

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

Memoria de título

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO EN
GRANO EN CHIA (*Salvia hispanica* L.) Y SU RELACIÓN CON EL
CRECIMIENTO Y DESARROLLO.**

CAMILA DANIELA ARRIAGADA GONZÁLEZ

**Santiago, Chile
2016**

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

Memoria de título

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO EN
GRANO EN CHIA (*Salvia hispanica* L.) Y SU RELACIÓN CON EL
CRECIMIENTO Y DESARROLLO.**

**SOWING DATE EFFECT IN GRAIN YIELD IN CHIA (*Salvia
hispanica* L.) AND ITS RELATIONSHIP WITH GROWTH AND
DEVELOPMENT.**

CAMILA DANIELA ARRIAGADA GONZÁLEZ

**Santiago, Chile
2016**

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

Memoria de Título

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO EN
GRANO EN CHIA (*Salvia hispanica* L.) Y SU RELACIÓN CON EL
CRECIMIENTO Y DESARROLLO.**

**Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera Agrónoma**

CAMILA DANIELA ARRIAGADA GONZÁLEZ

	Calificaciones
Profesores Guías	
Sra. Cecilia Baginsky G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	4,8
Sr. Herman Silva R. Profesor de Biología y Ciencias, Mg. Sc. Dr.	6,4
Profesores Evaluadores	
Sra. Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo Mg. Sc. Dr.	4,8
Sr. Juan Manuel Uribe M. Ingeniero Agrónomo.	5,0

**Santiago, Chile
2016**

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto FONDECYT 1120202 por el financiamiento parcial.

ÍNDICE

RESUMEN	1
Palabras Clave.....	1
ABSTRACT	2
Key Words.....	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis.....	5
Objetivos.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de estudio.....	6
Materiales	6
Métodos.....	6
Tratamientos y Diseño Experimental.....	6
Unidad Experimental.....	7
Manejo agronómico.....	7
Preparación de suelo	7
Fertilización.....	7
Siembra	8
Control de malezas	8
Riego.....	8
Evaluaciones	8
Desarrollo.....	8
Crecimiento.....	9
Rendimiento y sus componentes	11
Análisis estadístico	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
Desarrollo	12
Crecimiento.....	14
Rendimiento y sus componentes.....	26
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29
APÉNDICES	37

Apéndice I. Matriz de correlaciones entre las variables de crecimiento medidas y las variables ambientales registradas desde 24 hasta 181 DDS para F1.....	37
Apéndice II. Matriz de correlaciones entre las variables de crecimiento medidas y las variables ambientales registradas desde 24 hasta 181 DDS para F2.....	37
Apéndice III. Tiempo Térmico calculado para F1 y F2 al inicio de floración (R1) usando diferentes temperaturas base (Temp.b): 9,0, 7,3 y 6,8 °C.....	37
ANEXOS	38
Anexo I. Largo del día y de la noche desde el 15 de marzo hasta el 30 de abril. Santiago, Chile (Solartopo, 2014). Se incluye la ocurrencia de la floración que fue simultánea para ambas fechas de siembra.....	38
Anexo II. Horas de luz para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registradas entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). Santiago, Chile. (R1: Inicio de floración) (Solartopo, 2014).....	38
Anexo III. Temperatura Media para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registrada entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). Estación meteorológica La Platina INIA, comuna de La Pintana, Santiago, Chile.....	39
Anexo IV. Radiación Global Horizontal para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registradas entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). En los paralelos 33°57' latitud sur y 70°63' longitud oeste.....	39
Anexo V. Temperaturas máximas y mínimas diarias durante el ciclo del cultivo para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre. Estación meteorológica La Platina INIA, comuna de La Pintana, Santiago, Región Metropolitana.....	40

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Fechas de siembra correspondiente a los tratamientos del ensayo.....	6
Cuadro 2. Estados fenológicos evaluados	9
Cuadro 3. Días desde siembra (DDS) en que las plantas de chia alcanzaron los diferentes estados fenológicos para las dos fechas de siembra (F1 y F2)	12
Cuadro 4. Tiempo térmico para F1 y F2 durante el desarrollo fenológico del cultivo, utilizando temperatura base de 10°C.....	14

Cuadro 5. Materia Seca de Inflorescencias por planta ($MS\ INF \cdot planta^{-1}$) desde 105 hasta 181 DDS.....	25
Cuadro 6. Número de Inflorescencias por planta ($N^{\circ}\ INF \cdot planta^{-1}$) desde 105 hasta 181 DDS.....	25
Cuadro 7. Componentes del rendimiento de chia	27
Cuadro 8. Rendimiento por hectárea de granos de chia	27

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución en terreno del ensayo	7
Figura 2. Etapa reproductiva para las dos fechas de siembra (F1 y F2), con las correspondientes temperaturas mínimas diarias	13
Figura 3. Altura del tallo principal de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS.....	15
Figura 4. Número de nudos vegetativos del tallo principal de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS	16
Figura 5. Número de ramas primarias de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 45 hasta los 181 DDS.....	17
Figura 6. Área foliar e índice de área foliar (IAF) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS.....	18
Figura 7. Materia seca total (MST) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS.....	20
Figura 8. Materia seca de tallo (MStallo) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS	20
Figura 9. Materia seca de hojas (MShojas) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas desde los 24 hasta los 181 DDS.....	21

Figura 10. Distribución de asimilados del cultivo de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas a los 24 y 122 DDS.....	22
Figura 11. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de chia. En dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, calculada desde los 35 hasta los 137 DDS.....	23
Figura 12. Tasa de asimilación neta (TAN) de chia. En dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, calculada desde los 35 hasta los 137 DDS.....	24

RESUMEN

La chia (*Salvia hispanica* L.) es una especie anual de origen tropical, que por sus atributos benéficos en la salud humana redescubiertos recientemente ha sido objeto de interés a nivel mundial. Es así como en Chile se evalúa su introducción como un cultivo alternativo a la producción agrícola nacional; sin embargo entre otros aspectos agronómicos no se cuenta con información respecto a la fecha óptima de siembra. Por ello, se realizó un ensayo con dos fechas de siembra, 7 y 31 de diciembre del 2010 (F1 y F2), con germoplasma procedente de Santa Cruz de Las Sierras (Bolivia), el estudio se llevó a cabo en el Campus Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Santiago, Región Metropolitana. El cultivo se estableció a una densidad de 50 plantas·m⁻², con desmalezado manual y riego por goteo. Se evaluaron parámetros de desarrollo (días desde siembra a la ocurrencia de los distintos estados fenológicos), crecimiento (altura de plantas, ramificaciones primarias, número de nudos del tallo principal, área foliar, índice de área foliar y materia seca aérea), y el rendimiento en grano; además en función de la Materia Seca (MS) y el Área Foliar (AF) se determinó la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) y la Tasa de Asimilación Neta (TAN). Los resultados mostraron que en gran parte de estas variables existieron diferencias significativas entre ambas fechas de siembra a lo largo del desarrollo del cultivo, siendo F2 más precoz y con una tendencia de mayor MS y AF que F1 al final del periodo de crecimiento; se observó que a nivel de rendimiento, F2 generó un 77% más de rendimiento respecto a F1 (114,16 kg·ha⁻¹ en F2 y 26,45 kg·ha⁻¹ en F1). No obstante, los rendimientos obtenidos son extremadamente bajos debido a las bajas temperaturas mínimas durante la etapa reproductiva del cultivo, que provocaron pérdidas importantes en el rendimiento en grano, por lo cual se concluye que la Región Metropolitana no es una zona apta para la producción de grano de chia.

Palabras claves: Fenología, área foliar, materia seca, TCR, TAN.

ABSTRACT

The chia (*Salvia hispanica* L.) is an annual species with tropical origin, which by its beneficial attributes on human health rediscovered recently has been the subject of worldwide interest. Thus its introduction in Chile is evaluated as an alternative crop to national agricultural production; however, among other agronomic no information is available regarding the optimal planting date. Therefore, trial was planted on two sowing dates, December 7 and 31 (F1 and F2), with germplasm from Las Sierras Santa Cruz (Bolivia).the study was conducted in the Campus Antumapu of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Chile, Santiago, Metropolitan Region. The culture was established at a density of 50 plants·m⁻², with manual weeding and drip irrigation. development parameters (days from planting to the occurrence of the different phenological stages), growth (plant height, primary branches, number of nodes on the main stem, leaf area, leaf area index and air dry matter), and grain yield were evaluated in order to determine the optimum sowing date for the area.; also based on the dry matter (DM) and leaf area (AF) Relative Growth Rate (RGR) and net assimilation rate (TAN) was determined. The results showed that in most of these variables were significant differences between sowing dates along the development of the crop, with F2 earlier and with a greater tendency MS and AF than F1 at the end of the growth period; finding that level of performance, F2 generated a 77% performance increase compared to F1 (114.16 and 26.45 kg·ha⁻¹ respectively). Therefore, because of the low minimum temperatures occurring during the reproductive stage of this crop that resulted in significant grain yield losses, Santiago Metropolitan Region is not a suitable zone for chia culture.

Key words: Crop phenology, leaf area, dry matter, RGR, NAR.

INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevas especies y/o variedades ha implicado un aumento significativo de la actividad agrícola en Chile central. En este sentido, el cultivo de la chia (*Salvia hispanica* L.) de origen mexicano, se presenta como una buena alternativa para Chile, puesto que ha sido recientemente establecido en América del Sur (Peiretti, 2009), estimándose según González (2014) que la superficie productiva destinada al cultivo de la chía en el mundo en el 2013 fue de 250.000 has, de las cuales casi el 50% son de Argentina.

La información que se conoce acerca del cultivo es que corresponde a una planta anual de primavera verano, perteneciente a la familia de las Lamiaceae (Estrada, 1987), posee entrenudos de dos a ocho centímetros de longitud y numerosas ramas primarias y secundarias. Es una especie con polinización altamente autógena que no tolera heladas en ninguna etapa de su desarrollo y las temperaturas mínimas y máximas de crecimiento son de 11°C y 36°C respectivamente, presentando un rango óptimo entre 16 a 26°C (Ayerza y Coates, 2006). Si bien son deseables altos niveles de humedad en el suelo para su germinación, una vez establecida la planta no presenta problemas de crecimiento en condiciones limitantes de agua. Crece bien en suelos areno-limosos, aunque también se adapta a otras clases texturales, siempre y cuando presenten buen drenaje (Lobo et al., 2011).

Asimismo, posee una alta heredabilidad en algunas características fenotípicas (Cahill y Ehdai, 2005) como es la uniformidad en los períodos de floración y maduración (Cahill, 2005); debido a su sensibilidad al fotoperiodo caracterizado por día corto (Ayerza y Coates, 2006), siendo necesarios según Busilacchi et al. (2013) para el inicio de floración, un umbral de duración de luz entre 12 y 13 horas. Por esto, Lobo et al. (2011) concluyen que para el cultivo de la chía la fecha de siembra es relevante, ya que la floración es determinada por el largo del día, por lo tanto la duración del periodo de crecimiento vegetativo dependerá si se siembra en fechas más tempranas o tardías.

El gran potencial de este cultivo se debe a que la semilla tiene entre un 25 y 39% de su peso en aceite (Coates y Ayerza, 1998), el cual contiene hasta un 68% de omega-3 α -linolénico (Ayerza, 2011). Estos ácidos son muy importantes para la nutrición humana y deben ser suplementados en la alimentación porque no son sintetizados en el organismo humano, también diversos estudios han demostrado que suplementos a largo plazo con chia, atenúa factores de riesgo cardiovascular más allá de la terapia convencional y mantiene un buen control glucémico y de lípidos en personas con diabetes tipo 2 (Vuksan et al. 2007).

Los estudios en chia, se han centrado en la composición nutricional y producción de aceite de sus semillas (Weber et al., 1991; Ayerza, 1995), polisacáridos en el mucílago de la cubierta o testa de la semillas (Lin et al., 1994; Muñoz, 2012); además las semillas con tienen una rica gama de antioxidantes naturales (Ixtaina et al., 2012), así como compuestos fenólicos (Capitani et al., 2012) que ayudan a proteger a los consumidores contra muchas enfermedades (Nijveldt et al., 2001). De igual forma, recientemente se ha estudiado la biomasa vegetal, donde han encontrado flavonoides en las hojas, incluyendo compuestos nunca antes encontrados en plantas de Lamiaceae (Amato et al., 2015), ampliando el campo de estudio hasta ahora sólo enfocado en las semillas.

Existe, sin embargo, poca información sobre el manejo agronómico de esta especie, no obstante existen estudios relacionados con la evaluación de genotipos y fechas de siembra bajo diferentes condiciones ambientales. Este hecho radica en la alta interacción existente entre genotipo y medio ambiente en esta especie, manifestándose en variaciones de rendimiento y calidad de grano (Ayerza y Coates, 2009).

La fecha de siembra es además uno de los factores que más modifican los productores en función de las condiciones climáticas, genotipo y posibilidad de habilitar los suelos para sus siembras, siendo necesario según Calviño (2003) conocer la respuesta del desarrollo y el crecimiento de los cultivos en las diferentes fechas de siembra, para orientar de manera óptima el manejo agronómico.

Relacionando fecha de siembra con el rendimiento en chia, los primeros estudios realizados por Coates y Ayerza (1996) en siete lugares en tres provincias del noroeste de Argentina (latitudes: 23°, 27° y 28° Sur) demostraron que tanto la biomasa y el rendimiento total de semillas fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores cuando las plantas fueron establecidas a mediados de Enero (882 kg / ha) que las parcelas sembradas 27 y 46 días más tarde (450 y 437 kg / ha, respectivamente). Así mismo en estudios realizados por Coates y Ayerza (1998), en diez lugares en dos provincias del noroeste de Argentina (latitudes 24° Sur y 25° Sur) se obtuvo que a la latitud de 25° Sur se obtuvo el mayor rendimiento en la fecha de siembra más temprana (1 de febrero) con 1.171 Kg/ha, sin embargo a una latitud de 24° Sur, el mayor rendimiento fue para la fecha de siembra más tardía (15 de febrero) con 814 kg/ha. En ensayos recientes en la zona norte de Chile (Valle de Azapa (latitud 18° Sur) y Canchones (latitud 20° Sur), caracterizados por presentar un clima de tipo desértico y bajo condiciones de riego, se observó que, en Canchones las heladas se incrementan a partir del mes de abril, por lo que no son recomendables fechas de siembra en las cuales las plantas florezcan durante este mes, tal es el caso de las siembras hechas a partir de mediados de febrero (Baginsky et al., 2015). Por otra parte en el Valle de Azapa donde las condiciones climáticas son más estables, con temperaturas máximas y mínimas óptimas para el cultivo generando una mayor estabilidad en el rendimiento. En esa localidad las mejores fechas de siembra se concentran entre mediados de febrero e inicios de marzo (Baginsky et al., 2015).

Así también, la fecha de siembra puede tener incidencia en el crecimiento y desarrollo de la chia; siendo el crecimiento vegetal entendido como una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, 2002). Por esto, para poder cuantificar y medir el crecimiento se hacen medidas directas (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, masa seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa relativa de crecimiento, etc. (Barraza et al., 2004); siendo las curvas de crecimiento en los vegetales un reflejo del comportamiento de la planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo; Además, su elaboración es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado (Casierra-Posada et al., 2004).

Por lo anteriormente mencionado y para promover la producción comercial de chia en Chile, nace la necesidad de identificar zonas aptas para su cultivo y junto con ello establecer el período de siembra óptimo que permita la obtención del mayor rendimiento; debido a lo cual, en relación a las características climáticas del lugar y a las necesidades

del cultivo se propusieron 2 fechas estimativas en el mes de Diciembre para la siembra de chia en la región Metropolitana¹.

Hipótesis

Plantas establecidas a fines de Diciembre en la zona central de Chile presentan un rendimiento mayor que aquellas establecidas a inicios de Diciembre.

Objetivos

Objetivo general.

Evaluar el efecto de dos fechas de siembra sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de plantas de chia sembradas en la Región Metropolitana de Chile.

Objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo del cultivo.
2. Evaluar el efecto de dos fechas de siembra en el crecimiento de chia.
3. Evaluar el efecto de dos fechas de siembra en el rendimiento y componentes del rendimiento de chia.

¹ Orozco, G. 2010, nov. Fechas de siembra estimativas para chia [Comunicación personal]. Facultad de Agronomía, Universidad de Guadalajara.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El ensayo se realizó durante la temporada 2010-2011 en el Campus Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicado entre los paralelos 33°57' latitud sur y 70°63' longitud oeste, a 420 m.s.n.m. El clima característico del lugar de estudio, según la clasificación climática de Köeppen, es templado cálido con estación seca prolongada de 7 a 8 meses. La precipitación anual es de 370 mm concentrada entre mayo y agosto. La temperatura media anual es de 14 °C, siendo el mes más cálido enero y el más frío julio (Santibáñez y Uribe, 1990). El suelo del Campus Antumapu es de origen aluvial, perteneciente a la serie Santiago (CIREN, 1996).

Materiales

Las semillas de chia fueron proporcionadas por la empresa “Benexia”, identificada como lote CF3.14.9, procedente de Santa Cruz de Las Sierras (Bolivia), lugar ubicado en las coordenadas 17° 48' latitud sur y 63° 10' longitud oeste, a 428 m.s.n.m.

Métodos

Tratamientos y Diseño Experimental

El ensayo se realizó en una superficie total de 257,4 m²; donde se evaluaron 2 tratamientos, los cuales correspondieron a 2 fechas de siembras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fechas de siembra correspondiente a los tratamientos del ensayo.

Tratamiento	F1	F2
Fecha de siembra	07 diciembre	31 diciembre

El diseño estadístico correspondió a un diseño completamente aleatorizado, contemplando 5 repeticiones por cada tratamiento (Figura 1).

Unidad Experimental

La unidad experimental fue constituida por parcelas de $19,6 \text{ m}^2$ en las cuales se establecieron 7 hileras de 7 m de largo, distanciadas a 40 cm entre sí. La unidad de observación consideró las 5 hileras centrales, omitiendo los extremos de cada parcela (Figura 1).

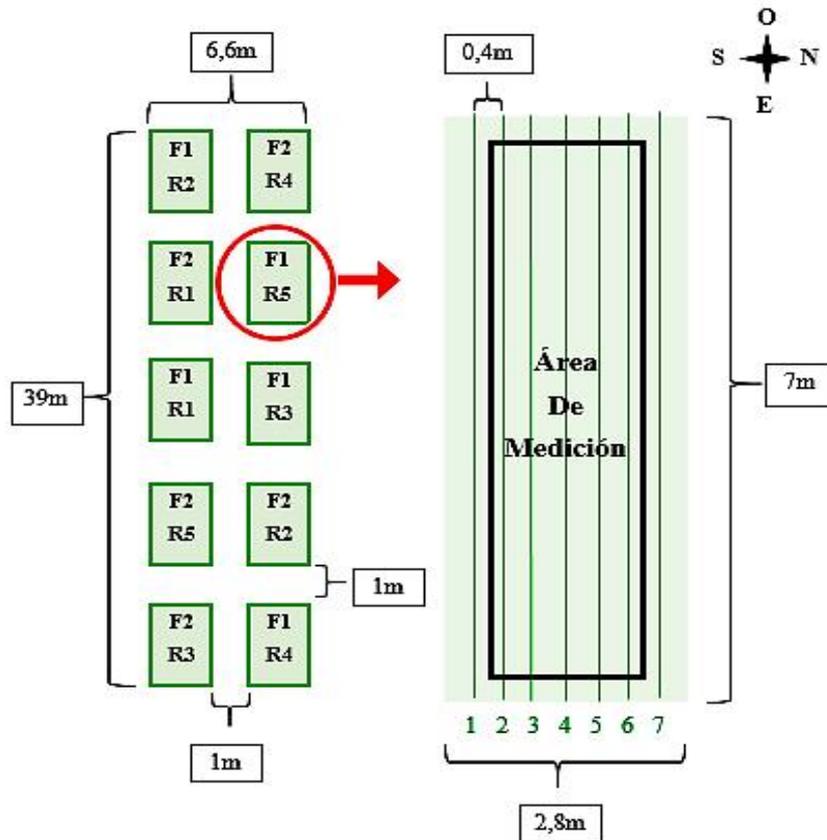


Figura 1. A la izquierda: distribución en terreno de los tratamientos del ensayo. A la derecha: detalle de las parcelas correspondientes a la unidad experimental, indicando la unidad de observación.

Manejo Agronómico

Preparación de suelo. El suelo fue arado y preparado inicialmente en base a rastrajes, siendo posteriormente afinada la cama de semillas con un motocultor.

Fertilización. La fertilización nitrogenada del cultivo se realizó en función del análisis de fertilidad, mediante una muestra compuesta de suelo y los antecedentes que existían en la producción del cultivo. En Argentina se fertiliza con un rango de 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, 2006). Dado que no existen mayores antecedentes respecto a la fertilización se decidió en la presente investigación aplicar urea en una sola dosis de 35 kg N·ha⁻¹ a los 15 días luego de la emergencia². El fertilizante se distribuyó en forma manual en la entre-hilera, inmediatamente después de un riego.

Siembra. La siembra se realizó con una sembradora manual Earthway, adaptada dado el bajo calibre de la semilla, dosificando finalmente 10 kg·ha⁻¹. Con el objetivo de obtener una densidad de 50 plantas·m², se realizó un raleo de plantas cuando éstas alcanzaron una altura de aproximadamente 10 cm.

Control de malezas. El control de malezas se realizó de forma manual procurando de mantener el cultivo siempre limpio.

Riego. El riego del cultivo se realizó por goteo con cintas en hilera simple, manteniendo el suelo en condiciones friables. La frecuencia de riego fue determinada mediante el monitoreo de la humedad del suelo a 20 cm de profundidad a través de barreno.

Evaluaciones

Desarrollo

Estado Fenológico

Se evaluó el estado fenológico de las plantas haciendo monitoreos semanales. Cada estado quedó determinado cuando en cada unidad experimental el 50% de las plantas habían logrado el estado de desarrollo.

Los estados fenológicos registrados se detallan en el cuadro 2 y la información obtenida fue en función del número de días transcurridos desde la fecha de siembra (DDS).

² Ayerza, R. 2010, nov. Fertilización en chia [Comunicación personal]. Oficina de Estudios de Tierras Áridas, Universidad de Arizona.

Cuadro 2. Estados fenológicos evaluados.

	Estados fenológicos	Observaciones
V0	Emergencia de la plántula	Hojas cotidionales totalmente expandidas sobre el suelo.
V1	Inicio de ramificaciones	Inicio del crecimiento de las ramas laterales que nacen del tallo principal.
R1	Inicio de floración	Aparición de la primera yema floral en el sector del eje principal.
R2	Inicio de formación de grano	Granos perceptibles visualmente dentro de los verticilastros.

Días Grado (DG)

Las temperaturas máximas (Temp.máx) y mínimas (Temp.mín) diarias se obtuvieron de los registros de la estación experimental La Platina INIA, ubicada a unos 1,5 km al sur-este de la ubicación del ensayo.

El cálculo de los días grados se evaluó en función de la siguiente fórmula (Ometto, 1981):

$$DG = \left[\frac{(\text{Temp.máx.} + \text{Temp.mín.})}{2} \right] - \text{Temp.b}$$

Para la temperatura base (Temp.b) se consideró una temperatura de 10°C usada para cultivos de primavera verano (Tello, 2014).

Los valores de DG se representaron como tiempo térmico (TT), que corresponde a la sumatoria de DG o suma de calor, siendo las unidades térmicas los grados/días (°Cd) (FAO, 2001).

Crecimiento

Las evaluaciones se realizaron cada 10 días, llevándose a cabo mediciones de crecimiento de las plantas a partir del día 24 después de siembra, utilizando para ello cinco plantas elegidas al azar por cada unidad experimental, las que se encontraban en competencia perfecta. Estas mediciones correspondieron a:

- a) Área Foliar por planta (AF). Para llevar a cabo la medición se cortaron las plantas a ras de suelo, luego se cortaron las hojas procedentes de cada planta y se midió su área foliar a través de un integrador electrónico de área, modelo LI 3000-A.

Con el AF se calculó el Índice de Área Foliar por planta (IAF), el cual corresponde al área foliar por unidad de superficie de suelo (Myneni et al., 2002). Donde el IAF está dado por:

$$IAF = \left(\frac{AF}{\text{Área de Suelo}} \right)$$

- b) Altura de la planta. Se midió desde la base del tallo principal hasta su ápice.
- c) Número de ramas primarias por planta. La planta desarrolló ramas de tipo primario y secundario, sin embargo sólo se contabilizaron las ramas que se desarrollaban a partir de los nudos del tallo principal (ramas primarias).
- d) Acumulación de materia seca aérea por planta. Las plantas fueron secadas en una estufa con ventilación forzada a 70°C hasta llegar a peso constante, luego se pesaron y se determinó el peso de materia seca de hojas, tallos, ramas e inflorescencias cuando estuvieron presentes.

A partir de las mediciones directas se calcularon los siguientes índices de crecimiento con las ecuaciones descritas por Hunt (1978) y usando el software propuesto para Excel 2000 (Hunt et al., 2002):

Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Expresa el crecimiento en materia seca a partir de un gramo de materia seca (MS) de la planta en un intervalo de tiempo (final (Tf) e inicial (Ti)).

$$TCR = \left[\frac{(\ln MS_f - \ln MS_i)}{(T_f - T_i)} \right]$$

(ln: logaritmo natural)

Unidades: g · g⁻¹ · d⁻¹ ó 1 · d⁻¹

Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Es una medida de la eficiencia de una planta como sistema asimilatorio, es decir, la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar (AF) y por unidad de tiempo (T).

$$TAN = \left[\frac{(MS_f - MS_i)}{(AF_f - AF_i)} \right] \cdot \left[\frac{(\ln AF_f - \ln AF_i)}{(T_f - T_i)} \right]$$

(ln: logaritmo natural)

Unidades: g · cm⁻² · d⁻¹

Rendimiento y sus componentes

El momento de cosecha se determinó de forma visual monitoreando las inflorescencias hasta que la mayor parte de ellas presentaron en la mitad inferior granos que fácilmente se desprendieran. Para la determinación del rendimiento por planta (peso de granos por planta) y el peso de 1.000 granos, se cosecharon dos sectores de plantas de 1 metro lineal por unidad experimental. Además se determinó el número de inflorescencias de 5 plantas por unidad experimental. Luego, se calculó el número de granos por inflorescencia, dividiendo el rendimiento de una planta por el número promedio de inflorescencias por planta.

Análisis estadístico

Para analizar los datos, se realizó una prueba t de Student mediante la herramienta informática InfoStat (InfoStat, 2008); determinándose la existencia de diferencias significativas entre los dos tratamientos ($p < 0,05$) para cada parámetro evaluado (ocurrencia de estados fenológicos, parámetros de crecimiento, índices de crecimiento, rendimiento y componentes del rendimiento). Adicionalmente se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de crecimiento y las variables ambientales para cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo

En el desarrollo del cultivo se observa (Cuadro 3), que desde siembra a emergencia hubo una diferencia de 2 días entre las dos fechas, siendo F2 la que obtuvo el periodo más corto desde siembra a emergencia. Una situación similar ocurrió con el inicio de ramificación, la cual sucedió 4 días antes en las plantas sembradas a fines de Diciembre (F2), lo cual se puede asociar a que la velocidad de desarrollo está determinada fundamentalmente por la temperatura (Villalobos et al., 2009a), siendo mayor la temperatura en F2 al inicio de su ciclo (Anexo V), desde siembra hasta los 35 DDS (Anexo III). Respecto a la etapa de inicio de floración, esta se produjo para ambas fechas de siembra en el mismo día cronológico (7 de abril), presentando F2 una mayor precocidad puesto que el inicio de la etapa reproductiva fue 24 días antes que las plantas establecidas en F1. Esta mayor precocidad de F2 en 24 días ocurrió durante el resto del ciclo de desarrollo, debido a que se observó que para F1 y F2 el inicio de formación de granos fue el 13 de mayo, y la cosecha el 14 de junio.

Cuadro 3. Días desde siembra (DDS) en que las plantas de chia alcanzaron los diferentes estados fenológicos hasta la cosecha para las dos fechas de siembra (F1 y F2).

Tratamiento	V0	V1	R1	R2	C
DDS					
F1	7 b	27 b	121 b	159 b	191 b
F2	5 a	23 a	97 a	135 a	167 a

V0: Emergencia, V1: Inicio de ramificaciones, R1: Inicio de floración, R2: Inicio de formación de grano y C: Cosecha.

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

En relación a otros estudios, en un ensayo realizado por Almendaríz (2012) en San Miguel de Bolívar, Ecuador (01°08' S, 79°04' O), evaluando fertilizantes orgánicos y densidad de siembra, se estimó que los días de siembra a emergencia, siembra a floración y siembra a cosecha fueron de: 8, 83 y 145 días, respectivamente; siendo más cercano a los valores de F2 para este ensayo (Cuadro 3).

La fecha de siembra es un factor de relevancia en el desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos, presentando en este ensayo una independencia entre el inicio de la floración con la fecha de siembra, ya que ambos tratamientos florecieron el 7 de abril (Cuadro 3), lo cual determinó que para F1 la floración fue a los 121 DDS y en F2 a los 97 DDS, presentándose en esa fecha una longitud del día crítica de 11,6 horas (Anexo I).

Esto es debido a que la inducción, iniciación y el desarrollo de la floración en muchas especies está sincronizada temporalmente por el fotoperíodo. Según Zanine y Erwin (2006), en el género *Salvia*, la respuesta a la duración del día varía entre especies, mientras

que Ayerza y Coates (2006) afirman que la fase reproductiva de la chia responde al fotoperíodo, perteneciendo *Salvia hispanica* L. a una planta de día corto (Jamboonsri et al., 2012). En un estudio realizado en el sur de Santa Fe, Argentina se planteó un umbral crítico de 12-13 horas para la inducción floral (Busilacchi et al., 2013).

Estudios realizados en Chile a la misma latitud pero en la zona costera de la Región de Valparaíso por Tello (2014) y Valero (2014), en chia blanca y negra, respectivamente, demostraron esta independencia de la fecha de floración con respecto a la fecha de siembra. Siendo así como el cultivo de chia puede cultivarse comercialmente en las regiones tropicales y subtropicales a 23 grados del ecuador donde el fotoperíodo (luz del día) es inferior a 13,5 horas. Esto hace que la dispersión del cultivo para producción de granos está restringido a los paralelos 23° norte y 23° sur (Purechia, 2014). Por ello, según Ayerza y Coates (2006) en latitudes mayores como 30° sur y 32° norte, la probabilidad de llevar a término el cultivo es escasa, debido a que las plantas mueren por las heladas antes de florecer, esto podría ser un factor preponderante ya que las plantas del género *Salvia* se consideran en la categoría de “sensibles” en cuanto a resistencia a temperaturas inferiores a 0°C en su etapa de floración (FAO, 2010). Cabe señalar además que en la actualidad se desconoce la existencia de germoplasma de chia silvestre o domesticado competente para florecer en condiciones de día largo o sin requerimiento térmico (Jamboonsri et al., 2012).

En este ensayo si bien no se registraron temperaturas bajo 0°C, si se registraron temperaturas menores a 5°C, las que fueron frecuentes en las fases fenológicas de floración a cosecha (Figura 2) afectando al rendimiento y siendo además visualizado su efecto en el color de la cubierta de la semilla, la cual se tornó de color café.

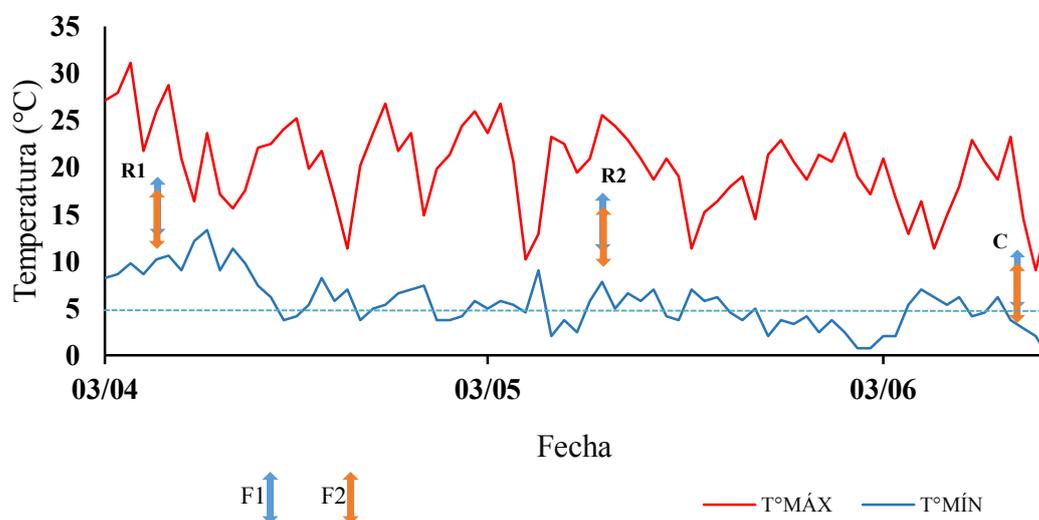


Figura 2. Etapa reproductiva para las dos fechas de siembra (F1 y F2), con las correspondientes temperaturas máximas y mínimas diarias. Estación meteorológica La Platina INIA, comuna de La Pintana, Santiago, Región Metropolitana. (R1: Inicio de floración, R2: Inicio de formación de grano y C: Cosecha).

El tiempo térmico (TT) con temperatura base (Temp. b) de 10°C (Cuadro 4) tuvo diferencias significativas para ambas fechas de siembra durante todas las fases

fenológicas, siendo a la madurez de cosecha el TT de F2 menor que F1; mientras que en la fase de emergencia, el TT de F2 fue mayor que F1.

Así también, Tello (2014) empleando una Temperatura base de 10 °C para el cálculo de TT en chia con 5 fechas de siembra registró diferentes valores de TT para las distintas fechas de siembra.

La diferencia de TT entre ambas fechas a inicio de floración (Cuadro 4), se debió a que la floración estuvo determinada mayormente por el fotoperíodo; no obstante en un ensayo realizado por Mata y Botto (2011) en plantas del mismo género *Salvia* (*Salvia exserta* Griseb.), la floración también fue afectada por la temperatura, registrándose una temperatura base para floración de 9°C, mientras que en un ensayo realizado por Moccaldi y Runkle (2007) en otra especie del género *Salvia* (*Salvia splendens* F. Sello ex Schult.) la temperatura base de floración fue de 6,8 a 7,3° C. Sin embargo en el presente ensayo, al usar las temperaturas base anteriormente mencionadas para floración, se observó diferencias significativas de TT entre las fechas de siembra (Apéndice III), no encontrándose una temperatura base de floración que determinara ese estado fenológico; lo cual supondría que en ambas fechas las plantas acumularon el TT necesario para llegar a floración ya que no fue un factor limitante a diferencia del fotoperíodo, que fue el estímulo que determinó el comienzo de la floración.

Cuadro 4. Tiempo Térmico para F1 y F2 durante el desarrollo fenológico del cultivo, utilizando Temperatura base de 10°C.

Tratamiento	V0	V1	R1	R2
°Cd				
F1	43 a	301 a	1140 b	1275 b
F2	47 b	309 b	942 a	1076 a

V0: Emergencia, V1: Inicio de ramificaciones, R1: Inicio de floración y R2: Inicio de formación de grano.

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Crecimiento

Altura de la planta

En altura se obtuvo un máximo promedio de 179 cm, en la cual no existieron diferencias significativas entre ambas fechas al momento de cosecha (Figura 3).

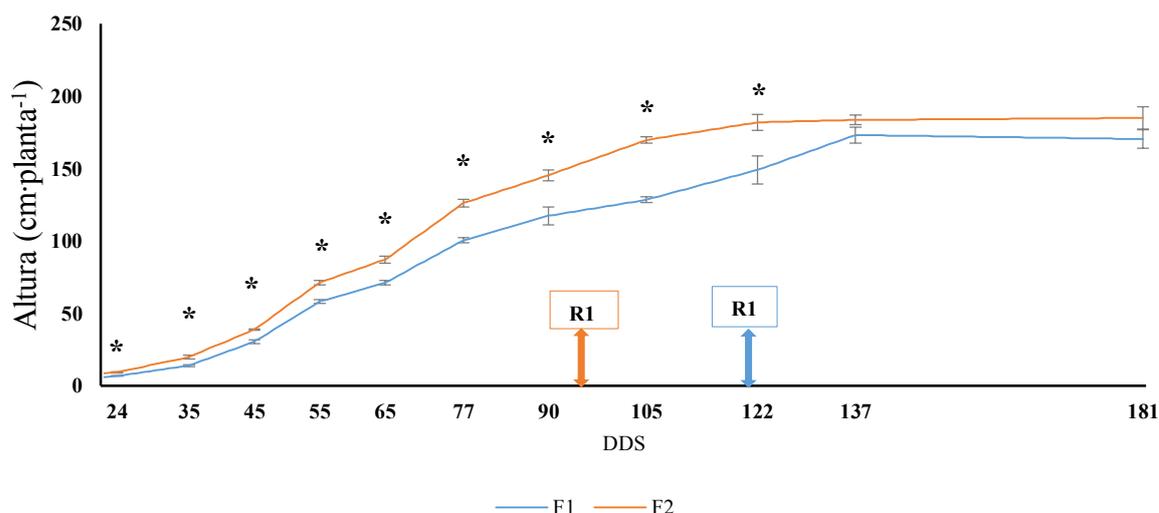


Figura 3. Altura del tallo principal de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

Las plantas llegaron a una altura máxima en F1 a los 137 DDS y F2 a los 122 DDS (Figura 3), correspondiendo al estado de plena floración para ambas fecha; así también, se observó que en las mediciones anteriores a 137 DDS se presentaron alturas significativamente mayores para F2, aunque desde los 137 hasta los 181 DDS no se presentaron diferencias significativas entre las fechas. Los resultados de este ensayo difieren al ensayo realizado por Busilacchi et al. (2013) en Santa Fe, Argentina, donde se observó que la altura promedio de las plantas presentó diferencias significativas entre las tres fechas de siembra al momento de cosecha (99, 60 y 40 cm para cada una de las fechas), disminuyendo la altura de las plantas a medida que se atrasó la fecha de siembra, debido a una inducción más temprana a floración en las fechas más tardías.

Comparando la altura con el ensayo realizado en Santa Fe, se observó que en el presente ensayo se obtuvieron valores de altura muy por encima de la media esperable del cultivo, siendo además observado que tal como mencionan (Lobo et al., 2011), la floración es el factor más importante en la duración del ciclo vegetativo; por lo cual, las fechas de siembra establecidas muy temprano provocan un crecimiento vegetativo que se extiende a través del tiempo, generando plantas de gran altura.

Cabe mencionar que en un ensayo realizado por Mata y Botto (2011) con otra especie de día corto y del mismo género *Salvia* (*Salvia exserta* Griseb.), se observó que la altura del tallo principal fue afectada por el fotoperíodo, registrándose una mayor altura en las plantas sometidas a un mayor fotoperíodo; mientras que en el presente ensayo se observó una correlación negativa muy significativa entre el fotoperíodo y la altura de las plantas tanto en F1 como en F2 (Apéndices I y II), aunque a diferencia de *Salvia exserta* Griseb., antes de los 137 DDS las plantas de chia con mayor altura (F2) estuvieron expuestas a un menor fotoperíodo en comparación las plantas con menor altura (F1) (Anexo II). Así también pudo existir una interacción con las temperaturas diarias (Anexo III) ocurridas en ambas fechas; siendo mencionado por Myster y Moe (1995) que en diversos ensayos las temperaturas diurnas y nocturnas tienen una influencia directa sobre la altura de las plantas en diversos cultivos de invernadero. Presentándose en este ensayo entre las

variables temperatura media y altura de las plantas una correlación negativa significativa para F1 y muy significativa para F2 (Apéndice I y II).

Como los estudios disponibles acerca de la altura en chia sólo se han realizado al momento de cosecha y en este estudio no hubo diferencias significativas en altura al momento de cosecha, se necesitarían otros estudios con mediciones a lo largo del ciclo de crecimiento vegetativo para determinar si existe influencia del fotoperíodo y la temperatura sobre la altura en este cultivo.

Número de nudos vegetativos

En el número de nudos no hubo diferencias significativas entre ambas fechas de siembra, dónde el máximo número de nudos se alcanzó a los 122 DDS con un promedio de 21 nudos por planta (Figura 4).

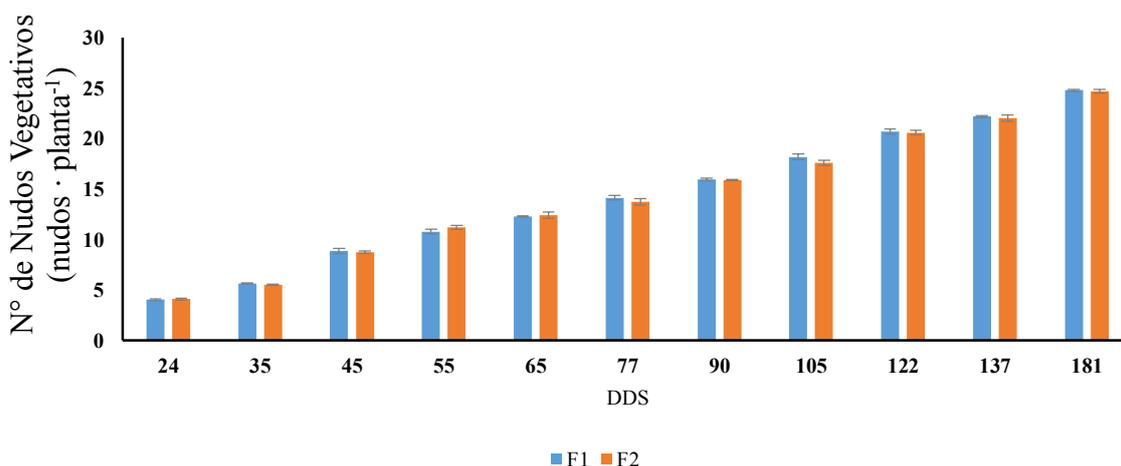


Figura 4. Número de nudos vegetativos del tallo principal de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS).

Así también, Tello (2014) observó un mayor alargamiento de los entrenudos hacia siembras más tardías; mientras que en el presente ensayo a pesar de no observarse diferencias en el número de nudos entre F1 y F2 (Figura 4), si se observaron diferencias en altura antes de los 137 DDS (Figura 3); suponiendo un mayor largo de los entrenudos para F2 como consecuencia de que registró una mayor altura durante el crecimiento vegetativo del cultivo.

Ramificaciones

En las ramificaciones a lo largo del ciclo existieron momentos donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, correspondiendo a un mayor número de ramificaciones en F1 (Figura 5).

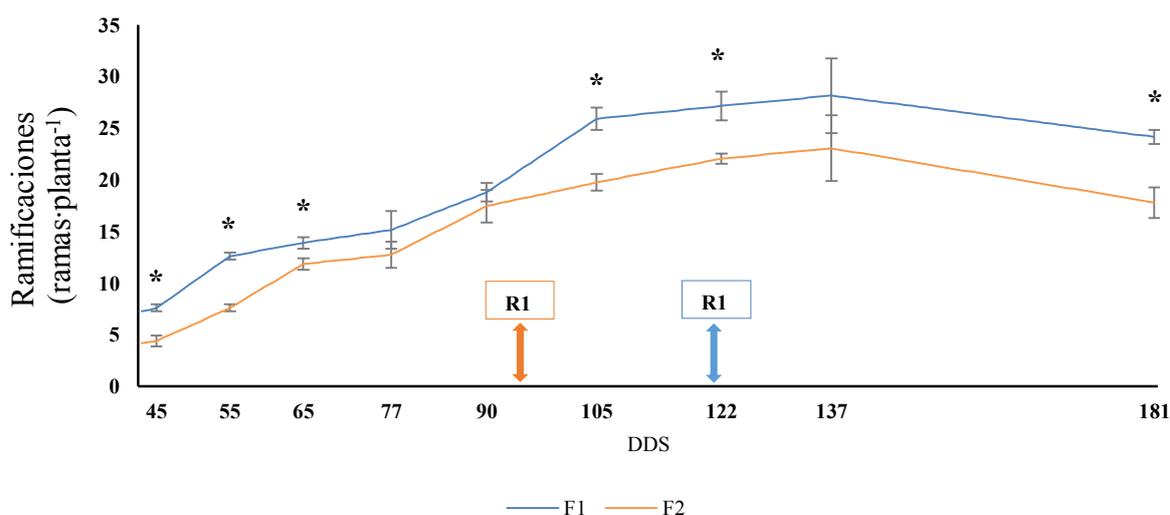


Figura 5. Número de ramas primarias de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 45 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

El número de ramas aumentó en F1 de 8 a 28 (45 y 137 DDS) y para F2 de 4 a 23 ramas (45 y 137 DDS); así también se obtuvieron valores de 8 ramas a los 45 DDS para F1 y 55 DDS para F2; y valores cercanos a 12 a los 55 DDS para F1 y 65 DDS para F2 (Figura 5); mientras que en un ensayo en chia realizado por Almendariz (2012) se encontraron valores medios en el número de ramificaciones de 8 a los 60 DDS y 12 a los 120 DDS. Sin embargo, la densidad en ambos ensayos es diferente, siendo mencionado por Almendariz (2012) que el número de ramas es una característica varietal y depende fuertemente de la interacción genotipo ambiente, explicando la diferencia en el número de ramas entre ambos ensayos.

La disminución en el número de ramas al final del periodo (181 DDS) se debió a que dada la altura de las plantas se produjo tendeduras y quiebres de ramas primarias. Una situación similar de tendedura fue observada por Valero (2014) quien evaluó cuatro fechas en chia, observándose que las plantas de chia presentaron tendeduras debido a la altura excesiva del cultivo.

Así también, se debe señalar que en ensayos con *Salvia exserta* Griseb. realizados por Mata y Botto (2011) se demostró que el número de ramas laterales se redujo significativamente a temperaturas más altas de 18°C; no obstante en el presente estudio

fue F1 la fecha con mayores temperaturas y más ramificaciones; observándose además una correlación negativa significativa para F1 y F2 entre ramificaciones y temperatura (Apéndice I y II); por lo que se necesitaría realizar más estudios para evaluar el efecto de la temperatura sobre el número de ramas.

Área foliar e IAF

Durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo el área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) presentó diferencias significativas a los 35, 122 y 137 DDS entre ambos tratamientos, llegando F2 a lograr un máximo a los 105 DDS de 1187 cm² para F2 y 1160 cm² para F1, no observándose diferencias significativas entre ambos tratamientos (Figura 6). De igual forma, Bochiocchio et al. (2015) menciona que en ensayos con chia realizados en Masserie Saraceno, Italia, se observó que el IAF se incrementó hasta inicio de floración llegando a un máximo a los 103 DDS. Posteriormente el AF e IAF disminuyeron debido a que, una vez que las plantas culminan su etapa de floración se inicia una caída paulatina de las hojas hasta llegar a cosecha (granos con 14% de humedad), momento en el cual prácticamente se observan los tallos sin hojas (Baginsky et al., 2015).

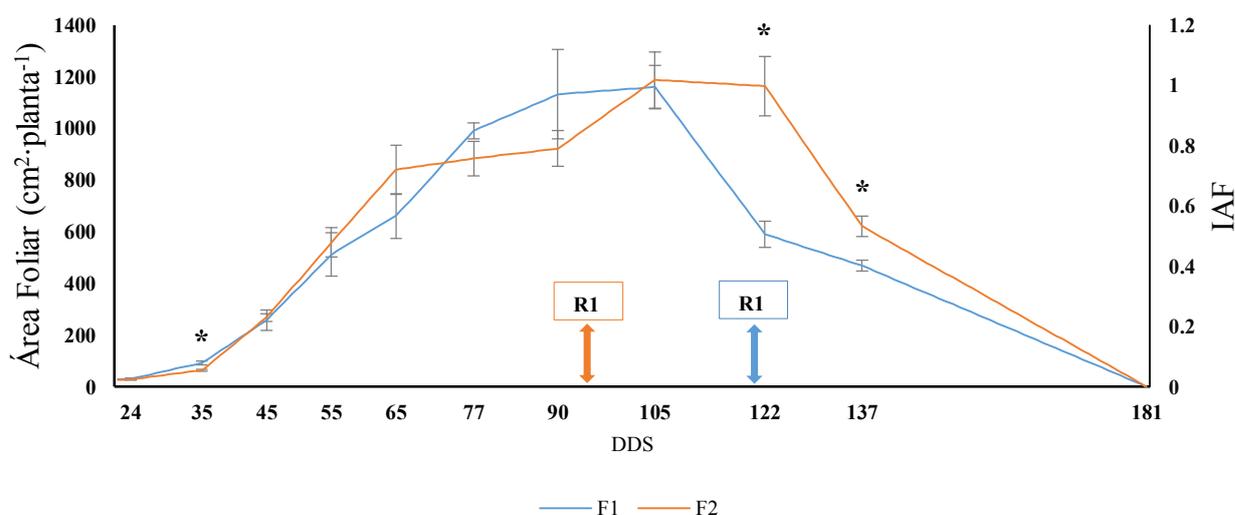


Figura 6. Área foliar e IAF de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

A los 122 DDS se observó la máxima diferencia en el AF e IAF entre las dos fechas (Figura 6), correspondiendo a inicios de floración para F1 y finales de floración para F2. Cabe destacar que el AF máxima en F2 se mantuvo por más tiempo que F1 observándose en esta última fecha que las plantas redujeron en un lapso de 17 días su AF en un 51 % justo al inicio de la floración, lo cual coincidió con su etapa reproductiva. El AF se redujo significativamente a los 122 DDS, estando en este período sólo a inicio de su etapa reproductiva.

Es así que F2 tuvo una mayor duración de AF; siendo el AF de gran importancia, pues del desarrollo de ella depende la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, necesaria para la producción de biomasa y el correspondiente aporte al rendimiento (Hernández y Soto, 2012), observándose por lo tanto un mayor rendimiento en F2.

La menor duración de AF en F1 después de llegar a los valores máximos de IAF se debió principalmente por un mayor porcentaje de hojas sombreadas debido al número de ramas primarias observadas en las plantas de F1 (Figura 5), ocurriendo la senescencia en hojas que no son rentables fotosintéticamente (Marassi, 2016).

Cabe mencionar que Tello (2014) no observó diferencias significativas a inicio de floración de AF e IAF entre cuatro fechas de siembra en chia, atribuyéndolo a un alto coeficiente de variación, aunque se observó una tendencia más alta de AF e IAF en las fechas de siembra más tardías, coincidiendo con lo observado en el presente ensayo.

Materia Seca Total

La materia seca total (MST) tuvo diferencias significativas entre ambas fechas a los 24 DDS, 35DDS, 122DDS y 181DDS; siendo F2 la fecha con mayores valores (Figura 7), logrando un máximo a los 122 DDS que correspondería al final de la etapa de floración con un valor de $16.109 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($32 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), en tanto que F1 logró su máximo a inicios de floración con un valor de $13.196 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($26 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$). Mossi et al. (2011) evaluando distintas especies del género *Salvia* observaron un peso más cercano a chia en *Salvia pratensis* L., donde en etapa de floración tuvo un peso de $45,7 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$.

Los mayores valores de MST en F2 al comienzo del ciclo se asocian a la mayor radiación en F2 registrada desde siembra hasta los 35 DDS (Anexo IV), ya que la radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) es el factor medioambiental que determina principalmente el crecimiento de las plantas; considerándose que corresponde al 45% de la radiación solar global (Mariscal et al., 2000), sin embargo después de los 35 DDS no se observó una relación entre radiación global y MST, debido a que además de ser la superficie foliar un buen indicador de la capacidad del cultivo para interceptar radiación (Villalobos et al., 2009b), también se ve afectada la intercepción de la radiación por la arquitectura de la cubierta vegetal (Ross, 1981), presentándose diferencias en la arquitectura de ambas fechas de siembra por diferencias en altura y ramificaciones (Figura 3 y 5).

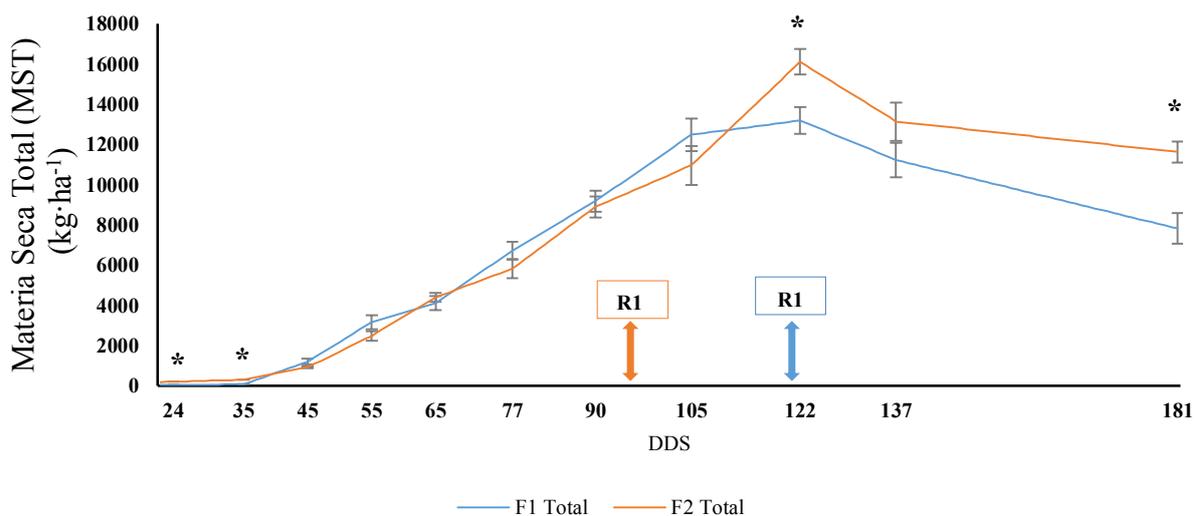


Figura 7. Materia Seca Total (MST) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

Desglosando la MST en Materia Seca de Tallos (MSTallos), Materia Seca de Hojas (MSHojas) y Materia Seca de Inflorescencias (MS INF), se observó que en MSTallos (Figura 8) sólo hubo diferencias significativas entre ambas fechas a los 24, 35, 105, y 181 DDS, siendo F2 mayor que F1 a excepción de los 105 DDS. Esto se puede atribuir a la tendencia de mayor ramificación en F1 (Figura 5) y la mayor altura de F2 hasta los 122 DDS (Figura 3) provocando que en gran parte del ciclo no hubo diferencias significativas en MSTallos.

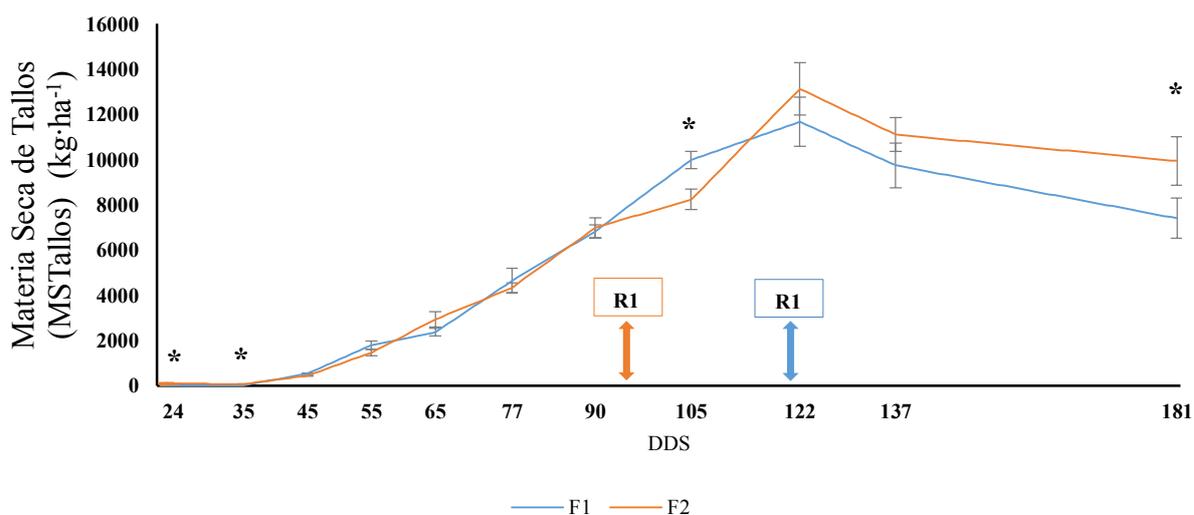


Figura 8. Materia Seca de Tallos (MSTallos) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

En MSHojas se hallaron diferencias significativas entre las dos fechas de siembra siendo F2 mayor a los 24, 35 y 122 DDS (Figura 9). A diferencia de MSTallos, la mayor producción de MSHojas se registró a los 105 DDS, sin observarse diferencias significativas en ese momento (Figura 9).

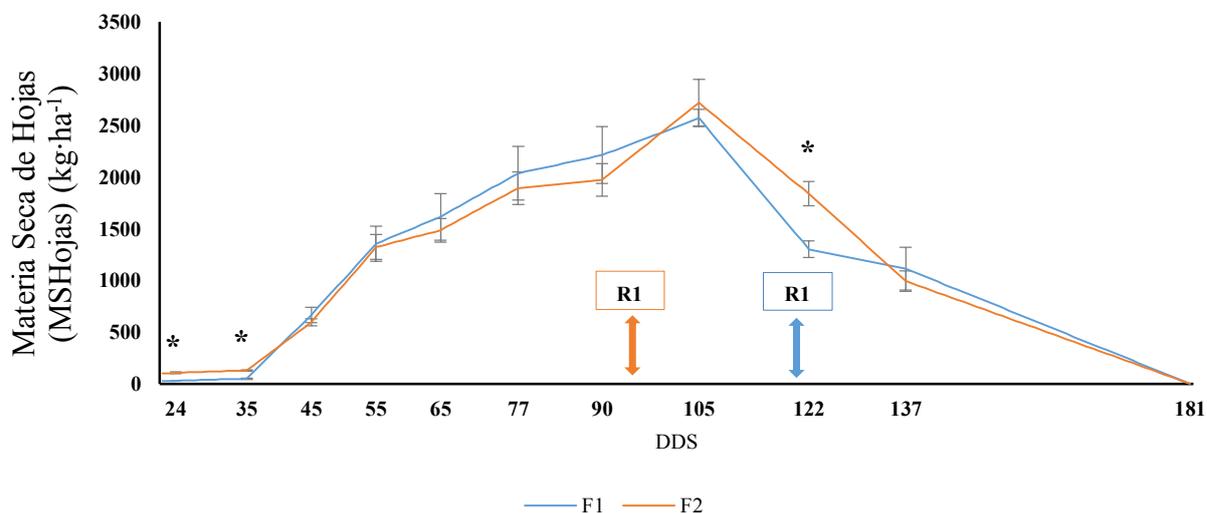


Figura 9. Materia Seca de Hojas (MSHojas) de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas entre los 24 y 181 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

Al igual que AF e IAF (Figura 6) la MSHojas se fue incrementando hasta llegar a valores máximos a los 105 DDS (previo al inicio de floración en F1 y en plena floración en F2) sin presentar diferencias significativas. No obstante, a la siguiente medición que se realizó a los 122 DDS si se encontraron diferencias significativas entre las fechas para estas 3 variables (Figura 6 y 9), mostrando que si bien en las dos fechas los valores disminuyeron, la magnitud de este descenso fue mucho mayor en F1.

Así también, la producción de materia seca está relacionada con el área foliar, así como la persistencia de esta, ya que determina una mayor o menor captación de energía lumínica durante el proceso de crecimiento. (Chacón et al., 2009) Por tanto, cuando el área foliar es alta se espera una elevada acumulación de materia seca y si la misma permanece por más tiempo, extendiéndose hasta la fase reproductiva, resulta de gran importancia para la obtención de buenos rendimientos (Santos et al., 2010). Observándose en F2 una mayor duración de AF en la fase reproductiva, así como una tendencia de mayor MST en F2 en esta fase del cultivo.

En la figura 10 se presenta la distribución de asimilados para ambas fechas de siembra, a los 24 DDS (ramificaciones en F1 e inicio de ramificaciones en F2) y a los 122 DDS (inicio de floración en F1 y floración en F2).

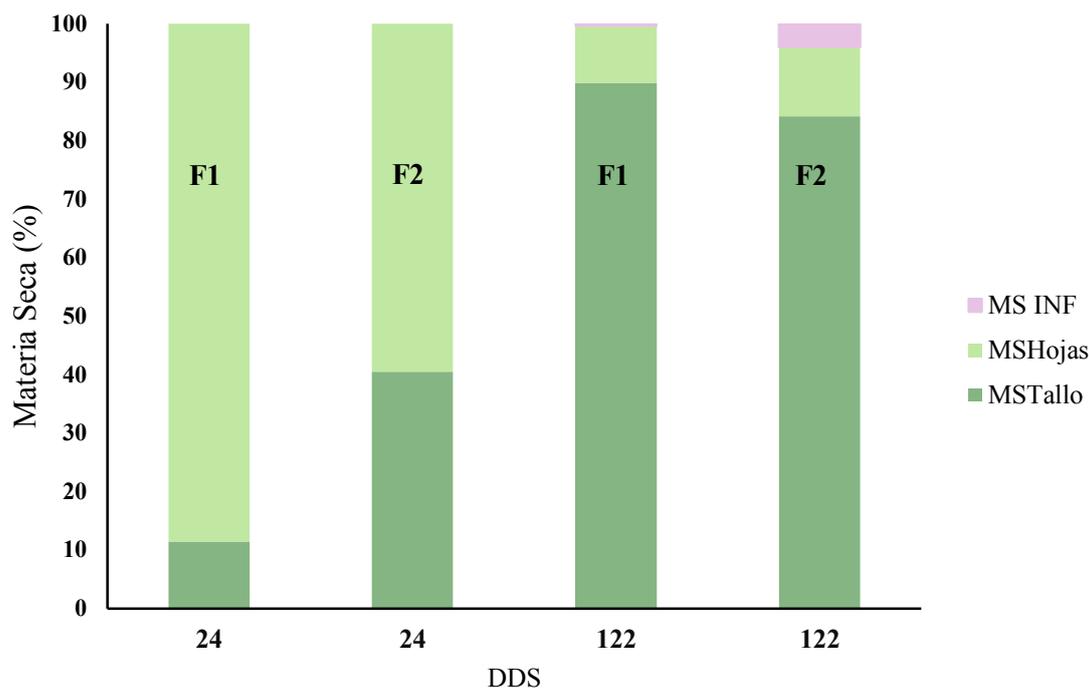


Figura 10. Distribución de asimilados del cultivo de chia en dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, muestreadas a los 24 y 122 días después de siembra (DDS).

A los 24 DDS el 40% de la biomasa total de F2 correspondía a tallos, a diferencia de F1 donde este porcentaje sólo fue de 11%, correspondiendo prácticamente a que la mayor parte de la biomasa en F1 fuera destinada a hojas (Figura 10). El patrón de distribución de biomasa refleja el gasto energético invertido por la planta para la producción de los distintos órganos (Shiabata et al., 1995, citado por Guevara y Guenni, 2004), esto podría estar indicando que a diferencia de siembras más tardías (F2), las siembras más tempranas (F1) en los primeros estados de desarrollo presentan una mayor inversión de energía en la producción de hojas que en tallos. Tal como mencionan Peil y Galvez (2005), para lograr un rápido crecimiento inicial de las plantas jóvenes, es importante un incremento substancial de la superficie foliar en esta fase, debido a que gran parte de la radiación solar incidente no es interceptada. Por lo tanto, en esta fase, una gran parte de los asimilados deben ser destinados a la formación de las hojas; observándose que F1 a los 24 DDS presentó un menor crecimiento en comparación a F2 (Figura 7); así como F1 tuvo un desarrollo más lento que F2 (Cuadro 3) en los primeros estados fenológicos. Explicando la mayor distribución hacia hojas en F1 a los 24 DDS.

Finalmente, a los 122 DDS, las plantas de ambas fechas de siembra han perdido gran parte de la biomasa foliar, lo que explica la baja proporción de hojas respecto del total de materia seca, que coincide con el inicio de floración para F1 y floración para F2.

Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La tasa de crecimiento relativo (TCR) es un indicador importante de la estrategia de la planta con respecto a la productividad y los regímenes de disturbio del ambiente. Observándose como el incremento (exponencial) en tamaño en relación al tamaño de la planta tal como era al principio de un intervalo de tiempo dado (DiverSus, 2016).

Las dos fechas de siembra presentaron los valores más altos de TCR (Figura 11) a los 45 DDS, sin embargo F1 presentó una mayor TCR con $0,293 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ en comparación a F2 con $0,11 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. De igual manera hubo otra diferencia entre ambas fechas a los 122 DDS, no obstante la mayor TCR en ese momento fue en F2 con $0,023 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$.

Una tendencia similar fue registrada por Van Iersel (1997) en una especie del mismo género *Salvia* (*Salvia splendens* F. Sellow ex Roem. & Schult.) evaluando tamaños de maceta sobre el crecimiento, siendo alcanzada una TCR máxima de $0,24 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ a los 15 DDS, reduciéndose hasta $0,06 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ a los 70 DDS.

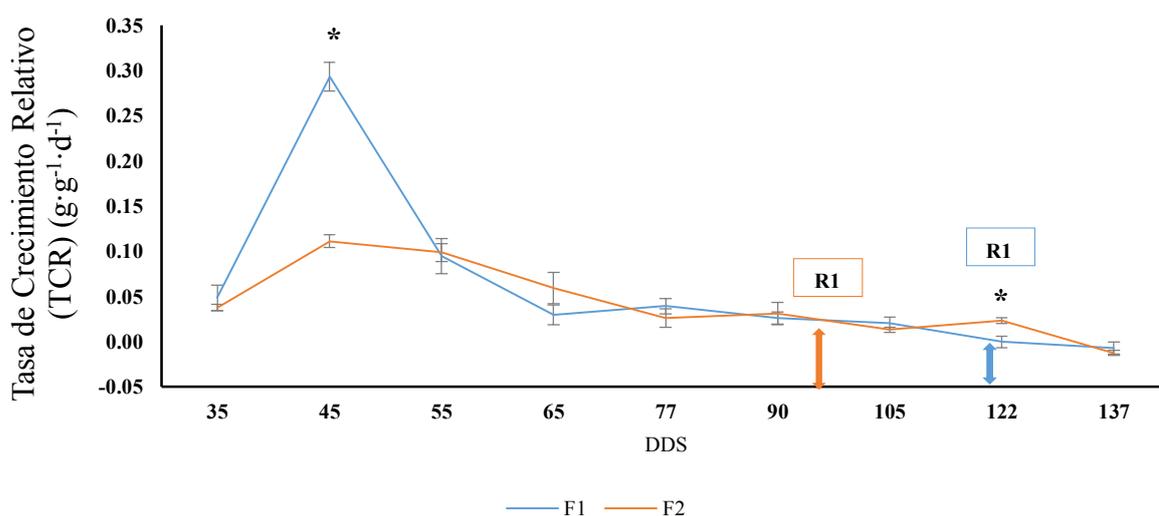


Figura 11. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de chia. En dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, calculada entre los 35 y 137 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

Al inicio del ciclo de crecimiento el cultivo se estaba estableciendo por lo que se observaron las máximas TCR, presentándose más tarde una disminución paulatina en las TCR para ambas fechas, siendo un fenómeno común durante el desarrollo de las plantas, debido a que comienza la etapa de senescencia, presentando así mismo una disminución en la MST (Van Iersel, 1997) (Figura 7).

La mayor TCR de F1 a los 45 DDS (Figura 11) muestra el mayor incremento que tuvo F1 en MST desde los 35 a los 45 DDS (Figura 7), esto se debió al mayor IAF observado en F1 a los 35 DDS (Figura 6) y a la mayor radiación observada en F1 desde los 35 a 45 DDS (Anexo IV). Observándose que la producción potencial final de un cultivo,

expresada como materia seca total, y considerando que no hay ningún otro factor limitante, será función de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (Almorox, 2010).

La mayor TCR de F2 a los 122 DDS (Figura 11), se debió a una mantención de los altos valores IAF desde los 105 hasta 122 DDS en F2 (Figura 6), lo que produjo que existiera como anteriormente se mencionó una relación entre el IAF y el mayor incremento de MST en F2 desde los 105 hasta los 122 DDS (Figura 7).

Tasa de asimilación neta (TAN)

Poorter y Remkes (1990) mencionan que la TAN es en gran medida el resultado neto de ganancia de carbono (fotosíntesis) y las pérdidas de carbono (respiración, exudación, volatilización) expresada por unidad de área foliar; correspondiendo a una medida de la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal.

Para este ensayo los mayores valores de TAN fueron para F2 (Figura 12) a los 35, 45 y 122 DDS, debido a los mayores valores de MST en F2 a los 24 y 35 DDS y menor AF a los 35 DDS, junto con el incremento de MST a los 45 DDS; así también los mayores valores de TAN a los 122 DDS se debió a que el AF de F2 a los 105 y 122 DDS se mantuvo mientras que las MST fue mayor a los 122 DDS, observándose una mayor eficiencia foliar en la producción de materia seca para F2 a los 35, 45 y 122 DDS.

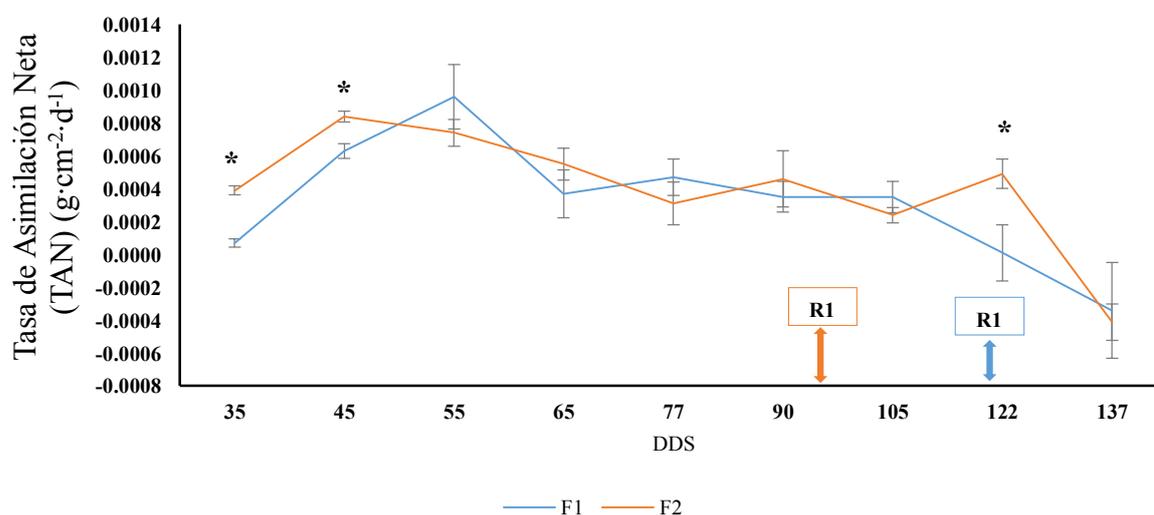


Figura 12. Tasa de asimilación neta (TAN) de chia. En dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, calculada entre los 35 y 137 días después de siembra (DDS). (R1: Inicio de floración). Barras perpendiculares indican el error estándar. * $p < 0,05$.

El comportamiento de la TAN, de presentar los mayores al comienzo del desarrollo de cultivo (Figura 12) se debió a que las plantas se encontraban en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas (Segura et al., 2006), presentándose finalmente a los 137 DDS los valores mínimos de TAN para ambas fechas, siendo mencionado por Van Iersel (1997) que la TAN disminuye durante el desarrollo de la planta debido a un aumento en el sombreado a medida que crecen y a la senescencia foliar propia del cultivo.

Las diferencias significativas entre F1 y F2 dan cuenta que la mayor eficiencia en la ganancia neta de asimilados ocurrió en F2, al comienzo del cultivo y posteriormente en plena floración del cultivo, pudiendo haber contribuido al mayor rendimiento del cultivo en F2.

Comparando valores similares de TAN al presente ensayo, Van Iersel (1997) observó en *Salvia splendens* F. Sellow ex Roem. una TAN promedio desde los 18 a los 67 DDS de $0,0006 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, correspondiendo al presente ensayo valores de $0,0005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en F1 y $0,0006 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en F2 desde los 35 a 65 DDS. Es decir, no habría mucha diferencia entre especies del mismo género *Salvia*.

Materia seca de inflorescencias (MS INF) y número de inflorescencias (N° INF).

En MS INF se observó un aumento desde los 105 DDS hasta los 181 DDS, existiendo diferencias significativas a los 105 DDS y 122 DDS, donde al igual que en los resultados anteriores en MS, la mayor MS INF se obtuvo en F2 (Cuadro 5); mientras que en el N° INF fue en un principio mayor para F2, pero desde los 137 DDS no existieron diferencias, observándose una disminución en el N° INF para ambas fechas (Cuadro 6).

Cuadro 5. Materia Seca de Inflorescencias por planta ($\text{MS INF}\cdot\text{planta}^{-1}$) desde 105 hasta 181 DDS.

Tratamiento	$\text{MS INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{MS INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{MS INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{MS INF}\cdot\text{planta}^{-1}$
	105 DDS	122 DDS	137 DDS	181 DDS
	(g)			
F1	0,1 b	0,1 b	0,7 ns	1,3 ns
F2	0,3 a	1,2 a	1,2 ns	1,9 ns

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p<0,05$); ns: no significativo.

Cuadro 6. Número de Inflorescencias por planta ($\text{N}^{\circ} \text{INF}\cdot\text{planta}^{-1}$) desde 105 hasta 181 DDS.

Tratamiento	$\text{N}^{\circ} \text{INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{N}^{\circ} \text{INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{N}^{\circ} \text{INF}\cdot\text{planta}^{-1}$	$\text{N}^{\circ} \text{INF}\cdot\text{planta}^{-1}$
	105 DDS	122 DDS	137 DDS	181 DDS
	(n°)			
F1	7 b	14 b	26 ns	7 ns
F2	26 a	30 a	22 ns	6 ns

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p<0,05$); ns: no significativo.

A pesar de la mayor producción de ramas en F1 en comparación a F2 a los 181 DDS (Figura 5) no se observó una mayor producción de inflorescencia en F1 (Figura 13), lo que podría haber sido gatillado por las bajas temperaturas durante este período que provocó la muerte de estas estructuras (Figura 2).

Así mismo en cuanto a MS INF y al N° INF (Figura 13) sólo hubo diferencias significativas a los 105 y 122 DDS. Por otro lado se observó una tendencia a la disminución en el N° INF hasta llegar a la madurez de cosecha y el aumento de la MS INF debido al crecimiento y desarrollo de la INF; relacionándose la pérdida de inflorescencias a la tendadura de ramas que ocurrió en ambas fechas (Figura 5) y principalmente a las bajas temperaturas que ocurrieron durante la fase reproductiva de desarrollo del cultivo (Figura 2), siendo las pérdidas en inflorescencias de un 27 % para F1 y 20 % para F2.

El aumento de materia seca de la INF a través del tiempo se debió principalmente al incremento en longitud de ellas y al aumento en el desarrollo y acumulación de MS de los granos.

Rendimiento y sus componentes

Los componentes de rendimiento evaluados al momento de cosecha en este estudio fueron número de inflorescencias por planta ($\text{INF} \cdot \text{planta}^{-1}$), peso de 1.000 granos (g), número de granos por planta ($\text{Granos} \cdot \text{planta}^{-1}$) y número de granos por inflorescencia ($\text{Granos} \cdot \text{INF}^{-1}$), observándose que en todos ellos F2 presentó valores significativamente mayores.

El N° INF productiva por planta fue de 6 en F1 y 8 en F2 (Cuadro 5), mientras que Santana (2013), evaluando distintas densidades de chia en Uruguay, constató que a una densidad de 94 plantas·m² obtenía 17 INF por planta. Así también, en el mismo estudio y a la densidad antes indicada se observó que el peso promedio del grano fue de 0,23 g·planta⁻¹; un valor muy similar en el presente ensayo a F2 con 0,25 g·planta⁻¹.

De igual manera en el presente estudio se observaron valores de 67 y 232 granos por planta (Cuadro 5), muy por debajo de un estudio realizado en cuatro ecotipos de chíá por Ayerza y Coates (2006) en México, donde el rendimiento por planta promedio fue de 3,4 g, equivalente a cerca de 3.116 granos por planta.

Por su parte Bueno et al. (2010) analizando la calidad de los granos de chia comercializadas en Santa Fe, Argentina, observó que el peso de 1000 granos era una variable de gran amplitud; variando entre 0,94 y 1,29. Por otra parte Ixtaina et al. (2008) mencionan un peso de 1,323 g para las “semillas” oscuras y 1,301g para las blancas; siendo estos valores superiores a los obtenidos en el presente ensayo.

Por otra parte valores más cercano al de F2 para este ensayo (1,08g en 1000 granos) (Cuadro 5), los obtuvo Hernández y Miranda (2008) quienes trabajando con chia silvestre y domesticada, encontraron para el grupo de chia cultivada comercialmente valores de 1,23g en 1000 granos.

Cuadro 7. Componentes del rendimiento de chia.

Tratamiento	INF·planta ⁻¹ (n°)	Granos·INF ⁻¹ (n°)	Granos·planta ⁻¹ (n°)	Granos·m ⁻² (n°)	Peso de 1.000 granos (g)
F1	6 b	11 b	67 b	3.350 b	0,87 b
F2	8 a	29 a	232 a	11.600 a	1,08 a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

En el rendimiento total de grano se observaron diferencias significativas tanto en rendimiento por superficie ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Cuadro 6).

Cuadro 8. Rendimiento por hectárea de granos de chia.

Tratamiento	Rendimiento	
	$(\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1})$	
F1	26,4	b
F2	114,2	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

A pesar de que F2 obtuvo un mayor rendimiento, los valores obtenidos estuvieron muy por debajo de los valores alcanzados en otros ensayos de chia realizados por Baginsky et al. (2015) en el norte de Chile, siendo la localidad de Azapa, de la Región de Arica y Parinacota, la que ha obtenido los máximos rendimientos, llegando a una media de $1.668 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $1.908 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el genotipo de semilla blanca y oscura, respectivamente.

El bajo rendimiento obtenido en el presente ensayo se relaciona con el estrés por bajas temperaturas mínimas ocurridas (entre 1 y 4 °C) después de la floración del cultivo hasta madurez de cosecha (mediados de abril y junio) (Figura 2). Estas temperaturas tuvieron efectos negativos sobre los componentes del rendimiento (Cuadro 5) y por consiguiente el rendimiento obtenido (Cuadro 6) en ambas fechas. La alta sensibilidad del cultivo a bajas temperaturas durante su fase reproductiva es mencionada por Tello (2014), donde en ensayos de chia evaluando fechas de siembra en las Cruces, Chile, se obtuvieron rendimientos de $212,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en promedio debido a las bajas temperaturas mínimas (entre 3 y 5 °C) ocurridas antes y después de la floración.

Junto al efecto negativo de la mayor temperatura sobre el rendimiento, se debe mencionar la tendadura de las plantas debido a su gran altura (Figura 3), siendo mencionado por Tello (2014) que la tendadura también fue uno de los factores que afectaron el rendimiento del cultivo en chia.

Al comparar las dos fechas de siembra, se observa que al sembrar en la segunda fecha de siembra (F2: 31 de Diciembre) los rendimientos fueron significativamente superiores a la primera fecha de siembra (F1: 7 de Diciembre); además la segunda fecha de siembra presentó un uso más eficiente de los recursos, dado que el cultivo tuvo un menor ciclo de desarrollo, lo que involucró un menor uso del recurso suelo y agua.

CONCLUSIONES

La fecha de siembra más tardía causa un ciclo vegetativo más corto y por lo tanto una mayor precocidad.; así como un mayor crecimiento en materia seca total y área foliar a finales de floración. Observándose que los factores ambientales como: radiación, temperatura y fotoperíodo; afectaron el crecimiento y desarrollo del cultivo, siendo de gran importancia su integración en los futuros estudios del cultivo de la chia.

El mayor rendimiento fue en la fecha de siembra más tardía; sin embargo, debido a los bajos rendimientos de grano en chía obtenidos en el presente estudio, principalmente por las bajas temperaturas después de la etapa reproductiva, e incluso incidencia de heladas y precipitaciones que ocurren normalmente en esta zona a partir del mes de mayo, no se recomienda el establecimiento de chía para producción de grano en la Región Metropolitana; siendo preferible su cultivo hacia la Zona Norte de Chile, donde existe menos riesgo de temperaturas inferiores a 5°C durante la etapa reproductiva.

Debido a estudios más recientes en hojas de chia acerca de su concentración en antioxidantes similar al fruto de arándano³; no se descarta la producción de biomasa foliar en la zona central, ya que el cultivo logra su máximo crecimiento foliar antes de floración (fecha de siembra más temprana) o en la fase de floración (fecha de siembra más tardía), observándose temperaturas favorables hasta ese período de crecimiento en la Región Metropolitana.

Finalmente, se acepta la hipótesis planteada, al observarse mayores rendimientos en las plantas sembradas a fines de Diciembre.

³ Zúñiga, M. 2016, mar. Antioxidantes en la hoja de chia [Comunicación personal]. Departamento de Química Inorgánica y Analítica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.

BIBLIOGRAFÍA

Almendariz, P. 2012. Evaluación agronómica del cultivo de Chia (*Salvia hispanica* L.) con dos densidades de siembra y tres tipos de fertilizante orgánico, en San Pablo de Atenas, Provincia Bolívar. [en línea]. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guaranda, Ecuador: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Estatal de Bolívar. 85h. Recuperado en: <<http://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/1008/1/045.pdf>>. Consultado el: 16 de marzo de 2014.

Almorox, J. 2010. Efecto de la radiación sobre las plantas. [en línea]. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado en: <<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/EFEECTO-DE-LA-RADIACION-SOBRE-LAS-PLANTAS.pdf>>. Consultado el: 6 de abril de 2016.

Amato, M.; M. Caruso; F. Guzzo; M. Commisso; R. Bochicchio; F. Galgano; R. Labella and F. Favati. 2015, nov. Seed quality, oxidative stability and leaf metabolites of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in southern Italy under different nitrogen fertilization. [en línea]. *European Food Research and Technology*, 241(5): 615-625. Recuperado en: <https://www.researchgate.net/publication/281675867_Nutritional_quality_of_seeds_and_leaf_metabolites_of_Chia_Salvia_hispanica_L_from_Southern_Italy>. Consultado el: 20 de diciembre de 2015.

Ayerza, R. 1995, sep. Oil content and fatty acid of Chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. [en línea]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72: 1079-1081. Recuperado en: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02660727>>. Consultado el: 24 de junio de 2013.

Ayerza, R. 2011, aug. The seed's oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) var. Iztac 1, grown under six tropical ecosystems conditions. [en línea]. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América*, 36(8): 620-624. Recuperado en: <http://www.interciencia.org/v36_08/620.pdf>. Consultado el: 30 de agosto de 2012.

Ayerza, R. y W. Coates. 2006. Chía. Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. 1a. ed. Editorial del Nuevo Extremo. Buenos Aires, Argentina. 205p.

Ayerza, R. and W. Coates. 2009, sep. Influence of environment on growing period and yield: protein, oil and alpha-linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. [en línea]. *Industrial Crops and Products*, 30: 321-324. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666900900051X>>. Consultado el: 28 de febrero de 2012.

Baginsky, C.; J. Arenas; H. Escobar; M. Garrido; N. Valero; D. Tello et al. 2015. Determinación de fecha de siembra óptima de chia en zonas de clima desértico y templado mediterráneo semiárido bajo condiciones de riego en Chile. [en línea]. Santiago, Chile:

Universidad de Chile. Recuperado en: <http://www.chia.uchile.cl/docs/anexos/Anexo_1.pdf>. Consultado el: 17 de diciembre de 2015.

Barraza, F.; G. Fischer y C. Cardona. 2004, may. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. [en línea]. *Agronomía Colombiana*, 22(1):81-90. Recuperado en: <<http://www.redalyc.org/pdf/1803/180317823011.pdf>>. Consultado el: 13 de junio de 2013.

Bohicchio, R.; R. Rossi; R. Labella; G. Bitella; M. Perniola and M. Amato. 2015, sep. Effect of sowing density and nitrogen top-dress fertilisation on growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in a Mediterranean environment: first results. [en línea]. *Italian Journal of Agronomy*, 10(3): 163-166. Recuperado en: <https://www.researchgate.net/publication/283101499_Effect_of_sowing_density_and_nitrogen_top-dress_fertilisation_on_growth_and_yield_of_chia_Salvia_hispanica_L_in_a_mediterranean_environment_First_results>. Consultado el: 15 de noviembre de 2015.

Bueno, M.; O. Di Sapia; M. Barolo; H. Busilacchi; M. Quiroga y C. Severin. 2010, may. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). [en línea]. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas*, 19(3): 221-227. Recuperado en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85615232010>>. Consultado el: 3 de mayo de 2011.

Busilacchi, H.; M. Bueno; C. Severin; O. Di Sapia; M. Quiroga y V. Flores. 2013, oct.-dic. Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (república argentina). [en línea] *Cultivos Tropicales*, 34(4): 55-59. Recuperado en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193228546009>> Consultado el: 2 de enero de 2014.

Cahill, J. 2005, nov.-dec. Human selection and domestication of chia (*Salvia hispanica* L.). [en línea]. *Journey of Ethnobiol*, 25: 155-174. Recuperado en: <[http://www.bioone.org/doi/abs/10.2993/02780771\(2005\)25%5B155%3AHSADOC%5D2.0.CO%3B2](http://www.bioone.org/doi/abs/10.2993/02780771(2005)25%5B155%3AHSADOC%5D2.0.CO%3B2)>. Consultado el: 23 de octubre de 2012.

Cahill, J. and B. Ehdaie. 2005, mar. Variation and heritability of seed mass in chia (*Salvia hispanica* L.). [en línea]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(2): 201-207. Recuperado en: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10722-003-5122-9>>. Consultado el: 23 de octubre de 2012.

Calviño P.; V. Sadras and F. Andrade. 2003, may. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. [en línea]. *European Journal of Agronomy*, 19: 265-275. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030102000503>>. Consultado el: 4 de Febrero de 2014.

Capitani, M.; V. Spotorno; S. Nolasco and M. Tomás. 2012, jan. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of

Argentina. [en línea]. *LWT - Food Science and Technology*, 45(1): 94–102. Recuperado en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643811002131>. Consultado el: 12 de julio de 2014.

Casierra-Posada, F.; V. Barreto y O. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. Conservero) en los altiplanos colombianos. [en línea]. *Agronomía Colombiana*, 22(1): 40-45. Recuperado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823006>. Consultado el: 4 de enero de 2014.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 1996. Estudio Agrológico, Región Metropolitana. Publicación N°115. Tomos I y II. 464 p.

Chacón, A.; R. Alemán; A. Barreda; A. Colás; G. Rodríguez y S. Cardoso. 2009, ene.-mar. Influencia de la época de siembra sobre el crecimiento y desarrollo de tres cultivares de soya [*Glycine max* (L.) Merr.]. [en línea]. *Centro Agrícola*, 36(1): 33-39. Recuperado en: https://www.researchgate.net/publication/277004586_Influencia_de_la_epoca_de_siembra_sobre_el_crecimiento_y_desarrollo_de_tres_cultivares_de_soya_Glycine_max_L_Merr > Consultado el: 10 de junio de 2015.

Coates, W. and R. Ayerza. 1996, sep. Production potential of chia in northwestern Argentina. [en línea]. *Industrial Crops and Products*, 5(3): 229-233. Recuperado en: [http://newcrops.org/a.2\)%20Ayerza%20chia%20potential.pdf](http://newcrops.org/a.2)%20Ayerza%20chia%20potential.pdf). Consultado el: 23 de mayo de 2013.

Coates, W. and R. Ayerza. 1998, oct. Commercial production of chia in northwestern Argentina. [en línea]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 75(10): 1417-1420. Recuperado en: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11746-998-0192-7>. Consultado el: 23 de mayo de 2013.

DiverSus. Tasa relativa de crecimiento y sus componentes. [en línea]. Córdoba, Argentina. Recuperado en: <http://www.nucleodiversus.org/index.php?mod=caracter&id=14>. Consultado el: 05 de Abril de 2016.

Estrada, L. 1987. El código florentino: su información etnobotánica. Tesis de Maestría en Ciencias. Botánica. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados. 464h.

Explorador Solar. 2016. Radiación global horizontal. [En línea]. Chile: Universidad de Chile. Recuperado en: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/Reportes//minenergia_solar_5739cf2fa3c43//datos_2003-2012.csv > Consultado el: 16 de mayo de 2016.

FAO (Food and Agriculture Organization), Italia. 2001. Trigo Regado. (Sección 6, pp 90). *En su*: Explicaciones sobre el desarrollo de la planta. [En línea]. Roma, Italia. Recuperado en: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s0b.htm#bm11.2> > Consultado el: 5 de octubre de 2014.

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

González, G. 2014, mar. Principales limitaciones y restricciones a la comercialización de los productos de interés para el área del Sistema de Riego en Santa María, Catamarca. Mercado y agronegocios. Cultivos ancestrales: Semillas de amaranto y chia, y papa andina. [en línea]. Argentina. Proyecto FAO-PROSAP. 73 p. Recuperado en: <<http://docplayer.es/13651049-Ing-graciela-gonzalez.html>>. Consultado el: 18 de mayo de 2015.

Hernández, J. y S. Miranda. 2008, abr.-jun. Caracterización morfológica de chía (*Salvia hispanica* L.). [en línea]. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2): 105-113. Recuperado en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031203>>. Consultado el: 30 de Agosto de 2013.

Hernández, N. y F. Soto. 2012, abr.-jun. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. Isiap Dorado). [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 33(2): 50-54. Recuperado en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000200007&lng=es&tlng=es>. Consultado el: 24 de abril de 2016.

Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. London, England: Edward Arnold Publishers. 67 p.

Hunt, R.; D. Causton; B. Shipley and A. Askew. 2002, jun. A modern tool for classical plant growth analysis. [en línea]. *Annals of Botany*, 90(4): 485-488. Recuperado en: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/90/4/485.full>>. Consultado el: 3 de enero de 2013.

InfoStat. 2008. InfoStat versión 2008 (Software Estadístico). Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Ixtaina, V.; S. Nolasco and M Tomás. 2008, nov. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. [en línea]. *Industrial Crops and Products*, 28(3): 286-293. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669008000654>>. Consultado el: 9 de enero de 2013.

Ixtaina, V., S. Nolasco, and M. Tomás. 2012, jun. Oxidative stability of chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil: effect of antioxidants and storage conditions. [en línea]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(6): 1077-1090. Recuperado en: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11746-011-1990-x>>. Consultado el: 18 de julio de 2014.

Jamboonsri, W.; T. Phillips, R. Geneve, J. Cahill and D. Hildebrand. 2012, feb. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L. - a new ω 3 source. [en línea] *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(2): 171-178. Recuperado en:

<<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10722-011-9673-x>>. Consultado el: 18 de julio de 2014.

Lobo, R.; M. Alcocer; F. Fuentes; W. Rodríguez; M. Morandini y M. Devani. 2011. Desarrollo del cultivo de chía en Tucumán, República Argentina. [en línea]. *Avance Agroindustrial*, 32(4): 27-30. Recuperado en: <<http://www.eaac.org.ar/upload/publicaciones/archivos/45/20120302170735000000.pdf>>. Consultado el: 15 de julio de 2014.

Lin, K.; J. Daniel and R. Whistler. 1994. Structure of chia polysaccharide exudates. [en línea]. *Carbohydrate Polymers*, 23:13-18. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014486179490085X>>. Consultado el: 30 de marzo de 2013.

Mariscal, M.; F. Orgáz y F. Villalobos. 2000, sep. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. [en línea]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100(2000):183-197. Recuperado en: <https://www.researchgate.net/publication/228876920_Modeling_and_measurement_of_radiation_interception_by_olive_canopies>. Consultado el: 8 de mayo de 2016.

Mata, D. and J. Botto. 2011, jun. Photoperiod, light, and temperature requirements to control plant architecture and flowering time in *Salvia exserta*. [en línea]. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(4): 208-414. Recuperado en: <https://www.researchgate.net/publication/255991000_Photoperiod_light_and_temperature_requirements_to_control_plant_architecture_and_flowering_time_in_Salvia_exserta>. Consultado el: 23 de diciembre de 2015.

Moccaldi, L. and E. Runkle. 2007, may. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. [en línea]. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 132(3): 283-288. Recuperado en: <<http://journal.ashspublications.org/content/132/3/283.abstract>>. Consultado el: 22 de septiembre de 2015.

Mossi, A.; R. Cansian; N. Paroul; G. Toniazzo; J. Oliveira; M. Pierozan; G. Pauletti; L. Rota; A. Santos and L. Serafini. 2011, feb. Morphological characterisation and agronomical parameters of different species of *Salvia* sp. (*Lamiaceae*). [en línea]. *Brazilian Journal of Biology*, 71(1): 121-129. Recuperado en: <<http://www.scielo.br/pdf/bjb/v71n1/16.pdf>>. Consultado el: 9 de marzo de 2014.

Muñoz L.; A. Cobos; O. Diaz and J. Aguilera. 2012, jan. Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration. [en línea]. *Journal of Food Engineering*, 108(1): 216-224. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411004560>>. Consultado el: 5 de julio de 2014.

Myneni, R.; S. Hoffman; Y. Knyazikhin; J. Privette; J. Glassy; Y. Tian et al. 2002, feb. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. [en línea]. *Remote Sensing of Environment*, 83(2002): 214-231.

Recuperado en: <<http://cybele.bu.edu/download/manuscripts/myneni.modis.pdf>>. Consultado el: 17 de septiembre de 2013.

Myster, J. and R. Moe. 1995, jun. Effect of diurnal temperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops- a mini review. [en línea]. *Scientia Horticulturae*. 62(4): 205-215. Recuperado en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030442389500783P>>. Consultado el: 7 de agosto de 2015.

Nijveldt, R.; E. van Nood, E. van Hoorn, P. Boelens, K. van Norren, and P. van Leeuwen. 2001, oct. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. [en línea]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74(4): 418–425. Recuperado en: <<http://ajcn.nutrition.org/content/74/4/418.long>>. Consultado el: 20 de junio de 2013.

Peil, R y J. Galvez. 2005, ene.-abr. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. [en línea]. *Revista Brasileira de Agrociencia*, 11(1): 05-11. Recuperado en: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/1171/966>>. Consultado el: 24 de noviembre de 2015.

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

Poorter, H and C. Remkes. 1990, jul. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. [en línea]. *Oecologia*, 83(4): 553-559. Recuperado en: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00317209>>. Consultado el: 30 de abril de 2016.

Purechia. 2014. Chia Farming. [En línea]. Recuperado en: <<http://purechia.co/about-chia/chia-farming/>> Consultado el: 9 de octubre de 2014.

Segura, M.; M. Santos y C. Núñez. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana*, 6(2): 33-43.

Ross J. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands: Plant stand architecture. The Hague, The Netherlands: Dr W. Junk Publishers. 391p.

Santana, S. 2013. Estudio de adaptabilidad y densidades de siembra del cultivo de Chia (*Salvia hispanica* L.) en la zona de Babahoyo, provincia de los ríos. [en línea]. Tesis Ingeniero Agrónomo. Babahoyo, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. 44h. Recuperado en: <<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/193>>. Consultado el: 1 de agosto de 2014.

Santibáñez, F. y J. Uribe. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Esc. 1: 1.500.000. 65p. Blanco y Negro. (1).

Santos, M.; M. Segura y C. Nústez. 2010, jan.-jun. Growth Analysis y Source-Sink Relationship of Four Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) in the Zipaquira Town (Cundinamarca, Colombia). [en línea]. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 63(1): 5253-5266. Recuperado en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000100004> Consultado el: 11 de junio de 2015.

Guevara, E. y O. Guenni. 2004. Acumulación y distribución de biomasa en *Leucaena leucocephala* (lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. I. Repartición de biomasa. [en línea]. Zootecnia Tropical, 22(2): 147-156. Recuperado en: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2202/art/guevara_e.htm>. Consultado el: 30 de octubre de 2015.

Marassi, M. 2016. Muerte celular programada, senescencia y abscisión. [en línea]. Corrientes, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado en: <<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Muerte%20celular%20programada%20senescencia%20y%20abscision.pdf>>. Consultado el: 10 de mayo de 2016.

Solartopo. 2014. Longitud del día durante el año. [en línea]. Recuperado en: <<http://www.solartopo.com/duracio-del-dia-el-ano.htm>>. Consultado el: 10 de junio de 2014.

Tello, D. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chíá blanca (*Salvia hispanica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 33h.

Valero, N. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chíá oscura (*Salvia hispanica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 37h.

Van Iersel, M. 1997, dec. Root restriction effects on growth and development of salvia (*Salvia splendens*). [en línea]. *HortScience*, 32(7): 1186-1190. Recuperado en: <<http://hortsci.ashspublications.org/content/32/7/1186.full.pdf+html>> Consultado el: 24 de Junio de 2015.

Villalobos, F.; L. Mateos; F. Orgaz y E. Fererez. 2009a. Crecimiento y desarrollo de los cultivos: tipos de desarrollo. (cap. 11.5, pp. 127-128). En: Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola. [en línea]. 2a. ed. Madrid, España: Mundi-Prensa. 495 p. Recuperado en: <https://books.google.cl/books/about/Fitotecnia.html?id=2kS9V8M03HMC&redir_esc=y> Consultado el: 19 de Marzo de 2016.

Villalobos, F.; L. Mateos; F. Orgaz y E. Fererez. 2009b. Interceptación de radiación y productividad de los cultivos: Introducción. (cap. 13.1, pp. 147). En: Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola. [en línea]. 2a. ed. Madrid, España: Mundi-Prensa. 495 p. Recuperado en: <https://books.google.cl/books/about/Fitotecnia.html?id=2kS9V8M03HMC&redir_esc=y> Consultado el: 20 de Marzo de 2016.

Vuksan, V.; D. Whitham; J. Sievenpiper; A. Jenkins; A. Rogovik; R. Bazinet et al. 2007, nov. Supplementation of Conventional Therapy with the novel grain Salba (*Salvia hispanica* L.) improves major and emerging cardiovascular risk factors in type 2 diabetes. [en línea]. *Diabetes Care*, 30(11): 2011–2804. Recuperado en: <<http://care.diabetesjournals.org/content/30/11/2804.full>>. Consultado el: 5 de marzo de 2014.

Weber, C.; H. Gentry; E. Kohlhepp and P. McCrohan. 1991, aug. The nutritional and chemical evaluation of chia seeds. [en línea]. *Ecology of Food and Nutrition*, 26(2): 119-125. Recuperado en: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03670244.1991.9991195>> Consultado el: 30 de mayo de 2013.

Zanin, G. and J. Erwin. 2006. Photoperiod and irradiance effects on *Salvia elegans* S. *gregii*, and *S. patens* flowering, height and branching. (pp. 367-373). In: I International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation. (1°, 22-25 february, Sanremo, Italy). Cervelli, C.; B. Ruffoni and C. Dalla (Eds). [en línea]. Sanremo, Italia: ISHS. 480p. Recuperado en: <http://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=723_50> Consultado el: 24 de abril de 2015.

APÉNDICES

Apéndice I. Matriz de correlaciones entre las variables de crecimiento medidas y las variables ambientales registradas desde 24 hasta 181 DDS para F1.

	AF	IAF	MSHojas	MSTalloy	MST	NºRam	Nºnudo	Altura
AF	1							
IAF	1,000**	1						
MSHojas	0,987**	0,986**	1					
MSTalloy	0,464ns	0,460ns	0,464ns	1				
MST	0,587ns	0,583ns	0,590ns	0,989**	1			
NºRam	0,093ns	0,087ns	0,060ns	0,967**	0,940**	1		
Nºnudo	0,276ns	0,272ns	0,296ns	0,897**	0,873**	0,916**	1	
Altura	0,355ns	0,350ns	0,364ns	0,926**	0,911**	0,943**	0,989**	1
TºMedia	0,306ns	0,313ns	0,321ns	-0,585ns	-0,483ns	-0,750*	-0,717*	-0,695*
Fotoperiodo	-0,096ns	-0,091ns	-0,103ns	-0,852**	-0,799**	-0,867**	-0,974**	-0,956**

** p<0,01; * p<0,05; ns: no significativo (p≥0,05).

Apéndice II. Matriz de correlaciones entre las variables de crecimiento medidas y las variables ambientales registradas desde 24 hasta 181 DDS para F2.

	AF	IAF	MSHojas	MSTalloy	MST	NºRam	Nºnudo	Altura
AF	1							
IAF	1,000**	1						
MSHojas	0,967**	0,967**	1					
MSTalloy	0,504ns	0,505ns	0,389ns	1				
MST	0,562ns	0,563ns	0,453ns	0,997**	1			
NºRam	0,407ns	0,408ns	0,273ns	0,954**	0,964**	1		
Nºnudo	0,397ns	0,398ns	0,323ns	0,935**	0,930**	0,878**	1	
Altura	0,570ns	0,571ns	0,509ns	0,953**	0,960**	0,966**	0,970**	1
TºMedia	-0,156ns	-0,157ns	-0,079ns	-0,897**	-0,874**	-0,756*	-0,945**	-0,881**
Fotoperiodo	-0,373ns	-0,374ns	-0,295ns	-0,954**	-0,946**	-0,899**	-0,993**	-0,970**

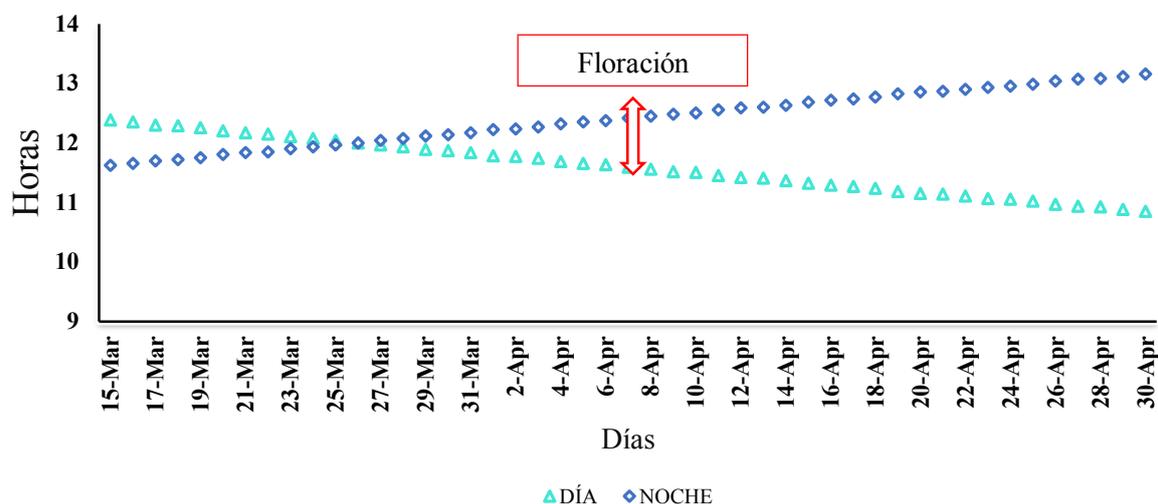
** p<0,01 * p<0,05; ns: no significativo (p≥0,05).

Apéndice III. Tiempo Térmico calculado para F1 y F2 al inicio de floración (R1) usando diferentes temperaturas base (Temp.b): 9,0, 7,3 y 6,8 °C.

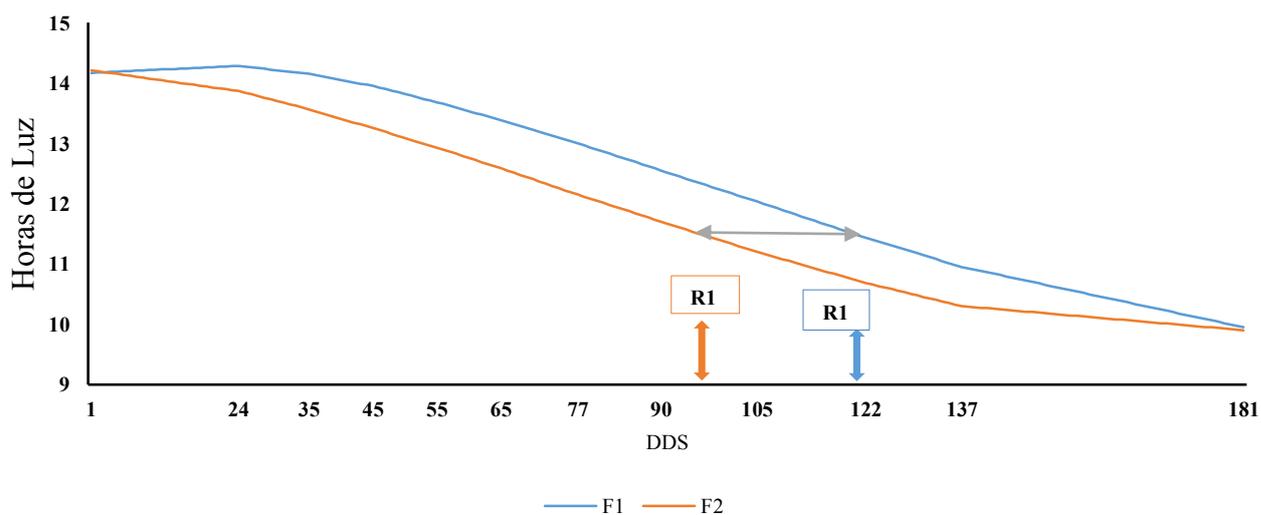
Tratamiento	Temp.b:		
	9,0°C	7,3°C	6,8°C
F1	1261 b	1476 b	1527 b
F2	1039 a	1203 a	1252 a

ANEXOS

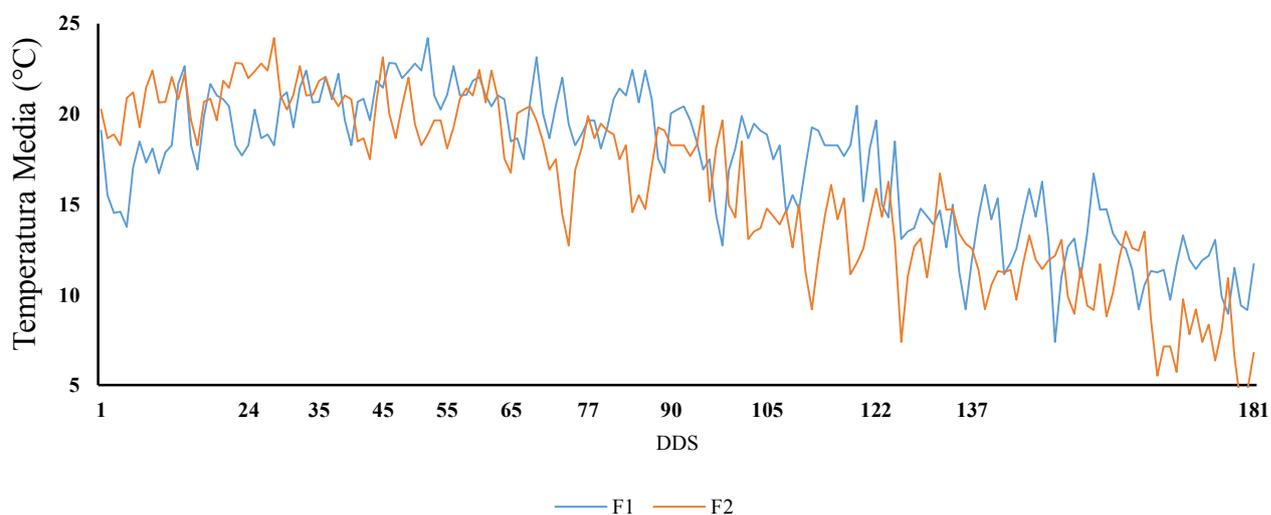
Anexo I. Largo del día y de la noche desde el 15 de marzo hasta el 30 de abril. Santiago, Chile (Solartopo, 2014). Se incluye la ocurrencia de la floración que fue simultánea para ambas fechas de siembra.



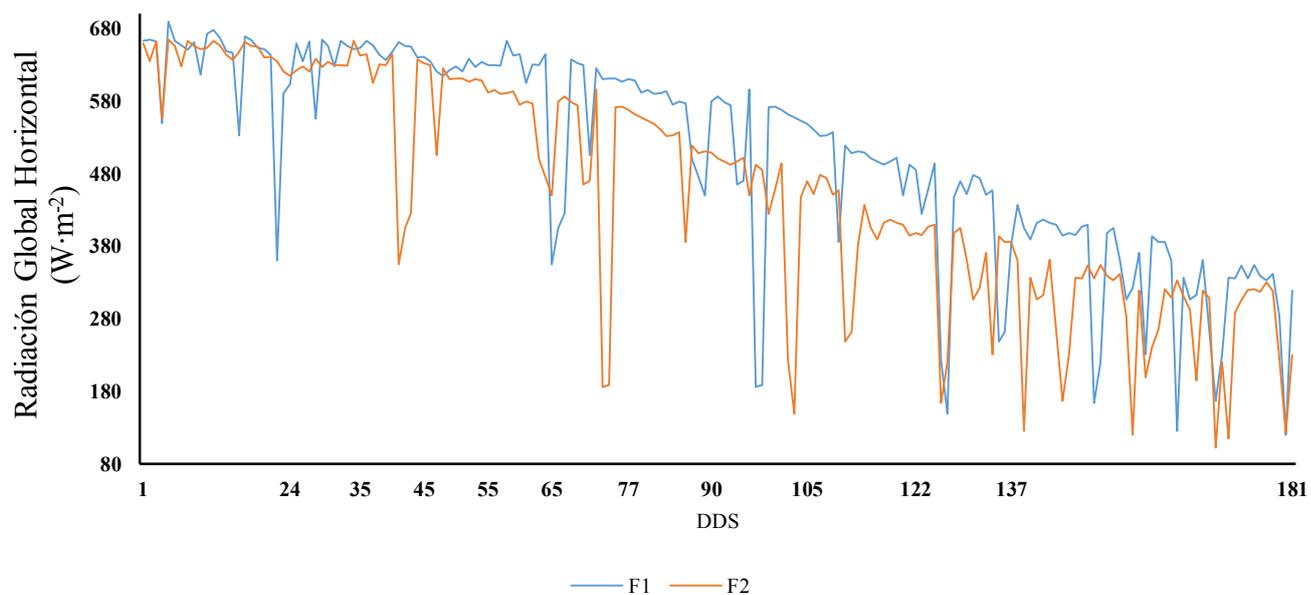
Anexo II. Horas de luz para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registradas entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). Santiago, Chile. (R1: Inicio de floración) (Solartopo, 2014).



Anexo III. Temperatura Media para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registrada entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). Estación meteorológica La Platina INIA, comuna de La Pintana, Santiago, Chile.



Anexo IV. Radiación Global Horizontal para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre, registradas entre 1 y 181 días después de siembra (DDS). En los paralelos 33°57' latitud sur y 70°63' longitud oeste (Explorador Solar, 2016).



Anexo V. Temperaturas máximas y mínimas diarias durante el ciclo del cultivo para dos fechas de siembra, F1: 07 de Diciembre y F2: 31 de Diciembre. Estación meteorológica La Platina INIA, comuna de La Pintana, Santiago, Región Metropolitana. (V1: Emergencia, V2: Inicio de ramificación, R1: Inicio de floración, R2: Inicio de formación de grano y C: Cosecha).

