

COLEGIO DE POSTGRADUADOS



INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

NUTRICIÓN ORGÁNICA Y CALIDAD DE LUZ EN EL RENDIMIENTO Y PROPIEDADES FUNCIONALES DE *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae).

KARLA DANIELA GONZÁLEZ SOLANO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION


En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Karla Daniela González Solano, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Nutrición orgánica y calidad de luz en el rendimiento y propiedades funcionales de Salvia hispanica L. (LAMIACEAE)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 15 de enero de 2018



Firma del
Alumno (a)



Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada **“Nutrición orgánica y calidad de luz en el rendimiento y propiedades funcionales de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae)”**, realizada por la alumna: **Karla Daniela González Solano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza

ASESOR



Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada

ASESORA



Dra. Martha Elena Pedraza Santos

ASESOR



Dr. José Luis García Cué

ASESOR



Dr. Julio Sánchez Escudero

Montecillo, Texcoco, Estado de México, enero de 2018

NUTRICIÓN ORGÁNICA Y CALIDAD DE LUZ EN EL RENDIMIENTO Y

PROPIEDADES FUNCIONALES DE *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae).

Karla Daniela González Solano, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar la influencia de la nutrición orgánica y la calidad de luz en el crecimiento, rendimiento y componentes bioactivos de la chía (*Salvia hispanica* L.). Dicha investigación se dividió en cuatro etapas, en la primera se analizó el efecto de las mallas sombra de color y el tipo de nutrición sobre el crecimiento de plántulas de chía, para lo cual se empleó semilla proveniente de los Estados de México, Morelos y Puebla; se utilizó malla sombra de color azul, roja y verde, mientras que las soluciones nutritivas fueron la de Steiner y té de vermicompost. Bajo la malla roja se incrementó la longitud de vástago y el contenido de K^+ ; la malla azul incrementó el contenido de NO_3^- -N y Ca^{2+} ; la malla verde incrementó la materia seca y de forma similar al testigo se logró mayor actividad antioxidante. La aplicación de té de vermicompost en general, favoreció el crecimiento de las plántulas. En la segunda etapa se evaluó el crecimiento y rendimiento de chía cultivada bajo diferente radiación transmitida por las mallas de color y nutrición orgánica. La biomasa seca y la tasa de crecimiento absoluta fueron mayores con un flujo fotónico $720 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (malla verde), pero el rendimiento de semilla se redujo. La disminución de la radiación acortó el ciclo del cultivo, pero no influyó en el rendimiento de la semilla; la combinación de vermicompost y té de vermicompost como fuente de nutrición incrementó la biomasa y el rendimiento de semilla. En la tercera etapa se analizó el efecto de la radiación solar mediante mallas sombra de color en el crecimiento y anatomía foliar de chía. La malla roja y azul promovieron mayor crecimiento. La biomasa fue similar en los

tratamientos con malla roja, verde y testigo. Las plantas testigo presentaron mayor grosor de mesófilo. La malla roja provocó el alargamiento de las células de la primera capa del parénquima en empalizada. Esto indica ciertos mecanismos de adaptación de las plantas de chía a niveles contrastantes de radiación. En la última etapa se determinó la concentración mineral, actividad antioxidante y el perfil de ácidos grasos en semillas de chía cultivada con mallas sombra de color y nutrición orgánica. Las mallas de color y la fertilización orgánica provocaron diferencias en la concentración nutrimental y actividad antioxidante. La interacción malla y fertilización inducen variaciones en la presencia y abundancia de ácidos grasos saturados e insaturados totales. La mejor semilla se obtuvo con la malla azul y fertilización combinada, ya que se encontró mayor presencia del ácido linolénico y actividad antioxidante.

Palabras clave: Radiación Fotosintéticamente Activa; fertilización orgánica; rendimiento; anatomía foliar; antioxidantes; ácidos grasos.

**ORGANIC NUTRITION AND QUALITY OF LIGHT IN THE YIELD AND
FUNCTIONAL PROPERTIES OF *Salvia hispanica* L. (LAMIACEAE).**

Karla Daniela González Solano, D. C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to quantify the influence of organic nutrition and the effect of quality of light in the growth, performance and bioactive components of chia (*Salvia hispanica* L.). This research was divided in four stages: in the first stage it was analyzed the effect of colored meshes and the type of nutrition in the growth of seedlings of chia, for this purpose, collected seeds from the states of Mexico, Morelos and Puebla were used. As for the meshes, it was used blue red and green meshes, additionally a Steiner solution and vermicompost tea were the source of nutrients. The use of red mesh increased the length of shoot and the content of K^+ ; with the mesh blue an increase in the content of NO_3^- -N and Ca^{2+} was observed; with the green mesh, an increase in dry matter resulted, and in a similar manner to the control, a high antioxidant activity was obtained. The application of vermicompost tea, in general, favored the growth of the seedlings. In the second stage was evaluated the growth and yield of chia under different transmitted irradiances through the colored meshes and using an organic nutrition supply. The dry biomass and the absolute growth rate were higher with a photon flow $720 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (green mesh), but the seed yield was reduced. A decrease in the irradiance shortened the cycle of the crop, but not influenced the activity of the seed; the combination to soil of vermicompost and vermicompost tea as a source of nutrition increased the biomass and seed yield. In the third stage we analyzed the effect of solar radiation by colored meshes in the growth and leaf anatomy of chia. The red and blue meshes promoted a major growth. The biomass was similar in all treatments with

red and green meshes, and the control treatment. In the control plants, a greater thickness of the mesophyll was observed. The red mesh led to the elongation of the cells in the first layer of palisade parenchyma. This indicates certain mechanisms of adaptation of plants of chia to contrasting levels of irradiance. In the last stage was determined the concentration of mineral, antioxidant activity and the fatty acid profile in chia seeds cultivated with colored meshes and organic nutrition. The colored meshes and organic fertilization showed significant differences in the nutrient concentration and antioxidant activity. The interaction mesh-fertilization induced variations in the presence and amount of saturated and unsaturated fatty acids. The best seed was obtained with the combined fertilization and blue mesh, since the presence of linolenic acid and antioxidant activity was greater.

Key words: photosynthetically active radiation, organic fertilization, yield, leaf anatomy, antioxidants, fatty acids.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados por permitirme ser un miembro más de su comunidad estudiantil.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza a quien agradezco su apoyo, confianza y total disposición para dirigir la presente investigación y por motivarme a lograr mis metas.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada por su amistad y sugerencias para mejorar la presente investigación.

A la Dra. Martha Elena Pedraza Santos por sus acertadas observaciones, contribuciones e inmediatas revisiones para la corrección del trabajo de investigación.

Al Dr. José Luis García Cué por su paciencia y tiempo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Julio Sánchez Escudero por su ayuda y material brindado para la realización del experimento en campo.

A la maestra María Teresa González Rodríguez quien me brindó su amistad y despejó algunas dudas respecto a mi tema de investigación.

Al Dr. Ramón Marcos Soto Hernández por permitirme realizar el análisis de ácidos grasos en el laboratorio de Fitoquímica y asesorarme en dicho tema, de igual forma agradezco a la Dra. Rosa Elvira, al maestro Rubén y al señor Domingo por la atención brindada.

Al maestro Patricio Sánchez Guzmán por permitirme el ingreso al laboratorio de Génesis y Clasificación de suelos para la realización de análisis químico de suelo y planta, así como a los señores Juan y Pedro, quienes me asesoraron en dichos análisis.

A la Dra. Libia Iris Trejo Téllez, responsable del laboratorio de Nutrición Vegetal, por el acceso a equipo y material para el análisis de planta. De igual manera agradezco a los señores Roberto y Juan Manuel por su apoyo como laboratoristas.

A Laura Santamaría secretaria del área de Nutrición Vegetal, Carmelita secretaria de Génesis, Sofía secretaria de Estadística y a las señoras Remedios y Gela secretarias de la Coordinación de Edafología, por el apoyo en trámites y solicitudes de diversa índole.

Al Sr. Fernando López Santillán encargado del módulo de Agroecología por su ayuda durante la etapa de campo.

A mi amigo Edgar quien estuvo siempre en la mejor disposición para brindarme su ayuda en todo momento.

A mi amiga Lucía que, aunque esté lejos siento su compañía y buenas vibras.

A todos los profesores, compañeros, personal de campo, laboratorio y biblioteca, que de alguna manera contribuyeron en la culminación de la presente investigación.

DEDICATORIAS

Como un homenaje a tres seres queridos que me dejaron grandes enseñanzas y para los cuales sólo tengo admiración, respeto y una enorme gratitud por ser parte de mi vida.

Mi padre **Carlos González Flores** (†)

Mi suegro **José Romero Sales** (†)

Mi hermano **Carlos Manuel González Solano** (†)

♪♪ *Hasta la raíz* ♪♪

*Sigo cruzando ríos, andando selvas, amando el Sol,
cada día sigo sacando espinas de lo profundo del corazón,
en la noche sigo encendiendo sueños
para limpiar con el humo sagrado cada recuerdo.*

*Cuando escriba tu nombre en la arena blanca con fondo azul,
cuando mire al cielo en la forma cruel de una nube gris aparezcas tú,
una tarde suba una alta loma,
mire el pasado sabrás que no te he olvidado.*

*Yo te llevo dentro; hasta a raíz,
y por más que crezca vas a estar aquí,
aunque yo me oculte tras la montaña
y encuentre un campo lleno de caña,
no habrá manera mi rayo de Luna que tú te vayas.*

*Pienso que cada instante sobrevivido al caminar
y cada segundo de incertidumbre,
cada momento de no saber, son la clave exacta
de ese tejido que ando cargando bajo la piel,
así te protejo; aquí sigues dentro.*

*Yo te llevo dentro; hasta a raíz,
y por más que crezca vas a estar aquí,
aunque yo me oculte tras la montaña
y encuentre un campo lleno de caña,
no habrá manera mi rayo de Luna que tú te vayas,
que tú te vayas.*

N. L.

DEDICATORIAS

A mis hijas **Itzel e Itzury**, en quienes veo reflejada la culminación de mis sueños e ilusiones, ustedes son mi presente y mi futuro, quienes me motivan a superarme y a ser cada día una mejor persona.

A mi esposo **José Cruz Romero Figueroa**, mi compañero de vida, con quien he compartido alegrías, tristezas y quien siempre tiene una palabra de aliento para impulsarme a lograr mis metas.

A mi madre **Cira Solano Hernández**, por ser un ejemplo de superación, tenacidad y valor para enfrentar las vicisitudes de la vida.

A mis hermanas **Magui, July y Rocío** por darme siempre su apoyo incondicional y con quienes compartiré siempre un fuerte lazo de fraternidad y unidad.

A mis sobrinos **Alejandra, Manuel y Gustavo** como una pequeña muestra de superación esperando que sea una motivación que les lleve a alcanzar sus propias metas.

A mi cuñado **Román Gervasio Martínez** por brindarme su afecto y apoyo en todos los aspectos de mi vida

A la familia **Romero Figueroa**, por brindarme su confianza, cariño y por adoptarme como parte de la familia.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos particulares	2
HIPÓTESIS	2
Hipótesis general.....	2
Hipótesis particulares.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Descripción botánica y taxonómica.....	3
Descripción de la semilla de chía	4
Valor nutricional de la chía.....	5
Usos y aplicaciones.....	6
Producción de <i>S. hispanica</i>	6
Nutrición orgánica	7
Bioactividad de los aceites esenciales de plantas aromáticas	9
Factores que influyen en la acumulación de fitoquímicos: nutrición y uso de mallas de colores	11
LITERATURA CITADA	12
CAPÍTULO I. MALLAS SOMBRA DE COLOR Y NUTRICIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.)	18
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2020
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	211
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	255
1.4. CONCLUSIONES.....	377
1.5. LITERATURA CITADA	388

CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) CON DISMINUCIÓN DE RADIACIÓN Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA.	422
2.1. INTRODUCCIÓN.....	444
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	466
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	488
2.4. CONCLUSIONES.....	622
2.5. LITERATURA CITADA.....	622
CAPÍTULO III. CRECIMIENTO Y ANATOMÍA FOLIAR DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) EN FUNCIÓN DE LA LUZ TRANSMITIDA POR MALLAS DE COLOR.	677
3.1. INTRODUCCIÓN.....	699
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7171
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	744
3.4. CONCLUSIONES.....	855
3.5. LITERATURA CITADA.....	866
CAPÍTULO IV. PROPIEDADES FUNCIONALES DE SEMILLA DE CHÍA PRODUCIDA BAJO MALLAS SOMBRA DE COLOR Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA.....	9090
4.1. INTRODUCCIÓN.....	92
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	944
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	988
4.4. CONCLUSIÓN.....	1099
4.5. LITERATURA CITADA.....	1099
CONCLUSIONES GENERALES	1144
ANEXOS	1164

LISTA DE CUADROS

INTRODUCCIÓN GENERAL

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la chía.....	4
Cuadro 2. Cierre de la producción de chía en el año 2012.....	7

CAPÍTULO I

Cuadro 1. Condiciones ambientales registradas durante el experimento de plántulas de chía cubiertas con mallas sombra de color en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	22
Cuadro 2. Parámetros de crecimiento de plántulas de <i>Salvia hispanica</i> L. en función de: malla sombra de color, colecta y solución nutritiva producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	27
Cuadro 3. Lecturas SPAD, nitrógeno (N_3N), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y actividad antioxidante (AAntiox) en plántulas de <i>Salvia hispanica</i> L. en función de la malla sombra de color, la colecta y la solución nutritiva producidos en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	36

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Fases fenológicas registradas durante el experimento en campo del cultivo de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.) producida con mallas sombra y fertilización orgánica en Montecillo, Texcoco, México. Verano de 2015..	49
Cuadro 2. Razón de área foliar (RAF), razón de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE) durante el ciclo de cultivo de <i>Salvia hispanica</i> L.	51
Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica sobre aspectos agronómicos de <i>Salvia hispanica</i> L.	55
Cuadro 4. Promedios de las variables agronómicas en plantas de <i>S. hispanica</i> L. en función de la malla sombra de color.....	56

Cuadro 5. Variables agronómicas en plantas de <i>S. hispanica</i> L. en función de la fertilización.....	58
Cuadro 6. Parámetros agronómicos a la cosecha en el cultivo de <i>S. hispanica</i> L. en función de la interacción malla sombra de color y fertilización.....	60

CAPÍTULO III

Cuadro 1. Fórmulas para el cálculo de los índices de crecimiento en las plantas.....	72
Cuadro 2. Significancia estadística del efecto de la malla sombra de color en la morfología e índices de crecimiento de plantas de <i>Salvia hispanica</i> L.	75
Cuadro 3. Efecto de mallas sombra de color en el crecimiento de plantas de <i>S. hispanica</i> L.	75
Cuadro 4. Significancia estadística del efecto de la malla sombra de color en la anatomía foliar de plantas de <i>Salvia hispanica</i> L.	60

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Análisis de varianza del efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica en la concentración de nutrimentos y actividad antioxidante en semilla de <i>Salvia hispanica</i> L.	98
Cuadro 2. Concentración de macronutrimentos en semillas de chía por efecto de factores principales, malla sombra de color y fertilización orgánica.....	99
Cuadro 3. Concentración de macronutrimentos en semillas de chía por efecto de la interacción malla sombra de color y fertilización orgánica.....	100
Cuadro 4. Concentración de micronutrimentos en semillas de chía por efecto de factores principales, malla sombra de color y fertilización orgánica.....	101
Cuadro 5. Concentración de micronutrimentos en semillas de chía por efecto de la interacción malla sombra de color y fertilización orgánica.....	102
Cuadro 6. Composición y porcentaje de ácidos grasos totales de los aceites de semillas de chía.....	107

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN GENERAL

Figura 1. A: Aspecto general de una planta adulta y B: exomorfología de la semilla de <i>Salvia hispanica</i> L.	4
Figura 2. Semillas de chía.....	5
Figura 3. Clusas hidratadas con formación de mucílago.....	10

CAPÍTULO I

Figura 1. Distribución espectral de la radiación solar transmitida por las mallas sombra de color colocadas sobre almácigos de chía en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	23
Figura 2. Dinámica de la germinación de semilla de <i>Salvia hispanica</i> L. colectas Morelos (a), Puebla (b) y Estado de México (C) cubiertas con mallas sombra de color en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	25
Figura 3. Diámetro de tallo de plántulas de <i>Salvia hispanica</i> L. a los 40 días después de la siembra en función de A) Malla sombra de color, B) Colecta y C) Solución nutritiva producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	30
Figura 4. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de <i>Salvia hispanica</i> L. en función de la malla sombra de color producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	31
Figura 5. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de tres colectas de <i>Salvia hispanica</i> L. producidas en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	33
Figura 6. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de <i>Salvia hispanica</i> L. en función de la solución nutritiva de riego en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).....	34

CAPÍTULO II

Figura 1. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) del cultivo de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.) en función de la malla sombra de color.....	53
Figura 2. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) del cultivo de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.) en función de la aplicación de dos fuentes de fertilizantes orgánicos.....	54
Figura 3. Efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica en la biomasa total de <i>S. hispanica</i> L. cultivada en campo.....	61

CAPÍTULO III

Figura 1. Cortes transversales de hojas de <i>Salvia hispanica</i> L. desarrolladas bajo mallas de colores.....	80
Figura 2. Efecto de la malla sombra de color en la anatomía foliar de <i>Salvia hispanica</i> L.	82

CAPÍTULO IV

Figura 1. Efecto de la malla sombra de color en la actividad antioxidante de semillas de chía.....	103
Figura 2. Efecto de la fertilización en la actividad antioxidante de semillas de chía....	104
Figura 3. Rendimiento de los aceites de semilla de chía en función de la malla sombra de color y nutrición orgánica.....	106

INTRODUCCIÓN GENERAL

La chía (*Salvia hispanica* L.) fue uno de los cultivos más importantes en tierras mexicanas antes de la conquista (Rojas, 1988). La semilla es una fuente natural de ácidos grasos omega-3 fibras solubles e insolubles, proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes naturales (Muñoz *et al.*, 2013). Hoy en día, la semilla de chía ofrece un enorme potencial en las industrias de la salud, alimentos, piensos, productos farmacéuticos, y nutracéuticos, entre otros, debido a sus componentes funcionales, por lo que se ha renovado el interés por este cultivo como una excelente fuente de ácidos grasos y fibra dietética para una alimentación sana (Ayerza y Coates, 2005). La producción comercial como cultivo alternativo podría ser económicamente atractiva con el fin de explotar sus propiedades funcionales. La presencia de componentes bioactivos en las semillas de chía y los pocos estudios sobre los beneficios de salud podría asegurar su uso potencial en la nutrición como complemento vitamínico. Aunado a lo anterior, la agricultura orgánica ofrece la posibilidad de incrementar los rendimientos, además de hacer un manejo adecuado de los cultivos sin daños al ambiente, de tal forma que surge el interés de evaluar el rendimiento y la calidad de la *S. hispanica* manejada bajo una producción orgánica con la incorporación de mallas de colores con el fin de determinar el alcance del manejo orgánico en esta planta y verificar si la calidad de la luz influye en la acumulación de compuestos bioactivos en las semillas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Cuantificar la influencia de la nutrición orgánica y la calidad de luz en la producción, el rendimiento y los componentes bioactivos de la chía (*S. hispanica*).

Objetivos particulares

1. Comparar el desarrollo y la calidad nutrimental de plántulas de chía en función de la luz, fuente nutrimental y colecta.
2. Calcular el rendimiento de semilla de las plantas de *S. hispanica* en función de la nutrición y diferentes calidades de luz.
3. Registrar si la calidad de luz influye en el desarrollo del mesófilo en las hojas de chía.
4. Caracterizar la calidad de la semilla en función del contenido nutrimental y sus propiedades funcionales.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

La nutrición orgánica y la calidad de luz mejoran el rendimiento y las propiedades funcionales de la chía (*S. hispanica*).

Hipótesis particulares

1. El desarrollo y la calidad nutrimental de plántulas de chía se modifica por la luz y fuente nutrimental utilizada en su producción.
2. El rendimiento de semilla de las plantas de *S. hispanica* se incrementa con nutrición orgánica y con el uso de mallas de color.

3. El desarrollo del mesófilo de las hojas de chía se modifica por la calidad de luz empleada durante su cultivo.
4. La calidad de la semilla de chía varía con la nutrición orgánica y la luz transmitida por las mallas de colores.

REVISIÓN DE LITERATURA

Descripción botánica y taxonómica

La planta de chía pertenece a la familia Lamiaceae, en la que se incluye también a la menta. Su descripción taxonómica se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la chía

Reino :	Plantae
Subreino :	Tracheobionta
Superdivisión :	Spermatophyta
División :	Magnoliophyta
Clase :	Magnoliopsida
Subclase :	Asteridae
Orden :	Lamiales
Familia :	Lamiaceae
Género :	<i>Salvia</i>
Especie :	<i>hispanica</i>

Fuente: Muñoz *et al.* (2013).

Los nombres comunes para esta especie son chía, salvia española, chía mexicana y chía negra (Di Sapia *et al.*, 2012). *Salvia hispanica* es una hierba anual que florece durante el mes de verano, crece aproximadamente un metro de altura y presenta hojas opuestas, pecioladas

y dentadas de 4 – 8 cm de largo y 3 – 5 cm de ancho. Las flores son hermafroditas y crecen en grupos numerosos en un pico protegido por pequeñas brácteas con puntas puntiagudas (Figura 1A).

Descripción de la semilla de chía

Las semillas son de forma ovalada, lisa y brillante, y son de color moteado con marrón, gris, rojo oscuro y blanco, y en general se encuentran en grupos de cuatro (Ayerza y Coates, 2005). El tamaño oscila en promedio de 1.87 ± 0.1 mm de longitud, 1.21 ± 0.08 mm de ancho, y 0.88 ± 0.04 mm de espesor), con un óvalo, forma aplanada y varían en color desde café oscuro a beige con manchas más oscuras pequeñas (Figuras 1B y 2) (Muñoz *et al.*, 2013); las semillas blancas son mayores en peso, anchura y grosor que las más oscuras (Ixtaina *et al.*, 2008). Las semillas limpias y secas se pueden conservar durante años, ya que contienen antioxidantes que previenen el deterioro de los aceites esenciales contenidos en ellos.

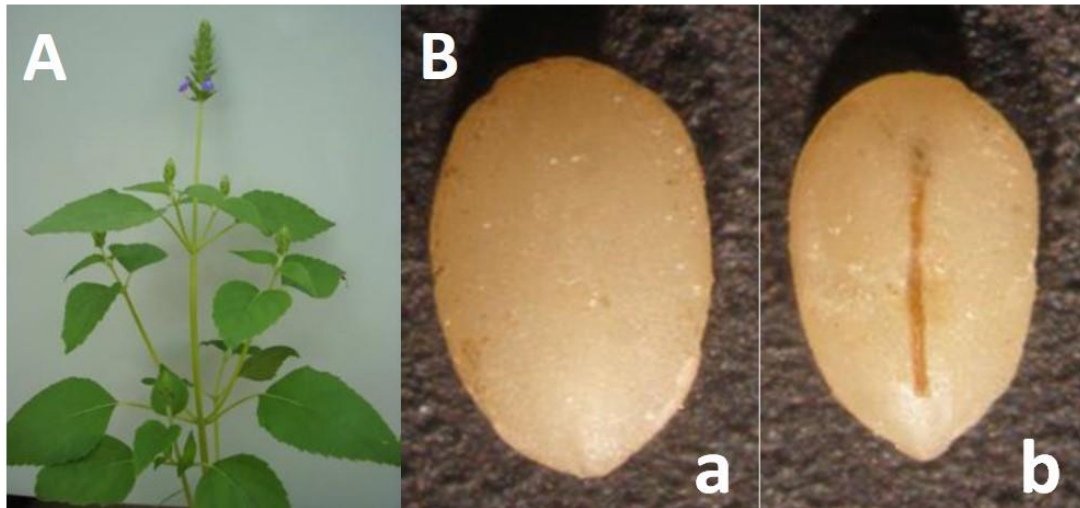


Figura 1. A: Aspecto general de una planta adulta y B: exomorfología de la semilla de *Salvia hispanica* L., a: cara dorsal, b: cara ventral.

Fuente: Di Sapio *et al.* (2012).

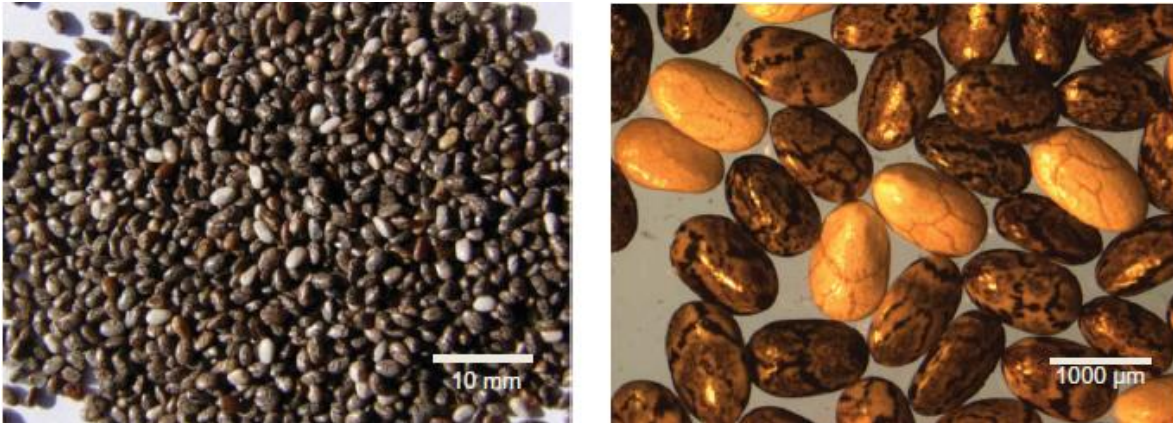


Figura 2. Semillas de chía

Fuente: Muñoz *et al.* (2013).

Valor nutricional de la chía

La chía es nativa del sur de México, es el cultivo principal de las culturas antiguas mesoamericanas y ha sido cultivada en la región durante miles de años (Salazar-Vega *et al.*, 2012).

Una reciente evaluación de las propiedades de la chía y sus posibles usos mostró que sus semillas desgrasadas tienen contenidos de fibra (22 g/100 g) y proteína (17 g/100 g) similares a las de otras semillas oleaginosas que se utilizan actualmente en la industria alimentaria (Vázquez-Ovando *et al.*, 2009, Vázquez-Ovando *et al.*, 2010). El consumo de semillas de chía proporciona numerosos beneficios para la salud, pero también son una fuente potencial de péptidos biológicamente activos (bioactivo). Esta semilla es una fuente natural de ácidos grasos omega-3 (ácido α -linolénico), fibra (30%), proteínas de alto valor biológico, y antioxidantes naturales que protegen a la semilla contra ciertas condiciones adversas (Ayerza y Coates, 2005; Reyes-Caudillo *et al.*, 2008; Busilacchi *et al.*, 2013), además de

otros importantes componentes nutricionales tales como vitaminas y minerales (Muñoz *et al.*, 2013; Jamboonsri *et al.*, 2012).

Usos y aplicaciones

La chía se puede considerar como "alimento funcional", ya que además de contribuir a la nutrición humana, ayuda a aumentar el índice de saciedad, la prevención de enfermedades cardiovasculares, trastornos inflamatorios y del sistema nervioso, y la diabetes, entre otros.

Hoy en día, la semilla de chía ofrece un enorme potencial en las industrias de la salud, alimentos, piensos, productos farmacéuticos, nutracéuticos, entre otros, debido a sus componentes funcionales (Ayerza y Coates, 2005; Muñoz *et al.*, 2013).

Producción de *S. hispanica*

La chía se produce e industrializa en Australia, Bolivia y Argentina. Desde hace 10 años han desarrollado la red de valor y actualmente ofertan semillas seleccionadas, aceite, harina, fibra y cápsulas de aceite. Por el contrario, en México, uno de los centros de origen de la chía, apenas hace cinco años se retomó el cultivo en los municipios de Acatic, Cuquío y Zapotlanejo, en Jalisco, donde actualmente se obtiene 99% de la producción nacional, misma que en el 2011 llegó a 3,449 toneladas cosechadas en 2,720 ha. En Jalisco, se tienen registradas varias empresas, algunas en asociación con productores agrícolas, que procesan y exportan la semilla de chía y sus derivados, hacia Estados Unidos, donde están logrando una demanda creciente. La planta tolera muy bien la sequía y suelos con baja o mediana fertilidad. Con precipitaciones apenas superiores a los 450 mm, sembrando 4 kg de semilla ha⁻¹ y dosis de fertilización de 70 kg de N y 46 de P, se logran buenos rendimientos de semilla

de chía (Lamas, 2013). En el Cuadro 2 se presenta el cierre de la producción de chía en el año 2013.

Cuadro 2. Producción de chía (*Salvia hispanica* L.) en México, año 2013.

Cultivo	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	PMR (\$/t)	Valor de la producción (miles de pesos)
Chía	18,155.0	17,915.0	8,431.89	0.47	56,740.01	478,425.55

SIAP, 2015.

Estos datos indican que el cultivo de chía puede ser una alternativa rentable para mejorar los ingresos de los agricultores en zonas de temporal.

Nutrición orgánica

a) Humus de lombriz o vermicompost

El vermicompost es un material estabilizado y maduro orgánico, rico en sustancias húmicas, que puede cambiar algunas propiedades en la solución del suelo (Campitelli y Ceppi, 2008), así mismo el empleo de técnicas de vermicompostaje es una alternativa que reduce costos de producción y se reciclan los residuos orgánicos (Del Águila *et al.*, 2011). Además de contener nutrientes, el vermicompost es un fertilizante orgánico nutritivo rico en microorganismos benéficos al suelo, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fosfato y actinomicetos (Arancon *et al.*, 2005; Adhikary, 2012; Basílio y Galba, 2012; Kenyangi y Blok, 2012).

Experimentos en invernadero y laboratorio, han demostrado que los vermicompost contienen sustancias reguladoras de crecimiento como son hormonas (auxinas, citocininas y giberelinas) y ácidos húmicos, que son probablemente los responsables, en gran parte, del incremento en la germinación, crecimiento y rendimiento de plantas en respuesta a la aplicación de este material (Atiyeh *et al.*, 2002; Gutiérrez *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2011). La combinación de técnicas de vermicompostaje y compostaje conducen a una mejor estabilización de los residuos orgánicos y son viables para su uso agroecológico, ya que mejora el costo económico para producir fertilizantes orgánicos debido a su fácil operación y cuidado del medio ambiente (Nair *et al.*, 2006; Calderín *et al.*, 2013).

b) Té de vermicompost

Este tipo de té, es un extracto acuoso de calidad biológica alta que se consigue mezclando el vermicompost con agua durante un periodo determinado, ya sea con aireación o sin ella, con o sin aditivos, destinados a aumentar la densidad de la población microbiana durante la producción (NOSB, 2004). Recientemente están ganando importancia como una alternativa a los fertilizantes químicos y pesticidas (Naidu *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012). Estos extractos contienen nutrientes y diversos organismos y se aplican ya sea como una poción o directamente a las plantas para promover su crecimiento y suprimir enfermedades en ellas. No obstante, estos efectos beneficiosos dependerán de la calidad de las fuentes del vermicompost y el método de extracción, por lo que extractos de mala calidad podrían inhibir la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas (Carballo *et al.*, 2009). Así mismo, el contenido nutrimental de los tés está relacionado con el origen de los materiales utilizados para la producción del vermicompost (Ingham, 2005).

Bioactividad de los aceites esenciales de plantas aromáticas

La salvia es miembro de la familia Lamiaceae, una de las familias más grandes entre las dicotiledóneas, muchas especies son altamente aromáticas, debido a la presencia de varios terpenoides y compuestos fenólicos (Sharafzadeh, 2012).

En la naturaleza, los aceites esenciales desempeñan un papel importante en la protección de las plantas como agentes antibacterianos, antivirales, antifúngicos, insecticidas y también contra los herbívoros, porque reducen su apetito por estas plantas. También pueden atraer algunos insectos para favorecer la dispersión de polen y semillas, o repeler otros indeseables (Bakkali *et al.*, 2008). La extracción de metabolitos se ha hecho en aceite esencial, sin embargo, estudios revelan que el material vegetal residual es una rica fuente de antioxidantes, la cual puede derivarse de sus constituyentes fenólicos y de los diferentes mecanismos de acción; entonces, este residuo puede ser utilizado en preparaciones farmacéuticas o bien como aditivo en productos alimenticios (Murillo *et al.*, 2007).

Los aceites esenciales se extraen de diferentes plantas aromáticas, son líquidos, volátiles, límpidos y rara vez de color, soluble en lípidos y solubles en disolventes orgánicos con una densidad generalmente más baja que la del agua. Pueden ser sintetizados por todos los órganos de la planta, es decir, brotes, flores, hojas, tallos, ramas, semillas, frutos, raíces, madera o corteza, y se almacenan en las células secretoras, cavidades, canales, células epidérmicas o tricomas glandulares (Bakkali *et al.*, 2008).

La bioactividad de los aceites esenciales y sus componentes de sabor y fragancia se han conocido desde la antigüedad. Los aceites esenciales son una mezcla de numerosos compuestos que se caracterizan por una esencia de las plantas aromáticas, son compuestos

volátiles, naturales, complejos caracterizado por un olor fuerte y están formadas por las plantas aromáticas como metabolitos secundarios (Bakkali *et al.*, 2008; Shaabana *et al.*, 2012). Actualmente, se conocen aproximadamente 3000 aceites esenciales, de los cuales 300 son comercialmente importantes, en particular para las industrias farmacéuticas, alimentaria, cosmética y del hogar. Por consiguiente, los estudios sobre las actividades biológicas de los aceites esenciales se han convertido en cada vez más importante en la búsqueda de medicinas alternativas naturales y seguras en los últimos años (Shaabana *et al.*, 2012).

Además, se ha observado que cuando se coloca la semilla de *S. hispanica* en un medio acuoso, exuda un polisacárido mucilaginoso que rodea a la semilla (Figura 3). El consumo de este mucílago ayuda a la digestión y que, junto con la semilla, constituye una nutritiva fuente de alimentación. Además, las semillas (o clusas) contienen más proteínas en relación con cualquier otro grano, son libres de gluten y no contienen componentes tóxicos. Por último, es una fuente importante de vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes.

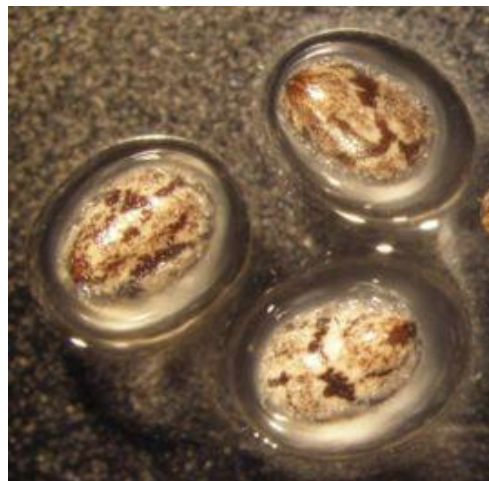


Figura 3. Clusas hidratadas con formación de mucílago de *Salvia hispanica* L.

Fuente: Di Sapio *et al.* (2012).

Factores que influyen en la acumulación de fitoquímicos: nutrición y uso de mallas de color

El crecimiento, el perfil químico, las concentraciones de vitaminas, compuestos fenólicos y la acumulación de un metabolito en los tejidos de la planta puede estar influenciada por diferentes factores, incluyendo el suelo, la nutrición, el agua, etc. (Sgherri *et al.*, 2010). Un estudio en salvia analizó el crecimiento, la productividad y la absorción de nutrientes bajo diferentes regímenes hídricos, La disminución del riego, redujo hasta un 69% la producción de aceite esencial (Corell *et al.*, 2012).

Algunos estudios han indicado que la nutrición orgánica incrementa el contenido de algunos compuestos bioactivos como fenólicos y antioxidantes, Zhao *et al.* (2009), investigaron los niveles de compuestos fenólicos en *Brassica rapa* con fertilización orgánica y convencional, encontraron que la aplicación de compost y emulsión de pescado dio lugar a concentraciones fenólicas significativamente mayores en comparación con la fertilización química a base de NPK. Resultados similares se han encontrado en manzana (Wojdylo *et al.*, 2010). En salvia, melisa, menta, cilantro e hinojo se ha determinado el contenido fenólico y capacidad depuradora de radicales libres bajo manejo ecológico y convencional, encontrando que las plantas cultivadas ecológicamente tenían mayores niveles de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante; además, salvia y menta resultaron más ricas en fenoles totales y sus infusiones tenían un nivel alto de eliminación de radicales DPPH (Trendafilova *et al.*, 2010). En zanahoria el incremento de compuestos fenólicos se ha asociado a dosis bajas de B y Ca en la nutrición del cultivo, así como el cultivar que también fue determinante en la calidad nutricional de las zanahorias (Singh *et al.*, 2012). Otros estudios indican la eficiencia de los hongos micorrícicos arbusculares (AMF) en el incremento de compuestos bioactivos en

albahaca, cebolla, y *Echinacea* (Toussaint *et al.*, 2007; Perner *et al.*, 2008; Araim *et al.*, 2009; Scagel y Lee, 2012).

Factores ambientales como la calidad de la luz, la intensidad luminosa y fotoperiodo también influyen en el contenido de fitoquímicos (Sharafzadeh, 2012). Estas modificaciones en las condiciones de luminosidad se han logrado con el uso de mallas sombra de color. El uso de mallas en la agricultura tiene la intención de manejar el espectro de luz que modifica respuestas fisiológicas de la planta que son reguladas por la luz (Shahak, 2006). Las mallas, independientemente del color, aplicadas sobre los cultivos favorecen el crecimiento, aumentan la materia seca en comparación con las plantas que crecen sin malla (Brant *et al.*, 2008).

La determinación de las condiciones óptimas de luz para la acumulación de productos químicos, así como el crecimiento y desarrollo de plantas es un tema importante en la obtención del aumento de la concentración de fitoquímicos (Sharafzadeh, 2012). Estudios recientes han demostrado que la irradiación con luz UV-B y azul estimula la biosíntesis de fenilpropanoides; en albahaca se estudió el efecto de la calidad de la luz sobre el contenido de ácido rosmarínico y actividad antioxidante, indicando que la irradiación con luz roja y blanca indujo la acumulación de ácido rosmarínico, mayor contenido fenólico y capacidad antioxidante (Shiga *et al.*, 2009).

LITERATURA CITADA

- Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences* 3: 905-917.
- Araim G., A. Saleem, J. T. Arnason and C. Charest. 2009. Root colonization by an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus increases growth and secondary metabolism of purple

- coneflower, *Echinacea purpurea* (L.) Moench. J. Agric. Food Chem. 57(6): 2255–2258.
- Arancon N. Q., C. A. Edwards, P. Bierman, J. D. Metzger, and C. Lucht. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia* 49: 297–306.
- Atiyeh R. M., N. Arancon, C. A. Edwards, and J. D. Metzger. 2002. The influence of earthworm- processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technol.* 81: 103-108.
- Ayerza R., and W. Coates. 2005. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. *Nutr. Res.* 25: 995–1003.
- Bakkali F., S. Averbeck, D. Averbeck, and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology* 46: 446–475.
- Basílio Z. D. and J. Galba B. 2012. Vermicompost humic substances: technology for converting pollution into plant growth regulators. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research* 3(2): 73-84.
- Brant R. S., Pinto J. E. B., Rosal L. F., Albuquerque C. J. B., Bertolucci S. K. V., and Correa R. M. 2008. Crescimento de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. *Horticultura Brasileira* 26: S56-S60.
- Busilacchi H., M. Quiroga, M. Bueno, O. Di Sapio, V. Flores y C. Severin. 2013. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos Tropicales* 34: 55-59.
- Calderín G. A, F. Guridi I., O. L. Hernández G., M. M. Díaz de A., R. Huelva L., S. Mesa R., D. Martínez B. and R. L. Louro B. 2013. Biotechnology of humified materials obtained from vermicomposts for sustainable agroecological purposes. *African Journal of Biotechnology* 12:625-634.
- Campitelli P. and S. Ceppi. 2008. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Geoderma* 144: 325–333.
- Carballo T., M. V. Gil, L. F. Calvo, and A. Morán 2009. The influence of aeration system, temperature and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. *Compost Sci Util* 17:127–139.

- Corell M., M. C. Garcia, J. I. Contreras, M. L. Segura, and P. Cermeño. 2012. Effect of water stress on *Salvia officinalis* L. Bioproductivity and its bioelement concentrations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43: 419–425.
- Del Águila J. P., J. Lugo de la F. and R. Vaca P. 2011. Vermicomposting as a process to stabilize organic waste and sewage sludge as an application for soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 949-963.
- Di Sapio O., M. Bueno, H. Busilacchi, M. Quiroga, y C. Severin. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromát.* 11: 249–268.
- Gutiérrez M. F. A., R. C. García G., R. Rincón R., M. Abud A., M. A. Oliva L., M. J. Guillen C., and L. Dendooven. 2008. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology* 99: 6174–6180.
- Gutierrez M. F. A., M. A. Oliva L., P. Mendoza N., B. Ruíz S., J. D. Álvarez S., and L. Dendooven. 2011. Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition* 34:1642–1653.
- Ingham E. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual; Latest Methods and Research*. Soil Food Web Incorporated, Fifth Edition. Corvallis, OR. 79 p.
- Ixtaina V. Y., S. M. Nolasco, and M. C. Tomás. 2008. Physical properties of chía (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Ind. Crops Prod.* 28: 286–293.
- Jamboonsri W., T. D. Phillips, R. L. Geneve, J. P. Cahill, and D. F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.—a new x3 source. *Genet Resour Crop Evol* 59:171–178.
- Kenyangi A. and W. Blok. 2012. Vermicompost as a component in potting mixes for growth promotion in ornamental plants. *Rwanda Journal* 28: 53-63.
- Lamas N. M. A. 2013. La chía, un cultivo muy rentable. *El economista* 19 de marzo de 2013. Disponible en línea <http://economista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/03/19/chia-cultivo-muy-rentable>.
- Muñoz L. A., A. Cobos, O. Díaz, and J. M. Aguilera. 2013. Chia seed (*Salvia hispanica*): An ancient grain and a new functional food. *Food Reviews International* 29:394–408.

- Murillo E., K. Fernández, A. Viña y J. J. Méndez. 2007. Actividad antioxidante *in vitro* y antimicrobial de extractos metanólicos de cuatro albahacas cultivadas en Ibagué. *Revista Tumbaga* 2: 72-84.
- Naidu Y., S. Meon, J. Kadir, and Y. Siddiqui. 2010. Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 51–56.
- Nair J., T. Seckiozoic, and M. Anda. 2006. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology* 97: 2091-2095.
- NOSB. 2004. Compost Tea Task Force Final Report. National Organic Standards Board. April 6, 2004. www.ams.usda.gov/nosb/meetings/CompostTeaTaskForceFinalReport.pdf. (Cons. 25/10/2012).
- Perner H., S. Rohn, G. Driemel, N. Batt, D. Schwarz, L. W. Kroh and E. George. 2008. Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in onions. *J. Agric. Food Chem.* 56: 3538–3545.
- Reyes-Caudillo E., A. Tecante, and M. A. Valdivia-López. 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry* 107: 656–663.
- Rojas R. T. 1988. *Las siembras de ayer: la agricultura indígena del siglo XVI*. SEP: CIESAS, México. 230 p.
- Salazar-Vega I. M., M. R. Segura-Campos, L. A. Chel-Guerrero and D. A. Betancur-Ancona. 2012. Antihypertensive and Antioxidant Effects of Functional Foods Containing Chia (*Salvia hispanica*) Protein Hydrolysates. In: *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry*. Benjamin Valdez ed. pp. 381-398.
- Scagel C. F. and J. Lee. 2012. Phenolic composition of basil plants is differentially altered by plant nutrient status and inoculation with mycorrhizal fungi. *Hortscience* 47: 660–671.
- Sgherri C, S. Cecconami, C. Pinzino, F. Navari-Izzo and R. Izzo. 2010. Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil. *Food Chemistry* 123: 416–422.
- Shaabana H. A. E., A. H. El-Ghoraba and T. Shibamotob. 2012. Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review. *Journal of Essential Oil Research* 24: 203-212.

- Shahak Y. 2006. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops, a review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae* 770: 325-333.
- Sharafzadeh S. 2012. Growth and secondary metabolites of basil, mint and thyme as affected by light. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 3: 43-49
- Shiga T., K. Shoji, H. Shimada, S. Hashida, F. Goto and T. Yoshihara. 2009. Effect of light quality on rosmarinic acid content and antioxidant activity of sweet basil, *Ocimum basilicum* L. *Plant Biotechnology* 26: 255-259.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en línea http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.
- Singh D. P., J. Beloy, J. K. McInerney and L. Day. 2012. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) *Food Chemistry* 132:1161–1170.
- Toussaint J. P., F. A. Smith, and S. E. Smith. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. *Mycorrhiza* 17: 291–297.
- Trendafilova A., M. Todorova, E. Vassileva and D. Ivanova. 2010. Comparative study of total phenolic content and radical scavenging activity of conventionally and organically grown herbs. *Botanica Serbica* 34: 133-136.
- Vázquez-Ovando A., G. Rosado-Rubio, L. Chel-Guerrero, and D. A. Betancur-Ancona. 2009. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 42(1): 168-173.
- Vázquez-Ovando J. A., J. G. Rosado-Rubio, L. A. Chel-Guerrero and D. A. Betancur-Ancona. 2010. Dry processing of chia (*Salvia hispanica* L.) flour: chemical characterization of fiber and protein. *CyTA – Journal of Food* 8: 117–127.
- Wojdyło A., J. Oszmianski and P. Bielicki. 2010. Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant activity of three varieties of apple from organic and conventional farming. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 55: 173-177.

- Xu D., W. Raza, G. Yu, Q. Zhao, Q. Shen, and Q. Huang. 2012. Phytotoxicity analysis of extracts from compost and their ability to inhibit soil-borne pathogenic fungi and reduce root-knot nematodes. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28:1193–1201.
- Zhao X., J. R. Nechols, K. A. Williams, W. Wang and E. E. Carey. 2009. Comparison of phenolic acids in organically and conventionally grown pac choi (*Brassica rapa* L. chinensis). *J Sci Food Agric.* 89: 940–946.

CAPÍTULO I. MALLAS SOMBRA DE COLOR Y NUTRICIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.).

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las mallas sombra de color y el tipo de nutrición sobre el crecimiento de plántulas de chía (*Salvia hispanica* L.). El estudio se realizó en invernadero con semilla de colectas de los estados de México, Morelos y Puebla. La siembra se hizo en charolas de plástico de 50 cavidades con peat moss y se cubrieron con mallas de color azul, rojo, verde y testigo sin malla. Como soluciones nutritivas se emplearon la de Steiner y té de vermicompost. El diseño de tratamientos fue un factorial 4x3x2 con un total de 24 tratamientos, se utilizó un diseño experimental completamente al azar. De los 25 a los 40 días (cada 5 días) se evaluó longitud de vástago y raíz, número de hojas, materia seca por órgano y total; y a la cosecha además se determinó diámetro de tallo, contenido de clorofila, NO_3^- -N, K^+ , Ca^{2+} y actividad antioxidante. La velocidad de germinación se incrementó en el testigo y bajo malla roja. La longitud de vástago, índice de verdor y el contenido de K^+ ; se incrementó con la malla roja; con la malla azul se incrementó el contenido de NO_3^- -N y Ca^{2+} ; la malla verde incrementó la materia seca y de forma similar al testigo se logró mayor actividad antioxidante. Las colectas de los estados de México y Morelos presentaron buen desarrollo de plántula, la de Puebla registró mayor actividad antioxidante. La aplicación de té de vermicompost en general, favoreció el crecimiento de las plántulas.

Palabras clave: Radiación Fotosintéticamente Activa; nutrición orgánica; biomasa; antioxidantes.

**CHAPTER I. MESHES SHADE OF COLOR AND NUTRITION IN THE
PRODUCTION OF SEEDLINGS OF CHIA (*Salvia hispanica* L.).**

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the colored shade mesh and type of nutrition in the growth of seedlings of chia (*Salvia hispanica* L.). The study was conducted in the greenhouse with collected seeds from the states of Mexico, Morelos and Puebla. The planting was done in plastic trays of 50 cavities with peat moss and were covered with colored meshes (blue, red and green) and a control treatment without mesh. The nutrient solutions were Steiner solution and vermicompost. The design of treatments was a factorial 4x3x2 with a total of 24 treatments, a completely random experimental design was used. From day 25 to 40 (every 5 days), it was evaluated root and stem length, number of leaves, total and per organ dry matter. In harvest, the diameter of stem, chlorophyll and NO_3^- -N, K^+ , Ca^{2+} content and antioxidant activity was determined. The germination rate was increased using a red mesh or without mesh (control). The stem length, greenness index and the content of K^+ were increased using the red mesh; in the other hand, using a blue mesh, the content of NO_3^- -N and Ca^{2+} was increased. When a green mesh was used, the dry matter was increased; in a similar manner to the control treatment, it was obtained a higher antioxidant activity. The seeds collected from the states of Mexico and Morelos had a better growth of seedling while the seeds collected from Puebla had a higher antioxidant activity. The application of vermicompost in general, favored the growth of the seedlings.

Key words: photosynthetically active radiation, organic nutrition, biomass, antioxidants.

1.1. INTRODUCCIÓN

Salvia hispanica L. (chía) es una antigua oleaginosa originaria de Mesoamérica (Salazar-Vega *et al.*, 2012), su semilla fue utilizada por los mayas y los aztecas como producto alimenticio (Rojas, 1988), por ser fuente natural de ácidos grasos omega-3 (ácido α -linolénico) fibras solubles e insolubles, y proteínas, además de otros componentes nutricionales importantes, como vitaminas, minerales y antioxidantes naturales (Busilacchi *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2013). En México la producción de la chía, se ha extendido ampliamente en las zonas de Jalisco, Sinaloa y Puebla por los múltiples beneficios que representa tanto en la alimentación como en la salud (Jamboonsri *et al.*, 2012). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017) indica que en 2016 se cultivaron 5,000 hectáreas de dicho cultivo y el 80% corresponde a Tlaxcala. Para mejorar el rendimiento del cultivo se busca implementar técnicas agronómicas desde las primeras etapas de desarrollo, una de estas es el uso de las mallas sombra de colores que influyen en el crecimiento de las plantas (Sharafzadeh, 2012; Ayala-Tafoya *et al.*, 2015) porque crean ambientes que; a) disminuyen la intensidad de luz y b) modulan la calidad de la misma, que incide sobre los cultivos. Cambios de luz espectral provocan diferentes respuestas fotosintéticas en las longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos e influyen en la fotomorfogénesis en respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos como fitocromos y criptocromos presentes en pequeñas cantidades en las plantas, que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y metabolitos secundarios (Decoteau *et al.*, 1993; Shahak *et al.*, 2008). La evaluación

de las respuestas de las plantas a la intensidad y calidad de la luz permite diseñar tecnologías de cultivo para acelerar su desarrollo, incrementar su rendimiento y la calidad nutricional (Chang-Chang *et al.*, 2014). Estas respuestas varían entre las diferentes especies de plantas, por ejemplo en *Melissa officinalis* L. el uso de mallas, independientemente del color (negro, azul, rojo con 50% sombra) favorece el crecimiento y aumenta la materia seca en comparación con las plantas que crecen en plena exposición de luz solar (Brant *et al.*, 2008), mientras que en fresa (*Fragaria* sp.) la acumulación de materia seca se disminuye 54% y 16% cuando se cubre con las coberturas azul y verde en comparación al testigo (Casierra-Posada *et al.*, 2011). La regulación de la luz a través del uso de mallas sombra de color en combinación con una buena nutrición, vista como una estrategia, posibilitaría incrementar la calidad y rendimiento del cultivo, por lo que el objetivo de la presente investigación fue medir el efecto de la malla sombra de color y la solución nutritiva sobre el crecimiento y acumulación de materia seca de plántulas de *S. hispanica*.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó bajo condiciones de invernadero, durante los meses de enero y febrero del 2015 en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, México (19° 29' LN; 98° 54' LO y 2250 msnm). La semilla de chía (*S. hispanica*) que se utilizó se obtuvo de colectas de los estados de México, Morelos y Puebla; se sembró en charolas de plástico de 50 cavidades (72 cc) que contenían peat moss. Para evaluar el efecto de las mallas de colores, se construyeron tres cuadrantes de madera de 1.2 x 1.2 x 1.0 m (largo, ancho, alto), que se cubrieron con mallas de color azul, rojo y verde y se colocaron sobre bancales de madera, lo que originó diferencias en las condiciones ambientales (Cuadro 1). Al tratamiento testigo no

se le puso malla. En cada cuadrante se colocaron completamente al azar seis charolas sembradas, dos por cada colecta.

La temperatura y la humedad relativa se registraron con un termómetro/higrómetro con cable marca RadioShack modelo 6300699 colocado en cada uno de los tratamientos de las mallas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones ambientales registradas durante el experimento de plántulas de chíá cubiertas con mallas sombra de colores en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Color de malla	Sombreado (%)	Temperatura promedio (°C)		Humedad relativa promedio (%)	RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
		Mínima	Máxima		
Azul	75	5.6	33.5	65.9	124
Roja	75	5.7	34.6	71.7	146
Verde	70	5.3	32.9	64.3	482
Sin malla	-	5.0	41.6	60.3	1217

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se midió al momento de la instalación del experimento con un sensor lineal de quantum modelo LI-191 bajo condiciones de cielo despejado entre las 12:00 y 13:30 horas (Cuadro 1). La calidad de luz se midió con un Multispectral Radiometer (MSR) marca CROPSCAN, *Inc.* 2001 en las mismas condiciones que la RFA (Figura 1).

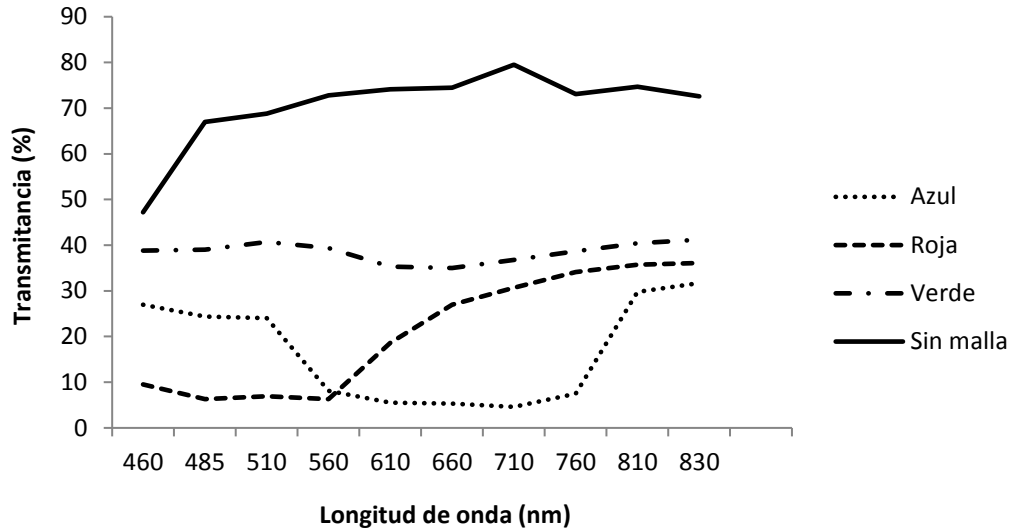


Figura 1. Distribución espectral de la radiación solar transmitida por las mallas sombra de color colocadas sobre almacigos de chíá en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

El riego se inicio hasta la presencia de las primeras hojas. Para medir la velocidad de germinación, se cuantificó la emergencia; cuando las plántulas desarrollaron el primer par de hojas verdaderas, se regaron con solución nutritiva de Steiner y té de vermicompost a 0.5 dS m^{-1} de CE y al desarrollar el segundo par de hojas se incrementó la C E 1.0 dS m^{-1} . El té se obtuvo solubilizando vermicompost (C/N 13) con agua mediante una relación 1:4 por lo que se utilizaron 6 kg de vermicompost (colocados en una bolsa de organza) para 24 L de agua. La solubilización fue por 12 h, durante este tiempo se removió un par de veces para airear la suspensión. El té resultante se diluyó con agua hasta obtener 0.5 y 1.0 dS m^{-1} de CE. Ambas soluciones se ajustaron a un pH de 5.5 con H_2SO_4 . La conductividad eléctrica y el pH se midieron con un medidor portátil (CONDUCTRONIC PC18). La solución universal de Steiner se preparó de acuerdo a lo publicado por Steiner (1984) y la concentración del té de

vermicompost a CE 2.0 dS m⁻¹ fue 157, 19, 153, 35, 26 y 57 mg L⁻¹ de nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, respectivamente.

El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con 24 tratamientos que resultaron de la combinación de tres mallas (azul, roja y verde) y un tratamiento sin malla, tres colectas (Estado de México, Morelos y Puebla) y dos soluciones nutritivas (solución de Steiner y té de vermicompost), cada tratamiento consistió de una charola de 50 plántulas. A partir de los 25 días después de la siembra (dds) y cada cinco días se realizaron muestreos destructivos seleccionando al azar cuatro plántulas por tratamiento; en éstas se evaluó la longitud del vástago (LV) y la raíz (LR), se contabilizó el número de hojas (NH) y la materia seca por órgano y total. Las primeras dos variables se midieron con una regla graduada, la materia seca se obtuvo después de deshidratar las muestras en una estufa de circulación de aire forzado a 72 °C hasta peso constante. A la cosecha (40 dds) se cuantificó el diámetro de tallo con un vernier digital y el contenido de clorofila en las hojas utilizando un medidor portátil SPAD Minolta 502; con los ionómetros Horiba se determinó el contenido de NO₃⁻, N, K⁺ y Ca²⁺ en el extracto celular del peciolo y la actividad antioxidante se cuantificó mediante el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), medida por espectroscopía UV-Visible.

Los datos de las variables se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de las varianzas, después se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey con ($\alpha=0.05$). Los análisis se apoyaron del programa estadístico SAS V9.4 (SAS Institute, 2015).

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de germinación de la semilla

El color de la malla sombra no influyó en la germinación de las semillas de las tres colectas estudiadas, ya que a los 15 dds se obtuvo 100% de germinación. No obstante, la velocidad de germinación de las semillas fue diferente en los distintos colores de malla sombra con respecto al testigo (Figura 2).

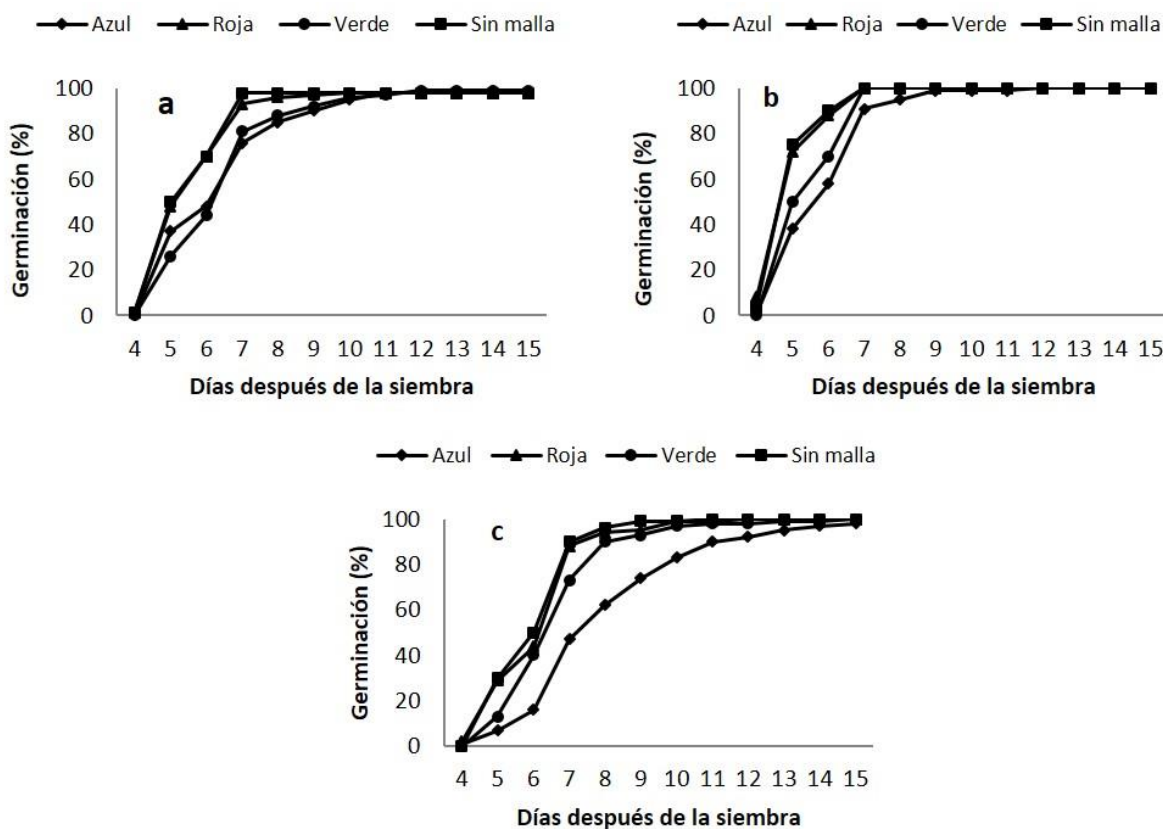


Figura 2. Dinámica de la germinación de semilla de *Salvia hispanica* L. colectas Morelos (a), Puebla (b) y Estado de México (C) cubiertas con mallas sombra de color en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Independientemente de la colecta, la velocidad de germinación fue mayor en el tratamiento testigo y con el uso de la malla roja, mientras que con la malla azul fue más lenta. En el análisis por colectas, la proveniente de Puebla germinó al 100% en 7 dds, la de Morelos registró el máximo porcentaje de germinación hasta los 12 dds, en tanto que la del Estado de México presentó el 100% hasta 15 dds cuando se presentó el máximo porcentaje de germinación en todos los tratamientos (Figura 2). Esta respuesta podría deberse al grosor de la testa de la semilla en las diferentes colectas, debido a que es una estructura que protege al embrión y durante el proceso de imbibición, debe romperse para dar inicio con la actividad enzimática y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión (Doria, 2010). Si se considera que las semillas son el punto de partida para la producción de plántulas vigorosas que permitan alcanzar el máximo rendimiento, es importante tener en cuenta que la germinación es uno de los procesos más importantes en el crecimiento y desarrollo vegetal, (Casierra-Posada *et al.*, 2010), y toma importancia el que sea más rápida porque así representa una ventaja para el productor.

Longitud de vástago y raíz, número de hojas y diámetro de tallo en plántula

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en las variables LV, LR, NH por efecto de la malla sombra de color y la solución nutritiva.

Las plántulas testigo con $1217 \mu\text{M m}^{-1} \text{s}^{-1}$ siempre fueron las más pequeñas. Las que crecieron bajo la malla roja ($146 \mu\text{M m}^{-1} \text{s}^{-1}$) incrementaron más de 200% la longitud y las de malla azul ($124 \mu\text{M m}^{-1} \text{s}^{-1}$) y verde ($482 \mu\text{M m}^{-1} \text{s}^{-1}$) incrementaron 138% y 66% con respecto al testigo (Cuadro 2), lo que puede estar determinado por la reducción de la RFA sobre las plántulas (Salisbury y Ross, 2000).

Cuadro 2. Parámetros de crecimiento de plántulas de *Salvia hispanica* L. en función de: malla sombra de color, colecta y solución nutritiva producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Fuente de variación	Longitud de vástago (cm)				Longitud de raíz (cm)				Número de hojas			
	Días después de la siembra											
	25	30	35	40	25	30	35	40	25	30	35	40
Malla sombra												
Azul	5.5b [§]	10.1b	12.4b	15.0b	8.1c	9.2c	9.7d	10.9c	2.0c	4.0b	4.0d	4.8b
Roja	7.3a	12.7a	15.6 ^a	19.0a	9.7b	10.6b	12.0c	12.4b	2.0c	4.2ab	4.6c	6.0a
Verde	3.0c	5.9c	7.2c	10.5c	10.4b	13.2a	14.9a	15.3a	2.3b	4.5a	5.2b	6.3a
Testigo	2.6d	4.0d	5.3d	6.3d	11.5a	12.9a	13.2b	14.0b	3.0a	4.0 b	6.0a	6.2a
DSH _{0.05}	0.3	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.9	1.0	0.3	0.4	0.4	0.5
Colecta												
Morelos	4.6a	8.2a	10.5a	13.1a	9.6b	11.2a	12.6a	12.9a	2.5a	4.1ab	4.89a	5.9ab
Puebla	4.5a	8.2a	9.9b	12.2b	10.6a	11.4 a	12.8a	12.8a	2.0b	4.0b	4.9a	5.6b
Estado de México	4.7a	8.0a	10.0b	12.8a	9.6b	11.7 a	12.8a	12.9a	2.5a	4.4a	5.0a	6.0a
DSH _{0.05}	0.3	0.4	0.5	0.4	0.7	0.7	0.7	0.8	0.2	0.3	0.3	0.4
Solución Nutritiva												
Sol. Steiner	4.3b	7.6b	9.6b	12.5b	9.4b	10.9b	12.4b	12.2b	2.2b	4.1a	4.7b	5.6b
Té de Vermicompost	4.9a	8.7a	10.6 ^a	12.9a	10.5a	12.1a	13.1a	13.5a	2.5a	4.3a	5.2a	6.0a
DSH _{0.05}	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0.2	0.2	0.2

[§]Letras iguales en cada columna indican que los valores son estadísticamente similares (Tukey, $P \leq 0.05$). DSH_{0.05}= diferencia significativa honesta.

Cada especie responde de manera diferente a una radiación específica, mientras en nuestra investigación encontramos más de 200% de incremento en longitud por el uso de malla roja, en plantas de brócoli con malla del mismo color, la altura se incrementó únicamente un 32.9% en relación al testigo. En *Lisianthus*, fue muy baja la respuesta a la malla roja (3.4 %) y la malla azul disminuyó hasta 11.7 % comparadas con plantas crecidas sin malla (Casierra-Posada y Rojas, 2009; Torres-Hernández *et al.*, 2012). *Bauhinia*

variegata, incrementó en 58 % la altura con malla roja respecto al plantas expuestas directamente al sol (Mazzini-Guedes y Fernandes, 2014), y finalmente en tomate cherry el incremento es únicamente de 41% con malla roja (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014).

El análisis de las diferencias en respuesta por colecta, muestran que la de Morelos y Estado de México produjeron plántulas con vástagos más grandes. A pesar de ser la misma especie hay diferencias a una misma RFA; mientras que, en pimiento morrón, una RFA de 782 y 826 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ registrada en malla verde y roja promovieron un incremento en altura de 33 y 30%, comparando al testigo sin malla (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015).

En la nutrición, la aplicación de té de vermicompost favoreció la altura de las plántulas en comparación con el uso de la solución Steiner.

La longitud de raíz registró valores contrastantes por efecto de malla, a los 30 dds, las plántulas crecidas bajo malla verde presentaron mayor longitud de raíz y en esa tendencia se mantuvo en los muestreos a los 35 y 40 dds registrando 8.5, 18.9 y 28.7 % raíces más largas que el testigo, malla roja y malla azul, respectivamente (Cuadro 2); lo que demuestra que en la planta se dan cambios morfogénicos en respuesta a diferente calidad de luz. La raíz, aunque es un órgano subterráneo, no crece en completa oscuridad, fotones en las distintas partes del espectro penetran la superficie del suelo, por lo que el crecimiento de esta también está influenciado por la longitud de onda que recibe (Mo *et al.*, 2015). A pesar que la colecta Puebla registró mayor longitud de raíz en el primer muestreo, al final el desarrollo fue el mismo en las tres colectas. Con la aplicación del té de vermicompost se observaron raíces más largas en todo el experimento, a pesar de tener menor concentración de NPK (157, 19.5 y 153.2 mg L^{-1} respectivamente) que la solución de Steiner; el mismo efecto ocurrió en

plantas de pak choi (*Brassica rapa*) con té de vermicompost, donde la raíz creció hasta tres veces más comparadas con la solución química y con el tratamiento testigo que tuvo solamente agua. Este efecto se atribuyó a la presencia de los minerales y los microorganismos que contiene el té que contribuyen al crecimiento de la raíz (Pant *et al.*, 2011).

El número de hojas varió notablemente entre tratamientos y fechas de muestreo, pero a los 40 dds se igualó esta variable en la mayoría de los tratamientos (Cuadro 2). Al respecto, la aparición de hojas en las colectas Morelos y Estado de México fue similar durante todas las evaluaciones y Puebla registró menor NH. La aplicación de té de vermicompost como solución nutritiva favoreció la aparición de hojas (Cuadro 2); en *Anthurium andreanum* se encontró un incremento del 50% en la emisión de hojas con la aplicación de oligogalacturónicos, un bioestimulante orgánico (Hernández *et al.*, 2007).

El mayor diámetro de tallo se registró en las plántulas de la malla roja y el tratamiento testigo (2.3 y 2.2 mm, respectivamente), en comparación con las plántulas de la malla verde y azul (2.0 y 1.8 mm, respectivamente). Un incremento de 24% de diámetro basal encontraron en plántulas de brócoli, con la cobertura de color rojo en relación al control sin cubierta (Casierra-Posada y Rojas, 2009).

Las plántulas de las colectas Morelos y Estado de México presentaron tallos más gruesos (2.16 mm y 2.08 mm, respectivamente) que las plantas de la colecta Puebla; y la aplicación del té de vermicompost favoreció este incremento (Figura 3).

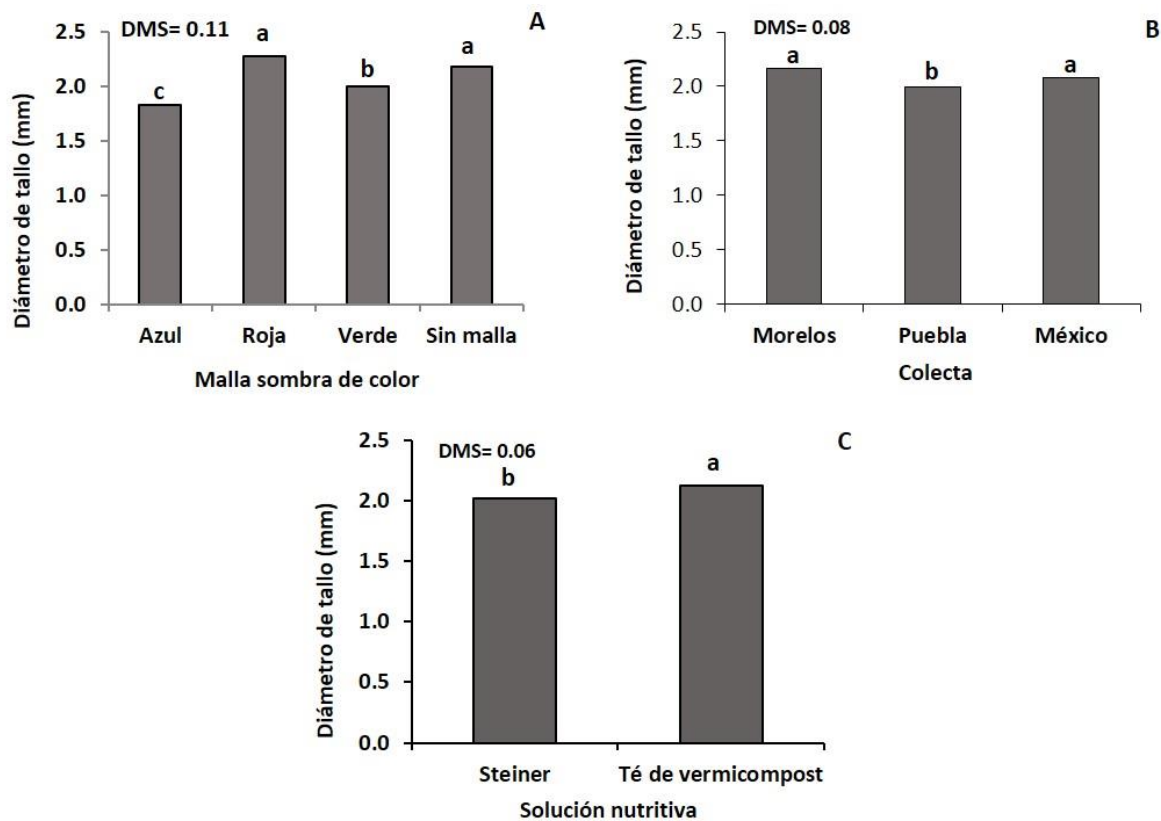


Figura 3. Diámetro de tallo de plántulas de *Salvia hispanica* L. a los 40 días después de la siembra en función de A) Malla sombra de color, B) Colecta y C) Solución nutritiva producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Biomasa total y compartimentación en los órganos de las plántulas

Los factores malla sombra de color, colecta, solución nutritiva y las interacciones influyeron en las variables, biomasa seca de hojas, biomasa seca de tallo y biomasa total, La biomasa seca de raíz no fue diferente por efecto de la solución nutritiva.

La biomasa total fue estadísticamente similar en las plántulas de la malla verde y el tratamiento testigo, con 78 y 37% menor en los tratamientos con malla azul y roja, respectivamente.

El patrón de asignación de la biomasa en los diferentes órganos de la plántula, se modificó por efecto de las mallas, esta asignación diferencial fue más evidente en la raíz y tallo (Figura 4). Con la malla azul y roja las plántulas acumularon casi el doble de materia seca en los tallos que, en la raíz, comparados con las plantas de los otros tratamientos. Mientras que, con la malla verde o testigo, las plántulas acumularon casi el doble y el triple de biomasa en la raíz con respecto al tallo, es decir, las plántulas de estos dos tratamientos pueden tener un anclaje mejor al momento del trasplante.

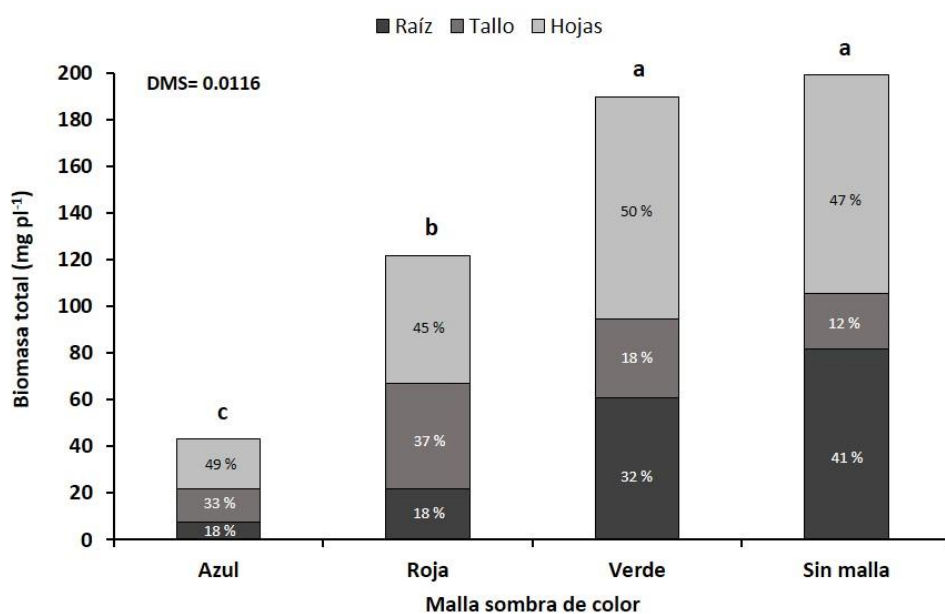


Figura 4. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de *Salvia hispanica* L. en función de la malla sombra de color producidas en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

La asignación de biomasa en las hojas fue similar en las plántulas de todos los tratamientos (45 a 50 %), sin embargo, las diferencias en la biomasa aérea producida bajo las cuatro condiciones de luz son estadísticamente diferentes, ya que con la malla verde y el

tratamiento testigo la biomasa seca de hojas fue 42 y 77 % más alta que con la malla roja y azul, respectivamente (Figura 4).

Contrario a nuestros resultados, en plántulas de brócoli expuestas a la cobertura roja acumularon 44.8 % más biomasa que las plántulas del tratamiento sin cobertura, tendencia que se mantuvo en campo (Casierra-Posada y Rojas, 2009). En tomate cherry el incremento de materia seca aérea se da con el uso de malla sombra de color azul con respecto a malla roja, negra, perla y sin uso de malla (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014). Se ha documentado que las mallas de color también influyen en la calidad de frutos de exportación, como ocurre en pimiento morrón, en donde el rendimiento con calidad de exportación se incrementó hasta 52.5 % con malla negra y 132.8 % con malla beige (Brant *et al.*, 2008; Ayala-Tafoya *et al.*, 2015). En durazno el rendimiento se incrementa 14, 16 y 27 % con el uso de mallas amarilla, blanca y gris, respectivamente en relación con el testigo sin malla (Shahak *et al.*, 2004). Valverde *et al.* (2009), reportan un incremento de 10 % en la biomasa seca total de lechugas cultivadas con malla sombra de color negro y una reducción de 26 y 28 % con las mallas azul y aluminizada, respectivamente comparadas con las que crecen sin malla. Los resultados de la literatura indican que hay una respuesta diferencial entre los cultivos a las diferentes mallas de color.

La colecta Morelos acumuló más biomasa total y superó en 16 y 24 % a las colectas Estado de México y Puebla, respectivamente (Figura 5). Es importante hacer notar que, a pesar de encontrar estas diferencias, el porcentaje de compartimentación es muy similar en las tres colectas.

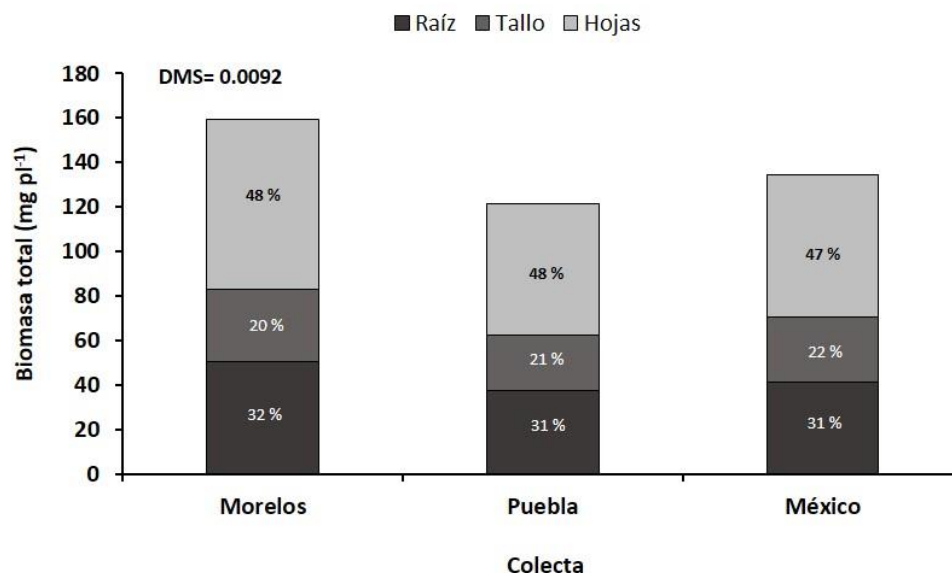


Figura 5. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de tres colectas de *Salvia hispanica* L. producidas en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

El análisis por solución nutritiva utilizada, mostró una vez más, que la aplicación del té de vermicompost incrementó 12 % la producción de biomasa total en comparación con las que se regaron con la solución Steiner (Figura 6), lo cual resulta conveniente como una alternativa a la disminución del uso de fertilizantes minerales y el control de enfermedades como fue el caso de *Solanum tuberosum* que disminuyó casi a la mitad los tubérculos enfermos respecto a la aplicación de fertilizante químico y hasta tres veces menos que sin aplicación de ningún tratamiento (Albert *et al.*, 2012).

La distribución de materia seca en los diferentes órganos no se modificó por efecto de la colecta y la solución nutritiva (Figuras 5 y 6).

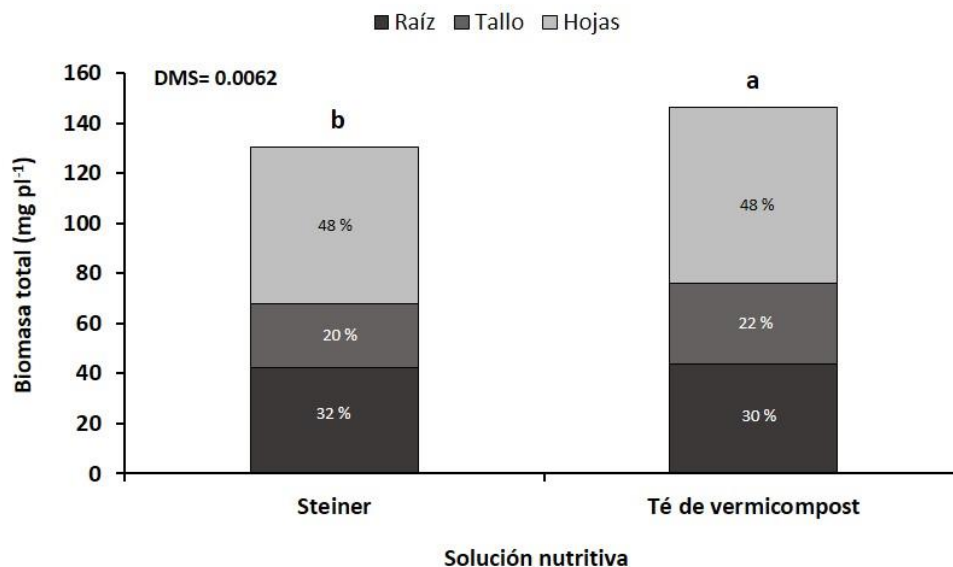


Figura 6. Biomasa total y compartimentación en los órganos de plántulas de *Salvia hispanica* L. en función de la solución nutritiva de riego en condiciones de invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Contenido de clorofila, nitratos, potasio y calcio en el extracto celular, y actividad antioxidante

El contenido de clorofila determinado en forma indirecta por el SPAD se modificó por efecto de los factores malla sombra de color y solución nutritiva, así como por las interacciones malla*solución y malla*colecta*solución. Todos los factores de estudio, así como sus interacciones influyeron en el contenido de nitrato y calcio, no así en potasio que no fue modificado por la interacción colecta*solución. La actividad antioxidante se modificó por efecto de malla sombra de color y por la colecta.

El Cuadro 3 indica que los valores más altos de lecturas SPAD se presentan en las plántulas de la malla roja y son diferentes estadísticamente a las de malla azul, verde y testigo. Como el índice de verdor (SPAD) está asociado con el contenido de nitrógeno (Krugh *et al.*,

1994; Caires *et al.*, 2005), se esperaría que el contenido de NO_3^- -N presentara una tendencia similar, sin embargo, se registraron valores más altos con la malla azul. El contenido mayor de K^+ se obtuvo en las plantas bajo la malla roja. El contenido de Ca^{2+} fue más alto en las plántulas crecidas bajo la malla azul.

Las plántulas en condiciones de malla sombra verde y aquellas que no fueron cubiertas registraron la mayor actividad antioxidante (82 % de inhibición del radical DPPH). Esto probablemente se deba más a la RFA que a la calidad de la luz, ya que las plántulas bajo malla verde y sin malla tuvieron RAF más altas que en el resto de los tratamientos. Se ha documentado que algunas plantas responden a la intensidad lumínica excesiva formando algunos compuestos para su protección, tal es el caso de frutos de tomate, aquellos expuestos a pleno sol incrementaron el nivel de ácido ascórbico y compuestos fenólicos en 34 y 25 %, respectivamente comparados con frutos sombreados por el follaje de la planta (Pék *et al.*, 2011). Por el contrario, en cebollas (*Allium fistulosum* L. cv Kinka), los incrementos en la intensidad de la luz (150, 300 y 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no afectaron la capacidad antioxidante (Levine y Paré, 2009). De acuerdo con Sharafzadeh (2012) las condiciones óptimas de luz son importantes para la acumulación de metabolitos, así como para el crecimiento y desarrollo de plantas. En albahaca se indujo una capacidad antioxidante mayor al 30% mediante la irradiación con luz roja y blanca comparada con luz azul (Shiga *et al.*, 2009), lo que sugiere respuestas diferentes entre especies a la calidad de luz, como es el caso de lechuga de hoja roja sometidas a luz LED verde, que estimuló la síntesis de antocianinas (Johkan *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Lecturas SPAD, nitrógeno (NO₃⁻N), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺) y actividad antioxidante (AAntiox) en plántulas de *Salvia hispanica* L. en función de la malla sombra de color, la colecta y la solución nutritiva producidos en invernadero. Montecillo Edo. de México (2015).

Factor	Niveles	Lecturas SPAD	NO ₃ ⁻ -N	K ⁺ ppm	Ca ²⁺	AAntiox % IDPPH
Malla sombra de color	Azul	30.18 b [§]	955.79a	2062 b	437 a	11.1 c
	Roja	31.53 a	780.64b	2458 a	414 b	50.3 b
	Verde	30.78 ab	64.50c	2008 b	409 b	82.9 a
	Sin malla	30.48 b	48.59c	1713 c	400 b	82.4 a
Colecta	Morelos	30.43 a	463.16b	2175 a	350 c	48.7 c
	Puebla	30.91 a	438.16c	1834 b	497 a	63.1 a
	Estado de México	30.88 a	485.83 a	2171 a	398 b	58.3 b
Solución nutritiva	Steiner	31.46 a	536.47a	1863 b	437 a	56.6 a
	Té de vermicompost	30.03 b	388.30 b	2258 a	393 b	56.8 a
DSH _{0.05}	Color de malla	0.87	24.02	166.3	18.0	2.5
	Colecta	0.68	18.93	131.1	14.2	2.0
	Solución nutritiva	0.47	12.88	89.2	9.7	1.4

[§]Letras iguales en cada columna indican que los valores son estadísticamente similares (Tukey, $P \leq 0.05$). DSH_{0.05}= diferencia significativa honesta. % IDPPH= porcentaje de inhibición del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo.

La mayor cantidad de NO₃-N se presentó en las plántulas que crecieron bajo malla azul, que propicio una RFA de 124 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la más baja de todos los tratamientos, este aumento de nitratos fue muy notable en comparación con las del tratamiento testigo. En la determinación de concentración de nutrientes por colecta se encontraron diferencias por elemento determinado, destacando mayor cantidad de NO₃-N y K⁺ en las plántulas provenientes del Edo. De México (Cuadro 3). Las plántulas de la colecta Puebla incrementaron la actividad antioxidante en 7.6 y 22.8 % respecto a las colectas Estado de México y Morelos, lo que muestra que el origen de la semilla a pesar de ser la misma especie

produce diferente cantidad de antioxidantes, esto es importante para tener en cuenta cuando se haga el consumo de plántula para microgreen.

Con la aplicación de la solución de Steiner se obtuvo el mayor índice de verdor (SPAD) y contenido de NO_3^- -N y Ca^{2+} ; esto debido a que la solución presenta una mayor concentración de minerales y un balance en cationes y aniones que favorece el desarrollo de las plantas (Steiner, 1984) a diferencia del té de vermicompost empleado con menor contenido de nutrientes, ya que la calidad depende del origen del vermicompost y el tiempo de incubación del té (González *et al.*, 2013). En tanto que, con el té de vermicompost se registró mayor contenido de K^+ en el extracto celular. Algunos tipos de vermicompost tienen altos contenidos de potasio (Durán y Henríquez, 2007). Algunos estudios han indicado que la nutrición orgánica incrementa el contenido de bioactivos como fenólicos y antioxidantes (Zhao *et al.*, 2009; Trendafilova *et al.*, 2010; Wojdylo *et al.*, 2010), en el presente estudio, no se observaron diferencias en la actividad antioxidante por efecto de la solución nutritiva, lo cual se toma con reserva considerando que el trabajo llegó sólo a nivel de producción de plántulas de *S. hispanica* (Cuadro 3).

1.4. CONCLUSIONES

En la producción de plántulas de chíá el uso de la malla roja favoreció la altura, el índice de verdor y el contenido de K^+ , la malla verde incremento la materia seca y actividad antioxidante, lo que son una alternativa para la producción de plántulas de calidad.

Las colectas provenientes de Estado de México y Morelos respondieron favorablemente a las mallas, y la de Puebla que tuvo menor tamaño de plántula presentó los valores más altos de antioxidantes, esta última propiedad es una alternativa para la

producción de microgreens. Por su parte, el té de vermicompost representa una alternativa a la producción de almácigos de chíá.

1.5. LITERATURA CITADA

- Albert N., K. Nazaire, and Hartmut, K. 2012. The relative effects of compost and non-aerated compost tea in reducing disease symptoms and improving tuberization of *Solanum tuberosum* in the field. *International Journal of Agriculture: Research and Review* 2: 504-512.
- Ayala-Tafoya F., R. Sánchez-Madrid, L. Partida-Ruvalcaba, M. G. Yáñez-Juárez, F. H. Ruiz-Espinosa, Velázquez Alcaraz, T. J., M. Valenzuela-López, y J. M. Parra-Delgado. 2015. Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Fitotecnia Mexicana* 38: 93-99.
- Brant S. R., B. J. E. Pinto, F. L. Rosal, B. C. J. Albuquerque, V. S. K. Bertolucci, and M. R. Correa. 2008. Crescimento de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. *Horticultura Brasileira* 26: S56-S60.
- Busilacchi H., M. Quiroga, M. Bueno, O. Di Sapio, V. Flores, y C. Severín. 2013. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos Tropicales* 34: 55-59.
- Caires N. O. S., de C. J. Guedes, M. F. A. Días, de P. T. R. Pereira, y de P. P. Jorge. 2005. Uso de SPAD 502, contenido de clorofila, nitrógeno, manganeso en algodonero. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 517-521.
- Casierra-Posada F., J. F. Cárdenas-Hernández, y A. H. Roa. 2008. Efecto del aluminio sobre la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). *Orinoquia* 12: 45-56.
- Casierra-Posada F., y B. J. F. Rojas. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agronomía Colombiana* 27: 49-55.
- Casierra-Posada F., J. E. Peña-Olmos, y C. Ulrichs. 2011. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) afectadas por la

- calidad de la luz: implicaciones agronómicas. Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 14: 43-53.
- Chang-Chang C., H. Meng-Yuan, L. Kuan-Hung, W. Shau-Lian, H. Wen-Dar, and Y. Chi-Ming. 2014. Effects of Light Quality on the Growth, Development and Metabolism of Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.). Research Journal of Biotechnology 9: 15-24.
- Decoteau D. R., H. A. Hatt, J. W. Kelly, M. J. McMahon N. Rajapakse, N., R. E. Young, and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. HortScience 28: 974-1063.
- Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales 31: 74-85.
- Durán L., y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense 31: 41-51.
- González S. K. D., M. N. Rodríguez M. L. I. Trejo, T., J. Sánchez, E., y J. L. García, C. 2013. Propiedades químicas de té de vermicompost. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 5: 901-911.
- Hernández L., B. Benítez, F. Soto, y M. E. Dominí. 2007. Efecto de una mezcla de oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de *Anthurium andreanum*. Cultivos Tropicales 28: 83-86.
- Jamboonsri W., T. D. Phillips, R. L. Geneve, J. P. Cahill, and D. F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.-a new x3 source. Genetic Resources and Crop Evolution, 59:171-178.
- Johkan M., K. Shoji, F. Goto, S. Hahida, and T. Yoshihara. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany 75: 128-133.
- Krugh B., L. Bichham, and D. Miles. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. Maize Genetics Cooperation. News Letter 68: 25-27.
- Levine H. L., and W. P. Paré. 2009. Antioxidant capacity reduced in scallions grown under elevated CO₂ independent of assayed light intensity. Advances in Space Research 44: 887-894.

- Mazzini-Guedes R. B., and K. L. P. Fernandes. 2014. Initial growth of *Bauhinia variegata* trees under different colored shade nets and light conditions. *Revista Árvore* 38(6): 1133-1145.
- Márquez-Quiroz C., V. Robledo-Torres, A. Benavides-Mendoza, M. E., Vázquez-Badillo, E. De la Cruz-Lázaro, M. A. Estrada-Botello, y S. T. López-Espinosa. 2014. Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1: 175-180
- Mo M., K. Yokawa, Y. Wan, and F. Baluška. 2015. How and why do root apices sense light under the soil surface? *Frontiers in Plant Science* 6: 1-8.
- Muñoz L. A., A. Cobos, O. Díaz, and J. M. Aguilera. 2013. Chia Seed (*Salvia hispanica*): An Ancient Grain and a New Functional Food. *Food Reviews International* 29: 394-408.
- Pant A., T. J. K. Radovich, N. V. Hue, and N. Q. Arancon. 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Science and Utilization* 19: 279-292.
- Pék Z., P. Szuvandzsiev, A. Nemenyi, L. Helyes, and A. Lugasi. 2011. The effect of natural light on changes in antioxidant content and color parameters of vine-ripened tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *HortScience* 46: 583-585.
- Rojas R. T. 1988. *Las siembras de ayer: La agricultura indígena del siglo XVI*. México: SEP: CIESAS.
- Salazar-Vega I. M., M. R. Segura-Campos, L. A. Chel-Guerrero, and D. A. Betancur-Ancona. 2012. Antihypertensive and antioxidant effects of functional foods containing chia (*Salvia hispanica*) protein hydrolysates. In B. Valdez (ed.), *Scientific, health and social aspects of the food industry* (pp. 381-398). México: InTech.
- Salisbury F. B., y C. W. Ross. 2000. *Fisiología de las plantas 3: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. México: Paraninfo.
- SAS Institute. 2015. *SAS/STAT user's guide Release 9.4*. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo. consultado 01-03-2017 http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.

- Shahak Y., E. E. Gussakovsky, Y. Cohen, and S. Lurie. 2004. ColorNets: A New Approach for Light Manipulation in Fruit Trees. *Acta Horticulturae* 636: 609-616.
- Shahak Y., E. Gal, Y. Offir, and D. Ben-Yakir. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae* 797: 75-80.
- Sharafzadeh S. 2012. Growth and secondary metabolites of basil, mint and thyme as affected by light. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 3: 43-49.
- Shiga T., K. Shoji, H. Shimada, S. Hashida, F. Goto, and T. Yoshihara. 2009. Effect of light quality on rosmarinic acid content and antioxidant activity of sweet basil, *Ocimum basilicum* L. *Plant Biotechnology* 26: 255-259.
- Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: *Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp: 633-649.
- Torres-Hernández M. I., M. N. Rodríguez-Mendoza, M. Soto-Hernández, and M. E. Pedraza-Santos. 2012. Hydroponics and Colored Shade Nets in *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* Production. *Acta Horticulturae* 947: 409-413.
- Trendafilova A., M. Todorova, E. Vassileva, and D. Ivanova. 2010. Comparative study of total phenolic content and radical scavenging activity of conventionally and organically grown herbs. *Botanica Serbica* 34: 133-136.
- Valverde K., M. Chang, y A. Rodriguez-Delfín. 2009. Efecto de la calidad de luz sobre la actividad de la nitrato reductasa en plantas de lechuga cultivadas en NFT. *Red Hidroponía Boletín No. 45*: 8-12.
- Wojdylo A., J. Oszmianski, and P. Bielicki. 2010. Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant activity of three varieties of apple from organic and conventional farming. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 55(4): 173-177.
- Zhao X., J. R. Nechols, K. A. Williams, W. Wang, and E. E. Carey. 2009. Comparison of phenolic acids in organically and conventionally grown pac choi (*Brassica rapa* L. chinensis). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 940-946.

CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) CON DISMINUCIÓN DE RADIACIÓN Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA.

RESUMEN

En la época actual se ha incrementado el consumo de la chía (*Salvia hispanica* L.), por sus características nutrimentales y antioxidantes, por lo que es importante buscar alternativas para mejorar la producción y calidad de esta. El objetivo de la investigación fue evaluar el crecimiento y rendimiento de chía cultivada bajo diferente radiación y nutrición orgánica. Con la hipótesis que la combinación de fertilizantes orgánicos y disminución en la radiación modifica el desarrollo y rendimiento de la semilla. El estudio se realizó en campo, la siembra fue manual, en banda, a lo largo del surco y se cubrió con mallas sombra azul, rojo, verde o sin malla; El flujo fotónico correspondió a 691, 758, 720 y 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. A los 30 días después de la siembra se aplicó mensualmente al suelo 12 Mg ha^{-1} de vermicompost y aplicación foliar de “té” de vermicompost (CE 0.5 dS m^{-1}). Con un diseño experimental en parcelas divididas con 12 tratamientos y cuatro repeticiones. En muestreos destructivos mensuales se evaluó altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar y materia seca por órgano y total. En la cosecha se evaluó número y peso de espigas y rendimiento de semilla por tratamiento. El desarrollo de las plantas de chía se modificó con los cambios de radiación y aplicación de vermicompost. La biomasa seca y la tasa de crecimiento absoluta fueron mayores con un flujo fotónico 720 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pero el rendimiento de semilla se redujo. La disminución de la radiación acorta el ciclo del cultivo, mas no influye en el rendimiento de la semilla; sin embargo, la combinación de vermicompost y té de vermicompost como fuente de nutrición incrementó la biomasa y el rendimiento de semilla.

Palabras clave: *Salvia hispanica* L., calidad de luz, nutrición orgánica, vermicompost, biomasa total, rendimiento.

**CHAPTER II. GROWTH AND PRODUCTION OF CHIA (*Salvia hispanica* L.)
WITH DECREASE RADIATION AND ORGANIC FERTILIZATION**

ABSTRACT

Nowadays, the consumption of chia (*Salvia hispanica* L.) has increased because of its antioxidant and nutritional characteristics, so it is important looking for alternatives to improve the production and quality of this crop. The objective of the investigation was to evaluate the growth and yield of chia grown under different fluxes of irradiance and organic nutrition. The hypothesis is that the combination of organic fertilizers and decrease in the irradiance have effect in the development and yield seed. The study was carried out in field conditions; the planting was manual, in band, along the furrow and covered with blue, red or green shade mesh, or without mesh (control) with photon flows of 691, 758, 720 and 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. By the day 30 after planting and monthly so on, was applied 12 Mg ha^{-1} of vermicompost and foliar application of vermicompost "tea" (CE 0.5 dS m^{-1}) to the ground. With a split-plot experimental design with 12 treatments and four replications. Plant height, stalk diameter, number of leaves, leaf area and dry matter per organ and total in destructive samplings were evaluated monthly. In the harvest was evaluated the number and weight of spikes and seed yield per treatment. The development of the plants of chia was modified with the changes of irradiance and application of vermicompost. The dry biomass and absolute growth rate were higher with a photon flow 720 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, but the seed yield was reduced. The decrease of the irradiance shortens the crop cycle, more does not affect the

yield of the seed; however, the combination of vermicompost on soil and vermicompost tea as a source of nutrition increased the biomass and seed yield.

Key words: *Salvia hispanica* L., light quality, organic nutrition, vermicompost, total biomass, yield.

2.1. INTRODUCCIÓN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es un grano ancestral con propiedades funcionales que puede incorporarse a la dieta básica porque es fuente de ácidos grasos omega-6 y omega-3, fundamentales en la nutrición humana, compuestos antioxidantes (Di Sapia *et al.*, 2012), fibra dietética y proteínas (Mohd *et al.*, 2012). En México, los principales estados productores de chía son Jalisco, Sinaloa y Puebla, en los que se sembraron 11,904, 403 y 387 ha en 2015, con rendimiento promedio nacional de 0.6 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2017). La preocupación actual por el consumo de alimentos inocuos con mayor calidad conlleva a buscar alternativas, dentro de las estrategias para favorecer el desarrollo de los cultivos e incrementar la producción está el uso de redes foto-selectivas, que al cambiar la intensidad de la luz y el espectro de radiación alteran el microclima y el consumo de energía (Milenković *et al.*, 2012). Aunque las mallas negras se utilizan tradicionalmente para reducir los daños causados por la radiación solar excesiva, viento, granizo y aves, así como para ahorrar agua de riego; estudios recientes han demostrado que cuando la malla negra se reemplaza por mallas de otros colores se modifica la radiación, aumenta la producción y mejora la calidad de los pimientos y tomates (Ben-Yakir *et al.*, 2012). Las coberturas de colores o filtros fotoselectivos es una técnica agrícola, que proporciona al agricultor alternativas reales de manejo en el cultivo y contribuye significativamente al estudio de la fisiología vegetal (Casierra-Posada y Peña-Olmos, 2015).

La agricultura orgánica ofrece la posibilidad de incrementar el rendimiento y mejorar las propiedades nutraceuticas con un manejo sustentable del agroecosistema. La aplicación de fuentes orgánicas como el compost y vermicompost tiene efectos benéficos en el cultivo y en la calidad del suelo. El vermicompost es rico en microorganismos benéficos como bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fosfato, actinomicetos y hormonas de crecimiento como auxinas, citoquininas, giberelinas, entre otros (Adhikary, 2012; Kenyangi y Blok, 2012) que ayudan al mantenimiento de la fertilidad del suelo, a llevar a cabo el reciclaje eficiente de nutrientes y contribuir al crecimiento de las plantas (Sharma *et al.*, 2005). Estos productos diluidos y aplicados al follaje y ácidos húmicos al suelo aumentan el rendimiento y la calidad del pepino (*Cucumis sativus* L), este efecto se relaciona con la absorción dosificada de nutrientes provenientes de la mineralización de los productos orgánicos (Unlu *et al.*, 2011).

El manejo de la luz y la nutrición orgánica son técnicas que podrían ser útiles para mejorar el crecimiento y la producción de chíá. A través de un análisis de crecimiento se cuantifica la relación existente entre el desarrollo de una planta, la expansión de área foliar y la producción con una condición ambiental como la luz, el agua o los nutrientes (Clavijo, 1989). Para este análisis se utilizan índices como la razón de área foliar (RAF) que indica la relación entre el área foliar y el peso de la materia seca total; la razón del peso foliar (RPF) que mide la cantidad de materia seca que se acumula en las hojas en relación a la total acumulada en el dosel; el área foliar específica (AFE) que representa la producción de área foliar por gramo de materia seca acumulada en la hoja; y la tasa de crecimiento absoluto (TCA) que expresa el incremento de materia seca por unidad de tiempo (Gardner *et al.*, 1990, Hunt *et al.*, 2002; Villar *et al.*, 2004; Nassi *et al.*, 2011). En el entendimiento del desarrollo

del cultivo, la aplicación de estos índices permite medir con precisión cuales son los factores y en que órganos influyen más, por lo que el objetivo de la investigación fue cuantificar el efecto de la irradiación y la nutrición en el crecimiento y rendimiento de plantas de chía cultivadas en campo. Bajo la hipótesis que la combinación de fertilizantes orgánicos y disminución en la radiación fotosintéticamente activa modifica el desarrollo y rendimiento de la semilla.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el periodo con lluvias estacionales, en el módulo del Postgrado de Agroecología, del Colegio de Postgraduados en Montecillo, México (19° 29' N; 98° 54' O y altitud de 2250 m), en el verano de 2015. El clima de la región es templado (Cw) de acuerdo con García (2004). El suelo de siembra es de textura franco limosa, con pH de 7.8, conductividad eléctrica (CE) de 2.93 dS m⁻¹, con 2 % de materia orgánica y densidad aparente de 1.2 g cm⁻³. La siembra se llevó a cabo el 30 de junio de 2015, de forma manual a lo largo del surco, la semilla de chía se obtuvo de la región de Texcoco del ciclo anterior de cultivo. Los tratamientos establecidos fueron 12, resultado de la combinación de dos factores, la radiación modificada por malla sombra de color (M) azul, roja, verde y testigo sin malla (MA, MR, MV y SM, respectivamente) y fertilización orgánica (F) vermicompost, vermicompost más aplicación foliar de té de vermicompost y testigo sin fertilización (FV, FVT y SF, respectivamente).

El diseño experimental fue en parcelas divididas con cuatro repeticiones. El factor malla se asignó a las parcelas principales y el factor fertilización se asignó al azar dentro de la parcela principal. La unidad experimental consistió de cinco surcos de 5 m de longitud

por 0.5 m de ancho, de los cuales se consideraron los centrales como parcela útil. Las mallas sombra de polietileno de alta densidad con 80% de sombra, se colocaron al momento de la siembra sobre postes de madera sujetadas con alambre en cada uno de los lotes a una altura de 1.5 m. Se midió la radiación fotosintéticamente activa (RFA) con un sensor lineal de quantum modelo LI-191 bajo condiciones de cielo despejado entre las 12:00 y 13:30 horas. El flujo de fotones fotosintéticos fue de 691, 720, 758 y 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en MA, MR, MV y SM, respectivamente.

Los tratamientos de fertilización consistieron en la aplicación de vermicompost al suelo a razón de 12 Mg ha^{-1} a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (dds). El té se obtuvo solubilizando en agua el vermicompost hecho de estiércol bovino y rastrojo de maíz con relación C/N 13 (González *et al.*, 2013). El té resultante mostró una CE de 6.75 dS m^{-1} y pH de 7.5. Para hacer las aplicaciones al follaje (cada 30 días), el té se diluyó con agua hasta obtener CE de 0.5 dS m^{-1} y se ajustó a un pH de 5.5 con H_2SO_4 y la utilización de un medidor portátil (CONDUCTRONIC PC18).

Durante el ciclo del cultivo se registró la ocurrencia de las fases fenológicas, cuando más del 50% de las plantas presentaban la etapa correspondiente y se expresó en días después de la siembra (dds): emergencia (E), aparición de primordio floral (R1), inicio de floración (R2), inicio de fructificación (R3) y a madurez fisiológica (MF). Para evaluar el crecimiento del cultivo, se realizaron muestreos destructivos mensuales de cuatro plantas dentro de la parcela útil de cada unidad experimental, en las cuales se midió altura de planta (ALT) con una regla graduada, el diámetro de tallo (DT) con un vernier digital y área foliar (AF) medida con un integrador electrónico (LI-COR™ 3100). Se calculó la razón de área foliar (RAF) mediante la expresión $\text{RAF} = \text{AF}/\text{W}$, donde AF es el área foliar y W el peso seco total, la

razón de peso foliar (RPF) con la expresión $RPF = PH/W$, donde PH es el peso de las hojas y el área foliar específica (AFE) con $AFE = AF/PH$. Además, se estimó la tasa media de crecimiento absoluto (TCA) con la ecuación, $TCA = [(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente (Hunt, 1990; Escalante y Kohashi, 1993). A la cosecha, se evaluó número de nudos y brotes, número y peso de espigas, el rendimiento de semilla (RS, $g\ m^{-2}$ al 12% de humedad) y la biomasa total (BT, $g\ m^{-2}$) que representa la suma de la masa seca (MS) de todos los órganos de la planta en cada muestreo; las muestras se secaron en una estufa de circulación de aire forzado a 72 °C por 72 h. Con los datos obtenidos de todas las variables, se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de promedios de Tukey con ($\alpha=0.05$). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS V9.4 (SAS Institute, Inc., 2015).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología del cultivo

El uso de malla sombra generó diferente radiación fotosintéticamente activa (RFA) que modificó la ocurrencia de las fases fenológicas (Cuadro 1). La emergencia se presentó dos y tres días antes bajo las mallas azul ($691\ \mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$) y roja ($720\ \mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$) respecto a la malla verde ($758\ \mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$) y al testigo ($1848\ \mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$); y las etapas de aparición del primordio floral, floración y llenado de frutos, se presentaron ocho y diez días después en las plantas bajo la malla verde y el testigo, respectivamente, por lo cual el ciclo de cultivo se prolongó 12 y 13 días más que con las mallas azul y roja. La incorporación de mallas sombra de colores azul y rojo es útil para acelerar el desarrollo de *S. hispanica* y acortar su ciclo de vida. Tendencias similares en los días a ocurrencia de las etapas fenológicas en chíca se han

observado al evaluar el efecto de las fechas de siembra (Arriagada, 2014 y Tello, 2014). Busilacchi *et al.* (2013) en Argentina, reporta el ciclo de cultivo de la chía hasta de 170 días cuando se siembra a principios de enero, lo cual está relacionado con la latitud a la que se siembre, ya que la chía es sensible al fotoperiodo.

Cuadro 1. Fases fenológicas registradas durante el experimento en campo del cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.) producida con mallas sombra y fertilización orgánica en Montecillo, Texcoco, México. Verano de 2015.

Malla	Emergencia	Aparición de primordio floral	Floración	Llenado de frutos	Madurez fisiológica
	Días después de la siembra				
Azul [§]	7	81	100	115	135
Roja	7	82	100	116	135
Verde	9	89	108	123	147
Testigo	10	90	110	123	148

[§]RFA de malla azul= 691, roja= 720, verde=758, testigo= 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

En otros cultivos como el arándano, el uso de mallas de color también provoca un desfase en las fases fenológicas, con malla aluminizada es más evidente, donde los periodos de fruto verde, fruto cremoso y de pinta se inician 11, 14 y 16 días después, respectivamente, en relación con el cultivo sin malla (Rodríguez y Morales, 2015). En contraste, la fertilización no ocasionó cambios en los días a etapas fenológicas.

Índices del crecimiento

Razón de área foliar (RAF), razón de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en los tres índices (RAF, RPF y AFE) por efecto de factores principales (malla sombra de color y fertilización) en la mayoría de los periodos evaluados (Cuadro 2).

En la RAF, la RPF y el AFE hay un incremento conforme avanzó el ciclo de cultivo, a excepción del último muestreo donde la RAF y RPF presentó una reducción debido al descenso del área foliar, ocasionado por el inicio de senescencia del cultivo. El uso de mallas sombra incrementó el material asimilatorio upor unidad de materia seca (mayor RAF) y la aplicación de fertilizantes orgánicos influyó en la RAF a los 100 y 130 dds, ya que las plantas donde se aplicó vermicompost al suelo y el té de vermicompost foliar registró los valores más altos. El gasto mayor de materia seca para formar la maquinaria fotosintética (RPF) se obtuvo con la malla verde ($758 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a los 100 dds (Cuadro 2), lo cual se refleja en una mayor producción de biomasa (Cuadro 4) mientras que en las plantas bajo las otras mallas se observó mayor acumulación de materia seca en las hojas en relación a la total acumulada en el dosel (RPF). De acuerdo a lo reportado por Hunte *et al.*, 2002, el uso de estos índices permite comparar la eficiencia del dosel vegetal entre especies, cultivares y tratamientos en función de fechas de siembra, nutrimentos y cultivares. El espesor de la hoja, que tiene que ver con el AFE presentó diferencias estadísticas significativas por efecto de las mallas sombra a los 40, 70 y 100 dds. Con la malla roja se presentó la mayor producción de hojas y se refleja con el valor más alto de AFE (Cuadro 2). Este desarrollo foliar está relacionado con el efecto Emerson, ya que bajo los filtros fotoselectivos rojos, las longitudes

de onda están en el rango de los 670 a los 700 nm, y en esta condición hay un aumento en la tasa de fotosíntesis. Bajo la luz roja, que es un componente del espectro visible, es suficiente para que la planta crezca y realice su proceso fotosintético (Lu *et al.*, 2012; Olle y Virsile, 2013). Investigadores han demostrado que cuando existe una iluminación diferencial, las auxinas son capaces de migrar a los sitios menos iluminados de ambas caras de la lámina foliar y concentrarse, lo que provoca mayor crecimiento celular, ya que estas fitohormonas son responsables de la distensión celular (Rodríguez *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Razón de área foliar (RAF), razón de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE) durante el ciclo de cultivo de *Salvia hispanica* L.

Malla sombra	RAF (dm ² g ⁻¹)				RPF (g g ⁻¹)				AFE (dm ² g ⁻¹)			
	Días después de la siembra (dds)											
	40	70	100	130	40	70	100	130	40	70	100	130
Azul	4.1b [§]	5.7b	6.5b	4.3a	0.41a	0.45a	0.40b	0.21a	9.8c	12.5b	16.9b	20.0a
Roja	5.7a	7.8a	7.4a	4.4a	0.43a	0.46a	0.39b	0.23a	13.4a	16.8a	19.3a	18.9a
Verde	5.1a	6.5a	7.1a	4.3a	0.43a	0.47a	0.44a	0.24a	11.9b	13.8b	16.5b	18.2a
Testigo	3.2c	4.4c	5.1b	3.6b	0.42a	0.46a	0.41b	0.22a	7.7d	9.8c	12.6c	17.1a
Fertilización												
Vermicompost	4.3a [§]	6.0a	6.9a	3.7b	0.43ab	0.47a	0.38b	0.22b	10.4a	13.3a	18.1a	20.0a
Vermi + té	4.6a	6.7a	7.5a	5.0a	0.39b	0.44b	0.40b	0.22b	11.6a	14.9a	18.9a	23.0a
Testigo	4.5a	5.6a	5.4b	3.8b	0.45a	0.48a	0.46a	0.24a	10.2a	11.6b	11.8b	15.7b

(RFA de malla azul= 691, roja= 720, verde=758, testigo= 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Té; te de vermicompost.
[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta.

El cociente entre el área y el peso de la hoja indica que la planta en sus primeras etapas de desarrollo conforma su maquinaria fotosintética, por lo que esta expresión es útil para

explicar en ocasiones hasta el 80% de la variación en sus tasas de crecimiento (Vega *et al.*, 2012), a pesar de que otros factores, como la proporción de biomasa distribuida en los diferentes órganos, las tasas de fotosíntesis y respiración, o la composición química de la hoja, también pueden intervenir de forma decisiva en las tasas de crecimiento (Villar *et al.*, 2004). Las plantas con fertilización al suelo y la combinación al suelo más foliar mostraron los valores más altos de AFE a los 70, 100 y 130 dds. Un AFE baja se asocia con hojas más duras o más densas, lo cual es una ventaja en un ambiente de baja fertilidad, las hojas persisten más y el periodo de retorno sobre carbono y nitrógeno invertido se prolonga (Poorter *et al.*, 2009; Brouillette y Donovan, 2011). En los suelos con menor cantidad de nutrientes (testigo) se presentaron los valores más bajos de AFE.

Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

La dinámica de la TCA de la chíca en función de la RFA (mallas de color) y la fertilización orgánica se ajustó a un modelo de regresión cuadrática (Figuras 1 y 2) y se modificó sólo por efecto de estos factores principales. Las plantas con malla verde presentaron los valores más altos de TCA con un máximo de $23.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (95 dds), superior en 43, 70 y 72% respecto a malla roja, testigo y malla azul. La Figura 1 muestra que la mayor tasa de acumulación de biomasa se logró con la malla verde, con valores máximos a los 95 dds, al presentar la TCA $3.89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la ecuación, seguido de malla roja con $2.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La TCA más baja correspondió al tratamiento testigo y a la malla azul con 1.78 y $1.70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

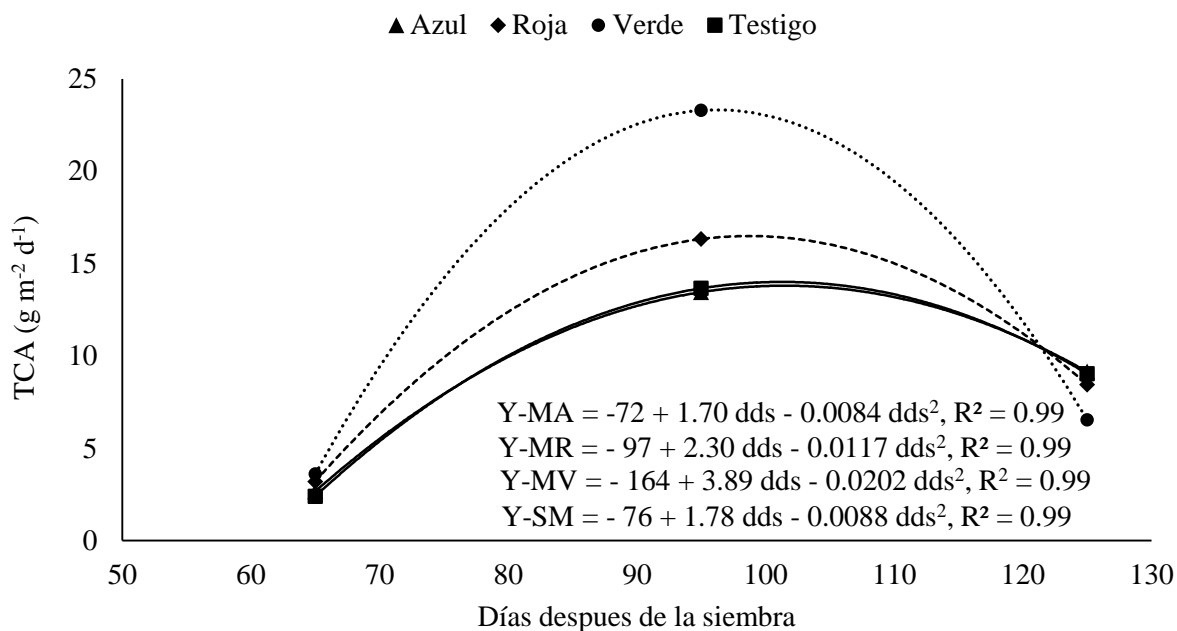


Figura 1. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) del cultivo de chíá (*Salvia hispanica* L.) en función de la malla sombra de color. MA-malla azul, MR-malla roja. MV-malla verde, SM-testigo.

La fertilización orgánica (vermicompost y aplicación foliar de té de vermicompost) estimuló significativamente la TCA, con $24.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, y los más bajos se presentaron en las plantas testigo y cuando se aplicó únicamente vermicompost con 12.6 y $13.1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Esto indica que a pesar de que la fertilización orgánica al suelo tiene muchos beneficios, en ocasiones no son suficientes los nutrientes que contiene para el desarrollo del cultivo, por lo que hay mayor respuesta al complementar con la fuente foliar.

En este estudio, la aplicación foliar del té de vermicompost provocó incrementos en la materia seca en cada fecha de muestreo. De acuerdo con el modelo de regresión, la TCA más alta ($3.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se logró con la incorporación de vermicompost más té. La TCA más baja correspondió al tratamiento testigo y a aplicación de vermicompost con valores de 1.87 y 1.46 $3.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 2). Los incrementos en la TCA con FVT pueden atribuirse tanto al

contenido mineral como a las sustancias promotoras del crecimiento presentes en estas fuentes orgánicas (Ingham, 2005, Pant *et al.*, 2009), lo que provoca aumentos en el tamaño del dosel vegetal, medido a través del área foliar, además se retrasa la senescencia foliar y se prolonga su duración y actividad fotosintética (Fageria y Baligar, 2005). Al final del ciclo de cultivo la TCA se reduce porque los fotoasimilados se distribuyen a los nuevos sitios de demanda, en este caso a la formación de semilla. La combinación de las dos fuentes orgánicas aplicadas al cultivo indica que el vermicompost por sí solo no potencializó al máximo el desarrollo del cultivo.

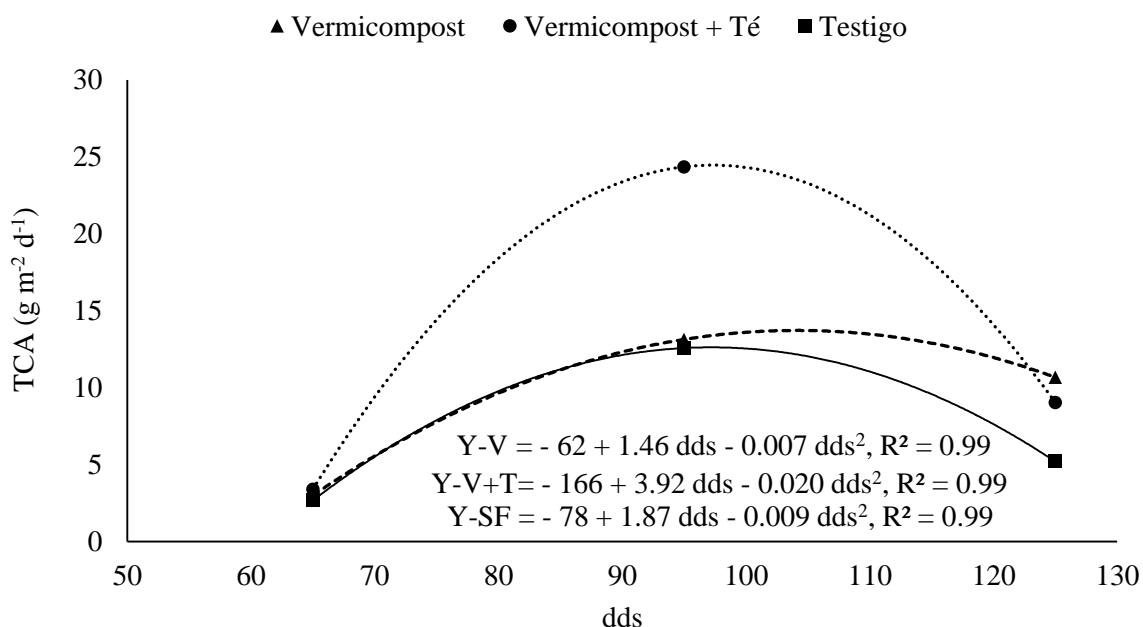


Figura 2. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) del cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.) en función de la aplicación de dos fuentes de fertilizantes orgánicos.

Efectos sobre las variables agronómicas evaluadas a la cosecha de *S. hispanica* L.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas por efecto de malla, fertilización y la interacción (Cuadro 3). Los intervalos de radiación modificaron la altura de las plantas, el diámetro de tallo, el área foliar, peso seco de tallo, hojas y espigas, el rendimiento de semilla y la biomasa total. La fertilización orgánica influyó en todas las variables en estudio, a excepción del número de nudos y brotes. La interacción de ambos factores modificó el diámetro de tallo, número de espigas, biomasa de tallo, hojas y total.

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica sobre aspectos agronómicos de *Salvia hispanica* L.

Fuente de variación	ALT	DT	AF	NN	NB	NE	PT	PH	PE	RS	BT
Malla sombra (M)	**	*	**	ns	ns	ns	*	**	*	**	*
Fertilización (F)	**	**	**	ns	ns	**	**	**	*	**	**
M * F	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	ns	ns	**
C. V. (%)	7.16	5.9	25.6	9.9	16	26	22	19	27	18	20
R ²	0.77	0.81	0.75	0.65	0.59	0.79	0.86	0.89	0.71	0.81	0.83
Media general	158	11.9	1644.6	13	20	35	34	10.1	18.90	3.48	63.8

ALT= altura, DT= diámetro de tallo, AF= área foliar, NN= número de nudos, NB= número de brotes, NE= número de espigas, PT PH PE= peso de tallo, hoja y espigas, RS= rendimiento de semilla, BT= biomasa total, *, ** = significativo $p \leq 0.05$, 0.01 , respectivamente, ns= no significativo a $p \geq 0.05$.

Las plantas con la malla roja y azul tuvieron mayor ALT y AF, superando al testigo en 5% y 26%, respectivamente (Cuadro 4). Esto es importante porque la estructura de un dosel, influye en los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento de células, crecimiento y competencia entre especies ya que influye en la temperatura, concentración de vapor y el

régimen de radiación en el medio de la planta; (Daughtry *et al.*, 1983; Montemayor *et al.*, 2006).

Cuadro 4. Promedios de las variables agronómicas en plantas de *S. hispanica* L. en función de la malla sombra de color.

Malla sombra	ALT	DT	AF	PST	PSH	PE	RS	BT
	cm	mm	cm²	g	g	g	g m⁻²	kg m⁻²
Azul	162.6 a [§]	11.9 b	1750 a	32.6 b	9.0 b	19.0 a	79.2 a	0.976 b
Roja	166.8 a	11.9 b	1846 a	34.4 b	10.2 a	22.1 a	75.8 a	1.010 b
Verde	153.0 b	12.4 a	1553 b	39.5 a	12.2 a	15.5 b	53.4 b	1.172 a
Testigo	157.4 b	11.5 b	1428 b	32.6 b	8.9 b	19.1 a	70.0 a	0.972 b
DSH _{0.05}	12.05	1.5	568.1	19.9	4.6	7.2	5.3	0.13

(RFA de malla azul= 691, roja= 720, verde=758, testigo= 1848 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). [§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta. ALT= altura, DT= diámetro de tallo, AF= área foliar, PST= peso seco de tallo, PSH= peso seco de hojas, PE= peso de espigas, RS= rendimiento de semilla y BT= biomasa total.

Los cambios morfológicos obtenidos se debieron a que la malla azul ($691 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y roja ($720 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) tenían la menor cantidad de RAF, y las plantas que se someten a baja intensidad luminosa tienden a ser más largas e incrementar su área foliar. Bajo estas circunstancias los fitocromos y los criptocromos, estimulan eventos relacionados con los niveles hormonales como giberelinas, auxinas, etileno, ABA, etc., que son responsables de alteraciones en la morfología de la planta, la fisiología, el desarrollo, y el metabolismo (Franklin y Whitelam. 2005; Möglich *et al.*, 2010; Hu *et al.*, 2013; Christie *et al.*, 2015).

Con la malla verde a $758 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se alcanzó mayor diámetro de tallo, peso seco de tallo y biomasa total de las plantas (Cuadro 4). En comparación con las plantas de malla azul ($691 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en donde hay mayor área foliar, pero menor biomasa total. La radiación incide en una cadena de acciones como el potencial eléctrico en las membranas de las células guarda que regula la apertura estomática, lo que provoca aumento de la concentración del CO_2 dentro del mesófilo disponible para la fotosíntesis y se refleja en mayor producción de biomasa (Kinoshita *et al.*, 2003; Moni *et al.*, 2014). Resultados similares en reducción de biomasa total fueron encontrados en orégano (*Origanum vulgare* L.) con malla azul y tomate cherry con malla azul y perla (Monteiro *et al.* 2012; Márquez-Quiroz *et al.* 2014). Sin embargo, la mayor producción de biomasa en plantas de brócoli se presentó cuando la producción se dio bajo cobertura roja, Casierra-Posada y Rojas (2009).

Estos resultados indican que los cultivos tienen respuesta diferencial a la radiación que se da en función del color de las mallas, y en la medida que las plantas logran una mayor duración de su ciclo de crecimiento, acumulan materia seca, que está correlacionada directamente con el rendimiento (Kooman *et al.*, 1996; Ayerza y Coates, 2009). En el presente estudio, no hubo relación directa entre el uso de mallas de color, la producción de biomasa total y el rendimiento de semilla de chíá, por el contrario, las plantas de la malla verde, aunque registró mayor acumulación de materia seca, disminuyó el rendimiento en un 29 %. Por lo que, de acuerdo a lo observado, si es necesario usar malla para proteger el cultivo no debería ser de color verde. Ya mencionado por Casal (2013) el grado de sombra afecta en varios procesos fisiológicos, la menor RFA limita la fotosíntesis, pero reduce también la posibilidad de daño por exceso de radiación fotosintéticamente activa y luz ultravioleta UVB.

Efecto de la fertilización orgánica en las variables agronómicas

La aplicación de vermicompost al suelo fue suficiente para el crecimiento de la planta, ya que al compararla con la fertilización foliar adicional, se lograron resultados similares en ALT y DT, así como para la formación del dosel vegetal cuantificado mediante el AF. Sin embargo, en las variables de RS, PST, PSH, PE y BT, con la fertilización combinada (al suelo y vía foliar) se obtuvieron los mejores resultados (Cuadro 5). Esto se atribuye al contenido de minerales, microorganismos y sustancias disueltos en el té de vermicompost que promueven el crecimiento vegetal (Albert *et al.*, 2012) y es posible que los nutrientes contenidos en el vermicompost no fueran suficientes, por lo que la planta respondió a la aplicación foliar.

Cuadro 5. Variables agronómicas en plantas de *S. hispanica* L. en función de la fertilización.

Fertilización	ALT cm	DT mm	AF cm ²	NE	PST g	PSH g	PE g	RS g m ⁻²	BT kg m ⁻²
Vermicompost	164.6 a [§]	12.1 a	1878.5 a	35 b	33.9 b	9.3 b	17.7 b	71.6 b	1.222 b
Vermic. + Té	167.9 a	12.5 a	1944.2 a	45 a	45.1 a	12.8 a	21.5 a	85.8 a	1.590 a
Testigo	142.6 b	11.1 b	1111.3 b	26 c	25.3 c	8.1 b	17.5 b	51.4 c	1.016 b
DSH _{0.05}	10.02	0.61	370	8.2	6.8	1.6	6.5	3.9	0.11

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta. ALT= altura, DT= diámetro de tallo, AF= área foliar, NE= número de espigas, PST= peso seco de tallo, PSH= peso seco de hojas, PE= peso de espigas, RS= rendimiento de semilla y BT= biomasa total (BT). Té: te de vermicompost.

Jamboonsri *et al.* (2012) mencionaron que la chía tiene bajo requerimiento de fertilizantes y riegos, en Argentina, la fertilización oscila entre 15-45 kg de nitrógeno y 37 kg de fósforo por hectárea y en México se aplican 68 kg de nitrógeno por hectárea (Ayerza

y Coates, 2009), por lo que faltan estudios sobre los requerimientos de fertilización del cultivo. Sin embargo, independientemente de los niveles óptimos de nutrientes, la fertilización orgánica resulta efectiva dada la importancia de estos en los cultivos.

Interacción de la radiación fotosintéticamente activa por el uso de malla sombra de color y la fertilización en variables agronómicas de *S. hispanica* L.

Se observaron diferencias en DT, NE, PST, PSH y BT con respecto a la interacción de las mallas sombra de color y la fertilización en el cultivo de chíá. En la variable DT los valores más bajos se registraron en las plantas sin fertilización y bajo malla azul, roja y sin malla. Los otros tratamientos fueron estadísticamente similares (Cuadro 6). Esto indica que la fertilización ya sea al suelo o combinada tuvo efecto en el crecimiento de la planta bajo las mallas azul, roja y sin malla, a diferencia de las plantas que crecieron bajo la malla verde, pues con o sin fertilización se obtuvieron resultados similares. El mayor NE se observó en las plantas con malla verde y aplicación de vermicompost más té de vermicompost y el menor resultó ser el testigo absoluto (Cuadro 6), lo cual pudo influir en el bajo rendimiento de semilla que se obtuvo bajo este color de malla. El tratamiento de malla verde y la aplicación de vermicompost y té registró mayor PST en contraste con los tratamientos sin fertilización en todas las condiciones de malla sombra y testigo (Cuadro 6), resultados relacionados directamente con el diámetro de tallo.

En la variable PSH los valores más altos se obtuvieron con malla verde y la aplicación de vermicompost y té, mientras que los más bajos se observaron en las plantas cultivadas con malla roja sin fertilización, a pesar que estadísticamente la mayoría son iguales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Parámetros agronómicos a la cosecha en el cultivo de *S. hispanica* L. en función de la interacción malla sombra de color y fertilización.

Malla sombra	Fertilización	DT mm	NE	PST kg m⁻²	PSH kg m⁻²
Azul	Vermicompost	12.3 abc [§]	47.0 ab	0.72 ab	0.18 bcd
	Vermic + Té	12.3 abc	45.5 abc	0.80 ab	0.22 bcd
	Testigo	11.0 bc	25.5 bcd	0.44 b	0.14 bcd
Roja	Vermicompost	12.1 abc	43.5 abcd	0.84 ab	0.24 abcd
	Vermic + Té	12.9 ab	38.5 abcd	0.87 ab	0.27 ab
	Testigo	10.6 c	25.0 bcd	0.36 b	0.11d
Verde	Vermicompost	11.3 abc	36.5 abcd	0.78 ab	0.25 abcd
	Vermic + Té	13.2 a	56.5 a	1.17 a	0.36 a
	Testigo	12.6 abc	18.0 d	0.42 b	0.13 cd
Testigo	Vermicompost	11.9 abc	34.0 abcd	0.74 ab	0.20 bcd
	Vermic + Té	11.9 abc	40.0 abcd	0.78 ab	0.19 bcd
	Testigo	10.53 c	20.5 cd	0.44 b	0.15 bcd
DSH _{0.05}		2.1	6.2	0.09	0.03

(RFA de malla azul= 691, roja= 720, verde=758, testigo= 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Té: te de vermicompost.

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta. DT= diámetro de tallo, NE= número de espigas, PST= peso seco de tallo y PSH= peso seco de hojas.

La combinación de malla verde y fertilización con vermicompost y té produjo los valores más altos en la BT, aunque es estadísticamente semejante a la mayoría de las plantas fertilizadas con cualquier fuente. Los valores más bajos se dieron en las plantas a las cuales no se les hizo aplicación de ninguna fuente de nutrición (Figura 3). A pesar que las diferentes intensidades de luz modifican la germinación, crecimiento de hojas y cotiledones, crecimiento de frutos, transpiración y conductancia estomatal, acumulación de pigmentos fotosintéticos, metabolismo de carbohidratos y lípidos (Golovatskaya y Karnachuk, 2015; Sato *et al.*, 2015), la fuente de nutrición en este trabajo es la que influye en el desarrollo del

cultivo. La Figura 3 muestra que el color de la malla no fue un factor que influye en la producción de biomasa, pero la fuente de nutrición sí.

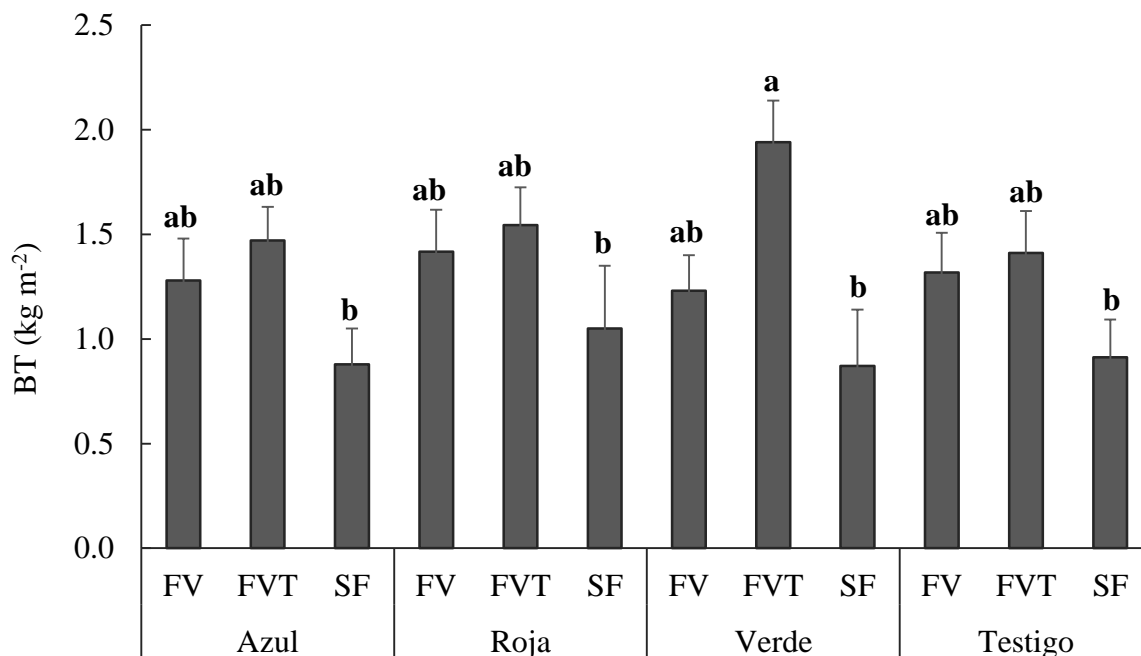


Figura 3. Efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica en la biomasa total de *S. hispanica* L. cultivada en campo. Valores con la misma letra, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar. FV: vermicompost, FVT: vermicompost + té, SF: testigo.

Las plantas se adaptan a las condiciones de iluminación y responden a los cambios durante el día o la temporada por la presencia de fitocromos que responden al umbral de la luz (Sato *et al.*, 2015).

Independientemente del color de la malla, la biomasa total (BT) más baja se presentó en todas las mallas en las plantas no fertilizadas, por lo cual se recomienda la utilización tanto del vermicompost como el té de vermicompost como fuentes de nutrición orgánica para el cultivo de Chía.

2.4. CONCLUSIONES

Los cambios en la radiación fotosintéticamente activa por el uso de malla de color, modifican el crecimiento de las plantas de chía. Entre 691 y 758 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se acortó el ciclo del cultivo, pero no incremento el rendimiento de semilla respecto al testigo.

La malla verde (758 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) favoreció la tasa de crecimiento absoluto, más no la producción de semilla. Se considera necesario hacer más investigación con el uso de mallas sombra de colores.

El uso de vermicompost y aplicación foliar de té de vermicompost incrementó la biomasa y el rendimiento de semilla, independiente del color de malla, por lo que es una alternativa de manejo orgánico en el cultivo de chía.

2.5. LITERATURA CITADA

- Adhikary, S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agric. Sci.* 3: 905-917.
- Albert, N., K. Nazaire and K. Hartmut. 2012. The relative effects of compost and non-aerated compost tea in reducing disease symptom and improving tuberization of *Solanum tuberosum* in the field. *Intl. J. Agric: Res & Rev.* 2(4): 504-512.
- Arriagada G. C. D. 2014. Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento en grano en chía (*Salvia hispanica* L.) y su relación con el crecimiento y desarrollo. Memoria de título. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 29 p.
- Ayerza, R. y Coates W. 2009. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica*) selections. *Ind. Crop. Prod.* 30: 321-324.
- Ben-Yakir, D., Y. Antignus, Y. Offir, and Y. Shahak. 2012. Colored shading nets impede insect invasion and decrease the incidences of insect-transmitted viral diseases in vegetable crops. *Entomol. Exp. Appl.* 144:249-257.

- Brouillette, L. C. and L. A. Donovan. 2011. Relative growth rate and functional traits of a hybrid species reflect adaptation to a low-fertility hábitat. *Int. J. Plant Sci.* 172(4):509-520.
- Busilacchi H., M. Quiroga, M. Bueno, O. Di Sapio, V. Flores y C. Severin. 2013. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos Tropicales* 34(4): 55-59.
- Casal, J. J. 2013. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64:403–27
- Casierra-Posada, F. y J. F. Rojas B. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agron. Colomb.* 27(1): 49-55.
- Casierra-Posada, F. y J. E. Peña-Olmos. 2015. Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39:84-92.
- Christie, J. M., L. Blackwood, J. Petersen, and S. Sullivan. 2015. Plant flavoprotein photoreceptors. *Plant. Cell. Physiol.* 56: 401–413.
- Clavijo J. 1989. Análisis del crecimiento en malezas. *Comalfi* 26:12-16.
- Di Sapio O., M. Bueno, H. Busilacchi, M. Quiroga, y C. Severin C. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromat.* 11: 249-268.
- Daughtry, C. S. T., K. P. Gallo, M. E. Bauer. 1983. Spectral estimates of solar radiación intercepted by corn canopies. *Agron. J.* 72: 527.
- Escalante, E. J. A. S. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Fageria, N. K. and C. V. Baligar 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.
- Franklin, K. A., G. C. Whitelam. 2005. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.* 96:169–175.
- García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México, D. F. 217 p.

- Gardner, F. P., R. B. Pearce and R. L. Mitchell. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Second edition. Iowa State Press, Ames. 327 p.
- Golovatskaya, I. F., and R. A. Karnachuk. 2015. Role of Green Light in Physiological Activity of Plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 62(6):727–740.
- González S., K. D., M. N. Rodríguez M., J. Trejo T. L. I, Sánchez E.J., J. L. García C. 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema. *Interciencia* 38(12):863-869.
- Hu, W., K. A. Franklin, R. A. Sharrock, M. A. Jones, S. L. Harmer, and J. C. Lagarias. 2013. Unanticipated regulatory roles for *Arabidopsis* phytochromes revealed by null mutant analysis. *Proc Natl Acad Sci USA* 110(4):1542–1547.
- Hunt, R. 1990. *Basic Growth Analysis*. Unwinn Hyman. London, UK. 132 p.
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical growth analysis. *Ann. Bot.* 90: 485-488.
- Ingham, E. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual; Latest Methods and Research*. Soil Food Web Incorporated, Fifth Edition. Corvallis, OR. 79 p.
- Jamboonsri, W., T. D. Phillips, R. L. Geneve, J. P. Cahill and D. F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.—a new ω 3 source. *Genet Resour Crop Evol.* 59:171–178.
- Kenyangi, A. and W. Blok. 2012. Vermicompost as a component in potting mixes for growth promotion in ornamental plants. *Rwanda J.* 28: 53-63.
- Kinoshita, T., T. Emi, M. Tominaga, M., K. Sakamoto, A. Shigenaga, M. Doi, and K. Shimazaki. 2003. Blue light and phosphorylation dependent binding of a 14-3-3 protein to phototropins in stomatal guards cells of broad bean. *Plant Physiol.* 133: 1453-1463.
- Kooman, P. L., M. Fahem, P. Tegera and A. J. Haverkort. 1996. Effects of climate on different potato genotypes. 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. *Europ. J. Agronomy* 5:193-205.
- Lu, N., T. Maruo, M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, Y. Ito, T. Ichimura, and Y. Shinohara. 2012. Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environ. Control Biol.* 50(1): 63-74.

- Márquez-Quiroz, C., V. Robledo-Torres, A. Benavides-Mendoza, M. E. Vázquez-Badillo, E. De la Cruz-Lázaro, M. A. Estrada-Botello y S. T. López-Espinosa. 2014. Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 1(2):175-180.
- Milenković, L., Z. S. Ilić, M. Durovka, N. Kapoulas, N. Mirecki and E. Fallik. 2012. Yield and pepper quality as affected by light intensity using colour shade nets. *Agriculture & Forestry* 58(1): 19-33.
- Möglich, A., X. Yang, R. A. Ayers, and K. Moffat. 2010. Structure and Function of Plant Photoreceptors. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61:21–47.
- Mohd, M. A., Y. S. Keong, H. W. Yong, B. B. Kee, T. S. Wei, and T. S. Guan. 2012. The promising future of chía, *Salvia hispanica* L. *J. Biomed. Biotechnol.* 2012: 1-9.
- Moni, A., A. Y. Lee, W. R. Brigss, and I. S. Han. 2014. The blue light receptor Phototropin 1 suppresses lateral root growth by controlling cell elongation. *Plant Biol.* 17: 34-40.
- Monteiro, C. R., J. E. Brasil P., E. Soares R., and C. Mariane M. 2012. Crescimento de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de folhas de orégano sob malhas coloridas. *Gl. Sci. Technol.* 5(1): 11-22.
- Montemayor T., J. A., A. Zermeño G., J. Olague R., R. Aldaco N., M. Fortis H., E. Salazar S., J. C. Rodríguez R., y C. Vázquez-Vázquez. 2006. Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Int. J. Exp. Bot.* 75: 47-53.
- Nassi o Di Nasso, N., N. Roncucci, F. Triana, C. Tozzini and E. Bonari. 2011. Productivity of giant reed (*Arundo donax* L.) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus* Greef et deuter) as energy crops: growth analysis. *Ital. J. Agron.* 6: 141-147.
- Olle, M., and A. Virsile. 2013. The effect of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agr. Food Sci.* 22: 223-234.
- Pant, A. P., T. J. K. Radovich, N. V. Hue, S. T. Talcott, and K. A. Krenek. 2009. Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Sci. Util.* 19 (4): 279-292.
- Poorter, H., U. Niinemets, L. Poorter, I. J. Wright, R. Villar. 2009 Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a metaanalysis. *New Phytol.* 182:565–588.

- Rodríguez B., M. M., y D. M. Morales U. 2015. Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Sci. agropecu.* 6 (1): 41-50.
- Rodríguez L., L. A., F. Guevara H., H. Gómez C., M. Fonseca F., J. C. Gómez C. y R. Pinto R. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agron.* 65 (3): 248-254.
- SAS Institute, Inc. 2015. SAS/STAT user's guide Release 9.4. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Sato, M., T. Nishiuchi, and T. Sakamoto. 2015. Responses to intermittent exposure to green light during the dark period in *Arabidopsis thaliana* and possible involvement of cryptochrome 2. *Plant Biotechnol.* 32: 263-266.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Consultado el: 01-03-2017.
- Sharma, S., K. Pradhan, S. Satya, P. Vasudevan. 2005. Potentiality of Earthworm for Waste Management and in Other Uses – A Review. *J. Am. Sci.* 1(1): 4-16.
- Tello H. N. 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 de título. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 35 p.
- Unlu, H. O., H. Unlu, Y. Karakurt and H. Padem. 2011. Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. *Sci. Res. Essays* 6(13): 2800-2803.
- Vega R., T., C. Méndez S., y W. Rodríguez M. 2012. Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agronomía Costarricense* 36(2): 29-46.
- Villar R., R. J. Ruiz, J. L. Quero, H. Poorter, F. Valladares y T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares F. (Ed.) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Egraf, S. A. Madrid, España. pp. 191-227.

CAPÍTULO III. CRECIMIENTO Y ANATOMÍA FOLIAR DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN FUNCIÓN DE LA LUZ TRANSMITIDA POR MALLAS DE COLOR.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la variación de radiación solar mediante mallas sombra de color sobre el crecimiento y anatomía foliar de chía (*Salvia hispanica* L.). El estudio se realizó bajo condiciones de campo con semilla obtenida en la región de Texcoco, Estado de México. La semilla se sembró de forma manual en banda a lo largo del surco. Los tratamientos evaluados fueron mallas sombra de color azul, rojo y verde, más un testigo (sin malla). El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. A los 90 días después de la siembra se registró la altura de planta, diámetro de tallo, lecturas SPAD, área foliar, peso seco de hojas y biomasa total, se calculó el área foliar específica, razón de área foliar y razón de peso foliar; además, se tomaron muestras de hojas de chía en cada uno de los tratamientos y se realizaron cortes histológicos para ver al microscopio las diferencias en el grosor del mesófilo de la hoja. Los resultados revelaron diferencias en la morfología y anatomía de la chía debido a los diferentes colores de malla sombra. La malla roja y azul promovieron mayor altura, área foliar, área foliar específica y razón de área foliar. La biomasa fue similar en los tratamientos con malla roja, verde y testigo. Las plantas testigo presentaron mayor grosor de mesófilo ocasionado por el aumento de capas en el parénquima esponjoso. Esto indica ciertos mecanismos de adaptación de las plantas de chía a niveles contrastantes de radiación fotosintéticamente activa.

Palabras clave: *Salvia hispanica* L., área foliar específica, biomasa, cortes histológicos, grosor de mesófilo.

**CHAPTER III. GROWTH AND LEAF ANATOMY OF CHIA (*Salvia hispanica* L.)
IN FUNCTION OF THE TRANSMITTED LIGHT BY COLOR MESHES.**

Abstract

The objective of the investigation was to evaluate the effect of the variation in the solar radiation with the meshes colors on growth and leaf anatomy of chia (*Salvia hispanica* L.). The study was conducted under field conditions with seed obtained of the region of Texcoco, Mexico. The seed was sown manually in band along the furrow. The treatments evaluated were meshes shade of blue, red and green, more a witness (with no mesh). The experimental design was a completely randomized design with four treatments and four replications. At 90 days after sowing got registered; plant height, stem diameter, the SPAD readings, leaf area, dry weight of leaves and total biomass, was calculated the specific leaf area, leaf area and specific weight this; in addition, were taken the samples of leaves of chia in each of the treatments and histological cuts to view under a microscope the differences in the thickness of the mesophyll of the leaf. The results were revealed differences in the morphology and anatomy of the chia due to the different colors of mesh shade. The mesh red and blue promoted greater height, leaf area, specific leaf area and leaf area. The biomass was similar in all treatments with mesh red, green, and witness. The plants witness showed greater thickness of mesophyll caused by the increase of layers in the spongy parenchyma. This indicates certain mechanisms of adaptation of plants of chia to contrasting levels of irradiance.

Key words: *Salvia hispanica* L., specific leaf area, biomass, histological cuts, and mesophyll thickness.

3.1. INTRODUCCIÓN

La luz es la principal fuente de energía para la fotosíntesis de las plantas y es una señal ambiental utilizada para desencadenar el crecimiento y la diferenciación estructural en las plantas. La calidad de la luz, la cantidad y el fotoperiodo controlan la morfogénesis, el crecimiento y la diferenciación de células vegetales, tejidos y órganos. El desarrollo de la planta está determinado por la calidad de la luz, que se refiere a los colores o longitudes de onda que alcanzan la superficie de una planta. La roja y azul tienen el mayor impacto en el crecimiento de las plantas porque son las principales fuentes de energía para la asimilación fotosintética de CO₂ en las plantas (Johkan *et al.*, 2010; Abidi *et al.*, 2013; Chang-Chang *et al.*, 2014).

Las hojas son órganos de almacenamiento por lo que el efecto de la sombra sobre la morfología de la hoja es muy importante para el crecimiento y la producción. El sombreado podría disminuir la tasa fotosintética y, en consecuencia, reducir el crecimiento y producción de los cultivos (Gregoriou *et al.*, 2007).

Las plantas superiores varían la composición y organización del aparato fotosintético en respuesta a las condiciones ambientales predominantes, prestando especial atención a las respuestas a la luz incidente. En condiciones de luz elevada hay aumentos en las cantidades de fotosistemas, transporte de electrones, complejos de ATP sintasa, y enzimas del ciclo de Calvin-Benson; por el contrario, bajo luz tenue hay un aumento en las cantidades relativas

de complejos de recolección de luz y en el apilamiento de membranas de tilacoides para formar grana. Se cree que estos cambios son de importancia adaptativa (Walters, 2005). Como resultado, las plantas han desarrollado sofisticados mecanismos para adaptar su estructura y fisiología al ambiente luminoso predominante (Xiao-Xue *et al.*, 2013), lo que se denomina plasticidad fenotípica. De esta forma el genotipo tiene la capacidad de alterar su fisiología y morfología en respuesta a cambios en las condiciones ambientales (Torrecilla *et al.*, 2008), lo que permite a las plantas lidiar con ambientes heterogéneos (Hernández-Verdugo *et al.*, 2015).

La productividad de la planta y la calidad del producto dependen en última instancia de una interacción entre la genética y el medio ambiente, y una de las señales ambientales más importantes es la luz. La transducción de señales de luz depende de una serie de fotorreceptores y sus vías de señalización asociados a los procesos intracelulares que conducen a cambios en la expresión génica que afectan la forma de la planta, la función, y el contenido (Folta y Carvalho, 2015).

De lo anterior se desprende que la luz es el factor ambiental que más afecta a la arquitectura vegetal a través de su impacto sobre la fotosíntesis y la morfogénesis. Al respecto, las redes de sombra de colores están siendo intensamente probadas principalmente debido a su capacidad para manipular los espectros de radiación que alcanzan los cultivos modificando las propiedades de reflexión, absorción y transmitancia de la luz que pasa a través de ellas, además de su función protectora. Se pueden usar para cambiar las relaciones de rojo a rojo lejano que detectan los fitocromos, las cantidades de radiación disponibles para activar los fotorreceptores azul / ultravioleta A, la luz azul involucrada en las respuestas fototrópicas

mediadas por fototropinas y la radiación en otras longitudes de onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Shahak *et al.*, 2008; Stamps, 2009).

El uso de la luz en lugar de los productos químicos para manejar la arquitectura de la planta podría reducir el impacto sobre el ambiente al mismo tiempo que puede sacarse provecho de los cambios inducidos en las plantas. Sin embargo, es necesaria más investigación para comprender cómo la luz modula la arquitectura vegetal (Casierra-Posada *et al.*, 2011; Abidi *et al.*, 2013). Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento y anatomía foliar de *Salvia hispanica* L. en función de la luz transmitida por mallas sombra de color.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de material vegetal

En el módulo de Agroecología del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo se instaló un experimento con chíá bajo un diseño completamente al azar y cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de 5 surcos de 5 m lineales y 0.5 m de ancho, de los cuales se consideraron los centrales como parcela útil. Las mallas utilizadas fueron de polietileno de alta densidad con 20% de transmitancia de luz y un flujo de fotones fotosintéticos de 691 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para malla azul, 720 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para malla roja, 758 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para malla verde, y 1848 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sin malla (testigo). La radiación solar interceptada fue de 38, 39, 41 y 100% respectivamente.

Para la evaluación de las variables del crecimiento, a los 90 días se realizó un muestreo destructivo, seleccionando al azar cuatro plantas de cada unidad experimental, en las que se

midió altura de planta con una cinta métrica, diámetro de tallo con un vernier digital (TRUPER Stainless Steel), lecturas SPAD con un medidor portátil de clorofila (Minolta 502), área foliar con un integrador electrónico (LICOR LI-300), peso seco de hojas y biomasa total determinadas con una balanza analítica (OHAUS Adventurer Pro AV213C) una vez que las plantas fueron deshidratadas en una estufa de circulación de aire forzado a 72°C durante 72 h.

Con los datos directos de área foliar y biomasa, se calcularon los índices de crecimiento indicados en el Cuadro 1. Para el análisis histológico, se seleccionaron tres plantas por cada tratamiento de malla y de cada una se seleccionaron las dos hojas opuestas más recientemente maduras.

Cuadro 1. Fórmulas para el cálculo de los índices de crecimiento en las plantas.

Índice de crecimiento	Descripción	Fórmula	Unidades
Área Foliar Específica (AFE)	Representa la superficie foliar por gramo de hoja	AF/PSH	cm ² g ⁻¹ dm ² g ⁻¹
Razón de área foliar (RAF)	Es la relación entre el área foliar y el peso seco total de la planta	AF/BT	cm ² g ⁻¹ dm ² g ⁻¹
Razón de Peso Foliar (RPF)	Es la relación entre el peso seco de las hojas y el peso seco total de la planta	PSH/BT	g g ⁻¹

Fuente: Gardner *et al.*, 1990; Escalante y Kohashi, 1993; Hunt *et al.*, 2002.

Análisis histológico

Fijación, deshidratación e inclusión en paraplast. De las hojas colectadas por planta, se obtuvieron fragmentos de la lámina foliar de aproximadamente un centímetro cuadrado tomando como referencia a la nervadura central de la hoja. El material vegetal se depositó en frascos de cristal con una mezcla de formaldehído, ácido acético glacial y alcohol etílico al 96% (FAA) durante 48 horas. Después de este tiempo las muestras se lavaron con agua corriente durante 15 minutos. Las muestras fueron deshidratadas en una serie gradual de alcohol etílico (30, 50, 70, 85, 96 y 100%), y se pasaron por una mezcla 1:1 de alcohol absoluto: xilol absoluto y por dos mezclas de xilol al 100% a intervalos de 5 horas en cada uno de los cambios. Para la inclusión en parafina se realizaron dos cambios de paraplast (SIGMA 76258) durante 48 horas.

Corte y montaje. Las muestras incluidas en parafina se cortaron transversalmente a 10 μm de grosor con un micrótopo rotatorio (A. O. Company mod. Spencer 820).

Desparafinación y tinción. Las secciones obtenidas se mantuvieron en una estufa a 40°C durante dos horas y se pasaron por tres cambios de xilol absoluto durante 3 minutos cada uno, en alcohol etílico al 100 y 96% durante tres minutos en cada cambio, se colocaron en safranina (SIGMA) durante 24 horas y se enjuagaron con agua de llave durante una hora. Más tarde, las secciones se lavaron con alcohol etílico al 96% más ácido pícrico y con etanol al 96% más amoníaco durante 10 segundos, se deshidrataron con etanol absoluto y se tiñeron con verde rápido durante 10 segundos. Las muestras se lavaron con aceite de clavo para retirar el exceso de colorante y se aclararon con una mezcla de aceite de clavo, xilol y etanol absoluto en la misma proporción. Para terminar, las muestras se colocaron en xilol al 100%

para montarse en resina sintética (López *et al.*, 2005). Las observaciones se realizaron en un microscopio óptico marca VELAB MR VE-B6 con objetivo 40/0.65 y 160/0.17 y en un fotomicroscopio CARL ZEISS 680020 con cámara digital para microscopía Paxcam 3. Para la medición de variables se hicieron imágenes de las muestras con objetivo 16x.

Mediciones de cortes. Se tomaron fotografías de seis cortes por cada laminilla obteniéndose 72 fotografías por cada tratamiento. Las fotografías se procesaron en el programa IMAGE J y se midió grosor foliar, grosor mesófilo, parénquima de empalizada, primera capa del parénquima de empalizada y parénquima esponjoso.

Con los datos obtenidos se probó normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, después se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey con ($\alpha=0.05$). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS V9.4 (SAS Institute, 2015).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

El análisis estadístico mostró diferencias significativas por efecto de la malla sombra de color, en las variables de crecimiento como son altura, diámetro de tallo, área foliar, en los índices área foliar específica (AFE), razón de área foliar (RAF), el peso seco de hojas y total y en lecturas SPAD de plantas de *Salvia hispanica* L., mientras que la razón de peso foliar (RPF) no se afectó (Cuadro 2).

Cuadro 2. Significancia estadística del efecto de la malla sombra de color en la morfología e índices de crecimiento de plantas de *Salvia hispanica* L.

Fuente de variación	ALT	DT	SPAD	AF	PSH	BT	AFE	RAF	RPF
Malla sombra (M)	**	**	**	**	*	*	**	**	ns
C. V. (%)	3.31	3.72	5.17	4.22	9.03	12.73	9.61	13.98	12.26
R²	0.90	0.64	0.78	0.98	0.57	0.57	0.93	0.87	0.054
Media general	90.9	10.2	35.6	82.7	7.3	14.8	11.6	5.8	0.5

ALT= altura de planta, DT= diámetro de tallo, AF= área foliar, PSH= peso seco de hojas, BT= biomasa total, AFE= área foliar específica, RAF = razón de área foliar, RPF= razón de peso foliar, *, ** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente, ns= no significativo a $P \geq 0.05$.

Los resultados obtenidos muestran que las plantas más altas estuvieron bajo la malla roja y azul, con incrementos de 14.4 y 9.5%, respectivamente, comparadas con las plantas testigo, mientras que el menor diámetro de tallo se presentó en las plantas cubiertas con malla azul (Cuadro 3), esto se debe a los valores más bajos de RFA que había bajo la malla ($691 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y RFA. De acuerdo con Salisbury y Ross (2000) son respuestas típicas a la reducción de la luz.

Cuadro 3. Efecto de mallas sombra de color en el crecimiento de plantas de *S. hispanica* L.

Malla sombra	ALT cm	DT mm	SPAD	AF dm ²	PSH g pl ⁻¹	BT g pl ⁻¹	AFE dm ² g ⁻¹	RAF dm ² g ⁻¹	RPF g g ⁻¹
Azul	95.9 a [§]	9.5 b	37.4 a	89.1 b	6.4 b	12.9 b	14.1a	7.0 a	0.49 a
Roja	100.2 a	10.7 a	35.4 b	113.2 a	7.0 ab	13.9 ab	16.2 a	8.2 a	0.51a
Verde	79.8 c	10.3 a	34.7 b	57.3 d	7.8 ab	15.3 ab	7.3 b	3.8 b	0.52a
Testigo	87.6 b	10.3 a	35.0 b	71.4 c	8.1 a	16.0 a	8.8 b	4.2 b	0.48a
DSH_{0.05}	6.3	0.7	3.6	7.3	1.4	3.9	2.3	1.7	0.12

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta. ALT= altura de planta, DT= diámetro de tallo, AF= área foliar, PSH= peso seco de hojas, BT= biomasa total, IAF= índice de área foliar, AFE= área foliar específica, RAF = razón de área foliar, RPF= razón de peso foliar.

El índice de verdor de las hojas medido con el SPAD, fue mayor en las plantas con malla azul (Cuadro 3). Al respecto, se ha informado que la luz azul promueve incrementos en el contenido de clorofila (Dougher y Bugbee, 1998; Ouzounis *et al.*, 2016). Esta característica está relacionada con el estado nutricional de la planta asociado principalmente con la concentración de nitrógeno.

Las plantas que crecieron bajo malla roja desarrollaron mayor área foliar, seguidas de la malla azul, ambas superaron a las plantas testigo en 59 % y 25 %, respectivamente (Cuadro 3). Este efecto podría estar relacionado con los niveles de reguladores de crecimiento en las hojas, principalmente de auxinas, pues se ha demostrado que son responsables de la distensión celular y que son capaces de migrar y concentrarse en los sitios menos iluminados de ambas caras de la lámina foliar, lo que provoca mayor crecimiento celular. A diferencia de lo que ocurre en las hojas sombreadas, que se diluyen en toda la hoja, incluyendo el mesófilo y la epidermis, las hojas más iluminadas concentran auxinas dentro del mesófilo. Tal diferencia en la distribución de estos reguladores es, en gran medida, responsable de las diferencias estructurales, permitiendo la distensión de las células epidérmicas de las hojas sombreadas y de ahí su mayor crecimiento (Rodríguez *et al.*, 2016). Esta característica de aumento en el tamaño de la hoja junto con la elongación del tallo, son dos respuestas típicas que permiten aumentar la capacidad de capturar la luz en ambientes de sombra (Schmitt *et al.*, 1999; Hernández-Verdugo *et al.*, 2015).

Resultados similares se han encontrado en hojas de cafeto donde la exposición a pleno sol provoca la disminución de su crecimiento comparadas con aquellas que se cultivan al 50 y 70 % de exposición solar, resultados que atribuyeron a variaciones en las concentraciones de los reguladores de crecimiento (Morais *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2016). Asimismo,

Torrecilla *et al.* (2008) en un estudio con especímenes de *Capparis flexuosa* de tres localidades distintas encontraron que el biotipo que crece en una zona costera presentaba un área foliar pequeña, asociada a condiciones de alta radiación solar, mientras que el biotipo que crece a bajos valores de radiación tiene mayor área foliar. En poblaciones silvestres de *Capsicum annuum* en respuesta a tres niveles de luz, alto 100 %; medio 50 % y bajo 25 % de luz, se observó mayor altura, mayor longitud y ancho de las hojas en los tratamientos de baja intensidad de luz (Hernández-Verdugo *et al.*, 2015).

Las plantas cultivadas bajo malla roja y verde presentaron biomasa similar a las que crecieron en malla azul y el testigo, sin embargo, las diferencias entre los dos últimos tratamientos fueron significativas, ya que las plantas con malla azul acumularon 21 y 24 % menos materia seca en hojas y total (Cuadro 3). Contrario a nuestros resultados, en amaranto rojo (*Amaranthus tricolor* L.) cultivado bajo polietileno, la mayor biomasa se obtuvo bajo el color azul en comparación con las películas blanca, verde, amarilla, negra y testigo sin película (Khandaker *et al.*, 2010).

En *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni), niveles de sombra de 50 y 75% mostraron retraso en la formación de los brotes y en la floración, mientras que un nivel de sombra del 25 % se mantuvo a la par de los controles (sin sombra) al registrar mayor biomasa foliar, por lo que se recomienda evitar la sombra intensiva en la producción de stevia (Kumar *et al.*, 2013). En el presente estudio, un nivel de sombra del 80 % no provocó daños severos en el desarrollo de las plantas de *Salvia hiapanica* L., ya que la biomasa foliar y total bajo las mallas roja y verde fue similar a las plantas testigo, lo que indica cierta tolerancia a niveles bajos de luz. Estos resultados indican diferencias de sensibilidad de las especies a las longitudes de onda del espectro, así como al ambiente en que se desarrollan.

El AFE que relaciona el área foliar con el peso de las hojas y representa el espesor de ésta, fue mayor en las plantas desarrolladas con las mallas roja y azul, es decir, se aumentó el área foliar por gramo de peso seco, las plantas produjeron hojas más grandes, pero también más delgadas. El AFE fue más bajo en las plantas con malla verde y el testigo (Cuadro 3), lo cual reduce la absorción de luz al tener menor área de intercepción y como consecuencia se afecta la fotosíntesis. En plantas de tomate cereza, bajo diferentes intensidades de luz roja y azul, a medida que aumentó la intensidad de la luz (de 50 hasta 550 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), el AFE disminuyó gradualmente (Xiao-Xue *et al.*, 2013). De acuerdo con los autores, si la energía luminosa excesiva que ha sido absorbida por el aparato fotosintético no se puede disipar rápidamente, puede reducir la eficacia fotosintética y resulta en la fotoinhibición e incluso daños en el centro de reacción fotosintética, lo cual comprobaron en un análisis de la estructura de las hojas y rasgos de las estomas que demostraron que la luz alta causó daño a los organelos fotosintéticos.

La misma tendencia se presentó para la RAF, que relaciona el área foliar con la biomasa total, pues las plantas bajo la malla roja y azul registraron una RAF 90 % mayor que las plantas bajo malla verde y testigo (Cuadro 3).

El color de la malla sombra no influyó en el índice RPF que representa la relación entre el peso seco de las hojas y el peso seco total (Cuadro 3), lo que indica que todas las plantas independientemente del uso o no de malla, utilizaron de igual manera el material asimilado para la producción de hojas.

Las diferencias encontradas en los tratamientos de mallas sombra de color y testigo, más que por la intensidad, se deben a la calidad de luz, es decir, son causadas por las

distribuciones espectrales de cada fuente de luz, ya que el flujo de fotones fotosintéticos en cada una, no difiere en gran medida.

Lo obtenido en el Cuadro 3 está de acuerdo con Terashima *et al.* (2009) y Terashima *et al.* (2011), que explican que, las hojas tienen que cumplir dos requisitos, absorber luz, y distribuirla a todos los cloroplastos. La luz roja y azul es absorbida en gran parte por los cloroplastos situados cerca de la superficie iluminada de la hoja, porque las clorofilas absorben preferentemente estas longitudes de onda, y son menos eficientes en absorber la luz verde. Sin embargo, esta última penetra más profundamente dentro de las hojas y pueden absorber hasta el 80% de la luz verde incidente, por lo que es más eficaz en la conducción de la fotosíntesis de los cloroplastos en la parte profunda y provoca cambios en la morfología de las hojas.

Cambios anatómicos en la hoja

Las observaciones realizadas en el mesófilo de las hojas de *S. hispanica*, revelaron que la epidermis adaxial es unistrata con células grandes y la epidermis abaxial posee células más pequeñas en todas las plantas muestreadas.

En las que crecieron bajo malla azul y roja el parénquima en empalizada posee de 1-2 estratos de células y el parénquima esponjoso es biestratificado con numerosos espacios intercelulares, en algunos segmentos del corte las células presentan cierta desorganización (Figura 1).

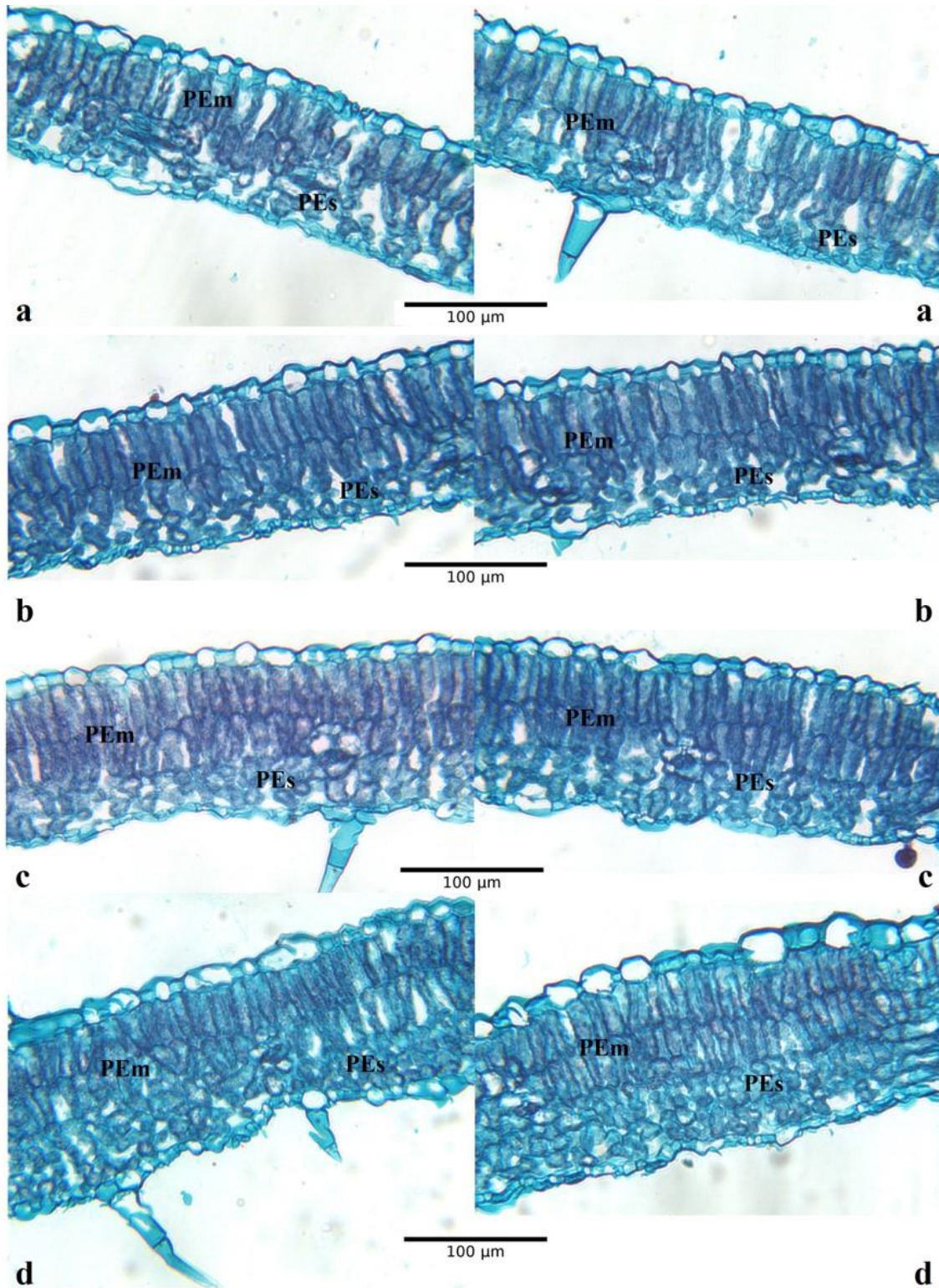


Figura 1. Cortes transversales de hojas de *Salvia hispanica* L. desarrolladas bajo mallas de colores, a: azul (691 μmol m⁻² s⁻¹), b: roja (720 μmol m⁻² s⁻¹), c: verde (758 μmol m⁻² s⁻¹) y d: testigo sin malla (1848 μmol m⁻² s⁻¹). PEm: parénquima de empalizada, Pes: parénquima esponjoso.

Las hojas desarrolladas con malla verde, presentaron parénquima en empalizada con dos estratos de células, parénquima esponjoso con 2-3 estratos y menos espacios intercelulares. En las plantas sin malla se apreció un corte más grueso, parénquima en empalizada con dos estratos de células bien definidas y ordenadas, parénquima esponjoso hasta con cuatro estratos de células y pocos espacios intercelulares (Figura 1). Las observaciones en plantas con 100 % de radiación solar (sin malla), coinciden con las obtenidas por Di Sapia *et al.* (2012) en un estudio de caracterización morfoanatómica de *Salvia hispanica* L. con excepción del parénquima en empalizada reportado como unistrato. Diferencias debidas a las condiciones climáticas donde se realizaron ambos estudios. Las variables grosor foliar, mesófilo, parénquima de empalizada, primera capa del parénquima de empalizada y parénquima esponjoso, mostraron diferencias altamente significativas por efecto de la malla sombra de color (Cuadro 4).

Cuadro 4. Significancia estadística del efecto de la malla sombra de color en la anatomía foliar de plantas de *Salvia hispanica* L.

Fuente de variación	Grosor (μm)				
	Hoja	Mesófilo	Parénquima de empalizada	Primera capa del parénquima de empalizada	Parénquima esponjoso
Malla sombra (M)	**	**	**	**	**
C. V. (%)	5.93	8.90	8.18	10.14	12.05
R²	0.9073	0.7390	0.6216	0.6115	0.7884
Media general	122.24	98.48	63.31	35.60	35.62

*, ** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente a $P \geq 0.05$.

Las hojas de las plantas testigo presentaron 60 % más grosor foliar que las plantas que crecieron bajo malla azul (Figura 2A), en esta variable hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos. La misma tendencia se observa en el grosor del mesófilo, así como en el parénquima de empalizada y esponjoso (Figura 2B, C y D). También se observó un alargamiento de las células de la primera capa del parénquima de empalizada con el uso de la malla sombra roja (Figura 2C).

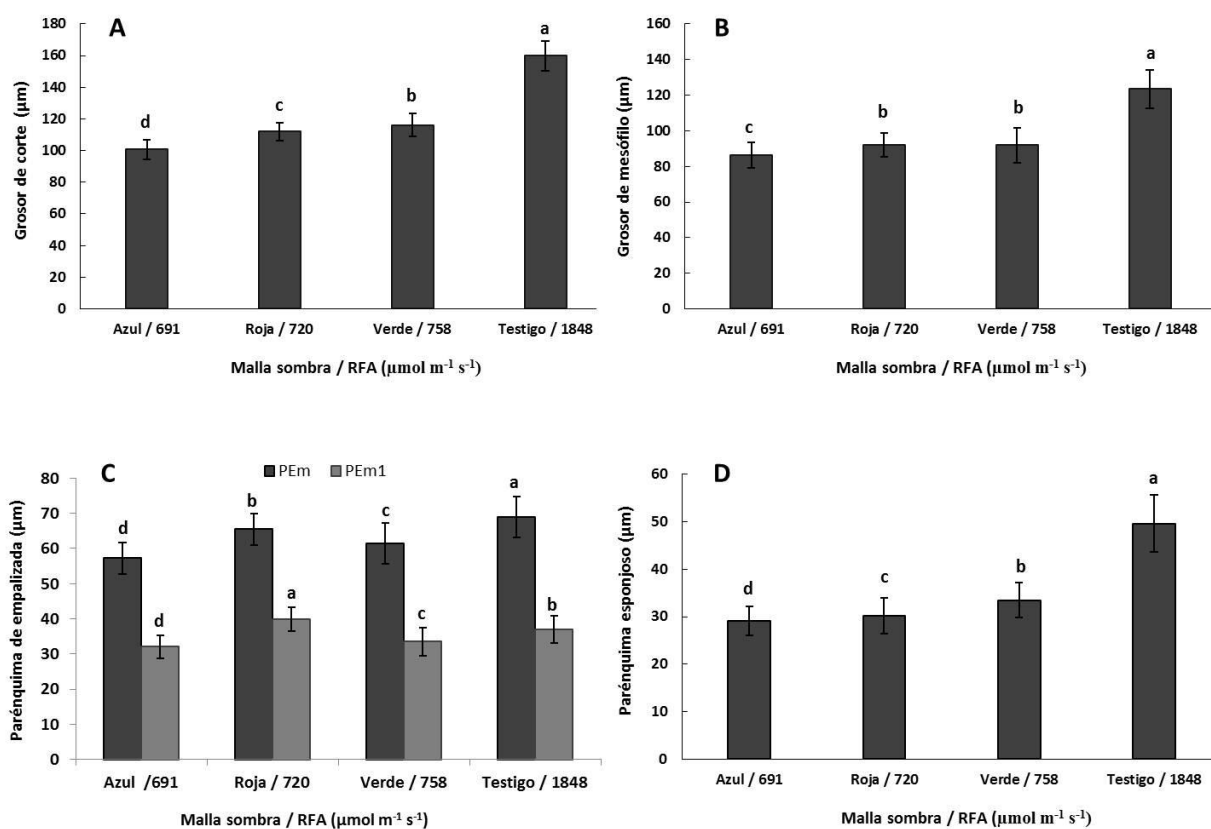


Figura 2. Efecto de la malla sombra de color en la anatomía foliar de *Salvia hispanica* L. RFA: radiación fotosintéticamente activa, C: parénquima de empalizada (PEm), primera capa del parénquima de empalizada (PEm₁). Barras con la misma letra indican valores estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar.

Un mayor espesor foliar y células de empalizada, a menudo se relacionan con mayor capacidad fotosintética que a su vez es reforzada por la irradiancia ambiental (Goncalves *et al.*, 2008). Esto es relevante considerando que una mayor capacidad fotosintética se relaciona con mayor producción de biomasa. En el presente estudio, las plantas bajo la malla azul registraron menor grosor de mesófilo y en consecuencia menor biomasa. Las plantas bajo las mallas roja y verde, a pesar de tener un mesófilo 25 % menor que las plantas testigo, acumularon una biomasa similar (Figura 2B, Cuadro 3), que indica que las plantas utilizaron de manera eficiente la luz a pesar de tener menor cantidad de material asimilatorio.

Al respecto, observaciones microscópicas en hojas de café realizadas por Morais *et al.* (2004) demostraron que las hojas expuestas al sol desarrollan hojas con parénquimas en empalizada y esponjoso más gruesos. Las células del parénquima en empalizada de las hojas expuestas completamente al sol fueron más alargadas que las de sombra. En un estudio similar, la exposición a pleno sol mostró mayor longitud de las células del parénquima en empalizada, de la epidermis abaxial y del grosor de la lámina foliar (Rodríguez *et al.*, 2016). En el mismo sentido, en un estudio realizado por Nughes *et al.* (2013) en hojas de *Celtis ehrenbergiana* en condiciones de sol y sombra, encontraron mayor espesor del mesófilo en hojas de sol debido principalmente a un alargamiento de las células de empalizada. De acuerdo con los autores, el aumento del espesor foliar, el paso hacia un mesófilo homogéneo en empalizada y el gran alargamiento sufrido por el primer estrato de células en empalizada son adaptaciones xeromórficas. En plántulas de tomate cereza, el incremento en la intensidad de luz promovió el incremento del espesor de la hoja y de la longitud de las células del parénquima en empalizada y se observó un desarrollo más compacto y claro de éstas, por el contrario, a baja intensidad luminosa observaron un desarrollo imperfecto del parénquima en

empalizada y células más cortas (Xiao-Xue *et al.*, 2013). En tomate cherry, se ha sugerido que la luz azul es necesaria para el crecimiento ya que el espesor de la hoja y la longitud de las células de los tejidos de empalizada de las plántulas fueron significativamente aumentadas por la luz en los tratamientos con luz azul, la combinación de luz roja y azul, así como la combinación de luz roja, azul y verde, respecto a luz roja, naranja y verde (Xiao *et al.*, 2011). Resultados similares reportan Furtado *et al.* (2011) en *Alternanthera brasiliana* Kuntze (Amaranthaceae) cultivadas in vitro, donde observaron un espesor de hoja y parénquima de empalizada mayor bajo luz azul en comparación con luz roja, verde y blanca. Estos resultados se deben a la sensibilidad de las especies a cierto tipo de luz.

En el presente estudio, el incremento del espesor del mesófilo no se debió ni al alargamiento ni a la aparición de otra capa de células del parénquima en empalizada, sino al aumento de estratos del parénquima esponjoso. Resultados similares obtuvieron Gregoriou *et al.* (2007) en olivo (*Olea europaea* L.) donde con un 90% de sombra se obtuvo menor grosor de la hoja debido principalmente a la reducción del parénquima esponjoso.

Se ha argumentado que el tejido esponjoso puede facilitar la difusión lateral de CO₂ de las cavidades subestomáticas. Sin embargo, en muchas especies herbáceas, la difusión lateral también puede ocurrir en el tejido de la empalizada a través de espacios entre las paredes laterales de las células vecinas, lo cual pone en duda la hipótesis de que la función del tejido esponjoso está relacionada con la facilitación de la difusión lateral de CO₂. En su lugar, los efectos sobre el alargamiento de la trayectoria de la luz pueden ser más importantes (Terashima *et al.*, 2011).

Los resultados antes expuestos nos permiten aseverar que *S. hispanica* L. tiene la capacidad de aclimatarse a niveles bajos de luz, lo cual es relevante dada la importancia de este cultivo que podría extenderse a otras zonas geográficas, ya que en el caso de las plantas cubiertas con malla roja y verde a pesar de los cambios morfológicos y anatómicos que presentaron, la biomasa acumulada fue similar a la obtenida en las plantas testigo.

3.4. CONCLUSIONES

Las diferentes RAF evaluadas modifican la morfología y anatomía sobre las plantas de *Salvia hispanica* L.

Las RAF en malla roja ($720 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y azul ($691 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) promovieron en las plantas mayor altura, área foliar, área foliar específica y razón de área foliar, pero no incrementó la biomasa en las plantas bajo malla azul.

Los valores más altos de producción de biomasa se presentaron en plantas bajo mallas roja, verde y testigo.

Las plantas bajo los distintos colores de malla presentaron menor grosor de mesófilo ocasionado por el decremento de capas en el parénquima esponjoso.

Las plantas de *Salvia hispanica* L. muestran patrones de adaptación y plasticidad a niveles bajos de radiación solar.

3.5. LITERATURA CITADA

- Abidi F., T. Girault, O. Douillet, G. Guillemain, G. Sintès, M. Laffaire, H. Ben Ahmed, S. Smiti, L. Huché-Thélier and N. Leduc. 2013. Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. *Plant biology* 15: 67-74.
- Ayerza R. y W. Coates. 2006. Chía. Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. Ed. Del Nuevo Extremo S. A., Buenos Aires, Argentina.
- Bodoira R. M., M. C. Penci, P. D. Ribotta, and M. L. Martínez. 2017. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. *LWT - Food Science and Technology* 75: 107-113.
- Casierra-Posada F., J. E. Peña-Olmos y C. Ulrichs. 2011. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) afectadas por la calidad de la luz: implicaciones agronómicas. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(2): 43-53.
- Chang-Chang C., H. Meng-Yuan, L. Kuan-Hung, W. Shau-Lian, H. Wen-Dar, and Y. Chi-Ming. 2014. Effects of Light Quality on the Growth, Development and Metabolism of Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.). *Research Journal of Biotechnology* 9(4): 15-24.
- Di Sapio 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.
- Dougher T. A., and B. G. Bugbee. 1998. Is blue light good or bad for plants? *Life Support Biosph Sci.* 5(2): 129-136.
- Escalante, E. J. A. S. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Folta M. K., and S. D. Carvalho. 2015. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. *HortScience* 50(9): 1274-1280.
- Furtado M. A., M. V. Leal-Costa, E. Schwartz T., C. L. Salgueiro L., M. A. Esquibel. 2011. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured

- plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze. *Environmental and Experimental Botany* 70: 43-50.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce and R. L. Mitchell. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Second edition. Iowa State Press, Ames. 327 p.
- Goncalves B., C. M. Correia, A. P. Silva, E. A. Bacelar, and A. Santos. 2008. Leaf structure and function of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.) cultivars with open and dense canopies. *J. Sci. Hortic.* 116: 381–387.
- Gregoriou K., K. Pontikis, and S. Vemmos. 2007. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 45(2): 172-181.
- Hernández-Verdugo S., R. A. González-Sánchez, F. Porras, S. Parra-Terraza, A. Valdez-Ortiz, A. Pacheco-Olvera, y R. G. López-España. 2015. Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. *Botanical Sciences* 93(2): 231-240. DOI: 10.17129/botsci.237
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical growth analysis. *Ann. Bot.* 90: 485-488.
- Johkan M., K. Shoji, F. Goto, S. N. Hashida, and T. Yoshihara. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *Hort science* 45(12):1809-1814.
- Khandaker L., A.S.M.G. Masum Akond, Md. B. Ali, and S. Oba. 2010. Biomass yield and accumulations of bioactive compounds in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) grown under different colored shade polyethylene in spring season. *Scientia Horticulturae* 123: 289–294.
- Kumar R., S. Sharma, K. Ramesh and B. Singh. 2013. Effects of shade regimes and planting geometry on growth, yield and quality of the natural sweetener plant stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) in north-western Himalaya. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(7): 963–979. DOI: 10.1080/03650340.2012.699676.
- López C. L., G. J. Márquez y S. G. Murguía. 2005. *Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas*. Editorial Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias UNAM. 178 p.

- Morais H., M. E. Medri, C. J. Marur, P. H. Caramori, A. M. de Arruda R., and J. C. Gomes. 2004. Modifications on Leaf Anatomy of *Coffea arabica* caused by Shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Braz arch biol technol*, 47 (6): 863-871. doi :10.1590/S1516-89132004000600005.
- Muñoz L. A., A. Cobos, O. Díaz, and J. M. Aguilera. 2013. Chia seed (*Salvia hispanica*): an ancient grain and a new functional food. *Food Reviews International* 29:394–408.
- Nughes L., M. Colares, M. Hernández y A. Arambarri. 2013. Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (Celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia* 22(2): 159-170.
- Ouzounis T., E. Heuvelink, Y. Ji, H. J. Schouten, R. G. F. Visser, and L. F. M. Marcelis. 2016. Blue and red LED lighting effects on plant biomass, stomatal conductance, and metabolite content in nine tomato genotypes. *Acta Hort.* 1134. ISHS. 251-258. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1134.34
- Reyes-Caudillo E., A. Tecante, and M.A. Valdivia-López. 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) sedes. *Food Chemistry* 107: 656–663.
- Rodríguez L. L. A., F. Guevara H., H. Gómez C., M. Fonseca F., J. C. Gómez C., y R. Pinto R. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agron.* 65(3): 248-254.
- Salisbury F. B., y C. W. Ross. 2000. Fisiología de las Plantas 3: Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Ed. Paraninfo. México. 460 p.
- SAS Institute. 2015. SAS/STAT user's guide Release 9.4. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schmitt J., S. A. Dudley, and M. Pigliucci. 1999. Manipulative approaches to testing adaptive plasticity: phytochrome-mediated shade-avoidance responses in plants. *The American Naturalist* 154: S43-S54.
- Shahak Y., E. Gal, Y. Offir, and D. Ben-Yakir. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae* 797: 75-80.
- Stamps R. H. 2009. Use of Colored Shade Netting in Horticulture. *HortScience* 44(2): 239-241.

- Terashima I., T. Fujita, T. Inoue, W. S. Chow and R. Oguchi. 2009. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant Cell Physiol.* 50:684-697.
- Terashima I., Y. T. Hanba, D. Tholen, and Ü. Niinemets. 2011. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. *Plant Physiology*, 155: 108–116.
- Torrecilla P., M. Castro, y M. Lapp. 2008. Morfoanatomía foliar en especímenes de *Capparis flexuosa* (L.) L. (Capparaceae) creciendo en tres localidades distintas del estado Aragua (Venezuela). *ERNSTIA* 19(1): 35-54.
- Walters R. G. 2005. Light Stress in Plants: Mechanisms and Interactions Special Issue. *Journal of Experimental Botany*, 56 (411): 435–447. doi:10.1093/jxb/eri060
- Xiao Y. L., G. Shi R., X. Zhi G., J. Xue L., and T. Tezuka. 2011. Regulation of Chloroplast Ultrastructure, Cross-section Anatomy of Leaves, and Morphology of Stomata of Cherry Tomato by Different Light Irradiations of Light-emitting Diodes. *Hortscience* 46(2): 217-221.
- Xiao-Xue F., X. Zhi-Gang, L. Xiao-Ying, T. Can-Ming, W. Li-Wen, and H. Xue-lin. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae* 153: 50–55.

**CAPÍTULO IV. PROPIEDADES FUNCIONALES DE SEMILLA DE CHÍA
PRODUCIDA BAJO MALLAS SOMBRA DE COLOR Y FERTILIZACIÓN
ORGÁNICA**

RESUMEN

Poco se ha documentado los beneficios del uso de mallas de color y fertilización orgánica sobre las propiedades funcionales en semillas de Chía. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración mineral, actividad antioxidante y el perfil de ácidos grasos en semillas de chía cultivada con mallas sombra de color y nutrición orgánica. La investigación se realizó bajo condiciones de campo. Las mallas fueron de color azul, rojo, verde y sin malla. La fertilización consistió en aplicaciones al suelo y foliares de vermicompost y té, respectivamente. El diseño experimental fue parcelas divididas con 12 tratamientos y cuatro repeticiones. La semilla cosechada fue llevada al laboratorio para realizar el análisis nutricional, la actividad antioxidante y el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Los resultados revelaron que la malla sombra de color modificó el contenido de todos los nutrientes y la actividad antioxidante. La fertilización orgánica influyó en todos los nutrientes excepto en fósforo, magnesio y azufre. De igual forma la interacción provocó cambios en los nutrientes salvo en cobre, hierro y actividad antioxidante. La fertilización al suelo y la combinación de vermicompost y té permitió obtener semillas con mayor concentración de nitrógeno y calcio que aquellas obtenidas sin fertilización. Los rendimientos de aceite oscilaron entre 27 – 31.3 %. Se logró identificar 12 ácidos grasos; el ácido linolénico fue el más representativo (63.7 %). Las mallas de color y la fertilización orgánica provocaron diferencias en la concentración nutricional. La interacción malla y fertilización inducen variaciones en la presencia y abundancia de ácidos grasos saturados e insaturados totales.

Palabras clave: *Salvia hispanica* L., mallas sombra de color, nutrición orgánica, antioxidantes, CG/EM, ésteres metílicos.

CHAPTER IV. FUNCTIONAL PROPERTIES SEED OF CHIA PRODUCED UNDER COLOR MESHES AND ORGANIC FERTILIZATION

Abstract

Little has been documented of the benefits in the use of color meshes and organic fertilization on the functional properties in chia seeds. The objective of this research was to determine the mineral concentration, antioxidant activity and the fatty acid profile in chia seeds cultivated with color shade meshes and organic nutrition. The investigation was conducted under field conditions. The used color meshes were blue, red, green, and without mesh (control treatment). The fertilization consisted in soil and foliar applications of vermicompost and tea, respectively. The experimental design was a split plot design with 12 treatments and four replications. The harvested seed was carried to the laboratory for the analysis of nutritional, antioxidant activity and profile of fatty acids by gas chromatography coupled to mass spectrometry. The results revealed that the color mesh modified the contents of the nutriment and antioxidant activity. The organic fertilization influenced all nutrients except in phosphorus, magnesium and sulfur. In the same way, the interaction caused changes in nutrients with the exception of copper, iron and antioxidant activity. The fertilization to soil and the combination of vermicompost tea, allowed to obtain seeds with higher concentration of nitrogen and calcium than those obtained without fertilization. Fatty oil yields ranged between 27 - 31.3 %. It was possible to identify 12; fatty acids linolenic acid was the most representative (63.7 %). The colored meshes and organic fertilization resulted in differences

in the nutrient concentration. The meshes and fertilization interaction induce variations in the presence and abundance of saturated and unsaturated fatty acids.

Key words: *Salvia hispanica* L., mesh shade of color, organic nutrition, antioxidants, GC/MS, methyl esters.

4.1. INTRODUCCIÓN

La chía es una planta herbácea anual que pertenece a la familia Lamiaceae, es nativa del sur de México y el norte de Guatemala (Ayerza y Coates, 2005). Su semilla es tan antigua que fue utilizada por los Mayas y los Aztecas como alimento y ofrenda. En los últimos años ha tomado importancia por su alto contenido de ácidos grasos, fibras, proteínas, antioxidantes naturales, vitaminas y minerales, además no contienen gluten (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008; Ayerza y Coates, 2011; Di Sapio *et al.*, 2012). En la actualidad se sugiere el consumo de la semilla de chía por su contenido de aceite, que proporciona una rica fuente de ácidos grasos poliinsaturados y es el que contiene la mayor proporción de ácido Omega-3 linoleico que cualquier otra fuente natural conocida (Da Silva *et al.*, 2014; Ferrari *et al.*, 2015). Éste aceite juega un papel importante en la salud, incluida la prevención de enfermedades cardiovasculares, hipertensión y enfermedades inflamatorias (Rosamond, 2002; Muñoz *et al.*, 2013), lo que hace necesaria la búsqueda de nuevas técnicas agronómicas que permitan incrementar las propiedades funcionales y de nutrimentos de esta oleaginosa.

En este sentido, el uso de redes de sombreado en los cultivos se ha convertido en un enfoque popular, no químico que proporciona protección física contra las condiciones climáticas (radiación solar excesiva y de temperatura), riesgos ambientales (viento y granizo) o aves e insectos que transmiten enfermedades virales, a la vez que promueven respuestas fisiológicas deseadas relacionadas con la calidad de la luz (Shahak *et al.*, 2008).

El requerimiento nutrimental debe satisfacer las necesidades metabólicas de la planta para alcanzar el rendimiento máximo (White y Brown, 2010). La disponibilidad, absorción y distribución de nutrientes afectan directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (Arancon *et al.*, 2010). El vermicompost o humus de lombriz es un material estable y rico en poblaciones microbianas; es una fuente de elementos minerales de lenta liberación, que favorece el desarrollo y la productividad de diversos cultivos hortícolas y ornamentales (Urrestarazu *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2009), contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento (Edwards y Arancon, 2004; Rekha *et al.*, 2013) que en gran parte son las responsables del desarrollo de las especies vegetales.

El té de vermicompost es un extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue al mezclar el vermicompost con agua durante un periodo determinado (González *et al.*, 2013), ya sea con aireación o sin ella, con o sin aditivos, destinados a aumentar la densidad de la población microbiana durante la producción (Scheuerell y Mahaffee, 2002; NOSB, 2004). Los tés de compost y vermicompost son nuevas propuestas de uso de enmiendas orgánicas, aplicadas generalmente para suprimir propágulos de enfermedades presentes en el suelo, aunque recientemente por su eficacia comprobada, han tomado importancia como una alternativa a los fertilizantes químicos y pesticidas (Naidu *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012). Contienen nutrientes y diversos organismos y se aplican ya sea a la raíz o directamente a las plantas para promover su crecimiento y suprimir enfermedades en ellas. No obstante, estos efectos beneficiosos dependerán de la calidad de las fuentes de compost y el método de extracción (Scheuerell y Mahaffee, 2002; González *et al.*, 2013). Por lo que un té de mala calidad podría inhibir la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas (Carballo *et al.*, 2009). Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar la concentración

mineral, actividad antioxidante y el perfil de ácidos grasos en semillas de chía por efecto de la radiación transmitida por mallas sombra de color y nutrición orgánica.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de semilla

La semilla se obtuvo de un experimento llevado a cabo bajo condiciones de lluvias estacionales durante el ciclo Primavera-Verano 2015 en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. El clima de la región es templado de altura (Cw) de acuerdo con García (2004). El suelo de siembra es de textura franco limosa, con pH de 7.8, conductividad eléctrica de 2.93 dS m^{-1} , 2 % de materia orgánica y densidad aparente de 1.2 g cm^{-3} . La siembra se realizó el 30 de junio de 2015. Los tratamientos evaluados fueron 12 resultado de la combinación de dos factores: malla sombra de color: azul (MA), roja (MR), verde (MV), testigo sin malla (SM) y factor fertilización: vermicompost (FV), vermicompost más aplicación foliar de té de vermicompost (FVT) y testigo sin fertilización (SF). El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones. La parcela grande estuvo representada por el factor malla de color y la parcela chica por el factor fertilización. La unidad experimental consistió de 5 surcos de 5 m lineales y 0.5 m de ancho. Las mallas sombra de polietileno de alta densidad con 80 % de sombra, se colocaron sobre postes de madera sujetadas con alambre en cada uno de los lotes a una altura de 1.5 m. La radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue de 691, 720, 758 y $1848 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en malla azul, roja, verde y en el testigo sin malla, respectivamente. Los tratamientos de fertilización consistieron de la aplicación de vermicompost al suelo a razón de 12 t ha^{-1} . El té se obtuvo al solubilizar vermicompost hecho con estiércol bovino y rastrojo de maíz con relación C/N 13 con agua (González-Solano *et al.*, 2013). El té resultante mostró una CE de 6.75 dS m^{-1} y pH de 7.5.

Cada vez que se aplicaba se diluyó con agua hasta obtener 0.5 y 1.0 dS m⁻¹ de CE. Se ajustó a un pH de 5.5 con H₂SO₄. La cosecha se realizó de forma manual cuando se observó que el 80 % de las plantas presentó pérdida de color tornándose color oscuro, dando la apariencia de sequedad o muerte (Miranda, 2012), lo cual ocurrió entre los 135 y 148 días después de la siembra.

Análisis nutrimental

Las semillas se secaron en una estufa a 40 °C por 72 h, se molió y se pesó 0.1 g para el análisis de nitrógeno total por el método Kjeldahl. Para la determinación de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B se pesó 0.5 g de la muestra, con la que se realizó una digestión húmeda y finalmente los extractos resultantes fueron leídos en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-VARIAN 725-ES (Alcántar y Sandoval, 1999).

Determinación de la actividad antioxidante

El procedimiento se llevó a cabo de acuerdo a Chizzola *et al.* (2008) y Scherer y Teixeira (2009) para cuantificar la actividad del radical libre 2,2 difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). La reacción se basa en una disminución de color que ocurre cuando un electrón de un átomo de nitrógeno en DPPH es reducido por recibir un átomo de hidrogeno de los compuestos antioxidantes. Los reactivos utilizados fueron DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), trólox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromal-2-carboxílico), metanol y etanol. Para la extracción de la muestra se usó etanol al 60 % de concentración, se utilizó 1 g de material. La semilla se molió y se colocó en tubos de vidrio, se agregaron 15 mL de extractante, se cubrieron con papel parafilm para evitar su evaporación y se dejaron en incubación durante 24 h a 4 °C, posteriormente se filtraron y se procedió con el análisis. Se tomó una muestra de 400 µL del extracto etanólico, se ajustó a 1 mL con metanol al 50 % y

se agitó. Se agregó 1 mL de DPPH (7.5 mg/50 mL de metanol al 50%) y se agitó. Se incubó durante 30 min en oscuridad y a temperatura ambiente, posteriormente se tomó la lectura de absorbancia a 517 nm, que es la absorbancia máxima del DPPH (Domínguez *et al.*, 2009). Los resultados fueron reportados como porcentaje de inhibición del DPPH de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ DPPH I} = \frac{ABSc - ABSs}{ABSc} \times 100$$

Dónde:

% DPPH I = Porcentaje de inhibición del DPPH

ABSc = Absorbancia del control (blanco)

ABSs = Absorbancia en la muestra

El control se preparó con 500 µL de trólox y 500 µL de metanol, y se agregó 1 mL de DPPH para obtener la decoloración del radical. Los 500 µL de trólox se tomaron de una solución de 2.5 mM en metanol al 50 %. Todas las muestras y soluciones estándar fueron preparadas diariamente. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS V9.4 (SAS Institute, 2015).

Análisis de ácidos grasos

Extracción de aceite

Las semillas se secaron a 40 °C durante 72 h y se molieron en un molino manual. Se pesó 50 mg de cada tratamiento y se depositaron en tubos de ensaye. Se agregó 5 mL de hexano, posteriormente, se añadió 50 µL del estándar interno ácido heptadecanoico (10 mg/mL preparado en hexano). Se aplicó ultrasonido durante 15 min en baño maría. Se

centrifugó a 3500 rpm durante cinco minutos y se decantó el sobrenadante en matraces. El residuo sobrante se sometió al mismo proceso de extracción dos veces más. El extracto se secó en rotavapor y posterior se pesaron las muestras para determinar el rendimiento de aceite.

Derivatización del aceite y análisis de ácidos grasos por CG/EM

A los extractos de aceite de cada tratamiento se agregó 1 mL de sosa 0.5 molar, se preparó en metanol (10 g/500 mL MeOH). Se incubaron durante 30 min a 75 °C en baño maría, posteriormente, se enfriaron a temperatura ambiente. A los extractos se añadió 1 mL de trifluoruro de boro en metanol (14 %). Se incubaron nuevamente a 75 °C por 20 min, se enfriaron a temperatura ambiente. Se añadió 1 mL de agua desionizada y 2 mL de hexano. Se agitó en vortex durante 1 min para separar las fases acuosa y orgánica. La fase orgánica se tomó con una pipeta Pasteur y se depositó en tubos de vidrio. Se secó sobre sulfato de sodio anhidro, se dejó reposar durante 10 min, se decantó y se puso en viales para evaporar el exceso de disolvente con nitrógeno gaseoso. Las muestras se conservaron a -20 °C hasta su análisis.

El análisis de la composición de los ácidos grasos se realizó por medio de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas (CG-EM). Las muestras derivatisadas se disolvieron en 100 µL de hexano y se inyectaron al cromatógrafo de gases HP 6890 en modo Split (50:1) a 250 °C. Los compuestos se separaron en una columna capilar HP5-ms (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm), se utilizó el siguiente programa de temperatura del horno del cromatógrafo: temperatura inicial de 70 °C por 1 min, calentando hasta 280 °C a una velocidad de 10 °C/min, con un tiempo final de 2 min. El gas portador fue helio a una velocidad de flujo de 1 mL/min. El retraso del disolvente fue de 3 min. El CG se acopló a un detector selectivo de masas HP 5973. Las condiciones del espectrómetro fueron: energía de

ionización electrónica de 70 eV, velocidad de lectura de 13.8 espectros/s, temperatura de la cámara de ionización de 200 °C y temperatura de la línea de transferencia de 250 °C. La adquisición y procesamiento de datos se realizaron con Mass Hunter Workstation software.

Los compuestos se identificaron con base en los patrones de fragmentación de los espectros de masas, los cuales se compararon con la información de los compuestos químicos en la base de datos del NIST (National Institute of Standards and Technology). Las cantidades relativas de los compuestos se expresaron como porcentajes del área de los picos en relación al área total (% Área).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido nutrimental y actividad antioxidante

El análisis de varianza mostró diferencias significativas por efecto de la malla sombra de color, la fertilización y la interacción de ambos factores. La malla sombra de color modificó el contenido de todos los nutrimentos y la actividad antioxidante, la fertilización modificó todos excepto el contenido de fósforo, magnesio y azufre, y la interacción no provocó cambios en cobre, hierro y actividad antioxidante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza del efecto de la malla sombra de color y fertilización orgánica en la concentración de nutrimentos y actividad antioxidante en semilla de *Salvia hispanica* L.

F. V.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Na	Zn	AA
Malla (M)	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Fertilización (F)	*	ns	*	*	ns	ns	*	*	*	**	*	**	**
M*F	**	*	*	**	*	*	*	ns	ns	**	**	*	ns
C.V. (%)	3.36	5.46	12.26	7.9	5.79	21.17	9.7	11.8	11.49	6.27	8.39	7.77	1.18
R ²	0.751	0.821	0.682	0.934	0.808	0.822	0.847	0.776	0.808	0.891	0.904	0.905	0.972
Media general	3.8	6256.7	2967.5	1532.2	4747.1	242.4	9.3	10.5	67.9	20.2	216.1	42.2	80.87

F.V.= fuente de variación, C.V.= coeficiente de variación, AA = actividad antioxidante, *, ** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente, ns= no significativo a $P \geq 0.05$.

La concentración de nitrógeno y magnesio fue similar en las semillas obtenidas bajo malla azul, verde y sin malla, mientras que con la malla roja ésta disminuyó. Las semillas obtenidas bajo malla verde registraron la mayor concentración de fósforo y potasio, los tratamientos con malla azul y roja fueron estadísticamente similares al testigo. En contraste, la mayor concentración de calcio y azufre se observó en las semillas obtenidas con la malla azul (Cuadro 2). Respecto al factor fertilización, con la aplicación de vermicompost, así como la combinación de ésta y té de vermicompost, se obtuvo mayor concentración de nitrógeno y calcio, en tanto que, para la concentración de potasio, la fertilización combinada fue más efectiva. El tipo de fertilización no influyó en el contenido de fósforo, magnesio y azufre (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de macronutrientes en semillas de chía por efecto de factores principales, malla sombra de color y fertilización orgánica.

Factor	Nivel	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Malla (M)	Azul	38.3 ab [§]	6.19 b	2.72 b	1.90 a	4.85 a	0.316 a
	Roja	37.3 b	5.92 b	2.87 b	1.30 c	4.35 b	0.177 b
	Verde	39.1 a	6.84 a	3.42 a	1.45 b	5.03 a	0.242 b
	Testigo	38.7 ab	6.08 b	2.86 b	1.48 b	4.76 a	0.235 b
Fertilización (F)	Testigo	37.8 b	6.25 a	2.89 b	1.46 b	4.69 a	0.232 a
	Vermicompost	38.1 ab	6.18 a	2.82 b	1.57 a	4.70 a	0.271 a
	Vermi + Té	39.2 a	6.34 a	3.20 a	1.57 a	4.85 a	0.224 a
DSH _{0.05}	M	1.7	0.46	0.49	0.15	0.37	0.07
	F	1.3	0.36	0.38	0.12	0.29	0.05

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey (P≤0.05); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta.

En la interacción entre factores (malla más fertilización), la concentración de nitrógeno y fósforo fue estadísticamente similar en todos los tratamientos, excepto en malla roja sin

fertilización donde se registraron los valores más bajos para ambos nutrimentos. La concentración de potasio mostró una tendencia semejante, ya que los tratamientos fueron estadísticamente similares, salvo las combinaciones malla azul sin fertilización y testigo absoluto (sin malla y sin fertilización) quienes registraron los valores más bajos. La concentración de calcio se favoreció con malla azul independientemente del tipo de fertilización y con malla verde más aplicación de vermicompost. La concentración más baja de magnesio se observó con la malla roja sin fertilización, mientras que la menor concentración de azufre se obtuvo con este mismo tratamiento, así como con la combinación malla roja y vermicompost (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración de macronutrimentos en semillas de chía por efecto de la interacción malla sombra de color y fertilización orgánica.

Malla	Fertilización	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Azul	Testigo	37.1 ab [§]	6.32 ab	2.61 b	1.78 abc	4.99 ab	0.316 ab
	Vermicompost	38.9 ab	6.27 ab	2.79 ab	1.93 ab	4.86 ab	0.372 a
	Vermi + Té	38.9 ab	5.97 ab	2.76 ab	1.98 a	4.69 ab	0.262 ab
Roja	Testigo	33.6 b	5.48 b	2.70 ab	1.19 fg	4.05 c	0.138 b
	Vermicompost	38.6 ab	5.88 ab	2.76 ab	1.30 efg	4.27 b	0.159 b
	Vermi + Té	39.7 ab	6.41 ab	3.16 ab	1.40 defg	4.74 ab	0.232 ab
Verde	Testigo	39.6 ab	6.80 a	3.42 ab	1.11 g	4.77 ab	0.215 ab
	Vermicompost	36.6 ab	6.69 a	3.17 ab	1.73 abc	5.23 a	0.308 ab
	Vermi + Té	40.9 a	7.02 a	3.66 a	1.51 b	5.08 a	0.202 ab
Testigo	Testigo	38.4 ab	6.39 ab	2.56 b	1.31 efg	4.43 b	0.259 ab
	Vermicompost	38.2 ab	5.87 ab	2.82 ab	1.55 cde	4.97 ab	0.244 ab
	Vermi + Té	39.6 ab	5.97 ab	3.20 ab	1.59 bcde	4.89 ab	0.201 ab
DSH _{0.05}	M*F	3.7	1.19	0.98	0.36	0.93	0.08

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey (P≤0.05); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta.

En el factor malla, las mayores concentraciones de boro, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc se obtuvieron con la malla verde, pero el tratamiento testigo fue estadísticamente similar en la concentración de sodio (Cuadro 4), mientras que la menor concentración de éste elemento se observó con la malla roja. Esto es importante al considerar que el sodio en niveles alto es perjudicial para la salud (Amato *et al.*, 2015). La fertilización combinada (al suelo y foliar) permitió obtener mayor concentración de boro y cobre en las semillas. En la concentración de hierro, manganeso y zinc, los mayores resultados se obtuvieron tanto con la fertilización combinada como en el tratamiento testigo, en tanto que las menores concentraciones se registraron con la aplicación de vermicompost al suelo. La concentración de sodio se redujo con la fertilización orgánica.

Cuadro 4. Concentración de micronutrientos en semillas de chía por efecto de factores principales, malla sombra de color y fertilización orgánica.

Factor	Nivel	B	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
		mg kg ⁻¹					
Malla (M)	Azul	9.58 b [§]	10.25 b	71.36 b	20.82 b	207.05 b	39.03 b
	Roja	8.01 c	9.90 b	59.82 c	19.94 b	172.15 c	39.80 b
	Verde	10.64 a	12.18 a	76.72 a	22.01 a	254.38 a	51.85 a
	Testigo	8.49 c	9.51 b	63.81 c	18.11 b	240.86 a	38.19 b
Fertilización (F)	Testigo	8.90 b	10.05 b	69.65 ab	20.87 a	228.84 a	43.29 a
	Vermicompost	9.09 b	9.96 b	61.76 b	18.33 b	210.51 b	39.08 b
	Vermi + Té	9.84 a	11.27 a	72.37 a	21.47 a	208.97 b	44.28 a
DSH _{0.05}	M	1.13	1.66	10.53	1.71	24.45	4.42
	F	0.88	1.3	8.22	1.34	19.1	3.45

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey (P≤0.05); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta.

En la interacción, las mayores concentraciones de boro se obtuvieron con la combinación de malla verde con los tres tipos de fertilización, así como con la malla azul y

testigo con la fertilización combinada. En cobre, los valores más altos se registraron con las mallas azul y verde independientemente del tipo de fertilización, con las combinaciones malla roja más vermicompost y malla roja y testigo con fertilización combinada, mientras que la concentración más baja se observó en el testigo absoluto. En manganeso, con las mallas verde y roja con fertilización combinada y sin fertilización, así como con la malla azul más vermicompost y fertilización combinada se obtuvieron las concentraciones más altas. En el testigo absoluto y malla verde independientemente de la fertilización, se alcanzaron las mayores concentraciones de sodio, en tanto que, las menores se registraron con la malla roja más vermicompost y fertilización combinada. Finalmente, el mayor contenido de zinc, se logró con la malla verde independientemente de la fertilización y con malla roja más fertilización combinada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Concentración de micronutrientos en semillas de chía por efecto de la interacción malla sombra de color y fertilización orgánica.

Malla	Fertilización	B	Cu	Mn	Na	Zn
		mg kg ⁻¹				
Azul	Testigo	7.62 c [§]	10.50 abc	19.79 bc	201.02 def	40.14 bc
	Vermicompost	9.10 b	10.15 abc	21.57 ab	223.22 bcde	39.89 bc
	Vermi + Té	10.72 ab	10.09 abc	21.11 abc	196.89 def	37.06 bc
Roja	Testigo	7.99 c	9.04 bc	21.12 abc	174.63 ef	37.85 bc
	Vermicompost	8.43 bc	9.40 abc	16.95 c	170.29 f	36.27 bc
	Vermi + Té	8.92 bc	11.27 abc	21.76 ab	171.52 f	45.29 ab
Verde	Testigo	9.68 abc	11.45 abc	22.97 ab	261.87 abc	54.54 a
	Vermicompost	10.29 abc	12.11 ab	18.99 bc	231.63 abcd	45.72 ab
	Vermi + Té	11.94 a	12.99 a	24.08 a	269.65 ab	55.29 a
Testigo	Testigo	7.99 c	8.05 c	19.63 bc	277.85 a	40.62 bc
	Vermicompost	8.77 bc	8.84 bc	15.79 d	216.91 cdef	34.46 c
	Vermi + Té	9.91 abc	11.63 abc	18.92 bc	197.81 def	39.50 bc
DSH _{0.05}	M*F	2.66	3.65	4.18	51.43	10.23

[§]Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey (P≤0.05); DSH_{0.05}: diferencia significativa honesta.

Las mallas sombra de color (menor RFA) incrementaron la actividad antioxidante de las semillas de chía en relación con aquellas obtenidas sin uso de malla (mayor RFA), con la malla azul ($691 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se registró el valor más alto (84.3 %) de inhibición del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), el incremento respecto al testigo ($1848 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) fue de 9 % (Figura 1). Las plantas al estar sometidas a un estrés abiótico como en este caso fue la reducción de luz, responden con la síntesis de metabolitos secundarios con actividad antioxidante para hacer frente a esas condiciones adversas (Sepúlveda-Jiménez, 2003).

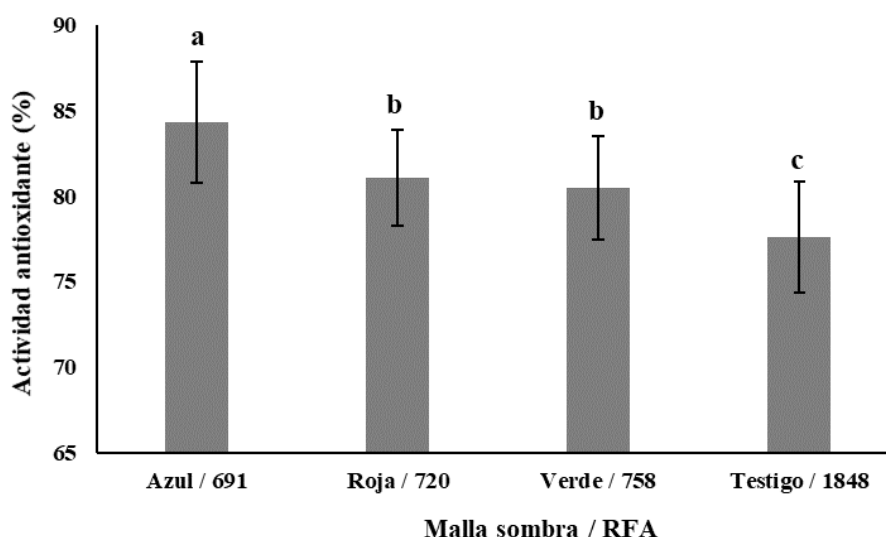


Figura 1. Efecto de la malla sombra de color en la actividad antioxidante de semillas de chía. Valores con la misma letra, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar.

La fertilización orgánica resultó efectiva para incrementar la actividad antioxidante de las semillas, con incrementos de 4 % y 9 % con aplicación de vermicompost al suelo y aplicación de vermicompost más fertilización foliar de té de vermicompost, respectivamente (Figura 2), lo que indica que las plantas respondieron a la disponibilidad de materia orgánica

y nutrientes para la formación de compuestos antioxidantes. Se ha documentado el efecto benéfico de la nutrición orgánica en el incremento de compuestos antioxidantes, tal es el caso de Wang y Li (2003) quienes encontraron que el uso de compost como enmienda al suelo incrementa los niveles de antioxidantes (ácido ascórbico y glutatión) e indicaron que la molécula de los ácidos húmicos puede incrementar la calidad de la fruta.

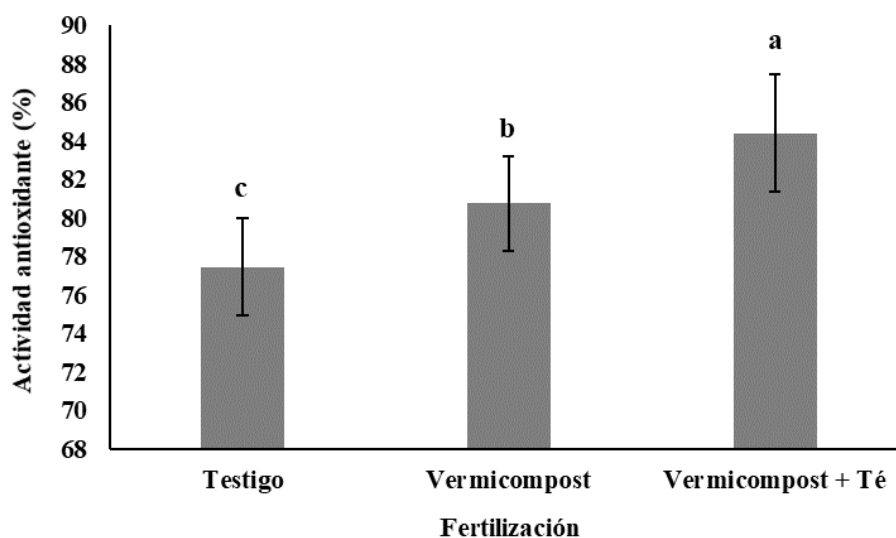


Figura 2. Efecto de la fertilización en la actividad antioxidante de semillas de chía. Valores con la misma letra, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras de error indican la desviación estándar.

Kalt *et al.* (2001) mencionan que el contenido de sustancias activas, entre ellas los antioxidantes, está controlado genéticamente, pero su expresión fenotípica está condicionada por variables ambientales como la luz, la temperatura, la humedad o el nivel de fertilización.

Los resultados obtenidos coinciden con los presentados por Khandaker *et al.* (2010) en hojas de amaranto rojo que exhibieron mayor actividad antioxidante bajo polietileno de color azul en relación con tonos verdes, amarillos y negros. En contraste, Mashabela *et al.* (2015) encontraron que frutos de pimienta verde producidos bajo redes foselectivas de color perla

tenían mayor actividad antioxidante, superando a aquellos cultivados con malla roja en 41 % y a los de malla negra hasta en 100 %. En remolacha roja (*Beta vulgaris* var. conditiva Alef.) la actividad antioxidante fue mayor con la malla roja (Stagnari *et al.*, 2014). Lo anterior pone de manifiesto la influencia de la luz en la acumulación de metabolitos, con diferencias debidas a la especie e inclusive entre genotipos, como lo mencionan Selahle *et al.* (2014) en un estudio con tomate, en el que observaron mayor actividad antioxidante en los cultivares AlfaV e Irit bajo mallas fotoselectivas color perla y negra, sin embargo, la actividad antioxidante más alta en el cv SCX 248 ocurrió con la malla roja.

Los resultados obtenidos en esta investigación son mayores (84 %) a los reportados por Vázquez-Ovando *et al.* (2007) y Reyes-Caudillo *et al.* (2008) con 80 %, Vazquez *et al.*, (2009) con 48 % y 50-60 %, así como con otros genotipos que se han evaluado en condiciones de campo (Dick *et al.*, 2016; Caruso *et al.*, 2017), pero menores a lo observado por Paredes (2015) (90 %). Es posible que las diferencias se deban al origen de la semilla estudiada, ya que en los estudios mencionados se analizaron semillas de los estados de México, Jalisco, Sinaloa y Puebla.

Perfil de ácidos grasos

Rendimiento de aceite de la semilla de chía

El contenido de aceite de las semillas de chía obtenidas con las mallas sombra de color fue similar al tratamiento testigo, con diferencias de apenas el 1 % entre ellos. La fertilización con vermicompost más aplicación foliar de té de vermicompost incrementó ligeramente el contenido de aceite con respecto a la fertilización de vermicompost al suelo y el testigo sin fertilización. El contenido en porcentaje de cada uno de los aceites se muestra en la Figura 3.

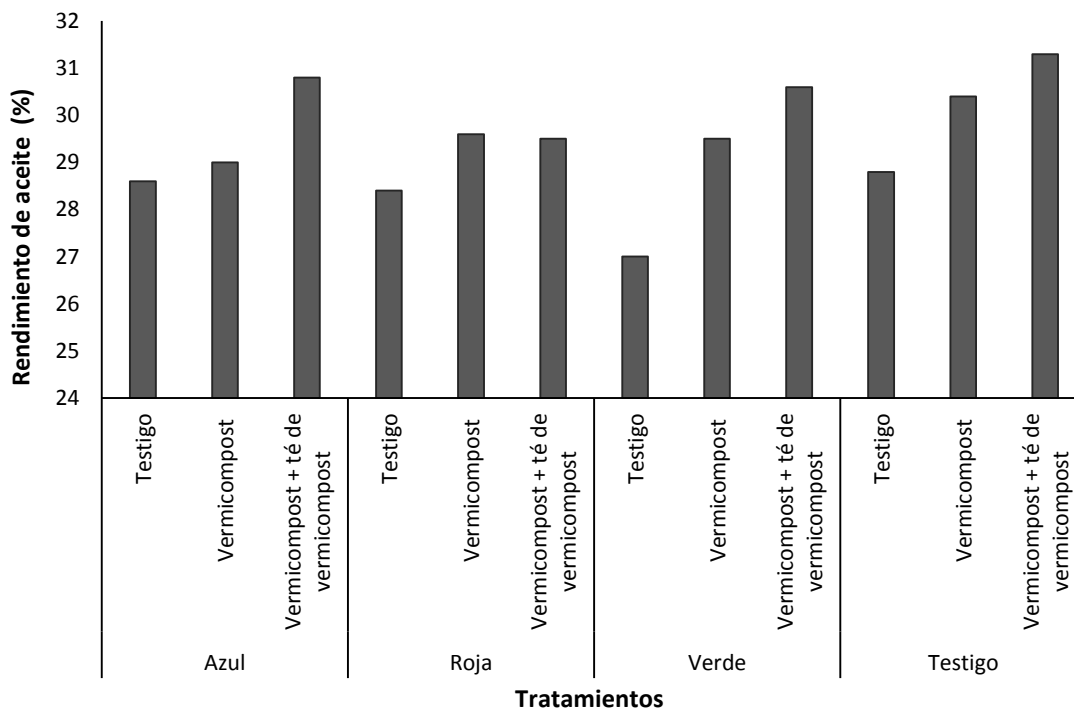


Figura 3. Rendimiento de los aceites de semilla de chía en función de la malla sombra de color y nutrición orgánica.

Los rendimientos de aceite obtenidos en este estudio son inferiores al reportado por Pérez (2015) en semilla de chía negra (33.2 %), lo cual está influenciado por el tipo de semilla y su origen, así como por el procesamiento de la muestra, ya que de acuerdo con Vázquez-Ovando *et al.* (2010), la operación de molienda y el material a moler, pueden influir en el volumen de muestra a procesar, así como de equipo empleado, pues hay molinos especiales que controlan mejor el escape de las partículas finas. Otro aspecto a considerar es el método de extracción del aceite, pues en el estudio mencionado se extrajo con el sistema Soxhlet, mientras que en la presente investigación se hizo mediante el método de ultrasonido.

Presencia y abundancia de ácidos grasos en semillas de Chía

El análisis permitió identificar 12 ácidos grasos: cáprico, palmítico, araquídico, margárico, behénico, lignocérico, esteárico, mirístico, linoleico, linolénico, nonadecanoico (IUPAC), y hexadecatrienoico (IUPAC). Sin embargo, no todos estuvieron presentes en todas las muestras. El compuesto mayoritario fue el ácido linolénico, que representó desde 44.07 hasta el 63.72% de área (Cuadro 6 y Anexos).

Cuadro 6. Composición y porcentaje de ácidos grasos totales de los aceites de semillas de chía.

Ácido graso (AG)	Tratamientos											
	Malla azul			Malla roja			Malla verde			Testigo		
	Test	Verm	Verm + té	Test	Verm	Verm + té	Test	Verm	Verm + té	Test	Verm	Verm + té
Cáprico	2.01	5.22	2.7	8.04	6.08	11.81	10.24	8.31	8.32	8.71	7.61	7.76
Palmítico	13.19	11.13	7.29	12.45	15.99	12.24	13.12	14.25	14.51	21.56	14.23	13.3
Araquídico	0.53	0.33	0.33	0.47	0.5	0.23	0.22	0.51	0.42	0.97	0.55	0.55
Margárico	0.19	0.14	--	0.33	0.29	--	0.18	0.29	0.32	0.4	0.37	0.26
Behénico	0.12	0.09	--	--	--	--	--	0.1	--	0.22	--	0.14
Lignocérico	0.13	0.09	--	0.12	0.12	--	--	0.1	--	--	--	0.13
Esteárico	0.23	--	--	0.21	--	--	--	--	0.16	0.33	--	--
Mirístico	--	--	--	--	--	0.16	--	0.19	--	--	0.26	0.24
AG saturados totales	16.4	17	10.32	21.62	22.98	24.44	23.76	23.75	23.73	32.19	23.02	22.38
Linoleico	--	--	8.89	--	--	11.26	--	--	--	--	--	--
Linolénico	--	47.92	63.72	54.72	55.56	50.96	54.81	55.25	55.88	--	44.07	55.72
Nonadecanoi- co (IUPAC)	--	--	--	--	0.22	--	--	--	--	--	--	--
Hexadeca- Trienoico	--	--	--	--	--	--	--	--	--	20.04	--	--
AG insaturados totales	0	47.92	72.61	54.72	55.78	62.22	54.81	55.25	55.88	20.04	44.07	55.72

Las semillas de los tratamientos con malla azul y roja, más vermicompost al suelo y aplicación foliar de té, presentaron abundancia de ácido linoleico (8.89 y 11.26 %, respectivamente), el resto de los tratamientos no presentó. En la mayoría de los tratamientos evaluados se encontró la presencia de ácidos Linolénico que osciló entre 44.07 y 63.72 %. Los tratamientos con malla azul y sin malla, y con ninguna fertilización no tuvieron presencia de ácidos grasos Linoleico y Linolenico. Éstos representan la mayor fuente natural de ácidos grasos esenciales en Omega-6 y Omega-3, fundamentales en la nutrición humana (Di Sapio *et al.*, 2012; Bodoira *et al.*, 2017).

Por otro lado, en el tratamiento testigo (sin malla y sin fertilización) se obtuvo el porcentaje más alto de AG saturados (32.19 %), el ácido palmítico fue el más abundante con 21.56 %, sin embargo, se obtuvo la proporción más baja de AG insaturados (20.04 %). La relación contraria se presentó con el tratamiento de malla azul y fertilización con vermicompost más té de vermicompost, ya que se observó la proporción más baja de AG saturados (10.32 %) y la mayor cantidad de AG insaturados (72.61 %), siendo el ácido linolénico el compuesto mayoritario con 63.72 %.

Las semillas, en general, son fuente de compuestos lipídicos que incluyen ácidos grasos, tocoferoles, triglicéridos, fosfolípidos, esfingolípidos y esteroides (De Falco *et al.*, 2017). Pero, la semilla de chía es una fuente excelente de ácidos grasos Omega-3 y Omega-6 esenciales para el ser humano debido a que carecemos de la maquinaria enzimática necesaria para biosintetizarlos y por lo tanto son aportados en la dieta. Además, son fuente de proteínas y minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre como se observó en la presente investigación.

4.4. CONCLUSIONES

Las mallas de color y la fertilización orgánica inducen diferencias en la concentración nutrimental. Con la malla verde se obtuvieron semillas con mayor concentración de fósforo, potasio, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc. Con la malla azul se incrementó el calcio y azufre. La fertilización al suelo con vermicompost más aplicación foliar de té de vermicompost favoreció el incremento de las concentraciones minerales. Los aceites en la semilla de Chía están compuestos de ácidos grasos similares, pero la presencia y abundancia fue distinta en cada tratamiento. Las mallas de color en combinación con la fertilización orgánica provocan variaciones en la presencia y abundancia de ácidos grasos saturados e insaturados totales. La fertilización orgánica incrementa la presencia de los aceites en las semillas de Chía. La mejor semilla se obtuvo con la malla azul y fertilización combinada, ya que registró mayor actividad antioxidante y mayor presencia de ácido linolénico.

4.5. LITERATURA CITADA

- Alcántar G. G., y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.
- Amato M., M. C. Caruso, F. Guzzo, F. Galgano, M. Commisso, R. Bochicchio, R. Labella and Favati F. 2015. Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy. *European Food Reserch Technology* 24: 615 – 625.
- Arancon N., C. A. Edwards, K. A. Webster and J. C. Buckerfield. 2010. The potential of vermicomposts as plant growth media for greenhouse crop production. In: C. A. Edwards, N. Q. Arancon and R. L. Sherman (Eds.) *Vermiculture Technology: Earthworms, organic wastes and environmental Management*. CRC press. pp 103 – 124.

- Ayerza, R., and W. Coates. 2005. Chia: Rediscovering a forgotten crop of the Aztecs. Tucson, Arizona, USA: The University of Arizona Press. ISBN: 978-0-8165-2488-4
- Ayerza R. y Coates W. 2011. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products* 34: 1366–1371. doi:10.1016/j.indcrop.2010.12.007
- Bodoira R. M., M. C. Penci, P. D. Ribotta, and M. L. Martínez. 2017. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. *LWT - Food Science and Technology* 75: 107-113.
- Carballo T., M. V. Gil, L. F. Calvo, and A. Morán 2009. The influence of aeration system, temperature and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. *Compost Science Utilization* 17: 127–139.
- Caruso, M. C., F. Favati, M. Di Cairano, F. Galgano, R. Labella, T. Scarpa and Condelli N. 2017. Shelf-life evaluation and nutraceutical properties of chia seeds from a recent long-day flowering genotype cultivated in Mediterranean area, *LWT - Food Science and Technology*: in press.
- Da Silva M. R., E. Aguiar M., S. Alves L., A. Teixeira G., M. Nogueira E. and M. Roberto Maróstica Jr. 2014. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology* 59: 1304–1310.
- De Falco B., G. Incerti, R. Bochicchio, T. D. Phillips, M. Amato and Lanzotti V. 2017. Metabolomic analysis of *Salvia hispanica* seeds using NMR spectroscopy and multivariate data analysis. *Industrial Crops and Products* 99: 86 – 96.
- Dick, M., C. Henrique Pagno, T. M. Haas Costa, A. Gomaa, M. Subirade, A. De Oliveira Ríos and S. Hickmann Flôres. 2016. Edible films based on chia flour: Development and characterization. *Journal of Applied Polymer Science* 133(2): 1–9.
- Di Sapio O., M. Bueno, H. Busilacchi, M. Quiroga, y C. Severin. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromát.* 11: 249–268.

- Edwards C. A. and Arancon N. Q. 2004. Interactions among Organic Matter, Earthworms, and Microorganisms in Promoting Plant Growth. *In*: F. Magdoff and R. R. Weil. (Eds.). Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC press. pp 347 - 353.
- Ferrari F. M. H., A. L. Wahanik, C. Rodrigues G. R., M. T. Pedrosa S. C., Y. Kil Ch. and Steel C. J. 2015. Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT - Food Science and Technology* 63: 1049 – 1055.
- González S., K. D., M. N. Rodríguez M., J. Sánchez E., L. I. Trejo T., y J. L. García C. 2013a. Uso de té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja. *Agroproductividad* 7(6): 17 – 22.
- González S. K. D., M. N. Rodríguez M., L. I. Trejo T., J. Sánchez E. y J. L. García C. 2013b. Propiedades químicas de tés de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 901 – 911.
- Kalt W., D. A. J. Ryan, J. C. Duy, R. L. Prior, M. K. Ehlenfeldt and S.P. Vander K. 2001. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *Cyanococcus* spp.). *Journal Agricultural Food Chemistry* (49): 4761-4767.
- Khandaker L., A.S.M.G. M. Akond, Md. B. Ali, and S. Oba. 2010. Biomass yield and accumulations of bioactive compounds in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) grown under different colored shade polyethylene in spring season. *Scientia Horticulturae* 123: 289–294.
- Mashabela M. N., K. M. Selahle, P. Soundy, K. M. Crosby, and D. Sivakumar. 2015. Bioactive compounds and fruit quality of green sweet pepper grown under different colored shade netting during postharvest storage. *Journal of Food Science* 80 (11): 2612-2618.
- Miranda F. 2012. Guía técnica para el manejo del cultivo de chia (*Salvia hispanica*) en Nicaragua. Central de Cooperativas de Servicios Múltiples Exportación e Importación del Norte (CECOOPSEMEIN RL.). Consultado en línea en: https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/Manual_de_poduccion_de_CHI_A_SALVIA_HISPANICA.pdf (Fecha de consulta: 15-10-2015).

- Muñoz L. A., A. Cobos, O. Díaz, and J. M. Aguilera. 2013. Chia Seed (*Salvia hispanica*): An Ancient Grain and a New Functional Food. *Food Reviews International* 29: 394-408.
- Naidu Y., S. Meon, J. Kadir, and Y. Siddiqui. 2010. Microbial Starter for the Enhancement of Biological Activity of Compost Tea. *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 51–56.
- NOSB. 2004 Compost Tea Task Force Final Report. National Organic Standards Board. April 6, 2004. [www.ams.usda.gov/nosb/meetings/Compost Tea Task Force Final Report pdf](http://www.ams.usda.gov/nosb/meetings/Compost%20Tea%20Task%20Force%20Final%20Report.pdf). (Consultado: 25/09/2016).
- Paredes C. R. M. 2015. Efecto del estrés hídrico en la biomasa, el contenido de fenoles y la actividad antioxidante en chíá (*Salvia hispanica* L.). Tesis de maestría. Posgrado de Botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 70 p.
- Pérez L. M. 2015. Efecto regulador de los ácidos grasos de semillas oleaginosas en el sistema de percepción de quórum de *Chromobacterium violaceum*. Tesis de maestría. Posgrado de Botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 84 p.
- Rekha G.S., K. Valivittan and P. K. Kaleena. 2013. Studies on the influence of vermicompost and vermiwash on the growth and productivity of Black Gram (*Vigna mungo*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 13 (6): 783 – 790.
- Reyes-Caudillo E., A. Tecante, and M. A. Valdivia-López. 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry* 107(2): 656–663.
- Rodríguez, D. N., P. Cano R., U. Figueroa V., E. Favela Ch., A. Moreno R., C. Márquez H., E. Ochoa M. y P. Preciado R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27 (4): 319 – 327.
- Rosamond W. D. 2002. Dietary fiber and prevention of cardiovascular disease. *Journal of the American College Cardiology*, 39, 57–59.
- SAS Institute. 2015. SAS/STAT user's guide Release 9.4. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Scheuerell S. J., and W. F. Mahaffee. 2002. Literature review: compost tea principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization* 10: 313–338.

- Selahle M. K., D. Sivakumar, and P. Soundy. 2014. Effect of photo-selective nettings on post-harvest quality and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Journal Science Food Agricultural* 94: 2187-2195.
- Sepúlveda-Jiménez G. 2003. La participación de los metabolitos secundarios en la defense de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(3): 355-363.
- Shahak Y., E. Gal, Y. Offir and D. Ben-Yakir. 2008. Photo-selective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hort.* 797: 75-80.
- Stagnari F., A. Galieni, G. Cafiero and M. Pisante. 2014. Application of photo-selective films to manipulate wavelength of transmitted radiation and photosynthate composition in red beet (*Beta vulgaris* var. Conditiva Alef.). *J Sci Food Agric.* 94: 713-720.
- Urrestarazu, M., C. Salas M., I. Padilla M., E. Moreno J. and A. Carrasco G. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soil-less cropping. *Acta Horticulturae* 549: 147 – 152.
- Vázquez-Ovando J. A., J. G. Rosado-Rubio, L. A. Chel-Guerrero and D. A. Betancur-Ancona. 2009. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology* 42(1): 168-173.
- Vázquez-Ovando J. A., J. G. Rosado-Rubio, L. A. Chel-Guerrero and D. A. Betancur-Ancona. 2010. Dry processing of chia (*Salvia hispanica* L.) flour: chemical characterization of fiber and protein. *CyTA – Journal of Food* 8(2): 117–127.
- Wang S. Y., and H. S. Lin. 2003. Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. *Journal Agricultural Food Chemistry* 51: 6844 - 6850.
- White P. J. and P. H. Brown. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105: 1073–1080.
- Xu D., W. Raza, G. Yu, Q. Zhao, Q. Shen, Q. Huang. 2012. Phytotoxicity analysis of extracts from compost and their ability to inhibit soil-borne pathogenic fungi and reduce root-knot nematodes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28: 1193–1201.

CONCLUSIONES GENERALES

Las mallas de color roja y verde permiten obtener plántulas de calidad, ya que favorecen el crecimiento, el contenido de K^+ y la actividad antioxidante. Por su parte, el té de vermicompost representa una alternativa a la producción de almácigos de chía, así como para microgreens.

Los cambios en la radiación fotosintéticamente activa por el uso de malla de diferentes colores, modifican el crecimiento de las plantas de chía en campo. El flujo de fotones fotosintéticos entre 691 y 720 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (malla azul y roja) acortó el ciclo del cultivo, pero no se incrementó el rendimiento de semilla respecto al testigo. A pesar que se favoreció la tasa de crecimiento absoluto con la malla verde (758 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) el rendimiento se redujo. El uso de vermicompost y aplicación foliar de té de vermicompost incrementó la biomasa y el rendimiento de semilla, por lo que es una alternativa de manejo orgánico en el cultivo de chía.

Las diferentes radiaciones evaluadas modifican la anatomía de las plantas de *Salvia hispanica* L. Las plantas bajo los distintos colores de malla presentaron menor grosor de mesófilo ocasionado por el decremento de capas en el parénquima esponjoso. Con la malla roja se presentó un alargamiento de las células de la primera capa del parénquima de empalizada.

Las mallas de color y la fertilización orgánica inducen diferencias en la concentración nutrimental, actividad antioxidante, así como en la presencia y abundancia de ácidos grasos. Con la malla verde y vermicompost más té se obtiene semillas con mayores concentraciones nutrimentales. La fertilización orgánica incrementa la presencia de los aceites en las semillas.

de Chía. La mejor semilla se obtuvo con la malla azul y fertilización combinada, ya que registró mayor actividad antioxidante y ácido linolénico.

Se considera necesario hacer más investigación con el uso de mallas sombra de colores en chía para verificar los efectos en el rendimiento y calidad de la semilla, a fin de realizar las recomendaciones necesarias.

ANEXOS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos en estudio en la etapa de cultivo en campo.

No.	Tratamiento	
	Malla sombra	Fertilización
1		Testigo (sin fertilización)
2	Azul	Vermicompost al suelo
3		Vermicompost al suelo + té de vermicompost al follaje
4		Testigo (sin fertilización)
5	Roja	Vermicompost al suelo
6		Vermicompost al suelo + té de vermicompost al follaje
7		Testigo (sin fertilización)
8	Verde	Vermicompost al suelo
9		Vermicompost al suelo + té de vermicompost al follaje
10		Testigo (sin fertilización)
11	Testigo	Vermicompost al suelo
12		Vermicompost al suelo + té de vermicompost al follaje

Cuadro 2. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 1.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.266	2.70
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.827	7.29
3	Ácido linoleico	Ácido 12, 15-Octadecadienoico	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294.3	19.387	8.89
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.607	63.72
5	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.888	0.33

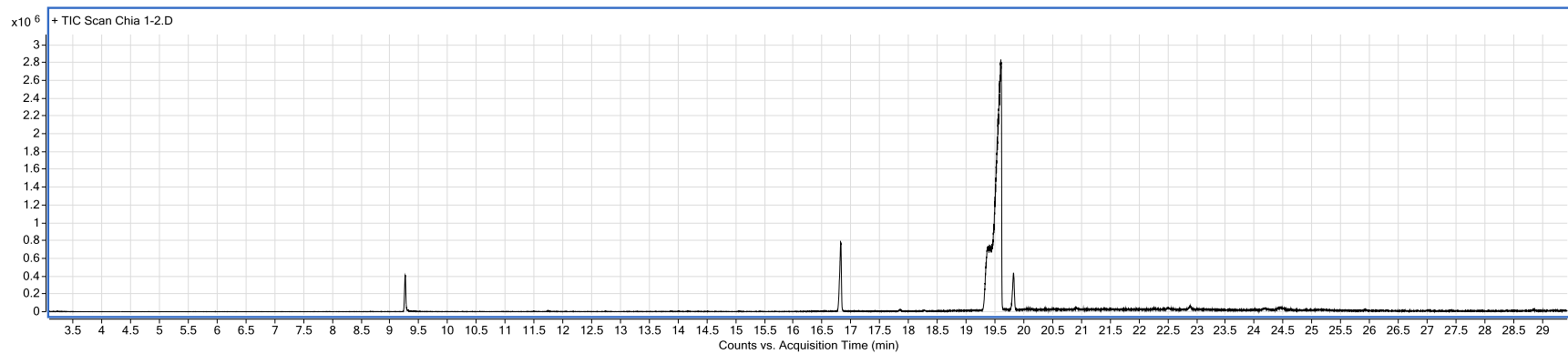


Figura 1. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 1.

Cuadro 3. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 2.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.265	5.22
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.84	11.13
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.3	17.836	0.14
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.655	47.92
5	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.874	0.33
6	Ácido behénico	Ácido docosanoico	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354.4	25.929	0.09
7	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	382.4	28.826	0.09

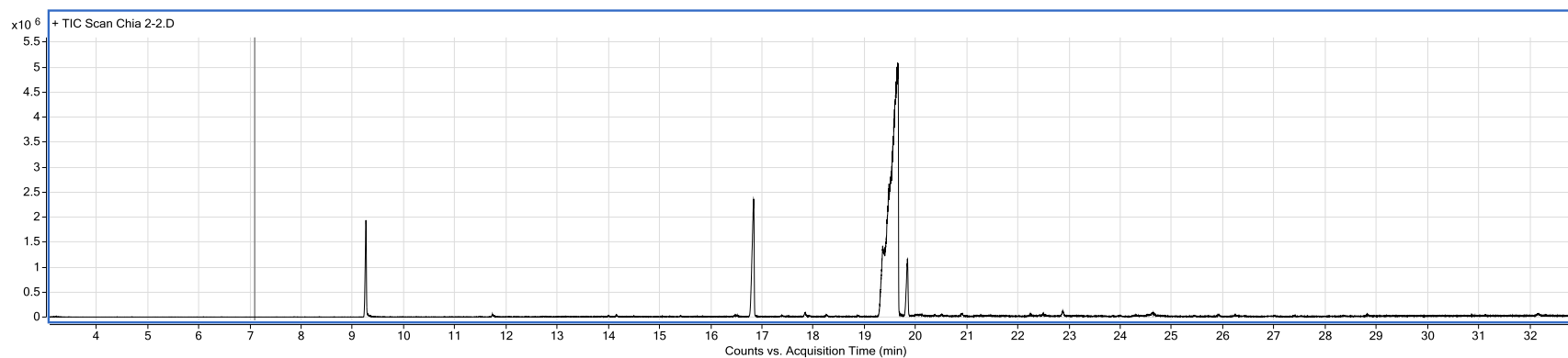


Figura 2. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 2.

Cuadro 4. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 3.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.263	2.01
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.845	13.19
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.3	17.847	0.19
4	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312.3	20.917	0.23
5	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.892	0.53
6	Ácido behénico	Ácido docosanoico	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354.4	25.926	0.12
7	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	382.4	28.836	0.13

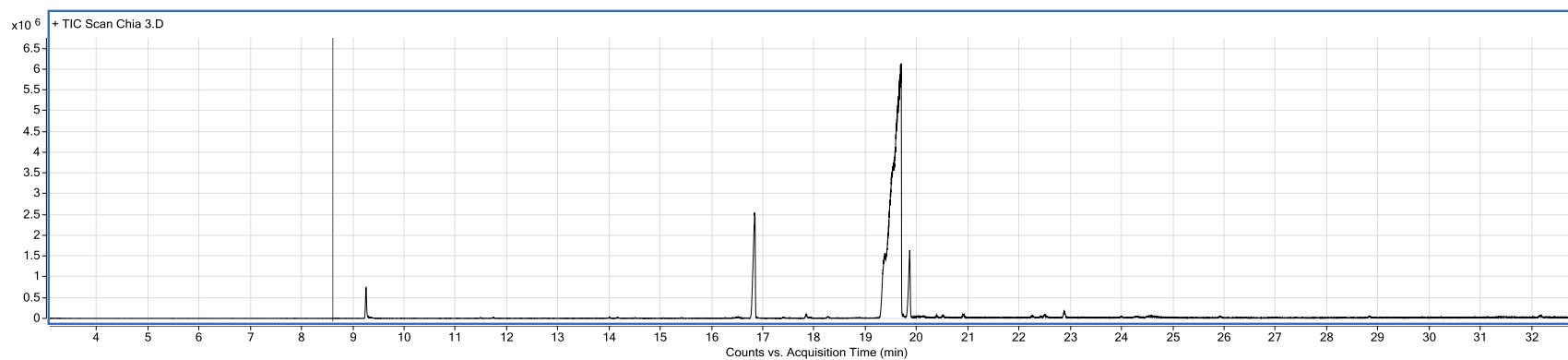


Figura 3. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 3.

Cuadro 5. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 4.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.275	6.08
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.858	15.99
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.3	17.852	0.29
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.704	55.56
5		Ácido nonadecanoico	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312.3	20.911	0.22
6	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.877	0.50
7	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	382.4	28.833	0.12

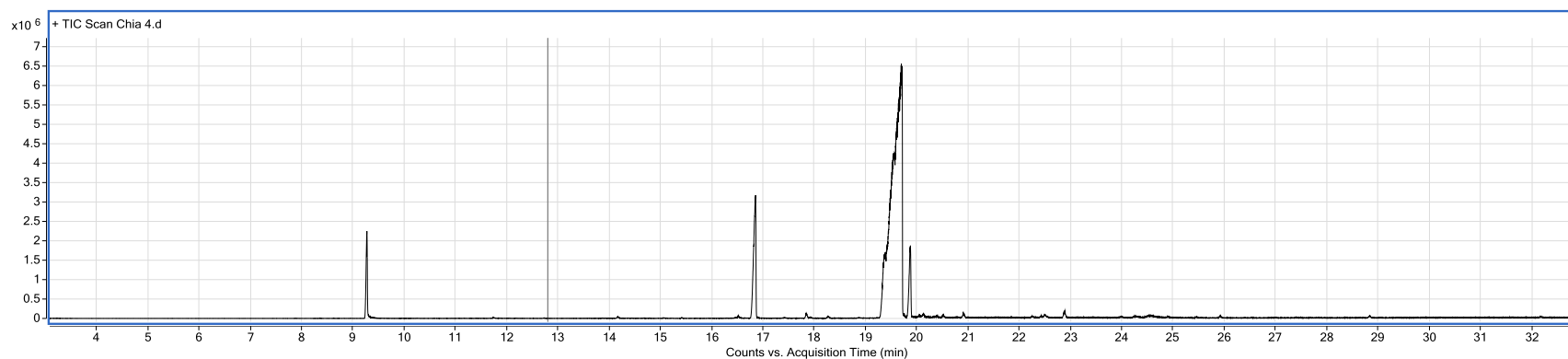


Figura 4. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 4.

Cuadro 6. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 5.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.279	11.81
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.831	12.24
3	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	17.843	0.16
4	Ácido linoleico	Ácido 9, 15-Octadecadienoico	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294.3	19.357	11.26
5	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.6	50.96
6	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.88	0.23

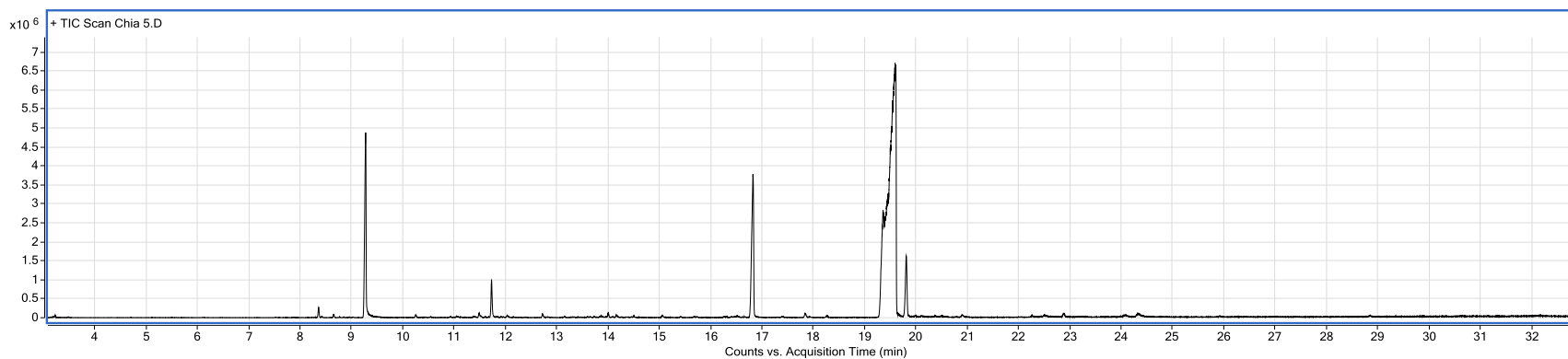


Figura 5. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 5.

Cuadro 7. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 6.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C11H22O2	186.2	9.279	8.04
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C17H34O2	270.3	16.852	12.45
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	17.846	0.27
4	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	18.257	0.06
5	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C19H32O2	292.2	19.688	54.72
6	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	C20H40O2	312.3	20.914	0.21
7	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C21H42O2	326.3	22.878	0.47
8	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C25H50O2	382.4	28.843	0.12

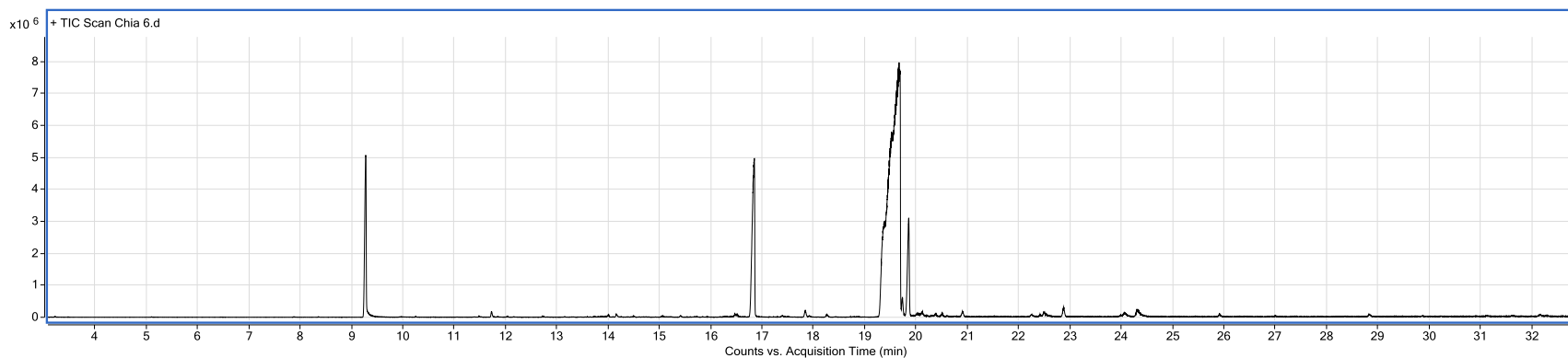


Figura 6. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 6.

Cuadro 8. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 7.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C11H22O2	186.2	9.284	8.31
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C17H34O2	270.3	16.863	14.25
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	17.851	0.29
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C19H32O2	292.2	19.735	55.25
5	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	C17H34O2	270.3	20.918	0.19
6	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C21H42O2	326.3	22.89	0.51
7	Ácido behénico	Ácido docosanoico	C23H46O2	354.4	25.933	0.10
8	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C25H50O2	382.4	28.848	0.10

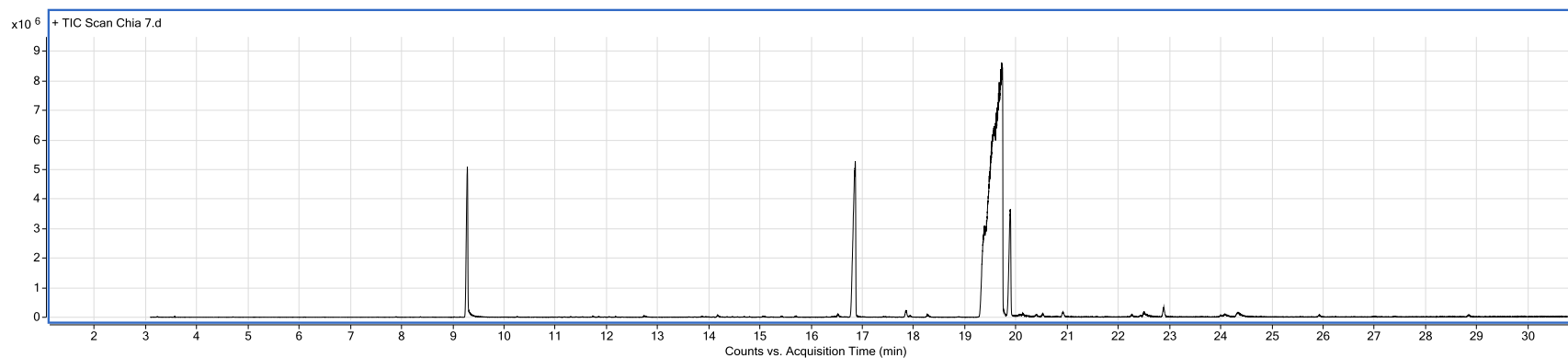


Figura 7. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 7.

Cuadro 9. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 8.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C11H22O2	186.2	9.278	8.32
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C17H34O2	270.3	16.853	14.51
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	17.844	0.26
4	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	18.271	0.06
5	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C19H32O2	292.2	19.702	55.88
6	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	C20H40O2	312.3	20.917	0.16
7	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C21H42O2	326.3	22.882	0.42

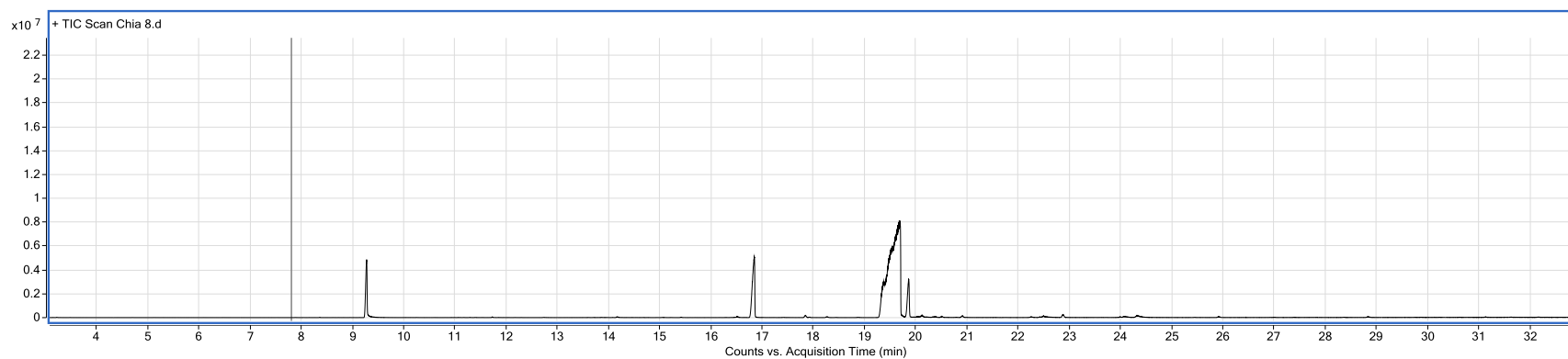


Figura 8. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 8.

Cuadro 10. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 9.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.274	10.24
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.834	13.12
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.3	17.847	0.18
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.619	54.81
5	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.879	0.22

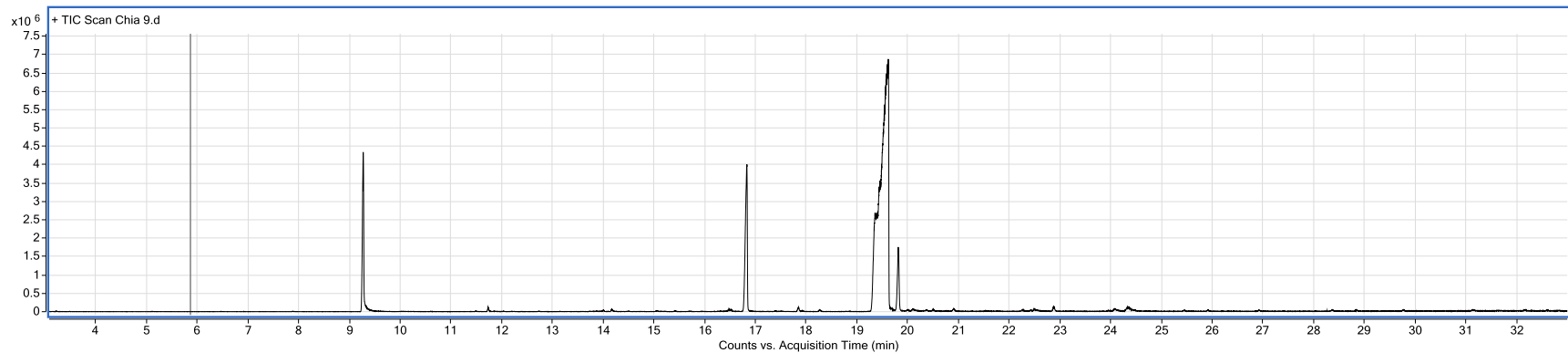


Figura 9. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 9.

Cuadro 11. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 10.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C11H22O2	186.2	9.277	7.61
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C17H34O2	270.3	16.855	14.23
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	17.842	0.30
4	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	18.265	0.07
5	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C19H32O2	292.2	19.715	44.07
6	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	C17H34O2	270.3	20.909	0.26
7	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C21H42O2	326.3	22.883	0.55

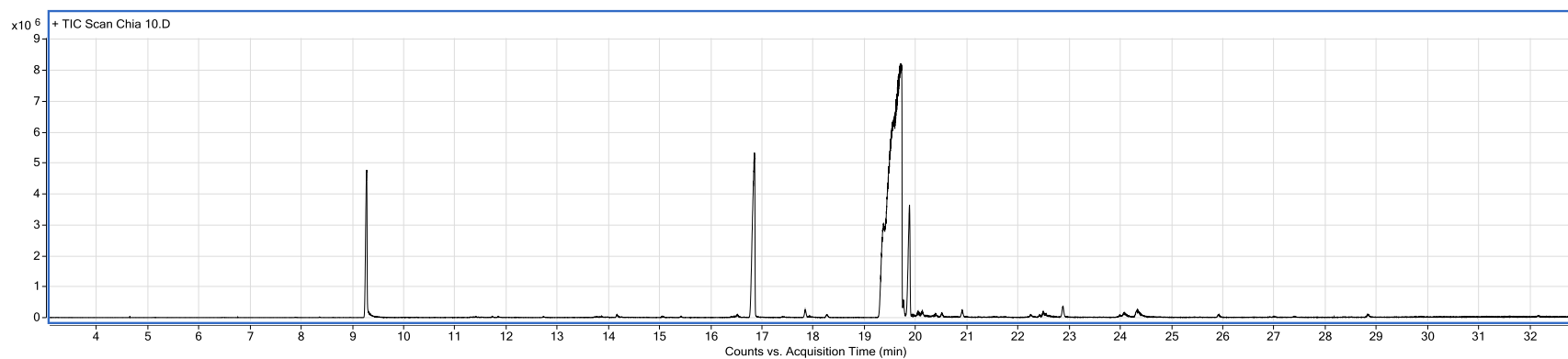


Figura 10. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 10.

Cuadro 12. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 11.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186.2	9.28	7.76
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	16.85	13.30
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.3	17.847	0.26
4	Ácido linolénico	Ácido 9, 12, 15-Octadecatrienoico	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.2	19.706	55.72
5	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.3	20.921	0.24
6	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326.3	22.891	0.55
7	Ácido behénico	Ácido docosanoico	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	354.4	25.926	0.14
8	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico	C ₂₅ H ₅₀ O ₂	382.4	28.84	0.13

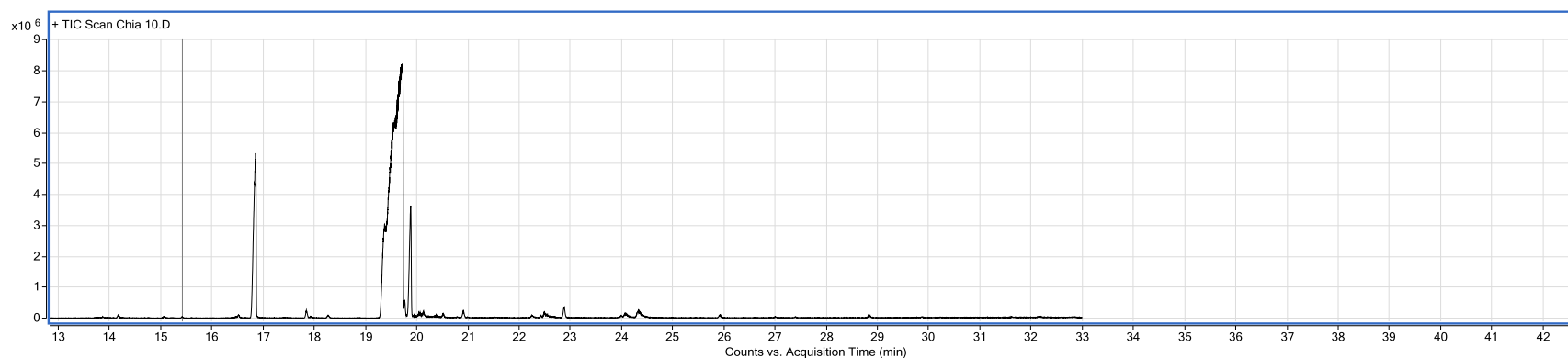


Figura 11. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 11.

Cuadro 13. Ácidos grasos presentes en el tratamiento 12.

Pico #	Nombre común	Nombre IUPAC	Fórmula	PM	TR (min)	% Área
1	Ácido cáprico	Ácido decanoico	C11H22O2	186.2	9.279	8.71
2	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C17H34O2	270.3	16.869	21.56
3	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico	C18H36O2	284.3	17.849	0.40
4		Ácido Hexadecatrienoico	C17H28O2	264.2	19.786	20.04
5	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	C20H40O2	312.3	20.92	0.33
6	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C21H42O2	326.3	22.889	0.97
7	Ácido behénico	Ácido docosanoico	C23H46O2	354.4	25.923	0.22

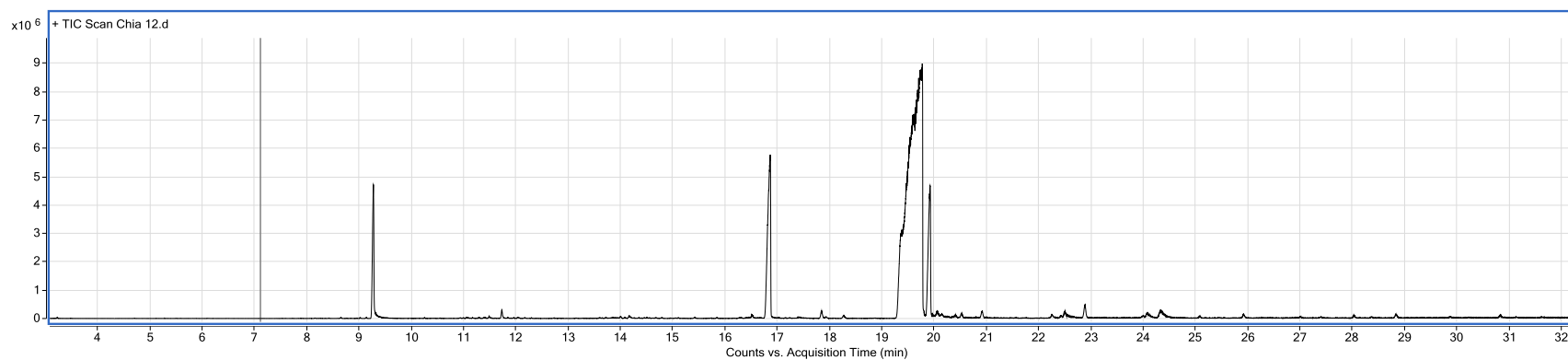


Figura 12. Cromatograma de los ácidos grasos presentes en el tratamiento 12.