvia hispanica* L. (Beltran-Orozco y Romero, 2003; Ayerza and Coates, 2004; Capitani *et al.*, 2012).

Las poblaciones de chía silvestre se emplazan en bosques de pino o pino-encino en el oeste de los países antes mencionados, a una altura de 1.400 a 2.200 m.s.n.m., en las cadenas montañosas: sierra madre occidental, eje volcánico transmexicano y la sierra madre de Guatemala o también conocida como sierra madre de Chiapas (Cahill, 2004; Hernandez y Miranda, 2008).

### **Distribución**

En la actualidad, la chía es cultivada en los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí y Chiapas, México (Benavides *et al.*, 2010); pequeñas parcelas en Gran Bretaña (Pozo, 2010); provincias de Salta, Tucumán, Jujuy y Catamarca, Argentina (Lobo, 2012); ciudad de Santa Cruz, Bolivia; ciudades de Andahuaylas y Huánuco, Perú; Australia; Guatemala (Jamboonsri, 2012); Ciudad de Quito, Ecuador (PROECUADOR, 2014); estados de Florida, Nueva York y Texas, Estados Unidos (USDA, 2013); Medellín, Colombia (Idarriaga *et al.*, 2011); Belice; Costa Rica; Panamá; departamentos de Estelí, Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y Madriz, Nicaragua; República Dominicana; República Democrática del Congo; Kenia; Tanzania; Angola; Zambia; Mozambique; India; Sri Lanka; Tailandia; Camboya; Vietnam; Filipinas; Malasia; Indonesia; Papúa Nueva Guinea; Brasil y Paraguay (Figura 1) (PURECHIA, 2013).



**Figura 1.** Distribución de *Salvia hispanica* L. (adaptado de PURECHIA, 2013).

La distribución de *Salvia hispanica* L. se concentra principalmente entre los paralelos 23° norte y sur aproximadamente, debido al preponderante clima tropical apto para que la chía pueda completar su ciclo de vida. Sin embargo, la presencia de chía fuera de este rango es posible con material vegetal transgénico o dentro de invernaderos en condiciones controladas (Hildebrand *et al.*, 2013)

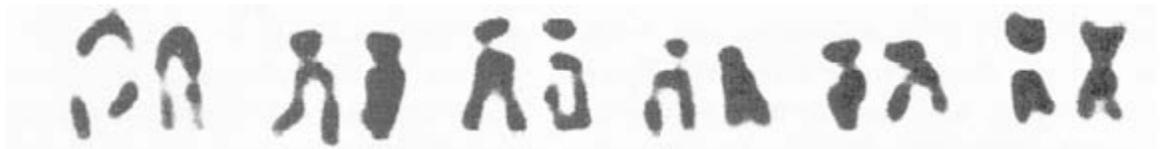
## BIOLOGIA DE *Salvia hispanica* L.

### Citogenética

La citogenética es la ciencia que estudia los cromosomas desde su estructura, hasta su comportamiento (Lacadena, 1996). Estudios citogenéticos han aportado grandes aportes al conocimiento de los mecanismos de aislación y modos de especiación de las plantas. Además, contribuyen en esclarecer el origen y evolución de distintos grupos taxonómicos (Poggio y Naranjo, 2004).

Un análisis citogenético clásico es la elaboración del cariotipo, que corresponde a la disposición de los cromosomas en un patrón donde se observa el número, tamaño y morfología (Manero, 2002). En el género *Salvia* ha resultado difícil de obtener el cariotipo debido a la gran diversidad de números de cromosomas (Kharazian, 2011) y el pequeño tamaño de éstos (Ozkan, 2006). Haque y Ghoshal (1981) agregan que el cariotipo de la chía es difícil de realizar porque ésta tiene pequeños cromosomas en forma de varilla sin constricciones primarias o secundarias bien definidas. El cariotipo de las especies del género *salvia* varían desde  $2n=12$  (*Salvia hispanica*) hasta  $2n=88$  (*Salvia pallida* y *Salvia guarantica*) (Alberto *et al.*, 2003). Esta variación en número y forma de los cromosomas de las especies estudiadas del género, sugieren que el taxón se encuentra en activo proceso de evolución (Harley and Heywood, citado por Hernandez 2008).

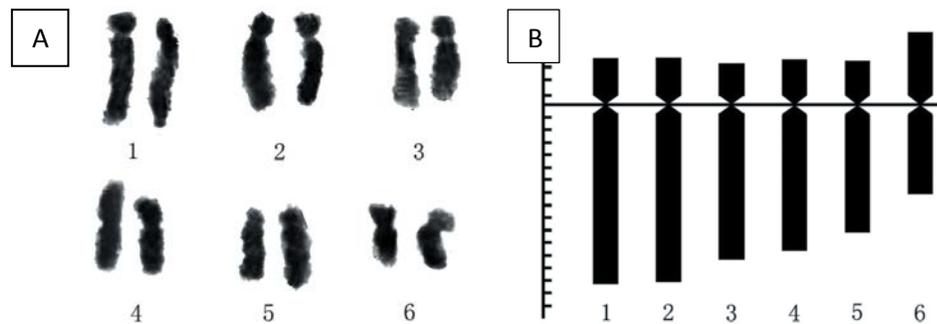
El primer recuento cromosómico de chía fue realizado por Mercado *et al.* (1989), la investigación obtuvo un número cromosómico somático de  $2n=12$  y clasificó los cromosomas de acuerdo a su forma: un par metacéntrico y cinco pares submetacéntricos. Un segundo recuento cromosómico fue realizado en ápices radiculares de chía por Estilai *et al.* (1990), el estudio obtuvo igual número cromosómico que el citado anteriormente, pero clasifica los cromosomas como: un par metacéntrico, cuatro submetacéntrico y un par telocéntrico (Figura 2). Además, los autores agregan que la longitud de los cromosomas varía desde 2 a 3,5  $\mu\text{m}$  en el momento de metafase mitótica.



**Figura 2.** Cariograma de *Salvia hispanica* L. (Estilai *et al.*, 1990).

A diferencia de los dos estudios citados anteriormente, Zhonghong (2011) propone que los 6 cromosomas de la chía se clasifican como: un par metacéntrico, un par submetacéntrico y

cuatro pares subtelocéntricos (Figura 3), elaborando la fórmula cariotipo  $2n=12= 2 m + 2 sm + 8 st$ . Además, su estudio también complementa la longitud relativa, relación de brazo largo: brazo corto y el índice de asimetría de Stebbins, cuyos valores corresponden a 2.590~3.605, 1.39 y 3A, respectivamente. En concordancia con este trabajo, Hernandez – Gomez (2008) menciona que el cariotipo de *Salvia hispanica* L. es levemente asimétrico, e Palma e Inostroza (2012) coinciden con la fórmula cariotipo antes mencionada y agregan que el par de cromosomas n° 2 presentó una constricción secundaria subtelomérica que podría corresponder a la región de los genes organizadores del nucléolo (NOR).



**Figura 3.** Estudios del cariotipo de *Salvia hispanica* L. A: Cariograma. B: Ideograma del cariotipo (Zhonghong *et al.*, 2011).

Estudios realizados por Palma-Rojas *et al.* (2013) en cuatro accesiones de chía (Antumapu, Argentina, Bolivia blanca y Bolivia negra), muestran igual número de cromosomas ( $2n=2x=12$ ) que los estudios mencionados anteriormente. Además, el trabajo señala que no hubo diferencias entre accesiones en la posición del centrómero, tamaño de los cromosomas y no se observaron constricciones secundarias o satélites. También revela la longitud media del conjunto de cromosomas haploides de *Salvia hispanica* L., el cual correspondió a  $19.32 \pm 0.48 \mu\text{m}$ . La medición de los cromosomas, la longitud de sus brazos y la longitud relativa se muestran en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Longitud media de los brazos de los cromosomas en metafase de *Salvia hispanica* L. (n=40).

Par	Brazo largo (%)	Brazo corto (%)	Longitud relativa (%)	Longitud total ( $\mu\text{m}$ )
1	$15,4 \pm 1,0$	$4,2 \pm 0,7$	$19,7 \pm 0,8$	$3,9 \pm 0,6$
2	$18,4 \pm 1,2$	$0,0 \pm 0,0$	$18,6 \pm 1,1$	$3,6 \pm 0,5$
3	$13,4 \pm 1,0$	$4,1 \pm 0,7$	$17,4 \pm 0,6$	$3,4 \pm 0,5$
4	$8,7 \pm 0,7$	$7,4 \pm 0,8$	$16,0 \pm 0,9$	$3,1 \pm 0,5$
5	$11,3 \pm 1,3$	$3,6 \pm 1,0$	$14,6 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,4$
6	$9,8 \pm 1,4$	$3,7 \pm 1,1$	$13,1 \pm 1,5$	$2,5 \pm 0,4$

Todos los valores son  $\pm$  DS representan 3 mediciones independientes (Palma-Rojas *et al.*, 2013).

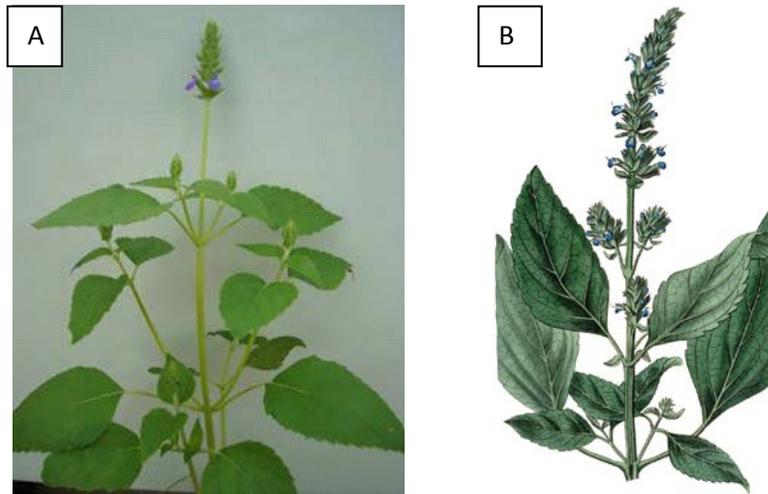
fDe acuerdo a los promedios estandarizados de la longitud relativa de los brazos de los 6 cromosomas, estos se clasifican según la nomenclatura propuesta por Levan *et al.* (1964), como: metacéntrico, submetacéntrico, tres subtlocéntrico y un telocéntrico, resultando la fórmula cariotipo  $2n=12=2m+2sm+6st+2t$  (Palma-Rojas *et al.*, 2013).

### Descripción morfoanatómica

La descripción de caracteres morfológicos y anatómicos contribuye a la identificación de especies vegetales o para definir posibles interrelaciones entre grupos de plantas (Duarte y Lopes, 2005). La importancia de la correcta descripción morfoanatómica recae en diferenciar distintas especies que suelen agruparse en un mismo nombre común o vulgar (Novoa *et al.*, 2005). Es el caso de *Hyptis suaveolens* L. y *Salvia hispanica* L., ambas especies botánicas llamadas “chía” en la literatura contemporánea (Ayerza y Coates, 2006). La debida descripción morfoanatómica también tiene la función de control botánico al evitar falsificaciones o adulteraciones de productos comerciales de baja calidad por contener semillas que no corresponden a la tipificada. En ese sentido, un estudio de Bueno *et al.* (2010) deja de manifiesto esta situación al encontrar un lote comercial de chia con una pureza varietal de 21% y dos lotes con ausencia total de semillas de chia, en ocho lotes evaluados y comercializados en la ciudad de Rosario, Argentina. Finalmente, la descripción morfoanatómica en chia tiene gran relevancia debido que varios autores mencionan la existencia de cambios morfológicos cuando una especie es sometida al proceso de domesticación (Zohary *et al.*, 2012).

Un estudio de Cahill (2004), menciona que es altamente probable que exista una gran diferenciación morfológica entre poblaciones de chia silvestre y cultivada, debido a la extensa área de distribución, la accidentada topografía de montaña de donde es originaria y la gran influencia que tuvo el ser humano en su domesticación. Un estudio realizado por Hernández y Miranda (2008), determinó 19 de 23 diferencias sobre los caracteres morfológicos estudiados entre poblaciones de chia cultivada y silvestre. Las variaciones observadas más relevantes en la chia doméstica fueron: flores más grandes, corolas que sobresalen del cáliz, inflorescencias más compactas debido a un mayor número de verticilos y una menor distancia entre ellos; ciclo biológico más tardío y mayor tamaño de semillas. Un criterio de domesticación característico es la indehiscencia de las semillas. A pesar de las marcadas diferencias morfológicas entre las poblaciones de chia mencionadas anteriormente, aún siguen siendo morfológicamente distintas de los taxones relacionados más cercanos, en particular por las características de la antera, cáliz y semilla (Cahill, 2004).

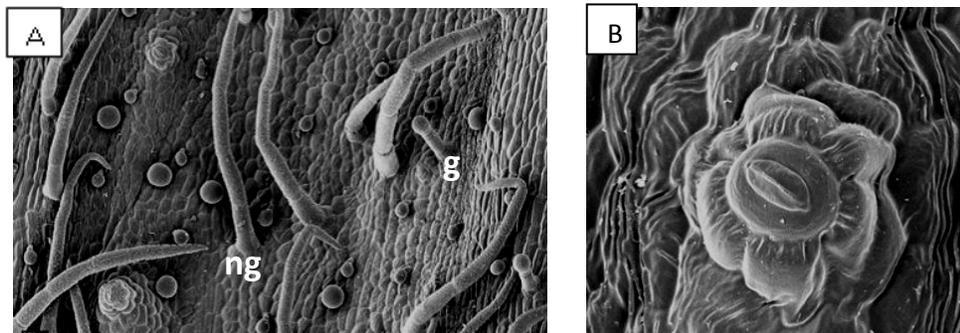
Como descripción morfológica general (Figura 4), Gutierrez-Rosatti (2004) menciona que la chia es una planta herbácea; que sobrepasa el 1 metro de altura; de tallo cuadrangular y pubescente; presenta hojas simples, opuestas y enteras; posee flores hermafroditas ubicadas en inflorescencias y su fruto es una clusa, que comercialmente se denomina semilla.



**Figura 4.** Aspecto general de *Salvia hispanica* L. adulta. A: Fotografía (Di Sapiro *et al.* 2012). B: ideograma (Small, 2011).

### Tallo

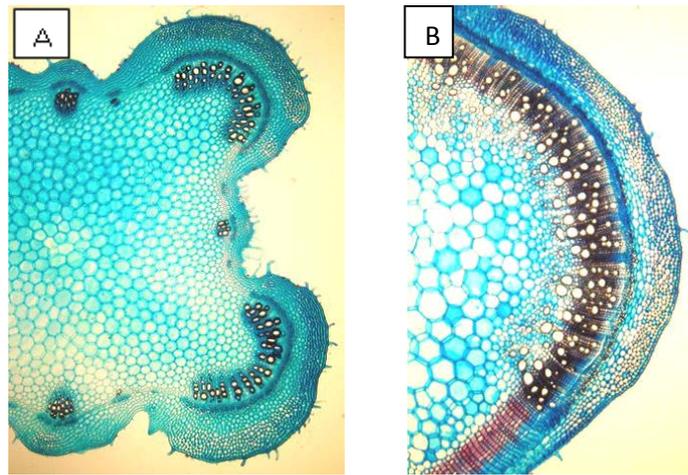
Posee un diámetro promedio de 2 cm, es sufrútice, ramoso, ramificado, aromático, cuadrangular y pubescente. El indumento es abundante, posee tricomas glandulares y no glandulares (Figura 5A). En tallos jóvenes se observan estomas sobreelevados cuyas células anexas poseen cutícula estriada (Figura 5B) (Di Sapiro *et al.*, 2012).



**Figura 5.** Fotomicrografías de la superficie del tallo de *Salvia hispanica* L. A: vista general del indumento. g: tricomas glandulares. ng: tricomas no glandulares B: estomas sobreelevados (Di Sapiro *et al.*, 2012).

Mediante un corte transversal del tallo principal (Figura 6A), se puede observar su contorno cuadrangular con los vértices pronunciados y aristas hundidas con una pequeña protuberancia en la zona media. La epidermis tiene una sola capa de células isodiamétricas,

cutícula delgada, generalmente estriada. Los tricomas son simples, pluricelulares y unicelulares cónicos, están presentes en todo el perímetro (Di Sapio *et al.*, 2012). En la zona cortical de los vértices del tallo, se observan 5 a 10 estratos de colénquima angular en los extremos que disminuye a una hilera de células hacia el centro de los vértices. Subyacen hacia el interior, clorénquima esponjoso en 3 a 4 estratos y parénquima laxo con espacios intercelulares, en ambas zonas. El tejido vascular está constituido por 4 grandes haces colaterales abiertos y 4 pequeños, ubicados en correspondencia con los vértices y costillas laterales del tallo. Por la parte externa al floema se observan escasas fibras perivasculares. La parte central o médula es amplia, posee células parenquimáticas redondeadas con microcristales ramosos de oxalato de calcio (Di Sapio *et al.*, 2012).



**Figura 6.** Fotomicrografía de caracteres anatómicos del tallo de *Salvia hispanica* L.  
A: crecimiento primario. B: Crecimiento secundario (Di Sapio *et al.*, 2012).

En tallos con crecimiento secundario (Figura 6B), el indumento es similar a la estructura primaria, no se observa peridermis. La epidermis y tejidos corticales se encuentran íntegros pero compactos debido al crecimiento del tejido conductor secundario, este último se dispone de manera sifonostela ectofloica continua. En la médula pueden formarse fistulas hacia el centro (Di Sapio *et al.*, 2012).

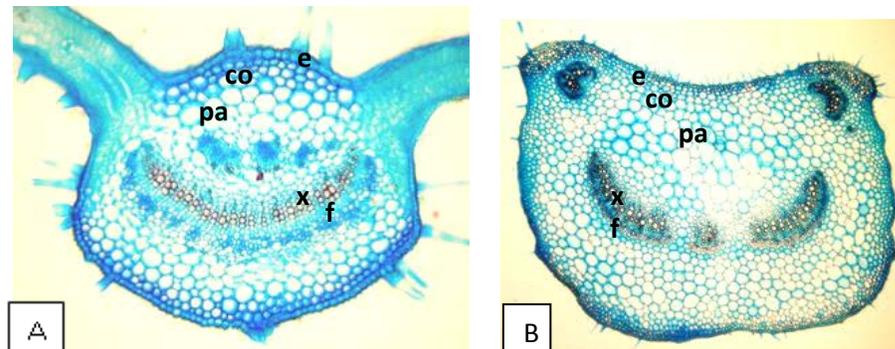
## Hoja

Las características morfológicas de las hojas de chíá son: simples, opuestas, enteras; lámina oval-elíptica, discolora, base cuneada a subcordada, ápice agudo, margen dentado-aserrado, pinnadas, nervaduras prominentes en el envés, pubescentes, de 8 a 12 cm de largo y 4 a 7 cm de ancho; pecíolo corto, pubescente, mide 1 a 3 cm en la parte superior de la planta y 5 a 7 cm en las ramificaciones inferiores (Di Sapio *et al.*, 2012).

Mediante un corte transversal al limbo foliar de *Salvia hispanica* L. se observa un contorno con prominencias hacia la superficie abaxial en la zona de la nervadura principal (Figura 7A), además posee una estructura bifacial y estomas en ambos lados de la hoja (anfiestomática); en el aparato estomático se destaca una célula acompañante más desarrollada que la otra, pero ambas poseen paredes celulares anticlinales ligeramente onduladas (Di Sapio *et al.*, 2012).

La epidermis adaxial tiene una capa de células grandes, prismáticas y cutícula delgada. La epidermis abaxial es unistrata, posee células similares a las de la epidermis adaxial, solo más pequeñas, cutícula lisa, delgada y a veces estriada sobre la nervadura. El mesófilo dorsiventral, propio de las especies de la clase magnoliopsida, está formado por parénquima en empalizada adaxial unistrato y parénquima esponjoso abaxial con una capa de 3 a 4 células y numerosos espacios intercelulares. Los haces vasculares centrales y secundarios están adyacentes, dispuestos en forma de arco, rodeados por una sobresaliente vaina parenquimática y abundante parénquima ausente de clorofila con agujeros y microcristales ramosos. La nervadura central esta reforzado por 2 a 3 capas de colénquima subepidérmico del tipo angular-lagunar hacia ambas caras. La nervadura lateral posee la misma estructura (Di Sapio *et al.*, 2012).

La sección transversal del peciolo (Figura 7B), posee un contorno cóncavo en el haz y convexo en el envés, la cara ventral está limitada por lóbulos prominentes, redondeados, que contienen 3 a 4 capas de colénquima angular bajo la epidermis. La epidermis es unistrata con pelos simples y glandulares. El clorénquima es homogéneo, con meatos y microcristales. Los haces vasculares, colaterales, se disponen en forma de arco y están acompañados por haces suplementarios próximos a cada lóbulo (Di Sapio *et al.*, 2012).

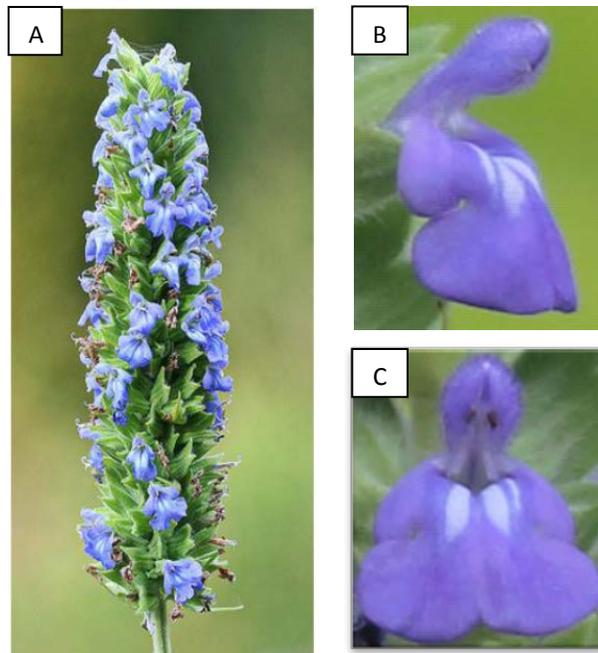


**Figura 7.** Fotomicrografías, caracteres anatómicos de la hoja de *Salvia hispanica* L.

A: Nervadura central. B: peciolo. e: epidermis. co: colénquima. pa: parénquima clorofiliano. x: xilema. f: floema. h: haz vascular suplementario (Di Sapio *et al.*, 2012).

## Flor

Las flores se reúnen en grupos de seis o más en verticilos sobre el raquis de una inflorescencia denominada verticilastro (Figura 8). La flor posee pedúnculo; cáliz persistente, pubescente y bilabiado; corola monopétala, bilabiada, de color morado o azul; labio inferior se expande hacia fuera y abajo, el superior es ascendente y se arquea en forma de gálea; 2 estambres que están unidos por un conectivo que se articula a filamentos cortos que se insertan en la corola; ovario súpero, bicarpelar y tetralocular, en la base se encuentra un disco nectarífero; estilo glabro, glanduloso en la base y su estigma tiene dos ramificaciones; las anteras y el estigma están cubiertos y protegidos por la gálea (Ramamoorthy y Martinez, citado por Hernandez-Gomez *et al.* 2008).



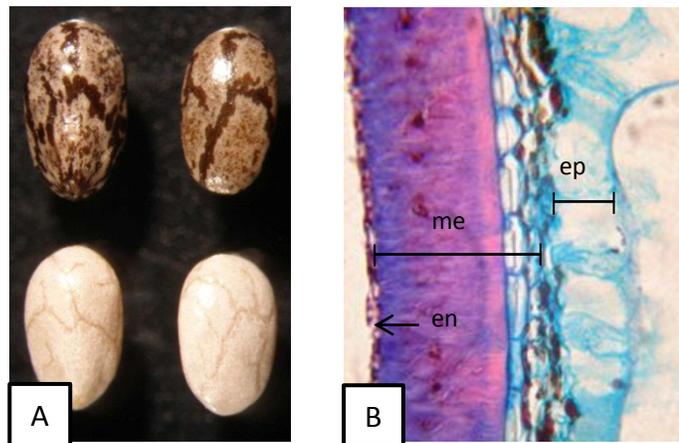
**Figura 8.** Aspecto general de inflorescencia de *Salvia hispanica* L. A: Inflorescencia. B: Flor vista lateral. C: Flor vista frontal (Sandoval, 2012).

## Fruto

Es un carcérulo que produce 1 a 4 mericarpos indehiscentes llamados núculas o clusas (Figura 9A), situadas en el cáliz frecuentemente acrecenté. Las clusas son monoespermicas, obovoides, simétricas dorsiventralmente y alcanzan un tamaño de 1,5 a 2 mm de longitud y 1 a 1,2 mm en el diámetro medio. La cara ventral es subtrígona con una pequeña cresta iniciada en el hilio, la cara dorsal es convexa. Son de color pardo grisáceas, con abundantes manchas de contornos irregulares de color castaño oscuro, en menor proporción se

observan de color blanquecino con la inserción basal y los límites de las areolas de color castaño claro. En base a lo anterior, Ayerza (2013), menciona la existencia de genotipos distintos de *Salvia hispanica* L. que difieren en el color de las clusas. La parte externa del pericarpio (epicarpio) es una superficie glabra, brillante, generalmente lisa o levemente tuberculada y dividida en áreas irregulares que originan areolas delimitadas por surcos muy suaves.

Mediante un corte transversal del fruto se puede observar el pericarpio con 3 zonas bien diferenciadas (Figura 9B): el epicarpio, unistrato, formado por células mucilaginosas y no mucilaginosas; mesocarpio, con tres regiones bien definidas, la capa más externa está construida por 3 a 6 estratos de células parenquimáticas, la zona media la construyen una hilera de idioblastos cristalíferos y la tercera región es un estrato mecánico formado por esclereidas; finalmente el endocarpio es unistrato, inconspicuo constituido por células pequeñas que a veces presentan engrosamiento escaleriforme en cercanías del hilio (Di Sapio *et al.*, 2012).



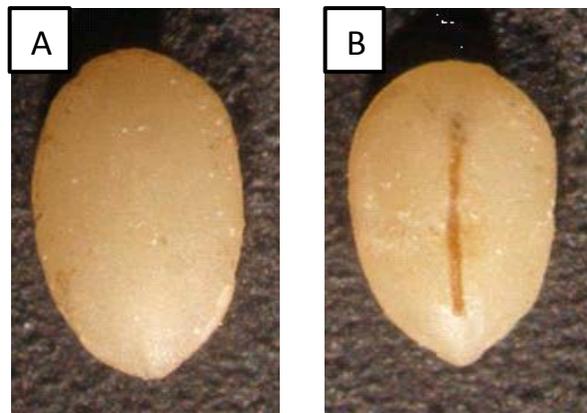
**Figura 9.** Fotomicrografía del fruto de *Salvia hispanica* L. A: Exomorfología del fruto. B: Corte transversal del pericarpio de *Salvia hispanica* L. ep: epicarpio. me: mesocarpio. en: endocarpio (Di Sapio *et al.*, 2012).

## Semilla

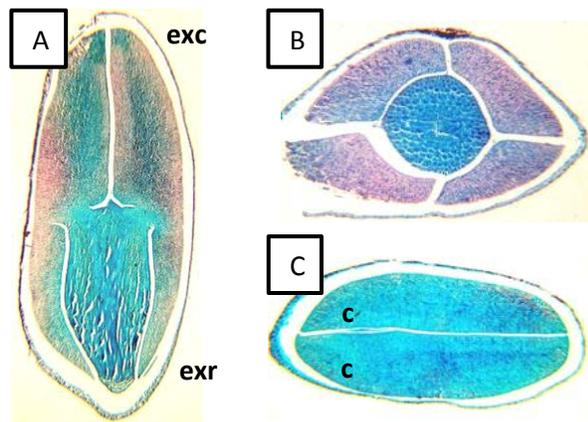
Se inserta una por clusa. Es horizontal, albuminosa, de contorno oblongo-elíptico, forma levemente navicular, el extremo radicular es angosto y cotiledonal ancho; la superficie es opaca, reticulada, de color amarillo-ocre sus dimensiones son 1,3 a 1,8 mm de largo y 1 a 1,2 mm de ancho (Figura 11A). La cara dorsal es plana y convexa. La cara ventral es subtrígona, con una fina depresión en sentido longitudinal de color marrón claro. El hilo es subcircular, crateriforme y se encuentra en el extremo radicular de la depresión ventral

(Figura 10). Al igual que la mayoría de las semillas, posee episperma o cubierta seminal, endosperma y embrión (Di Sapio *et al.*, 2012).

Mediante un corte transversal se puede observar el episperma que recubre toda la semilla y está constituido por 2 capas de células: la testa, estrato exterior delgado, fuertemente reticulado, formando pequeñas crestas; y el tegmen, estrato interno, liso, con células aplanadas y densas que a veces son poco diferenciables. El embrión es axial, lineal, regular y las caras de los cotiledones están paralelas en el lado cotiledonal, en la región radicular se subdivide en cinco partes (Figura 11B). Un haz vascular colateral abierto recorre al embrión en toda su extensión. Los cotiledones poseen una simetría dorsiventral, epidermis unistrata y ausencia de estomas (Figura 11C). El endospermo celular es abundante (Di Sapio *et al.*, 2012).



**Figura 10.** Exomorfología de la semilla de *Salvia hispanica* L. A: cara dorsal. B: cara ventral (Di Sapio *et al.*, 2012).



**Figura 11.** Fotomicrografía de la semilla de *Salvia hispanica* L. A: corte longitudinal. B: corte transversal en zona radicular. C: corte transversal en zona cotiledonal. exc: extremo cotiledonal. exr: extremo radicular. c: cotiledones (Di Sapio *et al.*, 2012).

## Taxonomía

Desde tiempos remotos, el hombre ha tenido la necesidad de ordenar y clasificar las plantas en grupos o categorías para posteriormente poder reconocerlas. Inicialmente se utilizaron sistemas de clasificación utilitarios, los cuales ordenan las plantas de acuerdo a su uso o propiedad, hoy en día, los sistemas de clasificación filogenéticos son los más utilizados y validados por los científicos (Marzocca, 1985).

En la actualidad, el sistema de clasificación de plantas con flor más consensuado por los taxónomos es el A.P.G. III (Angiosperm Phylogenetic Group, 2009), este moderno sistema de clasificación se basa en análisis filogenéticos cladísticos de la morfología vegetal y de secuencias de genes ubicados en los ribosomas (ARNr) y en los cloroplastos (*rbcl* y *atpB*) (Soltis *et al.*, 1997). Una particularidad del mencionado sistema de clasificación es la no tipificación de taxones sobre la categoría de orden, de acuerdo al código internacional de nomenclatura para algas, hongos y plantas (McNeill *et al.*, 2011), por lo tanto las categorías superiores no son consideradas taxones sino clados (APG, 1998). Debido a esto, actualmente biólogos sistemáticos y evolutivos trabajan en la elaboración de un código filogenético llamado Phylocode, que pueda regir y nombrar los clados del árbol filogenético (Cantino and De Queiroz, 2010).

Otros sistemas de clasificación como el propuesto por Cronquist (1981), el cual se basa principalmente en diferencias entre estructuras histológicas todavía sigue en uso (Marzocca, 1985).

### Clasificación Taxonómica

De acuerdo a la descripción y clasificación taxonómica de *Salvia hispanica* L. realizada por Linneaus (1753) y consensuada por A.P.G III (2009), la especie de nombre común chía se clasifica en el género *Salvia*. Este taxón posee alrededor de 900 a 1.000 especies y conforma uno de los mayores géneros de la familia Lamiaceae (Rosua and Blanca, 1986; Sepehry *et al.*, 2012; Walker *et al.*, 2004).

En el género *Salvia*, de acuerdo a la descripción realizada por Ramamoorthy (1985), se encuentran arbustos o plantas herbáceas, a menudo aromáticos; con hojas opuestas o a veces verticiladas; flores por lo general en verticilos formando espigas; brácteas frecuentemente grandes, deciduas o persistentes; cáliz bilabiado, labio superior usualmente entero, labio inferior bilobado; corola conspicua bilabiada, labio superior derecho o arqueado, labio inferior trilobado; 2 estambres; ovario profundo, estilo bifido.

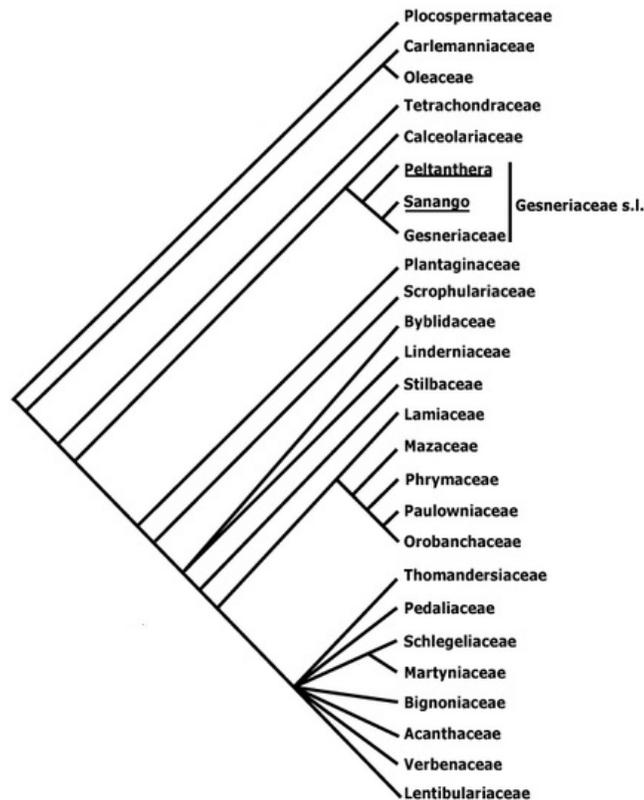
Las claves taxonómicas que permiten diferenciar a *Salvia hispanica* L. de otras especies del mismo género son: hojas anchamente cuneadas a cordadas o truncadas, a veces astada, nunca cuneadas o atenuadas; superficie de la hoja no ampulosa ni rugosa; brácteas nunca

oblongas a lineares; brácteas persistentes, grandes o de tamaño mediano; verticilos florales agrupados en una inflorescencia cilíndrica densa, brácteas ovadas, cuspidadas y vilosas en el envés (Ramamoorthy, 1985).

La categoría taxonómica superior corresponde al taxón Lamiaceae Martynov, *nom. cons.* Anteriormente llamada Labiatae Jussieu, *nom. cons.et nom alt.*, esta familia incluye 236 géneros y 7.173 especies (Harley *et al.*, 2004).

Un estudio de Martínez-Gordillo *et al.* (2013), describe a la familia Lamiaceae como: hierbas anuales o perennes, sufrútices o arbustos, rara vez árboles o bejucos; con frecuencia con aceites aromáticos; tallos generalmente tetrágonos, erectos o prostrados, ocasionalmente con estolones o rizomas; hojas opuestas, por lo general decusadas, en ocasiones verticiladas, simples o con menos frecuencia compuestas, dentadas o crenadas; estípulas ausentes. Inflorescencias terminales o axilares, tirsoideas, usualmente con verticilastros dispuestos en espigas, racimos, panículas o capítulos; brácteas y bractéolas por lo general presentes. Flores por lo general hermafroditas, hipóginas, zigomorfas, rara vez actinomorfas; cáliz persistente, sinsépalo, tubular a ampliamente campanulado, actinomorfo o zigomorfo, a veces bilabiado, imbricados, con 5 lóbulos; corola simpétala, generalmente con 5 lóbulos, iguales o subiguales, zigomorfa, en ocasiones actinomorfa, con frecuencia bilabiada, labio superior bilobado, el inferior trilobado, lóbulos imbricados, tubo corto o largo; 4 estambres, didínamos, rara vez iguales, a veces reducidos a 2 y en ocasiones con estaminodios, epipétalos; filamentos por lo general libres; anteras ditecas, rara vez monotecas, dehiscentes longitudinalmente, rara vez poricidas; gineceo bicarpelar, generalmente tetralocular, ovario superior, 1 estilo, ginobásico, con menos frecuencia terminal, filiforme, por lo general con 2 lóbulos estigmáticos, iguales o desiguales; 4 óvulos, 1 por lóculo, erectos. Fruto drupáceo, tetralobulado, indehiscente. 4 núculas por lo general, secas, lisas o levemente tuberculadas o reticulado-rugosas. Semillas solitarias, erectas.

En la figura 12 se observa un cladograma con el grado de parentesco de la familia Lamiaceae con las otras familias pertenecientes al orden Lamiales. El taxón Lamiaceae junto con las familias Mazaceae, Phrymaceae, Paulowniaceae y Orobanchaceae comparten un mismo ancestro común, debido que poseen características heredadas, llamadas sinapomorfias, por lo tanto forman un grupo o clado con mayor grado de parentesco dentro del orden Lamiales (McDade *et al.*, 2012).



**Figura 12.** Cladograma del orden Lamiales (Stevens, 2001).

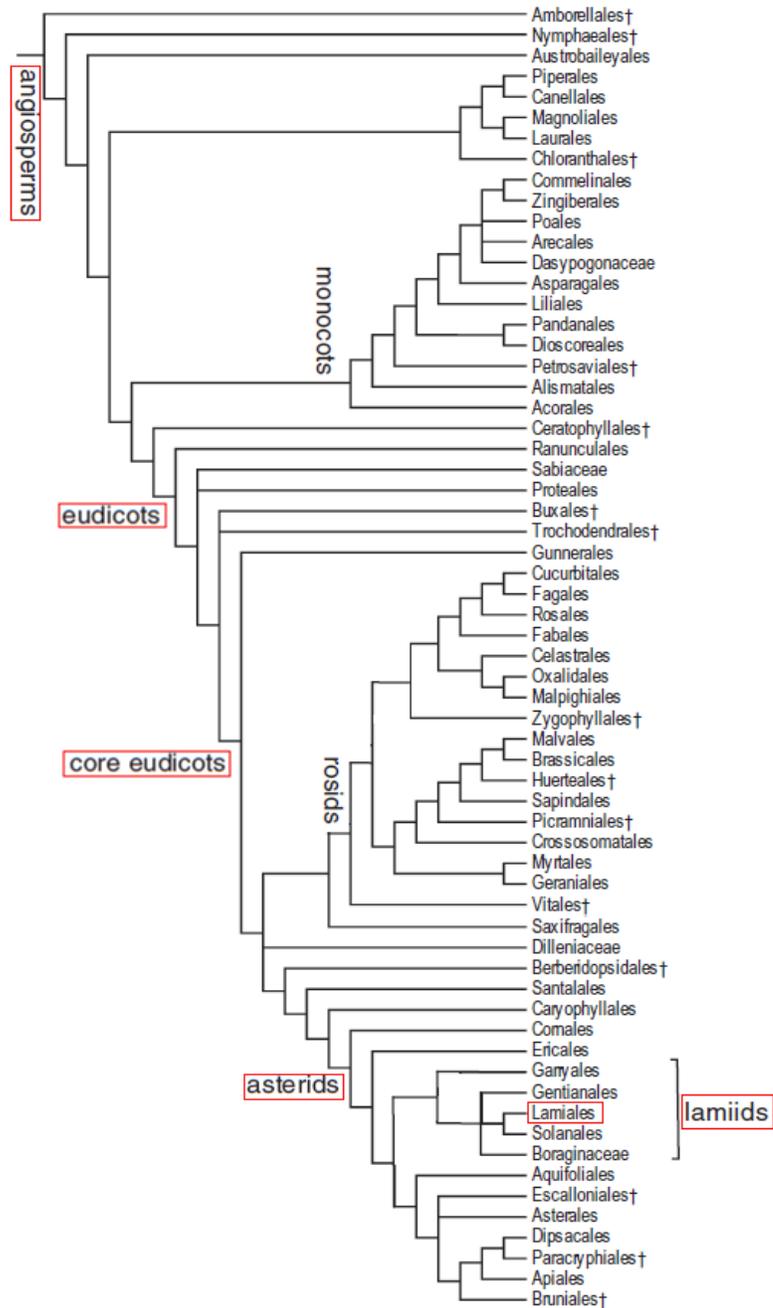
Una de las características más distintivas de la familia Lamiaceae es poseer cuatro frutos libres o tetranuculas, esto la hace diferenciarse de familias cercanas como las Verveneaceas, Acanthaceas y Escrofulariaceas (Fernandez-Alonso y Rivera-Diaz, 2006).

La categoría superior a familia, corresponde al orden Lamiales Bromhead, que alberga 24 familias, 1.059 géneros y más de 23.200 especies (Stevens, 2001).

Las características típicas del orden Lamiales son: hojas opuestas sin estípulas, venación principalmente pinnada y regular, aunque se pueden encontrar especies con venación palmada; generalmente la flor muestra un perianto en dos verticilos de cinco partes, la corola se funde en la parte inferior, los lóbulos de la corola y los labios son zigomorfos, se presentan cinco estambres en un solo verticilo, pero a menudo se reducen en número a cuatro o solo dos, el ovario consiste en dos carpelos (Refulio-Rodriguez and Olmstead, citado por Stevens 2001).

Los clados superiores principales al orden Lamiales (Figura 13), de menor a mayor jerarquía, corresponden a: lamiidas, caracterizado generalmente por presentar hojas opuestas, márgenes enteros, flores hipóginas, fusión de los estambres con el tubo de la corola y frutos capsulares; asteridas, generalmente plantas herbáceas con corolas simpétalas (Bremer *et al.*, 2001); eudicotas nucleares, definido principalmente por la presencia de

flores pentámeras; eudicotas, antiguamente llamadas tricolpadas, precisamente por la sinapomorfía morfológica del polen triaperturado en forma de colpo (Rapini, 2009); y angiospermas, el gran grupo de las plantas con flor (Raven, 1992; APG, 2009).



**Figura 13.** Interrelaciones del orden Lamiales. Rectángulos rojos corresponden al linaje de *Salvia hispanica* L. (APG, 2009).

## Genotipos, cultivares y variedades de chía

De acuerdo a Cahill (2005), existe gran diversidad genética entre poblaciones silvestres de *Salvia hispanica* L. En el mismo sentido, un estudio de Hernandez y Miranda (2008) establece que esto se debe probablemente a la accidentada geografía de donde es originaria, la extensa área de distribución y su sistema de polinización altamente autógamo. A pesar de lo anterior, solo existe documentación de dos variedades de chía: *Salvia hispanica* L. var. *chionocalyx* y *Salvia hispanica* L. var. *intonsa* (Fernald, 1907).

En su estudio, Fernald (1907), describe brevemente a la variedad *chionocalyx* con: hojas levemente pubescentes, color verde intenso en el lado adaxial y más suave en el abaxial, nervadura con presencia de pelos cortos, inflorescencias de 5 a 10 cm de largo y 1 a 1,5 cm de espesor y espigas con gran densidad de flores blancas con cáliz (Figura 14A). La variedad *intonsa* la describe con: hojas y tallos de la parte superior de la planta con pubescencias, inflorescencias cortas y gruesas de 1,5 a 5,5 cm de longitud y 1,5 a 2 cm de espesor y cáliz tomentoso (Figura 14B).



**Figura 14.** Ejemplares de herbario de *Salvia hispanica* L. A: variedad *chionocalyx*, extraído del herbario de plantas vasculares de la Universidad Estatal de Arizona B: variedad *intonsa*, extraído del herbario virtual de la Universidad de Nueva York.

A pesar de la existencia de las variedades de chía mencionadas anteriormente, en la actualidad la investigación científica se realiza en base a genotipos y accesiones procedentes de localidades productoras y de origen de la chía.

Los genotipos descubiertos se han nombrado como: iztac 1, iztac, 2, tzotzol, miztic y tilitic. La diferencia observable de estos genotipos es el color de la clusa, Iztac 1 e iztac 2 tienen la clusa de color blanco, tilitic y miztic poseen clusas de color negro y tzotzol posee una mezcla entre clusas blancas y negras (Ayerza, 2013; Ayerza and Coates, 2009).

## **Fisiología**

### **Fotoperiodismo**

La inducción, iniciación y desarrollo de la floración en muchas especies está sincronizada durante el año por la duración de la noche o del día, es decir la floración es fotoperiódica (Garner and Allard, 1920). En el género *Salvia*, la respuesta a la duración del día es diversa y varía entre especies (Zanin and Erwin, 2006). De acuerdo a Ayerza y Coates (2006), la fase reproductiva de *Salvia hispanica* L. responde al fotoperiodo y ésta ocurre cuando el acortamiento del día sobrepasa un umbral determinado, por lo tanto, corresponde a una planta de día corto (PDC).

El germoplasma de chía domesticada presenta un fotoperiodo de inducción floral de 12 horas aproximadamente, por lo que en el hemisferio norte la chía comienza a florecer en el mes de octubre y en el hemisferio sur en abril (Jamboonsri *et al.*, 2012). En semejanza con lo anterior, resultados preliminares de Tello (2014), sugieren que la inducción floral ocurre cuando el acortamiento del día sobrepasa un umbral de 11,5 horas, valor observado en chía blanca proveniente de México, establecida en Chile. Poblaciones de chía domesticada procedentes de Nicaragua, presentan una respuesta al fotoperiodo atípica, la inducción floral ocurre con un fotoperiodo de alrededor de 10,5 horas, pero carecen de uniformidad en la madurez (Cahill, 2005). En la actualidad se desconoce la existencia de germoplasma de chía silvestre o domesticado competente para florecer en condiciones de día largo (Jamboonsri *et al.*, 2012).

Plantas con respuesta al largo del día pueden también clasificarse como cualitativa, cuando la presencia del estímulo es vital para comenzar la fase reproductiva, o cuantitativa, si la presencia del estímulo no es esencial para inducir la floración, pero determina la aceleración del proceso (Thomas and Vince-Prue, 1997). Este aspecto en *Salvia hispanica* L. todavía no es corroborado, pero de acuerdo con la observación de plantas sometidas al estímulo lumínico, esta responde de manera cualitativa<sup>1</sup>. De acuerdo a estudios realizados

---

<sup>1</sup> Silva, H. 2014, ago. Producción Agrícola. [Entrevista personal]. Departamento de Producción agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

por Hildebrand *et al.* (2013), la oscuridad requerida por la chía debe ser ininterrumpida, impulsos de luz artificial a mitad de la noche, en condiciones de día largo, no determina el inicio del proceso de floración.

Con el material vegetal existente, la dispersión del cultivo para producción de semillas está restringido a los paralelos 22°55' norte y 25°05' sur, en países como: Argentina, Bolivia, Colombia, México y Perú (Hildebrand *et al.*, 2013), en latitudes mayores como 39°11' sur y 32°14' norte aproximadamente, la probabilidad de llevar a término el cultivo es escasa, debido a que éste muere por las heladas antes de florecer (Ayerza y Coates, 2006). Por tal motivo, se han realizado esfuerzos por obtener chía que pueda inducir la floración con un largo de día mayor a 12 horas, pero estos han fracasado (Cahill, citado por Jamboonsri *et al.*, 2012). Sin embargo, gracias a los avances en ingeniería genética, Hildebrand *et al.* (2013) crearon una chía genéticamente modificada, la cual se caracteriza por tener una floración temprana, es decir, comienza su fase reproductiva en áreas donde el largo del día tiene una duración de al menos 12 horas, en algunos casos, las plantas alcanzaron dicha etapa con 13, 14 o 15 horas de luz.

### **Fotosíntesis**

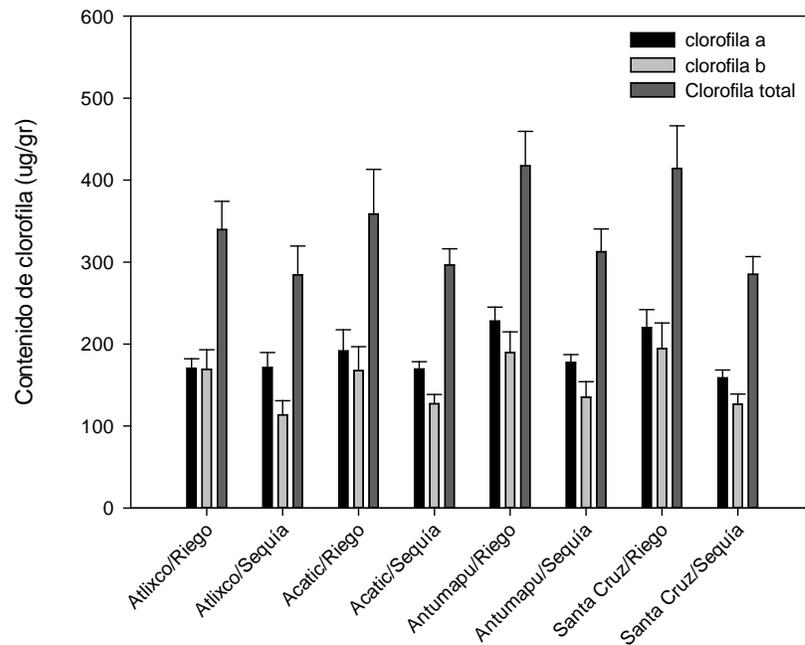
En chía, el proceso de fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico y la formación de este en compuestos orgánicos ocurren a través de una cadena de reacciones químicas llamadas ciclo de Calvin-Benson. Las especies vegetales en donde ocurre solo éste proceso se denominan plantas C<sub>3</sub>, llamadas así porque el fosfoglicerato, primer compuesto orgánico que incorpora el dióxido de carbono, tiene una estructura de tres carbonos (Cordero, 2003). La proteína ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa/oxidasa, abreviada RuBisCO es la enzima catalizadora de una parte del ciclo de Calvin-Benson, los genes que codifican dicha proteína han sido secuenciados parcialmente en *Salvia hispanica* L. (UNIPROT, 2014). Como especie con metabolismo C<sub>3</sub>, la chía posee las características propias de este tipo de plantas: mesófilo diferenciado en parénquima esponjoso y parénquima en empalizada (Di Sapio *et al.*, 2012) y una frecuencia estomática entre 40 y 300 mm<sup>2</sup> (Leegood, 1993), como lo revela un estudio de Benavides y Bergez (2013), donde observaron 105 y 313 estomas por mm<sup>2</sup> en la superficie adaxial y abaxial, respectivamente.

En el proceso de fotosíntesis, las clorofilas son los compuestos encargados de la fotorecepción, estas cumplen un importante rol en los eventos primarios de la fotosíntesis: captación de luz, transferencia de energía y transformación de la energía lumínica captada (Katz *et al.*, 1978). Por lo tanto, la cantidad de clorofila presente en los cloroplastos tiene relevancia en la capacidad fotosintética de la planta (Zhang *et al.*, 2007), así lo menciona un trabajo de Guo and Li (2006), quienes señalan que el contenido de clorofila se ha relacionado positivamente con la tasa fotosintética. Además, la cantidad de clorofila

---

presente en los tejidos fotosintéticos se ha asociado al estado fisiológico de la planta cuando ésta se somete a un determinado estrés (Casierra-Possada *et al.*, 2012).

En este sentido, un documento no publicado de Silva (2013)<sup>2</sup> sometió a riego y estrés hídrico a cuatro accesiones de chía y luego evaluó la cantidad de clorofila presente en las hojas (Figura 15). En general, las plantas que fueron regadas presentaron una cantidad mayor de clorofila total que las sometidas a estrés hídrico. La accesión Antumapu presentó el mayor contenido de clorofila en condición de riego y sequía, alcanzando 417 y 312  $\mu\text{g gr}^{-1}$ , respectivamente, en cambio la accesión Atlixco presentó la menor cantidad de clorofila en ambas condiciones, alcanzando el valor de 339 y 284  $\mu\text{g gr}^{-1}$ . La accesión de chía que exhibió la mejor respuesta al estrés hídrico fue Atlixco, el contenido de clorofila total solo disminuyó 16,2% cuando fue sometida a la sequía. La peor respuesta al estrés se obtuvo con la accesión Santa Cruz, presentando una disminución de 31,1% en el contenido total de clorofila cuando se sometió al estrés hídrico.



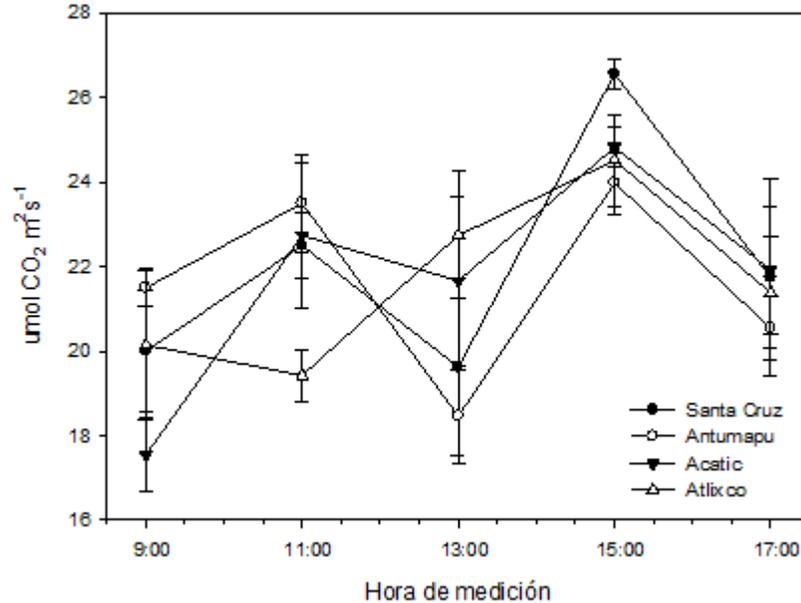
**Figura 15.** Contenido de clorofila de cuatro accesiones de chía sometidas a riego y estrés hídrico (Silva, 2013)<sup>2</sup>.

El trabajo de Silva (2013)<sup>2</sup> también registró el contenido de clorofila en base a superficie de hoja de *Salvia hispanica* L. El promedio de clorofila total de cuatro accesiones fue 19,1  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . En comparación con otras especie del mismo género, *Salvia purpurescens* y *Salvia officinalis* han exhibido valores de clorofila total de 68 y 63  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , respectivamente

<sup>2</sup> Silva, H. 2013, sept. Producción Agrícola. [Documento no publicado]. Departamento de Producción agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

(Castrillo *et al.*, 2001). Ambos valores son tres veces más elevados que los registrados en chíá.

Si bien el contenido de clorofila se correlaciona con la fotosíntesis de la planta, el método directo e instantáneo de medir la producción de materia seca corresponde a la tasa fotosintética o asimilación de  $\text{CO}_2$  (Medina y Lieth, 1963). Estudios fisiológicos realizados en chíá accesión Santa Cruz señalan que la tasa fotosintética fluctúa entre 14 y 20  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Alfaro y Silva, 2013). Otro estudio al respecto de Silva (2013)<sup>2</sup>, obtuvo resultados preliminares de la tasa fotosintética de cuatro accesiones de chíá medida durante el día (Figura 16). Éstos muestran que la mayor tasa fotosintética ocurre alrededor de las 15 horas en cuatro accesiones de chíá evaluadas. La mayor tasa fotosintética correspondió a la accesión Santa Cruz con un valor de 26,2  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , la menor tasa fotosintética se observó en la accesión Acatic con un valor fue 17,5  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en la medición realizada a las 9 horas.



**Figura 16.** Asimilación de  $\text{CO}_2$  de cuatro accesiones de chíá (Silva, 2013)<sup>2</sup>.

Un estudio realizado en chíá establecida en la ciudad de Santiago, Chile, registró valores de fotosíntesis de 15,1 y 9,9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en plantas regadas a capacidad de campo y con estrés hídrico, respectivamente. Los resultados del estudio permitieron establecer que en plantas con un nivel de estrés hídrico de -3,0 MPa, la tasa fotosintética se reduce solo un 35%, en comparación con plantas regadas, además las plantas sometidas a estrés tuvieron buena recuperación de crecimiento, alcanzando la floración al igual que las plantas que no fueron sometidas a estrés hídrico. El estudio concluye que la chíá es altamente resistente a la escasez de agua (Alister *et al.*, 2013).

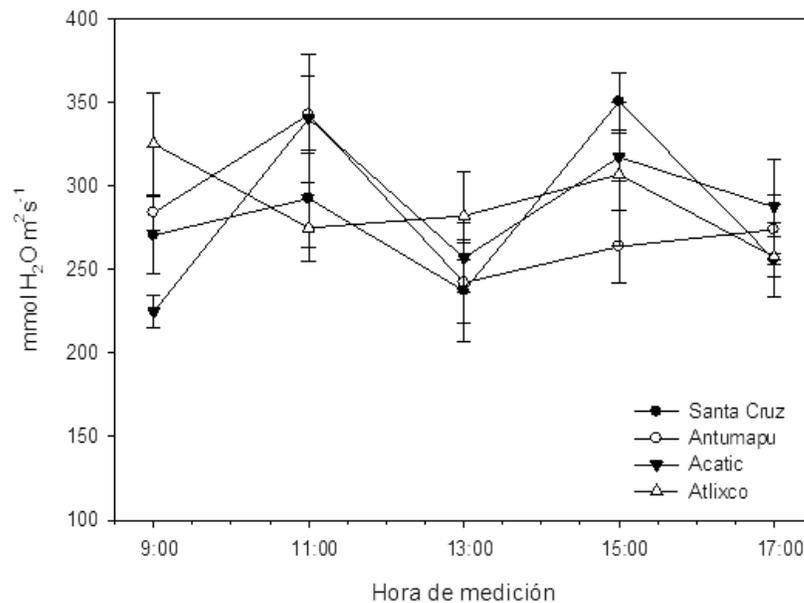
Los valores de tasa fotosintética de chía son más elevados que los registrados en otras especies del género *Salvia*, de acuerdo a un estudio realizado por Lassaigne *et al.* (2007), quienes obtuvieron valores de tasa fotosintética de  $14,11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en *Salvia leucantha*, siendo este el valor más alto de un conjunto de ocho salvias evaluadas.

## Transpiración

El proceso por el cual el agua del suelo se mueve desde la superficie de la raíz, a los vasos xilemáticos hasta llegar a las células del mesófilo en donde se evaporará por las paredes celulares, se denomina transpiración (Silva *et al.*, 2010). La medición de la transferencia de vapor de agua principalmente desde los estomas hasta la atmosfera se denomina tasa transpiratoria.

De acuerdo con el estudio de Alister *et al.* (2013), la chía sometida a riego a capacidad de campo presentó una tasa transpiratoria de  $6,2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , evaluada durante el periodo de fase vegetativa, entre los 54 y 78 días después de siembra (DDS). En el mismo periodo, pero en plantas sometidas a estrés hídrico total durante 24 días previos al inicio de la floración, la tasa transpiratoria alcanzó un valor de  $4,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Datos no publicados de un estudio elaborado por Silva (2013)<sup>2</sup>, muestran la transpiración de cuatro accesiones de chía medidas durante el día (Figura 17). La tasa transpiratoria más alta se observó en la accesión Santa Cruz, con un valor de  $8,2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Al contrario, la accesión Acatic presentó la menor tasa transpiratoria registrada, con un valor de  $4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .



**Figura 17.** Tasa transpiratoria de accesiones de chía medida durante el día (Silva, 2013).

En comparación con otras salvias, de acuerdo al trabajo de Corell *et al.* (2009), la tasa de transpiración medida en chía es menor que las registradas en *Salvia officinalis* y *Salvia lavandulifolia*, estas especies alcanzaron valores de 10,7 y 14,3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente.

De la medición de la fotosíntesis neta y transpiración es posible determinar la eficiencia en el uso del agua (EUA) o eficiencia de transpiración (ET), la cual se define como la producción de materia seca por unidad de agua transpirada (Condon *et al.*, 1990). A escala instantánea es la relación entre la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> en una hoja y su tasa de transpiración (Farquhar and Richards, 1984). De este modo la eficiencia de transpiración a escala instantánea para *Salvia hispanica* L. según el estudio de Alfaro y Silva (2013) corresponde a 3,4 μmol de CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O. Un estudio de Alister *et al.* (2013), agrega que la eficiencia de transpiración observada en chía alcanzó valores de 2,43 μmol de CO<sub>2</sub> • mmol<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O en plantas regadas y 2,02 μmol de CO<sub>2</sub> • mmol<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O en plantas sometidas a estrés hídrico. Otro estudio realizado en la región de Coquimbo por Alister *et al.*, (2014), menciona que la EUA en términos de materia seca producida por cantidad de agua aplicada fue de 1,34 kg MS m<sup>-3</sup> en plantas regadas al 100% de la evapotranspiración potencial y de 1,45 kg MS m<sup>-3</sup> en plantas regadas al 40% de la evapotranspiración potencial.

### **Conductancia estomática**

La apertura estomática implica la ocurrencia de dos procesos vitales para la vida de las plantas: la fotosíntesis, gracias a la difusión de CO<sub>2</sub> atmosférico hacia el interior del mesofilo; y la transpiración, debido a la pérdida de agua por evaporación desde el mesofilo hacia la atmosfera. Esto determina que el grado de apertura de los estomas tenga gran importancia para los estudios de producción de biomasa (Delatorre, 2014).

Mediciones de conductancia estomática en *Salvia hispanica* L. han alcanzado valores de 348 y 224 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en plantas regadas a capacidad de campo y con estrés hídrico, respectivamente. Como era de esperar, en condiciones de estrés, ocurre un cierre estomático parcial, con la finalidad de reducir la evaporación de agua a través de los estomas (Alister *et al.* 2013). Otro estudio elaborado por Silva (2013), registró la conductancia estomática durante el día de cuatro accesiones de chía, obteniendo valores que oscilaron entre 350 y 220 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### **Fenología**

El estudio de las fases o actividades periódicas y repetitivas del ciclo de vida de las plantas y su variación temporal a lo largo del año se denomina fenología (Mantovani *et al.*, 2003). Esto incluye el estudio de las causas de su sincronización y su relación con factores bióticos

y abióticos (Talora y Morellato, 2000). Eventos fenológicos como germinación, emergencia, floración y maduración responden directamente a cambios climáticos (Sparks *et al.*, 2009; Badeck *et al.*, 2004). En chíá, los componentes abióticos principales y que determinan la duración de las distintas etapas fenológicas de su ciclo de vida corresponden a temperatura y fotoperiodo.

La inducción del desarrollo mediada por la temperatura ha sido estudiada por Ayerza (2009), quien analiza el ciclo de vida de la chíá en 5 ecosistemas diferentes con distinta altitud, temperatura y precipitación. La investigación establece que la duración del ciclo del cultivo aumenta a medida que la altitud a la cual la chíá fue establecida también aumenta, existiendo una correlación positiva. La respuesta a esta observación se explica porque localidades con mayor altitud poseen temperaturas medias más bajas. La duración del ciclo del cultivo varió desde 150 días, en el desierto semiárido del chaco, Argentina, el cual tiene una altitud de 1.156 m.s.n.m. y una temperatura media anual de 17 °C; a 100 días en el bosque tropical lluvioso de Ecuador, el cual posee una altitud de 300 m.s.n.m. y una temperatura media anual de 25 °C.

Para que *Salvia hispanica* L. logre completar todos sus estados fenológicos, se requiere de un mínimo de acumulación de temperatura, lo que se conoce como tiempo térmico o suma térmica. Un estudio realizado en la localidad de la Pampa del Tamarugal por Arenas *et al.* (2013), registró el tiempo térmico necesario para llevar al cultivo hasta la madurez de cosecha en tres fechas de siembra entre enero y febrero. El cultivo completó su ciclo en 139, 137 y 130 días y el tiempo térmico fue de 1.214, 1.260 y 1.310 días grado (DG) evaluados con una temperatura base de 10 °C, respectivamente.

A pesar que la temperatura es fundamental en el desarrollo de la chíá, el fotoperiodo es necesario para inducir el proceso de floración. De acuerdo al trabajo de Jamboonsri *et al.* (2012), la chíá es una planta de día corto, debido que la fase reproductiva comienza cuando la duración del día es inferior a 12 horas.

### **Fase vegetativa**

Comienza con la siembra, donde se dispone a la semilla en condiciones favorables para germinar y termina con la aparición de las primeras estructuras florales o inflorescencias (CIAT, 1982). En la zona norte de Chile, específicamente en localidad de Canchones (20°26' S, 69°32' O), se efectuó un ensayo que contemplo la evaluación de distintas fechas de siembra (4 de enero, 18 de enero y 4 de febrero del 2013), la fase vegetativa se extendió por 54 días en promedio, independiente de la fecha de siembra (Baginsky *et al.*, 2014). Considerando que la chíá es sensible al fotoperiodo, no es esperable que la fase vegetativa de este cultivo tenga la misma duración cuando ha sido sembrado en fechas distintas. En el centro del país, en la localidad de Las Cruces (33°30' S, 71°36' O), de acuerdo Tello (2014), la fase vegetativa de chíá tuvo una duración de 111 y el 83 días para fechas de siembra realizadas el 4 de enero y 18 de febrero del 2013.

En la provincia de Santa Fe (33°14' S, 61°21' O), Argentina, se evaluaron distintas fechas de siembra (11 de enero, 27 de enero y 10 de febrero del 2010), observándose que la duración del ciclo del cultivo fue de 170, 155 y 144 días, respectivamente para cada fecha de siembra. El tiempo de la fase vegetativa del cultivo se redujo en igual cantidad de días que se aplazó la fecha de siembra, ya que las tres fechas de siembra florecieron simultáneamente a mediados del mes de abril (Busilachi *et al.*, 2013).

Por lo tanto, la duración de la fase vegetativa en chía está sujeta a la latitud en donde se establezca debido a la sensibilidad de la chía al fotoperiodo; sin embargo, la planta requiere traspasar un fase de “juventud” o necesita de una determinada acumulación de días grado para poder ser perceptiva al estímulo lumínico (Tello, 2014). Un estudio de Valero (2014), menciona que plantas que han acumulado un mínimo de 134 DG han sido perceptivas al acortamiento del día y han logrado la floración.

En la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33°40' S, 70°38' O), durante la temporada 2010 – 2011 se estableció un ensayo que registró el tiempo térmico de todo el ciclo del cultivo de la chía. Los días grado acumulados de la fase vegetativa, evaluados en dos fechas de siembra, alcanzaron valores de 1.467 y 1.203 DG (Cuadro 2) (Arriagada, 2014). Esta investigación utilizó una temperatura umbral de 7,3 °C perteneciente a *Salvia splendens* L., especie del mismo género que *Salvia hispanica* L. (Moccaldi and Runkle, 2007), ya que se desconoce la temperatura umbral de ésta última.

**Cuadro 2.** Días grado de los estados fenológicos de la fase vegetativa de *Salvia hispanica* L. evaluados en dos fechas de siembra.

Estado fenológico	Días Grado ( $T_b=7,3$ °C)		Días Grado acumulados	
	FS1	FS2	FS1	FS2
S – E	62	60	62	60
E – Ir	330	325	392	385
Ir – If	1075	818	1467	1203

S: siembra. E: emergencia. Ir: inicio de ramificación. If: Inicio de floración. FS1: Fecha de siembra 1 (7/12/2010). FS2: Fecha de siembra 2 (31/12/2010) (Arriagada, 2014).

**Germinación – emergencia.** Estudios sobre el porcentaje de germinación de semillas de chía sometidas a una temperatura de 23°C y evaluadas a los 21 días después de siembra, entregaron resultados dispares. El poder germinativo de la semilla de chía varió entre 27 y 87%, la amplia diferencia de porcentajes recae en el desconocimiento de los autores del estudio en cuanto a la longevidad de la semilla utilizada y su condición de almacenaje (Bueno *et al.*, 2010). En un trabajo similar de Ayerza y Coates (1998), la semilla de chía alcanzó un porcentaje de germinación de 75 a 78%.

En vista de la gran variabilidad del porcentaje de germinación de la semilla de chía, un estudio menciona que el poder germinativo se mantiene durante un periodo de 5 años, aunque prácticamente la utilización no debe pasar los dos años, ya que la viabilidad del embrión disminuye (Poehlmann, citado por Santana 2013). En este mismo sentido Panagiotopoulos *et al.* (2000), menciona que el poder de germinación, al mantener sometida a la semilla durante largos periodos de almacenaje, se ve reducido drásticamente.

Un estudio de Labouriou y Agudo (1987, citado por Panagiotopoulos 2000), determinó el efecto de la temperatura sobre el porcentaje de germinación de la semilla de chía. Las temperaturas 3,3 y 39,8 °C resultaron ser extremas para la capacidad germinativa de la semilla, debido que no hubo observación de emergencia de radícula en ensayos montados en placas Petri. El rango de temperaturas donde se alcanzó el potencial germinativo fue 15,7 a 25,0 °C. Otro estudio realizado por Rovati *et al.* (2012), concuerda con las temperaturas óptimas antes mencionadas, ya que al evaluar el porcentaje de germinación en relación a dos temperaturas (20 y 25 °C), las semillas tuvieron un 91% aproximado de germinación, el estudio complementa que a 25 °C, las semillas presentaron mayor crecimiento, altura y desarrollo de estructuras funcionales.

En cuanto al tiempo térmico necesario para completar el estado fenológico de siembra hasta emergencia. El estudio de Arriagada (2014) determinó que son necesarios 62 DG aproximadamente, para que ocurra la emergencia de las plántulas.

**Emergencia – Inicio de ramificación.** El tiempo térmico necesario para completar este estado fenológico correspondió a 330 DG en un estudio llevado a cabo con dos fechas de siembra (Arriagada, 2014). En un trabajo similar, Tello (2014) obtuvo resultados diferentes, el tiempo térmico registrado desde siembra a inicio de ramificación fue de 424, 324 y 210 DG ( $T_b = 10$  °C), evaluado en tres fechas de siembra distintas.

En relación a los trabajos citados anteriormente, según Arriagada (2014), aun variando la fecha de siembra, el tiempo térmico tuvo la misma acumulación de días grado. Por lo tanto, este estados fenológico tienen directa relación con la temperatura (Arriagada, 2014). En cambio, Tello (2014) menciona que el inicio de ramificación depende de dos componentes, la temperatura y la duración del largo del día, ya que al atrasar la fecha de siembra, no solo se adelantó la floración, sino también se acortó el periodo entre siembra e inicio de ramificación. Por lo tanto, la diferencia de estos trabajos es relevante y se puntualiza en el componente abiótico que determina la incidencia del inicio de ramificación.

**Inicio de ramificación – Inicio de floración.** La duración de este estado fenológico en *Salvia hispanica* L. depende principalmente de dos factores abióticos, la temperatura y el fotoperiodo.

De acuerdo al trabajo de Arriagada (2014), el tiempo térmico del cultivo de chía, sembrado en distintas fechas, registró una acumulación de días grado diferente, siendo 1.075 DG, para la siembra del 7 de Diciembre y 818 DG para la fecha de siembra del 31 de Diciembre

del 2010. En ambas fechas, la floración ocurrió el 7 de abril. Otro trabajo realizado en la localidad de Las Cruces por Tello (2014), registró valores de 140, 154 y 164 DG ( $T_b=10^\circ\text{C}$ ), para las fechas de siembra 4 de enero, 18 de febrero y 2 de febrero. Para esta localidad, el inicio de floración ocurre los últimos días de abril.

### Fase reproductiva

Se inicia con la aparición de las estructuras florales o inflorescencias y culmina cuando la semilla alcanza el grado de madurez fisiológica (CIAT, 1982). Esta fase tuvo una duración promedio de 85, 80 y 64 días en las localidades de Valle de Azapa ( $18^\circ20' \text{ S}$ ,  $70^\circ1' \text{ O}$ ), Canchones y Las Cruces, respectivamente. Debido a la sensibilidad de la chía al fotoperiodo, el inicio de la fase reproductiva en la localidad de Las Cruces comenzó entre el 24 y 29 de Abril. Estos resultados fueron distintos a lo observado en las localidades de Valle de Azapa y Canchones, donde el cultivo sembrado en distinta fecha, inició la floración en fechas diferentes pero concentradas entre mediados de marzo y mediados de abril (Baginsky *et al.*, 2014).

El tiempo térmico registrado durante la fase reproductiva de la chía establecida en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, evaluadas en dos fechas de siembra se muestran en el cuadro 3, en éste se observa una similitud de días grado para ambas fechas de siembra, tanto para el estado fenológico de inicio de floración – Inicio de formación de grano e Inicio de formación de grano – Madurez de cosecha (Arriagada, 2014). De acuerdo al trabajo de Tello (2014), el tiempo térmico acumulado entre el estado de inicio de floración hasta cosecha fue de 108 DG ( $T_b=10^\circ\text{C}$ ), evaluado en la localidad de Las Cruces.

**Cuadro 3.** Días grado de los estados fenológicos de la fase reproductiva de *Salvia hispanica* L. evaluados en dos fechas de siembra.

Estado fenológico	Días Grado ( $T_b=7,3^\circ\text{C}$ )		Días Grado acumulados	
	FS1	FS2	FS1	FS2
If – Ig	231	232	231	232
Ig – Mc	133	132	364	364

If: Inicio de floración. Ig: Llenado de grano. Mc: Madurez de cosecha. FS1: Fecha de siembra 1 (7/12/2010). FS2: Fecha de siembra 2 (31/12/2010) (Arriagada, 2014).

**Inicio de floración – Inicio de formación de grano.** De acuerdo al trabajo de Arriagada (2014) realizado en la zona central de Chile, este estado fenológico se extendió por 38 días,

evaluado en la zona centro de Chile. El tiempo térmico comprendido entre floración y llenado de grano correspondió a 231 DG, aproximadamente.

Una vez que el cultivo de chía ha florecido, el mecanismo de polinización suscita gran interés para el posterior periodo de llenado de granos y madurez de cosecha (Hernandez-Gomez *et al.*, 2008), sin embargo no existe pleno consenso en como ocurre este proceso en chía.

Se ha supuesto que es una especie alógama y entomófila, debido al color de los pétalos, la forma de pista de aterrizaje del labio inferior de la corola, la articulación de los estambres a la corola y por la presencia de néctar en la base del ovario (Ramamoorthy, 1985). Además, autores mencionan que la protandria en el género *Salvia*, es la responsable de evitar la autofecundación (Mann, citado por Hernandez- Gomez *et al.*, 2008). Otros autores mencionan que la autofecundación puede llevarse a cabo en *Salvia hispanica* L., debido al pequeño tamaño de las flores, la corta distancia entre el estigma y las anteras, y su carácter homostilico. Además plantas aisladas han logrado producción de semillas (Haque and Goshal, 1981).

Un estudio realizado por Hernandez – Gomez *et al.* (2008), concluye que *Salvia hispanica* L. genotipo Acatic, posee un sistema de polinización mixto, al observar cruzamiento natural y autofecundación. En *Salvia hispanica* L. genotipo Sinaloa, se observó que este es principalmente autógamo. En base a los resultados anteriores, no existe un solo mecanismo de polinización en chía y el grado de autopolinización o polinización cruzada está sujeto a la procedencia o genotipo de la chía.

**Inicio de formación de grano – Madurez de cosecha.** Este estado fenológico comienza con la fecundación de la flor y termina cuando la semilla alcanza su madurez fisiológica y un porcentaje de humedad de 9 a 10% (Chediack, 2014). De acuerdo al estudio de Arriagada (2014), este periodo duró aproximadamente 32 días y la sumatoria de tiempo térmico correspondió a 133 DG. Cabe destacar que el criterio de cosecha del trabajo citado anteriormente se realiza en base al color de las clusas y no por porcentaje de humedad, esto indicaría que la duración de este estado puede variar según la percepción visual del observador.

## **OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE *Salvia hispanica* L.**

### **Agronomía de la chía**

Si bien la chía ha sido usada desde tiempos remotos, no se conoce con detalle cómo el cultivo se producía en la época precolombina, sin embargo existe evidencia que alcanzó grandes avances técnicos (Rojas, citado por Orozco, 1993). Con la llegada de los españoles a América, los sistemas productivos y de comercialización de chía se perdieron (Ayerza y Coates, 2006). Este acontecimiento determinó que en la actualidad exista un escaso conocimiento de la agronomía de la especie (Ayerza y Coates, 1996; Alvario, 2013).

### **Requerimientos edafoclimáticos**

La chía es originaria e históricamente ha sido cultivada en climas tropicales a subtropicales (Lobo *et al.*, 2011; Coates, 2011). De acuerdo a la FAO (2010), plantas de origen tropical presentan daños severos cuando se exponen a temperaturas bajo 0 °C, además el género *Salvia* es descrito como sensible a temperaturas de congelación. Un trabajo en campo realizado por Tello (2014), menciona que el cultivo de chía resultó severamente afectado por temperaturas mínimas que oscilaban los 3 y 5 °C, en momentos que ocurría la floración. La magnitud del daño fue tan severo que se observó el necrosamiento de las estructuras florales. De acuerdo a lo anterior, la chía no es tolerante a heladas en ninguna etapa de su desarrollo (Ayerza y Coates, 2006; Lobo *et al.*, 2011) y tampoco a temperaturas cercanas a los 0 °C cuando ocurren en floración. En cuanto al rango de temperatura de crecimiento, la información es poco precisa, un estudio de Bendaña (2012) menciona al respecto que la chía resiste temperaturas que oscilan desde 12, hasta 33 °C.

En cuanto a los requerimientos edáficos, la chía se establece mejor en suelos livianos como el areno-limoso, aunque también se puede producir en suelos más pesados como el limoso-arcilloso, siempre y cuando exista buen drenaje (Lobo *et al.*, 2011; Ayerza y Coates, 2006). La especie requiere de suelos con un pH aproximado de 6,5 a 7,5 (Rocca, citado por Pozo 2010).

Los requerimientos hídricos de *Salvia hispanica* L. son de 250 a 300 mm de precipitación (Rocca, citado por Pozo 2010). En cambio, Bendaña (2012) menciona que la chía debe ser cultivada bajo una precipitación mínima de 500 mm. Ayerza y Coates (2006) agregan que la chía ha sido cultivada en secano con 400 mm de lluvia en el valle de Lerma, Argentina, hasta 1.100 mm de precipitación en el valle de Cauca, Colombia. En relación a la capacidad

de la chía a tolerar el déficit hídrico, Weber *et al.* (1991) señala que la chía es una especie tolerante al déficit hídrico. En el mismo sentido, un estudio de Casas (1990, citado por Orozco 1993) menciona que la chía puede ser una alternativa de cultivo para lugares con baja precipitación, al alcanzar un rendimiento de 480 kg ha<sup>-1</sup> en ensayos donde se les restringió el riego a las plantas. A esto se le suma lo dicho por Alister *et al.* (2013), ya que en base a mediciones de fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y potencial hídrico, establece que la chía es altamente resistente a la falta de agua, logrando resistir niveles de estrés hídrico de -3,0 MPa.

Respecto a la salinidad, la chía es factible cultivarla bajo condiciones de riego con agua que presenta niveles de salinidad de 3.0 ds/m, sin embargo éste afecta negativamente la producción de aceite en un 20%, pero no se afecta estadísticamente la proporción de ácido alfa-linolénico en comparación con una condición de agua no salina (Heuer *et al.*, 2002).

## **Siembra**

Productores de Catamarca y Salta en el noroeste de Argentina utilizan 6 kg ha<sup>-1</sup> de semillas y las hileras de siembra las distancian en 0,7 a 0,8 m (Coates and Ayerza, 1998). Un estudio de Ayerza y Coates (2006), menciona que en Argentina y Bolivia utilizan entre 6 a 8 kg ha<sup>-1</sup> de semillas e igual distancia entre hilera que la mencionada anteriormente; igualmente, productores de México utilizan una distancia de 0,75 m entre hilera. De acuerdo a lo mencionado por Coates (2011), la dosis de semilla recomendada para la siembra debe ser entre 5 a 6 kg ha<sup>-1</sup>.

En relación a la densidad de plantas, un estudio realizado en la región de Coquimbo (21°51' S, 71°15' O) por Baginsky *et al.* (2014a) menciona que al establecer 75 plantas metro<sup>-1</sup> lineal (1.875.000 plantas ha<sup>-1</sup>) a una distancia entre hilera de 0,4 m, se obtiene un rendimiento de grano de 1.388 kg ha<sup>-1</sup>, esto fue estadísticamente mayor a los tratamientos de 25 y 50 plantas metro<sup>-1</sup> lineal, el estudio concluyó que los rendimientos en grano aumentan cuando la chía se establece a densidades de planta más altas.

La semilla de chía debe sembrarse a no más de 10 mm de profundidad y necesita de un suelo húmedo para germinar, una vez establecidas se comporta bien con cantidades limitadas de agua (Ayerza y Coates, 2006). Una buena cama de semillas, bien labrada, es necesaria para lograr buen contacto entre el suelo y la pequeña semilla, de esta forma se logra un buen establecimiento (Kummer and Phillips, 2012).

Con respecto a la fecha de siembra, en ensayos realizados en el norte grande de Chile, se han alcanzado rendimiento sobre los 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, con fechas de siembra entre mediados de febrero y los inicios de marzo (Baginsky *et al.*, 2014). Un estudio realizado en la provincia de Tucuman (26°48' S, 65°12' O), Argentina, menciona que fechas de siembra realizadas a inicios de febrero (5 y 12 de febrero) han obtenido rendimientos de grano del orden de 879 kg ha<sup>-1</sup> (Lobo *et al.*, 2011). En la localidad de Las Cruces se han obtenido

rendimientos promedio de 130 y 157 kg ha<sup>-1</sup> en siembras realizadas el 2 de febrero del 2013, los bajos rendimientos se debieron a problemas de heladas durante la etapa de floración y tendadura de plantas, debido a una mayor altura de éstas a causa de su mayor periodo de crecimiento vegetativo (Tello, 2014; Valero, 2014).

### **Fertilización**

Actualmente no son conocidos los requerimientos de macro y micronutrientes que la planta de chía demanda a lo largo de su ciclo de vida. A pesar de lo anterior, productores del noroeste de Argentina aplican 15 a 45 kg de nitrógeno y 37 kg de fósforo. Productores de México utilizan principalmente nitrógeno, en dosis de 68 kg por hectárea (Ayerza y Coates, 2006).

Estudios elaborados en Argentina, consideran que el cultivo de chía requiere 20 ppm de fósforo y 150 ppm de potasio disponibles en el suelo (Ayerza, citado por Tello 2014). Un estudio técnico realizado en Chile agrega que los requerimientos nutricionales del cultivo de chía corresponden a 51, 53 y 60 unidades de nitrógeno, fosforo y potasio, respectivamente (De Kartzow, 2013).

### **Plagas y enfermedades**

Las plagas y enfermedades en chía no están bien documentadas, en la actualidad existen pocos reportes de plagas de importancia económica (Pozo, 2010; Kummer and Phillips, 2012). Sin embargo, Ayerza y Coates (2006), mencionan que en Argentina, Bolivia y Colombia existen antecedentes de inconvenientes con hormigas en la etapa inicial del cultivo, las cuales han debido ser controladas. En Nicaragua, las hormigas son el insecto más dañino para el cultivo, en 24 horas se han reportado daños de hasta el 60% de la producción. Además, se ha reportado la presencia de babosas en el cultivo de chía. Esto ha determinado la elaboración de un programa de manejo para su control, ya que este molusco mordedor puede devorar el 80% de la producción si no se advierte en etapas iniciales (Miranda, 2012).

En relación a las enfermedades, en la localidad de Las Cruces se observó la presencia de *sclerotinia sp.*, hongo causante de pérdidas económicas indirectas, al ralentizar el proceso de cosecha (Valero, 2014). En Nicaragua, en zonas sobre los 1.000 m.s.n.m. se ha registrado la presencia de *cercospora sp.*, hongo causante de manchas necróticas a nivel del follaje (Miranda, 2012).

### **Malezas**

La chíá tiene un lento crecimiento durante los primeros 45 días después de siembra (Ayerza y Coates, 2006; Lobo *et al.*, 2011), esta baja capacidad de cubrimiento del suelo determina que la chíá posea una baja competitividad contra las malezas por recursos como agua y nutrientes (González, citado por Arriagada 2014). Por tal motivo, el control de malezas es de vital importancia para asegurar un buen establecimiento, crecimiento, homogeneidad, y producción de materia seca y aceite (Pozo, 2010). Además, la presencia de malezas en la cosecha, aumenta las impurezas en el producto final (Orozco, 1993).

Los métodos de control más usados son el manual y mecánico; se realizan dos desmalezajes 10 a 15 días después de emergencia y hasta la floración (Orozco, 1993). Cuando el cultivo alcanza gran porcentaje de cobertura, las malezas son un problema secundario (Coates, 2011).

Debido a los altos costos de los métodos de control actuales, los estudios para evaluar herbicidas efectivos en chíá han aumentado. En este sentido, un estudio realizado por Villegas (2013) concluye que los herbicidas Linuron y Trifluralina no provocan daños en el cultivo de chíá, permite un crecimiento normal de las plantas y no se ve afectado el rendimiento en grano. Los herbicidas Metalocloro, Pendimethalin, Benzaton y Quizalofop-p-ethyl afectan al cultivo, este presenta síntomas de fitotoxicidad, lo cual interfiere en el crecimiento y rendimiento final del cultivo. Un estudio de Pozo (2010), agrega que la aplicación de los herbicidas Metribuzin en pre-emergencia y Haloxyfop R metil ester en post-emergencia, tuvo buenos resultados en el control de malezas, pero el cultivo de chíá resultó afectado, ya que se presenciaron muertes de plantas post aplicaciones de herbicidas.

## **Cosecha**

La cosecha comienza cuando la planta alcanza su madurez, pierde sus hojas y el color de la planta en general vira de amarillo a café (Orozco, 1993). Generalmente las heladas o periodos de sequía extensos posterior al llenado de grano favorece el rápido desecamiento de las plantas (Ayerza y Coates, 2006). Sin embargo, Chediack (2014) menciona que en ausencia de esas condiciones ambientales la desecación de las plantas se retrasara, por lo tanto la semilla de chíá debe ser cosechada cuando tenga entre 9 a 10% de humedad.

Para el proceso de cosecha se utiliza una trilladora mecánica estándar con cabezal modificado para mejorar el rendimiento (Kummer and Phillips, 2012), se debe elevar el molinete para que este no rompa las inflorescencias más altas y remplazar el tamiz con una pantalla fija de 3 mm (Coates y Ayerza, 1998). Luego de la cosecha, se limpia físicamente la semilla, se introduce en un tamiz con aire forzado para eliminar restos de plantas, semillas de maleza, polvo y otras impurezas (Orozco, 1993).

En sistemas menos tecnificados, la cosecha comienza cuando el 80% de cada planta presenta una tonalidad café y aspecto senescente. Una vez identificado el momento de cosecha, se cortan las plantas a nivel de suelo y se apilan sobre un plástico para que

continúe el secado, finalmente se golpean las plantas sobre un malla fina para así obtener la semilla (Miranda, 2012).

### **Rendimiento**

Los rendimientos del cultivo de chía son muy variables. Factores ambientales, genotipos poco adaptados a la zona de producción y poco conocimiento sobre los manejos agronómicos orientados a maximizar la producción pueden influir en la obtención de grano (Coates, 2011; Ayerza and Coates, 1991).

Un estudio de Ayerza y Coates (1991), muestra que productores de la zona nororiente de Argentina han obtenido desde 258 kg ha<sup>-1</sup> en la localidad de Campo Quijano con una cosecha mecanizada, hasta 1.262 kg ha<sup>-1</sup> en la localidad de El Carril, el rendimiento promedio de los productores de este estudio se situó en 606 kg ha<sup>-1</sup>. Veinte años más tarde en la misma localidad, experimentalmente se han alcanzado rendimientos de 1.700 kg ha<sup>-1</sup> y en promedio 1.400 kg ha<sup>-1</sup> en ensayos relacionados con distancia entre surcos y densidades de siembra (Lobos *et al.*, 2011). En el estado de Jalisco, México, la principal zona productora de chía de ese país, se logran rendimientos de 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, en zonas con 450 mm de precipitación, dosis de siembra de 4 kg ha<sup>-1</sup> y una fertilización de 70 kg de Nitrógeno y 46 kg de Fósforo por hectárea (Lamas, 2013).

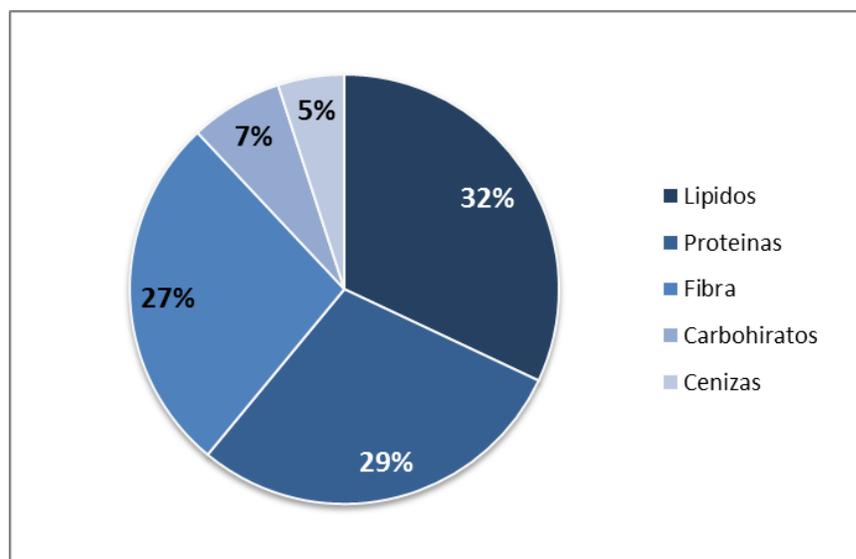
Los rendimientos de grano registrados en Chile también son muy variables. En la zona del Valle de Azapa se han observado rendimientos de 2.285 y 2.468 kg ha<sup>-1</sup>, en plantaciones sembradas el 18 de febrero y 6 marzo, respectivamente. En la localidad de Canchones, región de Tarapacá, se han observado rendimientos de 1.912 y 1.622 kg ha<sup>-1</sup> para cultivos con fecha de siembra 4 de enero y 18 de enero, respectivamente. En los ensayos realizados en la localidad de Las Cruces, provincia de San Antonio, se han registraron los rendimientos más bajos, los que fluctúan entre 113 y 357 kg ha<sup>-1</sup>; siendo la presencia de temperaturas bajo 5 °C durante la etapa de crecimiento reproductivo la principal causa (Baginsky *et al.*, 2014).

De acuerdo a los rendimientos observados en Chile y otros países productores de chía, el norte grande del país posee un futuro promisorio para el establecimiento de sistemas productivos de chía debido a las condiciones climáticas favorables para el cultivo (Baginsky *et al.*, 2014).

### **Información nutricional**

La chía es conocida principalmente como fuente de ácidos grasos omega 3, sin embargo también presenta otros componentes importantes para la nutrición humana (Capitani *et al.*, 2012). Los granos de chía posee cantidades significativamente mayores de proteína, fibra, y grasas, que otros cultivos de importancia económica y alimentaria como el arroz, trigo y

maíz (Ayerza y Coates, 2006). En la figura 18 se presenta la composición química de la semilla de chía y las proporciones de sus macronutrientes (Guiotto *et al.*, 2013).



**Figura 18.** Composición química del grano de chía, en porcentaje de peso seco (Guiotto *et al.*, 2013).

## Lípidos

Los granos de chía poseen entre un 32 y 39% de aceite (Alonso-Calderon *et al.*, 2013). Dentro del total de lípidos, la proporción de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), se encuentran en 9,7; 6,5 y 82,8%, respectivamente. Del total de AGPI, el 22,9% es ácido linoleico, de la serie omega 6 y el 77,1% es ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA) de la serie omega 3 (Ayerza y Coates, 2006).

Esta composición lipídica de la semilla de chía se caracteriza por poseer la mayor concentración de ALA conocida hasta hoy (Cuadro 4). Este valor alcanza el 63,8% del total de aceite presente en la semilla. De esta manera desplaza a especies vegetales como la linaza (57,5%) y especies marinas como el pez Sábalo (29,3%) y algas (34,1%), del sitial que tenían como especies con alta concentración de AGPI omega 3 (Ayerza y Coates, 2006). Cabe citar que el omega 3 de origen marino corresponde a metabolitos del ALA, estos son el ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosaheptaenoico (DHA) (Valenzuela *et al.*, 2011). Sin embargo, el ALA puede ser metabolizado en EPA y mínimamente en DHA, en el cuerpo humano (Morales *et al.*, 2012).

**Cuadro 4.** Proporción de ácidos grasos de las principales fuentes de Omega 3.

Ac. Grasos	AGS	AGMI	Omega 6	Omega 3
Aceite	Ácidos grasos totales (%)			
Sábalo	26,9	24,9	2,2	29,3
Algas	19,5	33,1	2,9	34,1
Chía	9,7	6,5	19,0	63,8
Lino	6,9	19,5	15,0	57,5

Ayerza y Coates (2006).

Dentro de la fracción de aceite, de acuerdo a 25 muestras citadas en la literatura, la chía posee en promedio 61.03% de ácido  $\alpha$ -linolénico, 19.96% de ácido linoleico, 7.45% de ácido oleico, 7.36% ácido palmítico, % 3.24 ácido esteárico (Cuadro 5) (Alvarado, 2011; Ayerza, 1998; Alvarez-Chavez, *et al.*, 2008; Ayerza, 2009; Ayerza y Coates, 2009; Ayerza y Coates, 2004; Ayerza y Coates, 2011; Martínez *et al.*, 2012; Vicente *et al.*, 2013).

**Cuadro 5.** Composición de ácidos grasos de la semilla de chía. Valores promedio de 25 muestras extraídas de la literatura.

Ac. Grasos	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Aceite	Ácidos grasos totales (%)				
Chía	7,36	3,24	7,45	19,96	61,03

(Elaboración propia)

En base a los datos presentados, la semilla de chía posee la mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados (81%), los cuales son considerados esenciales para el ser humano debido a su incapacidad para sintetizarlos, por lo tanto deben ser consumidos en la dieta (Valenzuela *et al.*, 2011).

En relación a los beneficios que tiene el consumo de ácidos grasos poliinsaturados para la salud, actualmente existe una vasta evidencia científica que menciona a los ácidos grasos omega 3 como un importante factor en la prevención de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, mentales, desordenes autoinmunes, y cáncer (Simopoulos, 1991; Simopoulos, 2008; Yan *et al.*, 2013; Calder, 2006; Calder, 2013; Bourre, 2007; Mossaheb *et al.*, 2013).

En sentido apuesto a lo anterior, un análisis bibliográfico de Erazo *et al.* (2014) menciona que existe un aumento en los riesgos de padecer cáncer de próstata en personas con una alta ingesta de ALA. Además, en aquellas personas que ya poseían cáncer, éste se volvió más agresivo, cuando el consumo de ALA aumento.

## Proteínas

La chía tiene entre 19 y 23% de proteínas en su grano (Beltran-Orozco y Romero, 2003) y posee una balanceada cantidad de aminoácidos esenciales (Cuadro 6) (Monroy-Torres *et al.*, 2008). Hasta el momento, no se han encontrado factores nutricionales limitantes en la proteína de chía, por lo tanto pueden ser suministradas en dietas humanas. Un punto importante y contrario a otros cultivos cereales es la ausencia de gluten, una glicoproteína causante de la enfermedad celiaca (Ayerza y Coates, 2006).

A pesar del notable perfil de aminoácidos, Monroy-Torres *et al.* (2008) señalan que el contenido proteico de la chía posee una pobre digestibilidad (79.8%), esto se traduce en que una pequeña parte de la proteína consumida es adsorbida y empleada por el organismo. Por lo tanto el valor biológico de la proteína es deficiente.

**Cuadro 6.** Aminoácidos presentes en harina desgrasada de chía.

Aminoácido	g kg <sup>-1</sup> proteína	
<b><i>Esenciales</i></b>		
Lisina	50	± 0
Triptófano	9,5	± 1
Fenilalanina	51,5	± 1
Tirosina	23	± 0
Metionina	13	± 0
Cisteína	19	± 0
Treonina	39	± 0
Leucina	72	± 0
Isoleucina	33	± 0
Valina	46	± 0
<b><i>No esenciales</i></b>		
Ác. aspártico	102,5	± 1
Ác. glutámico	199,5	± 1
Serina	64,5	± 1
Histidina	25,5	± 1
Arginina	102,5	± 1
Alanina	51	± 0
Prolina	40	± 1

Glicina	59	$\pm 0$
(Vasquez-Ovando <i>et al.</i> , 2013)		

## Fibra

Otra parte importante de la composición química del grano de chía es la fibra dietaria, ya que se encuentra en un 27%, detrás de lípidos y proteínas (Guiotto *et al.*, 2013). La chía es una excelente fuente de fibra, si se compara con especies como soya y maíz (Beltran-Orozco *et al.*, 2005)

Las características de la fibra dietaria de la semilla de chía son: baja capacidad de intercambio catiónico, característica relevante debido que evitara la indisponibilidad de ciertos minerales que son requeridos por el cuerpo humano; y una gran capacidad de retención de agua, la semilla de chía absorbe 16 veces más su peso en agua que la semilla de linaza (Beltran-Orozco *et al.*, 2005). De acuerdo al trabajo de Muñoz (2012), solo el mucilago de la semilla de chía es capaz de absorber 27 veces su peso en agua, sin embargo, cuando se determina la absorción de agua por la semilla entera, este valor decrece a 12 veces.

Dentro de la fibra dietaria total, los granos poseen equilibradamente fibra soluble e insoluble, estas se encuentran en una proporción de 6.16 y 32.8g cada 100g de fibra, respectivamente (Beltran-Orozco *et al.*, 2005). Esta relación de fibra dietaria soluble e insoluble tiene importantes efectos nutricionales y fisiológicos en los consumidores (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008).

La ingesta de fibra tiene reconocidos efectos en la salud de las personas, los suplementos con fibra son recomendados en el tratamiento del síndrome del colon irritable (Singh *et al.*, 2008). Además, los productos ricos en fibra colaboran a reducir el nivel plasmático de colesterol-LDL y glucosa (Aller *et al.*, 2004), ambos factores asociados con la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Islam *et al.*, 2010).

## Antioxidantes

Los granos de chía contiene varios compuestos con potente actividad antioxidante, entre los más importantes se encuentran los compuestos fenólicos simples: ácido clorogénico, ácido cafeico; y los compuestos fenólicos complejos: quercitina, mirecitina y kaempferol, también clasificados como flavonoides. La concentración de compuestos antioxidantes de la chía (Cuadro 7) es comparable con otras frutas ricas en estos compuestos, como el cranberry y granado (González *et al.*, 2010).

La importancia de estos compuestos es que actúan como conservante del aceite, por éste motivo las antiguas civilizaciones podían guardar la harina de chía por largos periodos sin

que esta se enranciara (Di Sapio *et al.*, 2008). Al poseer una mínima oxidación, la chía ofrece un gran potencial para ser usada en la industria alimentaria, debido a que las otras fuentes de omega 3 son inestables y sufren una descomposición rápida por la ausencia de compuestos antioxidantes (Ayerza y Coates, 2006).

**Cuadro 7.** Compuestos antioxidantes presentes en extractos de la semilla de chía.

Compuesto	Concentración Peso Molecular en g kg <sup>-1</sup> de semilla de chía
I.- No Hidrolizados	
Flavonoles	
Ácidos cinámicos	
Ac. Caféico	6,6 x 10 <sup>-3</sup>
II.- Hidrolizados	
Flavonoles	
Quercitina	0,2 x 10 <sup>-3</sup>
Mirecitina	3,1 x 10 <sup>-3</sup>
Kaempferol	1,1 x 10 <sup>-3</sup>
Ácidos cinámicos	
Ac. Cafeico	13,5 x 10 <sup>-3</sup>

(Taga *et al.*, 1984)

En cuanto a los beneficios para la salud, estudios epidemiológicos indican que la ingesta de alimentos ricos en antioxidantes puede prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías (Martinez-Flores *et al.*, 2002; García *et al.*, 2012; La Vecchia *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2012)

### Uso comercial

En el periodo prehispánico los usos de *Salvia hispanica* L. fueron diversos, prácticamente todas las partes de la planta fueron usadas para distintos fines (Cahill, 2003). En la actualidad, la chía es utilizada como ingrediente de productos para alimentación humana. En países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Latinoamérica se utiliza la semilla de chía para confeccionar pan, cereales, galletas, barras de granola (Iglesias, 2013) y bebidas (Kummer and Phillips, 2012). Debido a la gran cantidad de estudios que avalan las características nutricionales de la chía, la autoridad europea de seguridad alimentaria emitió un dictamen sobre la inocuidad de las semillas enteras y trituradas, además autorizó el uso en productos de panaderías con un contenido máximo de 5% (EFSA, 2009). A nivel nacional, la semilla de chía está distribuida en supermercados, de forma envasada, a granel y en diversos productos de panadería. También se comercializa como producto nutracéutico, formulado en capsulas de aceite.

En la industria de la producción animal, la chía es usada como alimentación para gallinas ponedoras, con la finalidad de enriquecer el huevo con ácidos grasos omega 3 (Ayerza and Coates, 2001). Según Ayerza y Coates (2000), al agregar dosis de chía en la dieta de gallinas “white leghorn” y gallinas híbridas rojas, aumenta el nivel de omega 3, ácidos grasos poliinsaturados y decrece el nivel de colesterol en los huevos tratados, en comparación con los huevos control.

Después del éxito observado en gallinas ponedoras, cuando se le suministra chía en su dieta, Ayerza y Coates (2006a) estudiaron la adición de chía en la dieta de vacas lactantes raza Holstein, ellos concluyeron que en la leche evaluada, las concentraciones de omega 3 y omega 6 aumentaron. Sin embargo los resultados no son muy prometedores y promueven más estudios al respecto, orientados en la encapsulación de la chía, para determinar el verdadero potencial que puede tener la semilla en la alimentación de vacas lecheras y rumiantes en general.

Otros usos documentados son el extracto de hojas para la elaboración de compuestos con actividad insecticida (Pascual *et al.*, 1997). Además, Giannouli and Kintzios (2010) agregan que el follaje es una excelente fuente de monoterpenos y sesquiterpenos, ambos aceites esenciales que podrían ser usados como saborizantes, fragancias y medicina.

## CONCLUSIONES

Luego de la realización de la presente monografía, se puede señalar que los distintos aspectos de la biología de *Salvia hispanica* L. abordados en este trabajo han tenido una disímil oferta de información. Si bien la revisión y análisis de la información fue exhaustiva, las publicaciones y trabajos disponibles no han logrado que todos los capítulos planteados se traten con la profundidad esperada. Las conclusiones de los capítulos por separado se presentan a continuación:

- Citogenética: el conocimiento citogenético se inicia con el estudio del cariotipo, el cual en chía comenzó al término de la década de los ochenta y se sigue replicando hasta la actualidad. En este sentido, con la bibliografía disponible se obtuvo una correcta revisión bibliográfica y análisis de la información. Sin embargo, no se encontraron estudios que abordaran técnicas citogenéticas modernas.
- Descripción morfoanatómica: la bibliografía disponible para su realización fue escasa, pero se logró tratar con gran profundidad. Sin embargo, cabe mencionar que la diversidad genética de la chía determina que existan diferencias morfológicas entre poblaciones de chía silvestre, domesticada y entre distintas procedencias de chía domesticada, las cuales solo son mencionadas.
- Taxonomía: por la naturaleza de este capítulo, se logró el objetivo de clasificar taxonómicamente la chía de acuerdo al sistema de clasificación más moderno y consensuado por los científicos, el APG.
- Fisiología: si bien este capítulo logra obtener los parámetros fisiológicos planteados, los trabajos que abordan este tópico son solo de origen local y la bibliografía respectiva es escasa. La importancia del conocimiento de estos parámetros radica en determinar la adaptabilidad fisiológica de la chía cuando se somete en ambientes adversos, por ejemplo en condiciones de estrés hídrico.
- Fenología: la información disponible es escasa y de origen nacional, sin embargo fue posible realizarlo de manera suficiente. Es importante destacar que todavía se desconocen parámetros fisiológicos relevantes, como la temperatura base y el intervalo de temperatura de crecimiento propia de la especie. La existencia de estos valores permitirían precisar la predicción de la ocurrencia los estados fenológicos de la chía.

El conocimiento de la biología de la chía es escaso en comparación con otras oleaginosas de importancia económica. Esto ocurre porque, la investigación sobre la chía es reciente, ésta empezó a inicios de la década de los noventa; y los centros de investigación se enfocaron en determinar la composición química de la semilla. En este sentido, la ciencia comenzó por determinar la estabilidad de la producción de aceite presente en el grano, cuando la planta se somete a distintas condiciones edafoclimáticas, aspecto que en la actualidad se encuentra demostrado.

Por lo anterior, corresponde comenzar a estudiar aspectos de la biología y de la agronomía de la chía, con la finalidad crear sistemas productivos capaces de: minimizar factores ambientales adversos para la especie, con la finalidad de ampliar las zonas con potencial de establecimiento; obtener altos y sostenidos rendimientos de grano, competentes con una producción rentable; y ser sustentables con el medioambiente.

Finalmente, la presente monografía ha recopilado y analizado todas las fuentes de información disponible, a nivel nacional e internacional, para otorgar a la comunidad científica y técnica un documento el cual pueda ser consultado con la finalidad de conocer el estado del arte de la biología de *Salvia hispanica* L.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, C.; M. Sanso and C. Xifreda. 2003. Chromosomal studies in species of *Salvia* (Lamiaceae) from Argentina. Botanical Journal of the Linnean Society 141(4): 483-490.
- Alfaro, F. y H. Silva. 2013. Determinación de umbrales de respuestas fisiológicas e identificación de mecanismos de tolerancia al déficit hídrico en cuatro accesiones de Chía (*Salvia hispanica* L.). [En línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: <http://chia.uchile.cl/docs/estudios/Francisco%20Alfaro%20y%20Herman%20Silva.pdf> Consultado el: 10 de diciembre de 2014.
- Alister, S.; C. Baginsky y H. Silva. 2014. Efecto de la disponibilidad de agua en el crecimiento de la chía (*Salvia hispanica* L.). (pp. 55). En: Congreso de la Sociedad Agronómica de Chile (65°, 27 a 29 de octubre de 2014, Santiago, Chile). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 166p.
- Alister, S.; M. Quezada; C. Baginsky; L. Morales y H. Silva. 2013. Respuestas fisiológicas de plantas de chía (*Salvia hispanica* L.) al déficit hídrico de plantas durante la fase de crecimiento vegetativo. (pp. 95). En: Congreso sociedad agronómica de Chile (64°, 23, 24, 25 y 26 de septiembre 2013, Viña del Mar, Chile) y XXII Congreso Chileno de fitopatología. Libro de resúmenes. Eds. Besoain, X.; M. Castro; G. Flores y C. Torres. Viña del Mar, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 283p.
- Aller, R.; D. Antonio de Luis; O. Izaola; F. La Calle; L. Del Olmo; L. Fernandez. *et. al.* 2004. Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose level in healthy subjects: a randomized clinical trial. Diabetes Research and Clinical Practice 65: 7–11.
- Alonso-Calderon, A.; E. Chavez-Bravo; A. Rivera; C. Montalvo-Paquini; R. Arroyo-Tapia; M. Monterrosas-Santamaria. *et. al.* 2013. Characterization of black chia seed (*Salvia hispanica* L) and oil and quantification of  $\beta$ -sitosterol. International Research Journal of Biological Sciences 2(1): 70-72.
- Alvarado, D. 2011. Caracterización de la semilla del Chan (*Salvia hispanica* L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Revista 23 de la Universidad de Guatemala 2011: 43 – 49.
- Álvarez-Chávez, L.; M. Valdivia-López; M. Aburto-Juárez and A. Tecante. 2008. Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). International Journal of Food Properties 11: 687–697.

Alvario, S. 2013. Estudio de adaptabilidad y densidades de siembra del cultivo de chíá (*Salvia hispanica*), en la zona de Babahoyo, provincial de los Ríos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Babahoyo, Ecuador: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad técnica de Babahoyo. 44p.

APG (The Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Botanical Journal of the Linnean Society 161: 105-121.

APG (The Angiosperm Phylogeny Group). 1998. An ordinal classification for the families of flowering plants. Annals of the Missouri botanical garden 85(4): 531-553.

Arenas, J.; C. Baginsky; H. Escobar; C. Valenzuela; L. Morales y H. Silva. 2013. Cultivo de la chíá (*Salvia hispanica* L.) en la pampa del Tamarugal. (pp. 50). *En: Congreso sociedad agronómica de Chile (64°, 23, 24, 25 y 26 de septiembre 2013, Viña del Mar, Chile) y XXII Congreso Chileno de fitopatología. Libro de resúmenes. Eds. Besoain, X.; M. Castro; G. Flores y C. Torres. Viña del Mar, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 283p.*

Ayerza, R. 2009. The seeds protein and oil content, fatty acid composition, and growing cycle length of a single genotype of chíá (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental factors. Journal of Oleo Science 58(7): 347-354.

Ayerza, R. 2013. Seed composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes wich differ in seed color. Emirates Journal of Food and Agricultural 25(7): 495-500.

Ayerza, R. and W. Coates. 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: 1366-1371.

Ayerza, R. and W. Coates. 2009. Some quality components of four Chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes grown under tropical coastal desert ecosystem conditions. Asian Journal of Plant Sciences 8 (4): 301 – 307.

Ayerza, R. and W. Coates. 2008. Chia seeds and the Columbus concept: Bakery and Animal product. (Cap. 26, pp. 377-392). *In: Mester, F. and Watson, R. Wild-type food in health promotion and disease prevention. 1a. ed. New Yersey, Estados Unidos: Human Press. 571p.*

Ayerza, R. y W. Coates. 2006. El renacimiento de la chíá (Cap. 4, pp.91-114). *En su: Chíá, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. 1a. ed. Buenos Aires, Argentina: Del Nuevo Extremo. 205p.*

- Ayerza, R. and W. Coates. 2006a. Influence of chia on total fat, cholesterol, and fatty acid profile of holstein cow's milk. Revista científica de Universidad de ciencias empresariales y sociales 10(2): 1-10.
- Ayerza, R. and W. Coates. 2004. Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. Tropical Science 44: 131 – 135.
- Ayerza, R. and W. Coates. 2001. Omega-3 enriched eggs: the influence of dietary a-linolenic fatty acid source on egg production and composition. Canadian Journal of Animal Science 355-362.
- Ayerza, R. and W. Coates. 2000. Dietary levels of chia: influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens. Poultry Science 79: 724-739.
- Ayerza, R. and W. Coates. 1996. Production potential of chia in northwestern Argentina. Industrial Crops and Products 5: 229-233.
- Badeck, F.; A. Bandeau; K. Böttcher; D. Doktor; W. Lucht; J. Schaber. *et. al.* 2004. Responses of spring phenology to climate change. New Phytologist 162: 295-309.
- Baginsky, C.; J. Arenas, H. Escobar, M. Garrido, N. Valero, D. Tello, L. Pizarro, L. Morales, H. Silva. 2014. Determinación de fecha de siembra óptima de chíá en zonas de clima desértico (Anexo I, 15p.). *En su*: Proyecto Fondecyt: Effect of soil and climatic conditions in the physiology and metabolism secondary in *Salvia hispanica* L., natural source of omega 3 fatty acids (Inf. Téc. 2013). Chile: Fondecyt (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica).
- Baginsky, C.; S. Alister; G. Morales; F. Alfaro y H. Silva. 2014a. Efecto de la densidad de plantas en el rendimiento y crecimiento de chíá (*Salvia hispanica* L.). (p. 58). *En*: Congreso de la Sociedad Agronómica de Chile (65°, 27 a 29 de octubre de 2014, Santiago, Chile). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 166p.
- Bang, H.; J. Dyerberg and H. Sinclair. 1980. The composition of the Eskimo food in north western Greenland. The American Journal of Clinical Nutrition 33: 2647 – 2661.
- Batalla, J. 2010. La importancia del código Tudela y la escasa validez del Código Magliabechiano para el estudio de la religión azteca: el mal llamado Grupo Magliabechiano. Anales del museo de América 18: 7-27.
- Beltran-Orozco, C. y M. Romero. 2003. La chíá, alimento milenario. Revista industria alimentaria 1-26.

Beltran-Orozco, M.; M. Salgado y D. Cedillo. 2005. Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de Chía (*Salvia hispanica* L.) y de la fibra dietaria obtenida de la misma. Revista Salud Pública y Nutrición 13: 1-6.

Benavides, A.; R. Hernandez; H. Ramirez y A. Sandoval. 2010. Plantas útiles sin fines alimentarios: plantas utilizadas como especias y sustancias aromáticas (Cap. 3, pp 1 – 44). *En su*: Tratado de botánica económica moderna. Buena vista, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 332p.

Benavides, S. y M. Bergez. 2012. Anatomía del tejido fotosintético de cuatro accesiones de Chía (*Salvia hispanica* L.). [En línea] Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Recuperado en: <http://chia.uchile.cl/docs/estudios/Stephan%20Benavides%20y%20Makarena%20Bergez.pdf> Consultado el: 23 de junio de 2014.

Bendaña G. 2012. Cultivos de alto valor nutritivo, no tradicionales y en las zonas secas y con potencial agroindustrial. (Cap. 13, pp. 138 – 142). *En su*: Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Managua, Nicaragua: ACF (Acción contra el Hambre), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y ECHO (Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea). 288p.

Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research 112: 119–123.

Bourre, J. 2007. Dietary omega-3 fatty acids for women. Biomedicine and Pharmacotherapy 61: 105-112.

Bremer, K.; A. Backlund; B. Sennbald; U. Swenson; K. Andreasen; M. Hjertson. *et. al.* 2001. A phylogenetic analysis of 100+ genera and 50+ families of euasterids based on morphological and molecular data with notes on possible higher level morphological synapomorphies. Plant Systematics and Evolution 229: 137-169.

Bueno, M.; O. Di Sapiro; M. Barolo; H. Busilacchi; M. Quiroga y M. Severin. 2010. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 221-227p.

Busilacchi, H.; M. Quiroga; M. Bueno; O. Di Sapiro; V. Flores y C. Severin. 2013. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (Argentina). Cultivos Tropicales 34(4): 55-59.

Calder, P. 2013. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? British Journal of Clinical Pharmacology 75(3): 645 – 662.

Calder, P. 2006. Long-chain polyunsaturated fatty acids and inflammation. Scandinavian Journal of Food and Nutrition 50(2): 54-61.

Cahill, J. 2005. Human selection and domestication of chia (*Salvia hispanica* L.). Journal of Ethnobiology 25(2): 155-174.

Cahill, J. 2004. Genetic diversity among varieties of chía (*Salvia hispanica* L.). Genetic Resources and Crop Evolution 51: 773-781.

Cahill, J. 2003. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). Economic Botany 57(4): 604–618.

Cantino, P. and K. de Queiroz. 2010. Phylocode. [En línea]. Ohio, Estados Unidos: Ohio University. Recuperado en: <http://www.ohio.edu/phylocode/> Consultado el: 17 de diciembre de 2013.

Capitani, M.; V. Spotorno; S. Nolasco and M. Tomas. 2012. Physicochemical and functional characterization of by-products from chía (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. Food Science and Technology 45(2012): 94-102.

Carrasco, D.; E. Cordeu; M. De la Garza; P. Van der Loo; A Lopez; J. Ossio. et. al. 1997. Culture e religioni indigene in america centrale e meridionale. Milano, Italia: Jaca book spa. 291p.

Carrero, J.; E. Martín-Bautista; L. Baró; J. Fonollá; J. Jimenez; J. Boza y E. López-Huertas. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. Nutrición Hospitalaria 20(1): 63 – 69.

Casas, A. y J. Caballero. 1995. Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. Revista Ciencias (40): 36 - 44.

Casierra-Posada, F.; O. Avila-Leon y D. Riascos-Ortiz. 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. Temas Agrarios 17(1): 60 – 71.

Castrillo, M.; D. Vizcaino; E. Moreno and Z. Latorraca. 2001. Chlorophyll content in some cultivated and wild species of the family *Lamiaceae*. Biology Plantarum 44(3): 423 – 425.

Chediack, D. 2014. La semilla de chía debe ser de la mejor calidad. [En línea]. Recuperado en: <http://www.lagaceta.com.ar/nota/575996/economia/semilla-chia-debe-ser-mejor-calidad.html>. Consultado el: 12 de agosto de 2014.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Conceptos generales: características generales del desarrollo de la planta de frijol (Cap. 1, pp. 6-9). *En su*: Guía

de estudio: etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 50h.

Coates, W. 2011. Whole and ground chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, chía oil e effects on plasma lipids and fatty acids. (Cap. 37, pp. 309 – 315). *In*: Preedy, V.; R. Watson and V. Patel (Eds.). Nuts and seeds in health and disease prevention. Londres, Gran Bretaña: Academic press 1226p.

Coates, W. and R. Ayerza. 1998. Commercial production of chia in northwestern Argentina. Journal of the American oil chemists' society 75: 1417-1420.

Condon, A.; R. Richards and G. Farquhar. 1990. Genotypic variation carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange whole plant studies. Australian Journal Plant Physiology 17:9-22.

Cordero, S. 2003. Plantas de metabolismo fotosintético C3, C4 y CAM. Spin cero 7: 121 – 128.

Corell, M.; M. Garcia; F. Ortega y P. Cermeño. 2009. Estrategias de aclimatación a situaciones de déficit hídrico en Salvias. (pp. 764 – 767). *En*: Congreso Ibérico De Ciencias Hortícolas. Congreso Nacional De Ciencias Hortícolas (6<sup>to</sup> y 12<sup>mo</sup>, 25 a 29 de mayo de 2009, Logroño, España). Eds. Pardo, A.; M. Saso y N. Vasquez. Logroño, España: SECH. 54v., 1081p.

Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, Estados Unidos: Columbia University press. 1262p.

De Kartzow, A. 2013. Estudio de pre factibilidad técnico - económica del cultivo de Chía (*Salvia hispanica* L.) en Chile. Informe Técnico. Universidad Católica de Valparaíso. 103p.

Delatorre, J. 2014. Efecto del estrés hídrico de la fotosíntesis. [En línea]. Iquique, Chile: FAO. Recuperado en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro05/cap4.htm#Top> consultado el: 25 de marzo de 2014.

Di Sapia, O.; M. Bueno; H. Busilacchi; M. Quiroga y C. Severin. 2012. Caracterización Morfoanatómica de Hoja, Tallo, Fruto y Semilla de *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 11 (3): 249 – 268.

Di Sapia, O.; M. Bueno; H. Busilacchi y C. Severin. 2008. Chía: importante antioxidante vegetal. Agromensajes 56: 11-13.

Duarte, R. y F. Lopes. 2005. Morfoanatomía foliar e caulinar de *Leonurus sibiricus* L., *Lamiaceae*. Acta farmacéutica Bonaerense 24(1): 68-74.

Dweck, A. 2005. The folklore and cosmetic use of various salvia species. (Cap. 1, pp.1-26). In: Kintzios, S. (ed.). Sage: The genus *Salvia*. Atenas. Grecia: Harwood Academic Publisher. 14v, 299p.

EFSA (European food safety authority). 2009. Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from the European Commission on the safety of 'chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole chia seed' as a food ingredient. The EFSA Journal 996: 1–2.

Erazo, M.; J. Gromaz; K. Dominguez; R. Carrasco; N. Valls; M. Libuy. *et. al.* 2014. Ácido alfa linolenico y sus efectos en salud: análisis de la evidencia básica, clínica y epidemiológica. Informe Técnico. Facultad de medicina: Universidad de Chile. 160p.

Estilai, A.; A. Hashemi and K. Truman. 1990. Chromosome number and meiotic behavior of cultivated chia, *Salvia hispanica* (*Lamiaceae*). Hort Science 25(12): 1646-1647.

FAO (Food and Agriculture Organization), Italia. 2010. El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas. (Capítulo 4, pp. 73-98). *En su*: Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. [En línea]. Roma, Italia. 241p. Recuperado en: <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf>. Consultado el: 15 de Marzo de 2014.

Farquhar, G. and R. Richards. 1984. Isotopic composition of plant correlates with water use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal Plant Physiology 11:539 – 552.

Fernald, M. 1907. Diagnosis of new spermatophytes from México. Proceedings of the American academy of arts and sciences 43(2): 61-68.

Fernandez-Alonso, J. y O. Rivera-Díaz. 2006. Las labiadas. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias, Universidad nacional de Colombia. 679p.

Figuerola, F.; O. Muñoz y A. Estevez. 2008. La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. Agro Sur 36(2): 49-58.

FIS (Fish information and services). 2012. Global omega 3 (EPA/DHA) ingredients market - industry analysis, market size, share, growth and forecast, 2010 – 2018. [En línea]. Recuperado en: <http://fis.com/fis/worldnews/worldnews.asp?monthyear=10-2012&day=30&id=56481&l=s&country=&special=&ndb=1&df=1> Consultado el: 14 de junio de 2013.

García, B.; A. Saldaña; L. Saldaña. 2012. El estrés oxidativo y los antioxidantes en la prevención del cáncer. Revista Habanera de Ciencias Médicas 12(2): 187-196.

Garner, W. and H. Allard. 1920. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. J. Agric. Res. 18: 553–607.

- Gonzalez, F.; M. Beltran-Orozco and M. Vargas. 2010. The antioxidant capacity and phenolic content of chia's (*Salvia hispanica* L.) integral seed and oil. Journal of Biotechnology 150: 315 - 315.
- Guiannouli, A. and S. Kintzios. 2010. Chemical constituent: essential oils of *Salvia* spp: examples of intraspecific and seasonal variation. (Cap. 3, pp. 69-80). *In*: Kintzios, S (ed.). Sage: The genus *Salvia*. Atenas, Grecia: Harwood Academic Publisher. 14v, 299p.
- Gutierrez-Rosati, A. 2004. Información biomorfológica de la “chía” *Salvia hispanica* L. Informe interno, Universidad nacional agraria La Molina: [s.n.]. 14p.
- Guiotto, E.; T. Ixtaina; M. Tomas and S. Nolasco. 2013. Moisture-dependent engineering properties of chía (*Salvia hispanica* L.) seeds. (Cap. 17, pp. 385 – 397). *In*: Muzzalupo, I. (ed.). Food industry. Argentina: Intech. 748p.
- Guo, P. and M. Li. 1996. Studies on photosynthetic characteristics in rice hybrid progenies and their parents. I. Chlorophyll content, chlorophyll-protein complex and chlorophyll fluorescence kinetics. Journal of Tropical and Subtropical Botany 4(4): 60-65.
- Haque, S. and K. Ghoshal. 1981. Floral biology and breeding system in the genus *Salvia* L. Proceeding of the Indian National Science Academy 47(5): 716-724.
- Haque, S. 1981. Chromosome numbers in the genus *Salvia* Linn. Proceeding of the Indian National Science Academy 47(3): 419-426.
- Harley, M.; S. Atkins; A. Budantsev; P. Cantino; B. Conn; R. Grayer. *et. al.* 2004. Labiatae. The Families and Genera of Vascular Plants 7: 167-275.
- Hernandez, J. 2008. Caracterización morfológica, contenido de ADN nuclear y cruzamiento natural en la Chía (*Salvia hispanica* L.). Tesis Doctoral en Ciencias. Montecillo, México: Instituto de enseñanzas e investigación agrícola, colegio de postgraduados. 123h.
- Hernandez, J. y S. Miranda. 2008. Caracterización morfológica de la Chía (*Salvia hispanica* L.). Rev. Fitotec. Mex. 31(2): 105 – 113.
- Hernandez, R y J. Herrerias. 2004. Evolución de la tecnología hidro-agro-ecológica mesoamericana desde su origen prehistórico. Alternativas y procesos de Participación Social A.C. Tijuana, México. 9p.
- Hernández-Gomez, J.; S. Miranda-Colín y A. Peña-Lomelí. 2008. Cruzamiento natural de chía (*Salvia hispanica* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 14(3): 331-337.

Heuer, B.; Z. Yaniv and I. Ravina. 2002. Effect of late salinization of chia (*Salvia hispanica*), stock (*Matthiola tricuspidata*) and evening primrose (*Oenothera biennis*) on their oil content and quality. Industrial Crops and Products 15: 163-167.

Hildebrand, D.; W. Jamboonsri and T. Phillips. 2012. Early flowering chia and uses thereof. University of Kentucky research foundation. US 20130007909 A1. 800/276; 800/298; 435/419. Estados Unidos: University of Kentucky. 30 de octubre de 2009. 12p.

Idarriaga, A.; R. Ortiz; R. Callejas y M. Merello (Eds.). 2011. Listado de las plantas vasculares del departamento de Antioquia (Cap. 3, pp. 127 – 551). *En su*: Flora de Antioquia: catálogo de las plantas vasculares. Bogotá, Colombia: D´Vinni. 2v., 551p. (Serie biodiversidad y recursos naturales).

Iglesias, E. 2013. Mejora del valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chía (*Salvia hispanica* L.). Tesis Master en ciencias e ingeniería de los alimentos. Valencia, España: Universidad politécnica de Valencia. 21h.

Islam, K.; A. Kumar; H. Mahmud; M. Ferdous; J. Shefa and M. Salman. 2010. Dietary fibre intake and influences on risk factors reduction in coronary heart disease patient. Bangladesh Journal Medicine 21: 96-100.

Jamboonsri, W.; T. Phillips; R. Geneve; J. Cahill and D. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L. a new w3 source. Genet. Resour. Crop. Evol. 59: 171 – 178.

J.C.R (Journal citation reports). 2013. Journals in the 2013 release of JCR. Estados Unidos: [s.l.]. 301p.

Katz, J.; J. Norris; L. Shipman; M. Thurneauer and M. Wasielewski. 1978. Chlorophyll function in the photosynthetic reaction center. Annual review of biophysics and bioengineering 7: 393 – 434.

Kharazian, N. 2011. Karyotypic study of some *Salvia Lamiaceae* species from Iran. Journal of applied biological sciences 5(3): 21-25.

Kummer, C. and T. Phillips. 2012. Chia. Kentucky, Estados Unidos: Coperative extensión service, Universidad de Kentucky. 3p.

Lacadena, J. 1996. Introducción: Aspectos históricos y conceptuales de la citogenética. (Cap. 1). *En su*: Citogenética. Madrid, España: Complutense. 938h.

La Vecchia, C.; A. Decarli; M. Serafini; M. Parpinel; R. Bellocco; C. Galeone. *et. al.* 2013. Dietary total antioxidant capacity and colorectal cancer: a large case–control study in Italy. International Journal of Cáncer 133: 1447-1452.

- Lamas, M. La chía, un cultivo muy rentable. *El economista*. [En línea]. México. 19 de Marzo de 2013. Recuperado en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/03/19/chia-cultivo-muy-rentable>. Consultado el: 23 de diciembre de 2013.
- Lassaigue, T.; S. Warren; F. Blazich and T. Ranney. 2007. Day/Night Temperature Affects Growth and Photosynthesis of Cultivated *Salvia Taxa*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132(4):492–500.
- Leegood, R.C. 1993. Carbon Dioxide Concentrating Mechanisms. (Cap. 3, pp 42-72). In: P.J. Lea and R.C. Leegood (Eds.). *Plant Biochemistry and Molecular Biology*. Chichester, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd. 312p.
- Levan, A.; K. Fredga and A. Sandburg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52: 201-220.
- Li, R.; P. Guo; B. Michael; S. Grand and S. Ceccarelli. 2006. Evaluation of content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China* 5(10): 751-757.
- Linnaeus, C. 1753. *Species plantarum*. [En línea]. Suecia: Impenses G. C. Nauk.lt., 560p. Recuperado en: <http://www.botanicus.org/title/b12069590>. Consultado el: 23 de diciembre de 2013.
- Lipiante, J. 2007. Guía para la elaboración de la monografía. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires. 8p.
- Llorrent-Martinez, E.; M. Fernandez-de Cordova; P. Ortega-Barrales and A. Ruiz-Medina. 2013. Characterization and comparison of the chemical composition of exotic superfoods. *Microchemical Journal* 110(2013): 444-451.
- Lobo, R. 2012. Apuntan al desarrollo agronómico de la chía como una alternativa de diversificación. [En línea]. Tucumán, Argentina: La Gaceta. Recuperado en: <http://www.lagaceta.com.ar/nota/479373/apuntan-al-desarrollo-agronomico-chia-como-alternativa-diversificacion.html>. Consultado el: 20 de septiembre de 2013.
- Lobo, R.; G. Alcocer; J. Fuentes; W. Rodriguez; M. Morandini y M. Devani. 2011. Desarrollo del cultivo de chía en Tucumán, República Argentina. *Avance Agroindustrial* 32 (4): 27 – 30.
- Manero, D. 2002. Morfología cromosómica – Cariotipo. (Cap. 2, pp. 18-25). *En su: Genética: Compendio didáctico de ocho temas básicos*. Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad nacional de Córdoba. 54p.

- Mantovani, M.; A. Ruschel; M. Sedrez Dos Reis; A. Puchalski y R. Nodari. 2003. Fenología reproductiva de especies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. R. Árvore, Vicosa 27(4): 451-458.
- Martinez, M.; M. Marin; C. Salgado; J. Revol; M. Penci and P. Ribotta. 2012. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. Food Science and Technology 47(2012): 78-82.
- Martinez-Flores, S.; J. Gonzalez-Gallego; J. Culebras y M. Tuñón. 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición hospitalaria 17(6): 271-278.
- Martínez-Gordillo, M.; I. Fragoso-Martínez; M. García-Peña y O. Montiel. 2013. Géneros de Lamiaceae de México, diversidad y endemismo. Revista Mexicana de Biodiversidad 84: 30-86.
- Marzocca, A. 1985. El sistema de clasificación vegetal. (Cap. 1, pp, 7-48). *En su: Nociones básicas de taxonomía vegetal*. San José, Costa Rica: IICA. 272p. (Serie de libros y materiales educativos/IICA; n. 62)
- McDade, L.; D. Thomas; K. Carriel and B. Agneta. 2012. Phylogenetic placement, delimitation, and relationships among genera of the enigmatic Nelsonioideae (Lamiales: Acanthaceae). Taxon 61(3): 637-651.
- McNeill, C.; F. Barrie; W. Buck; V. Demoulin; W. Reuter; D. Hawksworth. *et. al.* 2011. International code of nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne code). [En línea]. Melbourne, Australia: International association for plant taxonomy. Recuperado en: <http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php>. Consultado el: 17 de diciembre de 2013.
- Medina, E. y H. Lieth. 1963. Contenido de clorofila de algunas asociaciones vegetales de Europa central y su relación con la productividad. Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles 9(3): 217 – 229.
- Mercado, P.; T. Ramamoorthy and G. Palomino. 1989. Karyotypes of five mexican species of *Salvia* subgenus *calosphace* (Lamiaceae). Cytology 54: 605-608.
- Miranda, F. 2012. Guía Técnica para el manejo del cultivo de Chía en Nicaragua. Sebaco, Nicaragua: [S.N.]. 14p.
- Moccaldi, L. and E. Runkle. 2007. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 132(3): 283-288.
- Monroy-Torres, R.; M. Mancilla-Escobar; J. Gallaga-Solorzano; S. Medina-Godoy y E. Santiago-García. 2008. Protein digestibility of chia seed *Salvia hispanica* L. Revista salud pública y nutrición 8(1): 1-9.

- Morales, J.; R. Valenzuela; D. González; M. González; G. Tapia; J. Sanhueza. *et. al.* 2012. Nuevas Fuentes dietarias de ácido alfa-linolenico: una visión crítica. Revista Chilena de Nutricion 39(3): 79 – 87.
- Mossaheb, N.; M. Schafer; M. Schlogelhofer; C. Klier; S. Cotton; P. McGorry. *et. al.* 2013. Effect of omega-3 fatty acids for indicated prevention of young patients at risk for psychosis: When do they begin to be effective? Schizophrenia research 148(1-3): 163-167.
- Muñoz, L. 2012. Mucilage from chia seeds (*Salvia hispanica*): microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry. Tesis Doctoral en ciencias de la ingeniería. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 146h.
- Novoa, C.; C. Monti y C. Vizcaino. 2005. Anatomía y etnobotánica de cuatro especies de *Labiatae* de la provincia biogeográfica Pampeana, usadas en la medicina popular. Acta farmacéutica Bonaerense 24(4): 512-520.
- Orozco, G. 1993. Evaluación de herbicidas para el control de malezas en chíá (*Salvia hispanica* L.) en condiciones de temporal, en Acatic, Jal. Tesis Ingeniero Agrónomo. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. 92h.
- Ortiz de Montellano, B. 1993. Población y capacidad de carga de la cuenca de México. (Cap. 3, pp. 92-121). *En su: Medicina, salud y nutrición aztecas.* México: Siglo XXI. 346p.
- Ozkan, M. 2006. Karyotype analysis on two endemic *Salvia* L. (*Lamiaceae*) species in turkey. International Journal of Botany 2(3): 333-335.
- Palma, C. y C. Inostroza. 2012. Caracterización citogenética de cuatro procedencias de chíá. [En línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: <http://chia.uchile.cl/docs/estudios/Claudio%20Palma%20y%20Carolina%20Hinostrza.pdf> Consultado el: 17 de abril de 2012.
- Palma-Rojas, C.; B. Carrasco; H. Silva and H. Silva-Robledo. 2013. Genetic, cytological, phenotypic and molecular characterization of chíá (*Salvia hispanica* L.) for its use as an industrial crop. *En: Silva, H. 2013, Marzo. Effect of soil and climatic conditions in the physiology and metabolism secondary in Salvia hispanica L. natural source of omega 3 fatty acids.* Conycit. Santiago, Chile. 18h.
- Panagiotopoulos, E.; C. Kapetanios; M. Skapeti; C. Cholevas; J. Drossopoulos; M. Loukas. *et. al.* 2010. The Ecophysiology of *Salvia*: Disorders and Adaptation. (Cap. 9, pp. 122 – 134). *In: Kintzios, S (ed.). Sage: The genus Salvia.* Atenas. Grecia: Harwood Academic Publisher. 14v, 299p.

Paredes-López, O.; F. Guevara y L. Bello. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. México: Fondo de cultura económica. 197p. (Colección la ciencia para todos)

Parrish, D. y J. Fike. 2007. The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. Critical Reviews in Plant Sciences 24: 423-459.

Pascual, M.; E. Correal; E. Molina; J. Martinez; E. Lopez y F. Aguirre. 1997. Evaluación y selección de especies vegetales productoras de compuestos naturales con actividad insecticida. 6p.

Peiretti, P y F. Gai. 2009. Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. Animal Feed Science and Technology 148: 267–275.

Poggio, N. y Naranjo, C. 2004. Citogenética. (Cap. 5, pp. 69-79). *En su*: Biotecnología y mejoramiento vegetal. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA. 466p.

Pozo, S. 2010. Alternativas para el control químico de malezas anuales en el cultivo de la chíá (*Salvia hispanica*) en la granja ECAA, provincia de Imbabura. Tesis Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, Ecuador: Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales E.C.A.A.: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 113h.

PROECUADOR (Instituto de promoción de exportaciones e inversiones). 2014. Agroindustria. [En línea]. Ecuador. Recuperado en: <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/agroindustria/>. Consultado el: 1 de abril de 2014.

PURECHIA. 2013. Growing regions: the right seed for the right region in the right soil. [En línea]. Colombia. Recuperado en: <http://purechia.co/corporate/growing-regions/>. Consultado el: 17 de diciembre de 2013.

Ramamoorthy, T. 1985. Flora fanerogámica descriptiva: *Salvia* L. (Cap. 2, pp. 632-644). *En*: Calderon, G. y J. Rzedowski. 2010. Flora fanerogámica del valle de Mexico. Michoacan: Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1406p.

Rapini, A. 2009. Sistemática vegetal: embriofitas. [En línea]. Brasil: Universidad estadual de Feira de Santana. Recuperado en: <http://www.freewebs.com/rapinidep/embriofitas/aulas.htm> consultado el: 17 de diciembre de 2013.

Raven, P.; R. Evert and S. Eichborn. 1992. La evolución de las plantas con flores: el origen de las angiospermas (Cap. 29, pp. 584-589). *En su*: Biología de las plantas. Barcelona, España: Reverte. 2t., 777p.

- Raya-Pérez, J.; C. Aguirre-Mancilla; K. Gil-Vega y J. Simpson. 2010. La domesticación de plantas en México: comparación de la forma cultivada y silvestre de *Byrsonima crasifolia* (Malpighiaceae). Revista Polibotanica (30): 239 – 256.
- Reyes-Caudillo, E.; A. Tecante y M. Valdivia-Lopez. 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. Food Chemistry 107: 656-663.
- Rosua, J. and G. Blanca. 1986. Revisión del género *Salvia* L. (Lamiaceae) en el Mediterráneo Occidental: la sección *Salvia*. Acta Botánica Malacitana 11: 227:272.
- Rovati, A., E. Escobar y C. Prado. 2012. Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.). Avance Agroindustrial 33 (3):39-43
- Sandoval, M. 2012. Aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de chía (*Salvia hispanica* L.). Tesis de magister en ciencia y tecnología de los alimentos. Querétaro, México: Facultad de Química: Universidad autónoma de Querétaro. 113h
- SENASA (Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria), Argentina. 2010. Situación de la producción orgánica en la Argentina durante el año 2009. Informe técnico. 24p.
- Sepehry, Z.; F. Rahmani and R. Heidari. 2012. Assessment of genetic variation of genus *Salvia* by RAPD and ISSR markers. Australian Journal of Crop Science 6(6): 1068-1073.
- SERNAPESCA (Servicio nacional de pesca y acuicultura), Chile. 2011. Cuota global anual de captura de jurel, para las unidades de pesquería de la XV - II, III - IV, V - IX Y XIV-X Regiones, Año 2012. Informe técnico. 75p.
- Silva, P.; E. Acevedo y H. Silva. 2000. Manual de estudio y ejercicios. Laboratorio relación suelo-agua-planta, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58p.
- Simopoulos, A. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. American Journal of Clinical Nutrition 54: 438-463.
- Simopoulos, A. 2008. The importance of the omega-3/omega-6 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. Experimental Biology and Medicine 233: 674-688.
- Singh, N.; G. Makharia y K. Joshi. 2008. Dietary survey and total dietary fiber intake in patients with irritable bowel syndrome attending a tertiary referral hospital. Indian journal gastroenterol 27: 66-70.
- Small, E. 2011. Chia - not just a pet. Biodiversity 12(1): 49-56.

- Soltis, D.; P. Soltis; D. Nickrent; L. Johnson; W. Hahn; S. Hoot. *et. al.* 1997. Angiosperm phylogeny inferred from 18s ribosomal DNA sequences. Annals of the Missouri botanical garden 84(1): 1-49.
- Sparks, T.; A. Menzel and N. Stenseth. 2009. European cooperation in plant Phenology introduction. Climate Research 39:175-177.
- Stevens, P. 2001. Angiosperm phylogeny website, version 13. [En línea]. Recuperado en: <http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/welcome.html>. Consultado el: 8 de diciembre de 2013.
- Taga, M.; E. Miller and D. Pratt. 1984. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. Journal of the American Oil Chemist's Society 61(5): 928-931.
- Talora, D. y P. Morellato. 2000. Fenología de especies arbóreas em floresta de planicie litorânea do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Botânica 23: 13-26.
- Tello, D. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chía blanca (*Salvia hispanica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 33h.
- Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1997. Photoperiodic control of flower initiation. (Cap. 1, pp. 1-28). En su: Photoperiodism in plants. 2a. ed. California, Estados Unidos: Academic press. 415p.
- Tosco, G. 2004. Los beneficios de la chía en humanos y animales. Actualidades Ornitológicas 119: 1 – 69.
- UNIPROT (Universal protein). 2014. [En línea]. Cambridge, Gran Bretaña. Recuperado en: <http://www.uniprot.org/uniprot/Q36769>. Consultado el: 8 de enero de 2014.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2013. Natural resources conservation service. Estados Unidos. Recuperado en: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SAHI6>. Consultado el: 23 de diciembre de 2013.
- Valenzuela, R.; G. Bascuñan; R. Chamorro y A. Valenzuela. 2011. Ácidos grasos omega-3 y cáncer, una alternativa nutricional para su prevención y tratamiento. Revista Chilena de nutrición 38(2): 219- 226.
- Valero, N. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chía oscura (*Salvia hispanica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 38h.

- Vasquez-Ovando, A.; G. Rosado-Rubio; L. Chel-Guerrero y A. Betancur-Ancona. 2013, ene. Procesamiento en seco de harina de chíá (*Salvia hispanica* L.): caracterización química de fibra y proteína. Journal of Food 8:2, 117-127.
- Vasquez-Ovando, A.; G. Rosado-Rubio.; D. Betancur-Ancona y L. Chel-Guerrero. 2007. Propiedades Fisicoquímicas y Funcionales de un Producto Proteínico de Chíá (*Salvia hispanica* L). (pp. 146 – 153). *En*: Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de los alimentos. (9<sup>a</sup>, 31 de mayo y 1 de junio, Guanajuato).
- Vicente, R.; E. Rodriguez; V. Gonzalez; O. Lopez; M. Rivera y M. Gonzalez. 2013. Características preliminares del aceite de semillas de *Salvia hispanica* L. cultivadas en cuba. Revista cubana de plantas medicinales 18(1): 3-9.
- Villegas, D. 2013. Efecto de la aplicación de herbicidas sobre el rendimiento en chíá (*Salvia hispanica* L.) en Santiago, Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 39h.
- Walker, J.; K. Sytsma; J. Treutlein and M. Wink. 2004. *Salvia* (*Lamiaceae*) is not monophyletic: implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of *salvia* and tribe *mentheae*. American Journal of Botany 91(7): 1115-1125.
- Wang, Y.; O. Chung and O. Song. 2012. Plasma and Dietary Antioxidant Status as Cardiovascular Disease Risk Factors: A Review of Human Studies. Nutrients 5: 2969-3004.
- Weber, C.; H. Gentry; E. Kohlhepp and P. McCrohan. 1991. The nutritional and chemical evaluation of chia seeds. Ecol. Food. Nutr. 26:119–125.
- Yan, Y.; W. Jiang; T. Spinetti; A. Tardivel; R. Castillo; C. Bourquin. *et. al.* 2013. Omega-3 fatty acids prevent inflammation and metabolic disorder through inhibition of NLRP3 inflammasome activation. Immunity 38(6): 1154-1163.
- Zanin, G. and J. Erwin. 2006. Photoperiod and irradiance effects on *Salvia elegans*, *S. gregii*, and *S. patens* flowering, height and branching. Acta Horticulturae 723: 367- 371.
- Zhang, Y.; J. Chen and S. Thomas. 2007. Retrieving seasonal variation in chlorophyll content of overstory and understory sugar maple leaves from leaf-level hyperspectral data. Canadian journal of remote sensing 33(5): 406 – 415.
- Zhonghong, H.; O. Xin; T. Xin; Y. Zili; J. Jianxiong and C. Zhiyong. 2011. Karyotype analysis of three species of *Salvia* L. Chinese agricultural science bulletin 27(27): 250-254.

Zohary, D.; M. Hopf and E. Weiss. 2012. Current state of the art. (Cap. 1, pp. 1-8). *In: Domestication of plants in the old world*. 4a. ed. New York, Estados Unidos: Oxford University press. 170p.

## APÉNDICE I

### Glosario

- ACTINOMORFA: Flor con más de un plano de simetría.
- AMPULOSO: Hinchado o englobado.
- CARCÉRULO: Fruto seco e indehisciente, con el pericarpio coriáceo, separado de la semilla.
- CLUSA: Fruto seco indehisciente, también llamado núcula.
- DISCOLORA: Hoja cuyas caras son de diferente color.
- EGLANDULAR: Desprovisto de glándulas.
- ESCALERIFORME: Forma de pirámide o escalera.
- FILIFORME: Semejante a un hilo, delgado y flexible.
- GÁLEA: Labio superior del pétalo de la flor en forma de casco o yelmo.
- HILIO: Cicatriz, sitio donde se inserta la semilla en el fruto.
- INCONSPICUO: Tejido poco visible.
- MEATO: Espacio intercelular en un tejido.
- NAVICULAR: En forma de barco o bote.
- *Nom. cons.*: Nombre conservado, en latín.
- *Nom. cons.et nom alt.*: Nombre conservado y nombre alternativo, en latín.
- PORICIDA: Se abre mediante poros.
- PRISMÁTICA: Forma de prisma.
- SIFONOSTELA ECTOFLOICA: Sistema vascular del tallo en forma de tubo envolviendo una médula parenquimática, el floema se sitúa por fuera del xilema.
- SINAPOMORFIA: Carácter o rasgo compartido por diferentes especies y su ancestro en común.
- SUBTRÍGONA: Forma relativamente triangular.
- SUFRUTICE: Planta semi-arbustiva, con tallo lignificado en la base y herbáceo en parte superior.
- TIRSOIDE: Inflorescencia con forma de tirso.
- TOMENTOSO: Pelos dispuestos muy densamente.
- UNISTRATO: Un estrato o capa de cierta estructura o tejido.
- ZIGOMORFO: Corola o flor con un plano de simetría.