

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

MEMORIA DE TÍTULO

**EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE DOS FENOTIPOS DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)
ESTABLECIDA EN LA IV REGIÓN DE COQUIMBO.**

SEBASTIAN ANTONIO ALISTER RODRIGUEZ

**SANTIAGO-CHILE
2017**

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

MEMORIA DE TÍTULO

**EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE DOS FENOTIPOS DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)
ESTABLECIDA EN LA IV REGIÓN DE COQUIMBO.**

**EFFECT OF THE AVAILABILITY OF WATER ON GROWTH AND YIELD OF
TWO FENOTYPES OF CHIA (*Salvia hispanica* L.) ESTABLISHED IN THE
REGION IV OF COQUIMBO.**

SEBASTIAN ANTONIO ALISTER RODRIGUEZ

**SANTIAGO-CHILE
2017**

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

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE DOS FENOTIPOS DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)
ESTABLECIDA EN LA IV REGIÓN DE COQUIMBO.**

SEBASTIAN ALISTER RODRIGUEZ

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo

Profesores Guías

Calificaciones

Sra. Cecilia Baginsky G.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

6,0

Sr. Herman Silva R.
Profesor de Biología y Ciencias, Mg. Sc.
Dr.

6,0

Profesores Evaluadores

Sr. Cristian Kremer F.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

5,1

Sr. Marcos Mora G.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

6,5

**SANTIAGO-CHILE
2017**

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de estudio	6
Materiales	6
Material Vegetal.....	6
Métodos.....	6
Tratamientos y Diseño Experimental.....	6
Establecimiento del cultivo	8
Riego	8
Fertilización.....	9
Evaluaciones	9
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS	13
Estados de Desarrollo.....	13
Crecimiento y Cosecha	13
Altura de plantas	13
Biomasa seca de hojas, tallo, inflorescencias y total	15
Área foliar e índice de área foliar.....	17
Largo y número de inflorescencias	18
Rendimiento e índice de cosecha	19
Componentes del rendimiento.....	20
Eficiencia de uso de agua.....	21
DISCUSIÓN	23
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27

ANEXOS	31
Anexo I. Resultados Análisis de suelo	31
Anexo II. Resultados Análisis de agua	31
APENDICES.....	32
Apendice I. Valores de agua aplicados para cada tratamiento ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	32
Apendice II. Temperatura promedio, Evapotranspiración de referencia (ET_0) y Humedad relativa (HR) durante el período de cultivo	32
Apendice III. Fertilización aplicada pra la superficie experimental	33
Apendice IV. Fertilización aplicada en valores kg ha^{-1}	33
Apendice V. Altura de plantas registrada para cada tratamiento	34
Apendice VI. Biomasa seca aérea total	34

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tratamientos de riego aplicados en el ensayo	7
Cuadro 2. Estados fenológicos a evaluar	10
Cuadro 3. Eventos fenológicos registrados desde siembra a cosecha para Salvia hispánica establecida en la región de Coquimbo	13
Cuadro 4. Biomasa seca de hoja registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra)	15
Cuadro 5. Biomasa seca de tallo registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra)	16
Cuadro 6. Biomasa seca de inflorescencia registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra).....	16
Cuadro 7. Área foliar por planta registrada para cada fecha de muestreo para cada uno de los tratamientos de riego (días después de siembra)	18
Cuadro 8. Índice de área foliar registrado para cada fecha de muestreo para cada uno de los tratamientos de riego (días después de siembra)	18
Cuadro 9. Largo de inflorescencias medido a dos fechas y número de inflorescencias por planta.....	19
Cuadro 10. Rendimiento en grano e índice de cosecha	20
Cuadro 11. Componentes de rendimiento de grano en chíá en función de los diferentes tratamientos	21
Cuadro 12. Eficiencia de uso de agua durante el período de cultivo (días después de siembra).....	21
Cuadro 13. Eficiencia de uso de agua para producir grano.....	22

Índice de figuras

Figura 1. Distribución y dimensiones del ensayo, el rectángulo oscuro en la imagen de la derecha corresponde a la zona de muestreo	7
Figura 2. Altura de plantas registrada para cada tratamiento en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo	14
Figura 3. Biomasa seca aérea total registrada en los diferentes tratamientos de riego a través del tiempo	17

RESUMEN

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie de origen tropical que, por sus atributos en términos de salud, ha aumentado sostenidamente su siembra a nivel mundial. En Chile se ha estado evaluando su introducción, pero no se cuenta con información respecto a las necesidades hídricas de la especie. Por ello, se realizó un ensayo en la localidad de Pan de Azúcar, Región de Coquimbo, que contempló la reacción de plantas de chía (2 fenotipos: blanco y negro) sometidas a tres niveles de riegos, correspondientes al 40%, 70% y 100% de la evapotranspiración potencial. El estudio se llevó a cabo en la temporada 2013-2014, en el cual se evaluaron parámetros de crecimiento tales como altura, biomasa, área foliar, largo y número de inflorescencias; desarrollo y rendimiento y sus componentes. Se calculó además la eficiencia en el uso de agua. Los resultados muestran que la altura de plantas se vio afectada, siendo mayor en los tratamientos con mayor nivel de riego. No se presentaron diferencias en cuanto a producción de biomasa ni eficiencia de uso de agua de biomasa en ningún tratamiento. El rendimiento en promedio fue 428 kg ha⁻¹ para los tratamientos correspondientes al 100% y 70%, chía negra, que presentaron los valores más altos, existiendo diferencias con el resto de los tratamientos que en promedio generaron 241 kg ha⁻¹.

Palabras clave: eficiencia de uso de agua, niveles de riego.

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is a species of tropical origin which, by their attributes in terms of health, has steadily increased its planting worldwide. Chile has been evaluating its introduction, but no information is available regarding the water needs of the species. Therefore, a trial was conducted in the town of Pan de Azucar, Region of Coquimbo, which contemplate three different levels of irrigation: 40%, 70% and 100% of the potential evapotranspiration in two chia phenotypes: white and black in the 2013-2014 seasons. In study were evaluated growth parameters like height, biomass, leaf area, length and number of inflorescences; development and yield and his component. Also the efficiency of water use was calculated. Plant height was affected, being higher in treatments with higher irrigation. No differences in biomass production and water use efficiency to produce this in any treatment were presented. The average yield was 427.9 kg ha⁻¹ for treatments corresponding to 100% and 70% of black chia, which presented the highest values and differences between the other treatments that generated 241 kg ha⁻¹ on average.

Key words : efficiency of water use, irrigation levels.

INTRODUCCIÓN

El agua cumple un rol fundamental en la biodiversidad del planeta, así como para suplir las necesidades alimenticias del ser humano (Ferreret al., 2011), sin embargo, el cambio climático y la creciente demanda hídrica de los diferentes sectores productivos está provocando una escasez del recurso, lo que es considerado un importante problema a nivel mundial (Jury y Vaux, 2005; Hsiao et al., 2007).

Para la agricultura, la falta de agua determina una menor producción y, mientras que la demanda de esta se incrementa en este sector, también lo hace en otros sectores de importancia (Ferreret al., 2011), lo que permite decir que en un futuro cercano, la posibilidad de generar nuevos recursos hídricos para la agricultura será limitada (Postel, 2000). Este hecho, sumado a la necesidad de aumentar los rendimientos para alimentar a la creciente población mundial, permite indicar que el próximo desafío será cómo producir más alimentos con menos agua (Hsiao et al., 2007; Steduto et al., 2007).

Los esfuerzos de la últimas décadas se han enfocado en mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, mediante la introducción de tecnologías de riego como el goteo y la aspersión o técnicas como el secado parcial de raíces, que han tenido éxito en la disminución del agua total aplicada (Zegbe et al., 2004; Dorji et al., 2005; Taisheng et al., 2008). Esto, no obstante solo es factible de realizar en distintos sistemas en que es posible contar con agua para riego, donde aún existe la posibilidad de incrementar la producción, manteniendo los mismos niveles de agua aplicados (Hsiao et al., 2007).

La falta de agua para una planta, es el estrés abiótico más dañino, lo que puede ser extremadamente perjudicial para las células vegetales, afectando principalmente su crecimiento y rendimiento (Medrano et al., 2007; Gechev et al., 2006). Una forma de enfrentar este daño es a través de buenas prácticas agrícolas que mejoren la eficiencia del uso de agua en los cultivos. Una de las formas de explicar el concepto de eficiencia de uso de agua es expresándolo en términos de productividad, que se define como la cantidad de biomasa y/o rendimiento producido por la cantidad de agua total aplicada (Singh y Feddes, 2005; Hsiao et al., 2007; Phillip et al., 2007; Van Halsema y Vicent, 2012).

El aumento de la eficiencia de uso de agua, considera tanto el crecimiento en cuanto a biomasa producida como el rendimiento en cuanto al órgano de interés a producir (Hsiao et al., 2007), para ello, se busca que el aumento de rendimiento, biomasa y del reparto de asimilados, permita aumentar el índice de cosecha con una menor cantidad de agua aplicada (Hsiao et al., 2007; Steduto et al., 2007; Ferreret al., 2011).

Es debido a la escasez de agua que enfrenta la agricultura que se ha optado por realizar estudios en plantas con alto potencial productivo frente a distintos niveles de estrés hídricos, junto a los mecanismos de tolerancia o recuperación frente a este último (Corell et al., 2009; De Almeida et al., 2012; Medrano et al., 2015). Dentro de este enfoque, se encuentran plantas como la chía (*Salvia hispanica* L.), la cual se menciona en la literatura como una planta que requiere poca agua para su producción (Weber, 1991).

La chía es una planta originaria de climas tropicales a subtropicales no tolerante a heladas en ninguna etapa de su desarrollo. Su cultivo ha tomado gran importancia debido a sus buenas cualidades como alimento (Lobo et al., 2011; Coates, 2011). Esta planta, es considerada como herbácea anual, cumpliendo su desarrollo en el período estival (otoño). El rango de temperaturas adecuado varía entre 14 y 20 °C, requiriendo precipitaciones de 250 a 300 mm y altitudes de entre 0 y 2.600 m.s.n.m. (Rocca 2008, citado por Pozo, 2010).

Aunque se menciona en la literatura como una especie tolerante al déficit hídrico, no hay estudios que demuestren esta cualidad y la magnitud del estrés hídrico que la planta puede soportar. Sus requerimientos de agua oscilan desde los 250 mm hasta sobrepasar los 1.100 mm de precipitación (Rocca 2008, citado por Pozo, 2010; Ayerza y Coates, 2006). La chía se menciona como un cultivo adecuado para zonas de baja precipitación, pudiendo alcanzar bajo esta condición, rendimientos cercanos a los 480 kg ha⁻¹ en Argentina (Casas 1990, citado por Orozco, 1993).

Junto al problema mundial de la escasez de agua, y frente al creciente interés en el consumo de alimentos sanos, benéficos para la salud de las personas, es que la chía destaca como la especie vegetal que produce a nivel de semilla el mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados (Omega 3 y 6), no sintetizados por el hombre, además de un elevado contenido de fibra dietaria, proteínas y antioxidantes, se ve como una opción importante como cultivo a futuro (Ayerza et al., 2002; Araya y Lutz, 2003; Ayerza y Coates, 2006).

En Chile actualmente existe un problema de escasez hídrica y además un fuerte déficit nutricional de ácidos grasos Omega 3 (Valenzuela y Uauy, 2005), por lo que introducir la chía como cultivo es una buena opción para potenciar aquellas zonas con falta de agua y además integrar un alimento saludable para el ser humano (Salazar et al., 2009).

Hipótesis

Es posible disminuir el agua total aplicada mediante riego, en base al 100% de la ET_0 del lugar, al cultivo de chíá sin afectar significativamente su crecimiento ni rendimiento en grano.

Objetivo General

Determinar el efecto de la disponibilidad de agua en el crecimiento y rendimiento de dos fenotipos de chíá.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de tres niveles de riego en el crecimiento y en el rendimiento en semillas.
2. Determinar el efecto de la disponibilidad de agua en la eficiencia en el uso del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

Caracterización edáfica y climática

El ensayo se realizó durante la temporada 2013-2014 en la Estación Experimental Intihuasi del INIA, ubicada en la Región de Coquimbo. Este se encuentra en el Paralelo 30° 02' 16'' Latitud Sur y 70° 41' 48'' Longitud Oeste, a 300 msnm.

Esta zona posee un clima desértico cálido, con una precipitación anual de 75 a 187.5 mm entre Mayo y Agosto. La temperatura media anual es de 15 °C, siendo el mes más cálido Enero con una temperatura media de 28° C y el más frío Julio con 5°C (Agromet, 2012; Uribe et al., 2012). Los suelos pertenecen a la serie San Julián (Luzio et al., 2010), además según un análisis químico realizado posee un pH de 6,9 y 1,1% de materia orgánica (Anexo I).

Materiales

Material Vegetal

El material vegetal utilizado correspondió a dos fenotipos de semillas, correspondientes a Chía Blanca y Negra, con un peso de 1.000 semillas de 0,08 g.

Métodos

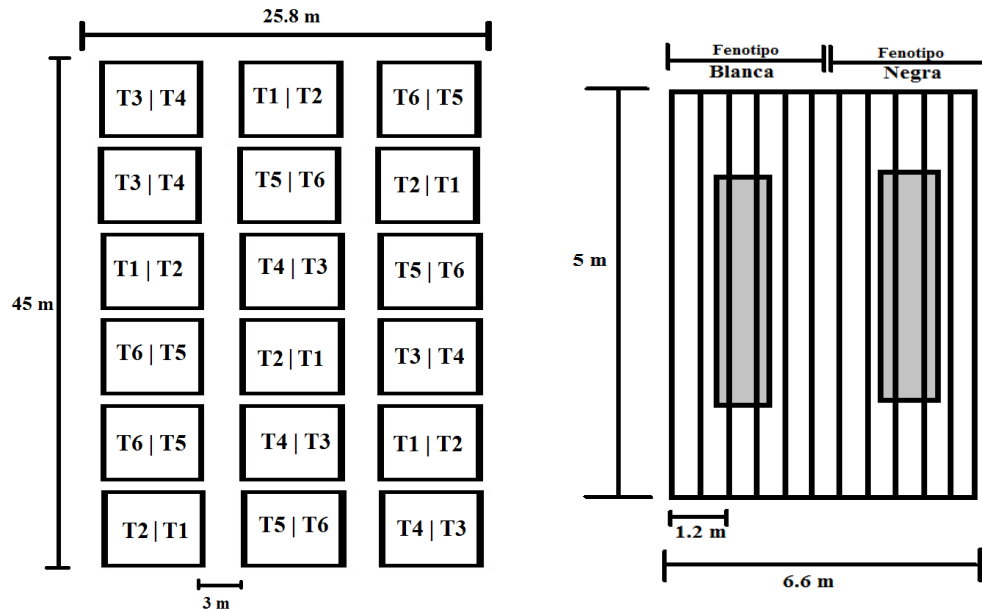
Tratamientos y Diseño Experimental

El ensayo contempló la utilización de tres niveles de riego, correspondientes al 100%, 70% y 40% de la ET_0 del lugar del ensayo, aplicados a dos fenotipos de Chía. En el cuadro 1 se indican los tratamientos utilizados.

Cuadro 1. Tratamientos de riego aplicados en el ensayo.

Tratamiento	Nivel de Riego (%ET ₀)	Fenotipo (semillas)
T1	100%	Blanca
T2	100%	Negra
T3	70%	Blanca
T4	70%	Negra
T5	40%	Blanca
T6	40%	Negra

El ensayo se realizó bajo un diseño estadístico de parcelas divididas, en el que la parcela principal correspondió al tratamiento de riego y la sub parcela al fenotipo, utilizando bloques completos al azar para la sectorización de la parcela principal. La unidad experimental correspondió a una sub-parcela de 18 m², en la cual se establecieron 6 hileras de plantas con 5 metros de largo cada una, distanciadas a 60 cm, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1:** Distribución y dimensiones del ensayo, el rectángulo oscuro en la imagen de la derecha corresponde a la zona de muestreo.

Cada parcela principal se separó de otra por 2 m de distancia. A cada sub-parcela se le midieron los dos metros lineales de las dos hileras centrales de cada fenotipo de modo de eliminar el efecto borde, indicado por el área resaltada en la Figura 1.

Establecimiento del cultivo. Previo a la preparación de suelo y establecimiento del cultivo se tomó una muestra compuesta de suelo y agua para un análisis químico (Anexo I y II).

El cultivo fue sembrado el 24 de Enero del año 2014, sobre un suelo mullido, libre de terrones y seco. Para esto, el suelo fue previamente arado y rastreado, afinando la cama de semillas con un rastrillaje a mano, de modo de obtener un suelo apropiado para la siembra, dado el pequeño tamaño de la semilla (1 – 2 mm).

La siembra se realizó de forma manual, separando las semillas previamente en sobres de 1,5 gramos por hilera (5 kg ha^{-1}). A los 21 días después de a siembra se realizó un raleo cuando las plantas presentaban su segunda hoja, dejando 50 plantas por metro lineal. Posterior al raleo, se realizó una aporca del cultivo para evitar la tendadura de plantas.

Para el ensayo no se contempló la utilización de herbicidas, realizando un desmalezado manual y semanal a lo largo de todo el período del cultivo.

Riego. Se implemento un sistema de riego por goteo, con una tubería independiente para cada tratamiento hídrico, cada una con un solenoide y un caudalimetro para registrar el monto total de agua aplicado en m^3 . Este se realizó por cinta en hilera simple, la que consistió en una línea de goteros, con un caudal de 2 L h^{-1} para cada hilera de plantas. El primer riego se realizó luego de sembrar el cultivo.

El criterio de riego se basó en la reposición de un porcentaje (según el tratamiento hídrico) de la ET_0 acumulada por semana calculada diariamente a través del método de Penman Monteith (FAO, 2006) y registrada por la Estación agroclimática ubicada en Pan de Azúcar, INIA Intiuasi. Para aplicar cantidades variables de agua en cada tratamiento se utilizó un programador de riego manual, pero de funcionamiento automático (Serie RZXi Rain Bird).

Para calcular la cantidad de agua a aplicar por tratamiento, cuando se instaló la bomba en el sitio del ensayo, se realizaron riegos de 5 minutos en cada sector cuyos volúmenes se cuantificaron con los caudalímetros instalados, asociando los tiempos de riego con

volúmenes de agua aplicados. Luego, al transformar la ET_0 acumulada semanal en m^3 se suministró a cada sector el riego según su tratamiento hídrico.

Los tratamientos hídricos se iniciaron el 17 de marzo (a los 53 días después de siembra), regando previamente a esta fecha todos los tratamientos de igual forma (restableciendo 100% de la ET_0).

El último riego se realizó el 20 de Junio (148 días después de siembra), en estado fisiológico de inflorescencia senescente, debido al comienzo de la época de lluvias y al fin de las mediciones de crecimiento.

Fertilización. La fertilización del cultivo se realizó en base al análisis de suelo y los antecedentes que existen de la producción del cultivo. En Argentina se fertiliza con un rango de 15 – 45 kg de nitrógeno y 37 kg de fosforo por hectárea y en México se aplican 68 kg de nitrógeno por hectárea (Ayerza y Coates, 2006).

En base a lo anterior se aplicó N, P y K, mediante fertirriego, parcializando en cinco aplicaciones, con frecuencia de una por semana, iniciando a los 43 días después de siembra (dds) o estado fisiológico quinta hoja y terminando a los 72 dds. Los fertilizantes aplicados fueron fosfato mono amónico (20 kg) y sulfato de potasio (18 kg).

Las aplicaciones de fertirriego para la unidad experimental y en valores por hectárea se muestran en los Apéndices III y IV.

Evaluaciones.

Para evaluar los efectos de los tratamientos se realizaron las mediciones listadas a continuación.

1. Estado de Desarrollo: Durante el cultivo, se llevó a cabo un registro de los estados de desarrollo, los que se presentan en el Cuadro 2. Para esto se consideró que se había alcanzado el estado cuando el 50% de las plantas de cada unidad experimental se encontraba en el estado en cuestión. Las mediciones de estado de desarrollo se realizaron de manera semanal durante el período del ensayo.

Cuadro 2. Estados fenológicos a evaluar.

Estado fenológico	Observación
Emergencia	Presencia de cotiledones emergiendo
Primera hoja verdadera	Primer par de hojas completamente expandidas.
Inicio de ramificación	Hojas de la nueva rama expandidas.
Inicio de inflorescencia	Evaluación de plantas presentes en medio metro lineal. Inflorescencia visible (con pedicelo de más menos 1 cm)
Inicio de floración	Primera flor abierta.
Plena floración	Cuando el 50% de las inflorescencias se encuentren con flor abierta
Madurez fisiológica	Inflorescencias de color café.
Madurez de cosecha	Granos con un 14% de humedad.

2. Crecimiento:

- Se cosecharon las plantas ubicadas en 25 cm lineales seleccionados al azar dentro de cada unidad experimental y en la zona de muestreo. A cada planta se le midió la altura con una frecuencia de 15 días.
- Biomasa aérea: La estimación de la biomasa aérea se realizó con las mismas plantas seleccionadas anteriormente. En cada muestra se separaron los distintos órganos y estructuras de la planta (tallos, hojas, e inflorescencias), los que fueron secados en forma independiente en estufa con aire forzado a 70°C hasta peso constante y luego pesados.
- Área foliar: se utilizaron las mismas plantas cosechadas para las evaluaciones de crecimiento y la misma frecuencia. Las plantas fueron deshojadas y se determinó su área foliar a través de un medidor de área foliar marca LI-3000.
- Índice de área foliar: Se determinó a partir de las muestras tomadas anteriormente y en base a la siguiente ecuación:

$$IAF = AF/SC$$

Donde IAF es el índice de área foliar, AF es el área foliar de las plantas y SC es la superficie cubierta por estas plantas.

- Largo y número de inflorescencias: Se midió el largo de inflorescencia a los 131 y 152 días después de siembra. Para esto se consideró la inflorescencia más su tallo. También se contó el número de estas a los 152 días después de siembra.

3. Rendimiento:

- Rendimiento en grano: Para evaluar el rendimiento se seleccionaron dos sectores de dos metros lineales cada uno en cada unidad experimental a la cosecha. Las plantas de cada sector fueron trilladas y los granos obtenidos secados en estufa con aire forzado a 40°C hasta peso constante y luego pesados.
- Componentes del rendimiento: Al material obtenido para rendimiento en grano, también se le midió lo siguiente:
 - Peso de 1.000 granos: Se tomaron 1.000 granos secos y se pesaron.
 - Número de granos por planta: Fue estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ granos/planta} = P_{1000g} / P_{\text{granos/planta}} * 1000$$

Donde P_{1000g} es el peso seco de 1.000 granos y $P_{\text{granos/planta}}$ es el peso de granos de cada planta.

- Número de granos por inflorescencia: Fue estimado a partir de la siguiente ecuación, en base al número de granos por planta y el número de inflorescencias por planta:

$$N^{\circ} \text{ granos/inflorescencia} = N^{\circ} \text{ granos/planta} / N^{\circ} \text{ inflorescencias/planta}$$

4. Índice de Cosecha: El índice de cosecha fue determinado en base a la siguiente ecuación:

$$IC = MS/BT$$

Donde IC es el índice de cosecha, MS es la materia seca de los granos y BT es la biomasa aérea seca total de las plantas.

5. Eficiencia de uso de agua: En base a los montos de agua aplicados (Apéndice I) y la biomasa aérea total (Apéndice VI), se estimó la eficiencia de uso de agua durante el período del cultivo, denominada EUA biomasa.

Con el nivel total de agua aplicado y el rendimiento en grano por cada tratamiento también se determinó la eficiencia de uso de agua, denominada como EUA grano.

Análisis Estadístico

Se comprobó que los datos cumplan con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, para luego realizar un análisis de varianza (ANDEVA) con un 5% de significancia con el programa InfoStat.

Al existir diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para comparar las medias de estos.

RESULTADOS

Estados de Desarrollo

El Cuadro 3 muestra los días transcurridos desde siembra para alcanzar los diferentes estados de desarrollo evaluados. Para esta medición, no se presentaron diferencias significativas entre ningún tratamiento. Cabe destacar que, pese a que todos los tratamientos llegaron a inflorescencia senescente en la misma fecha, la cosecha se efectuó en diferentes días, ya que las plantas presentaban diferentes grados de humedad de semilla a cosecha, siendo cosechado T5 y T6 a los 148 días después de siembra (dds), T3 y T4 a los 155 dds y T1 y T2 a los 170 dds.

Cuadro 3. Eventos fenológicos registrados desde siembra a cosecha para *Salvia hispánica* establecida en la región de Coquimbo.

DDS	Estado de desarrollo
0	Siembra
7	Emergencia
15	Primera hoja
22	Segunda hoja
35	Cuarta hoja
70	Inicio de Floración
138	Inflorescencia senescente

Crecimiento y Cosecha

Altura de plantas

En los datos de altura registrados (Figura 2), los tratamientos correspondientes al 40% de la ET_0 presentaron los valores más bajos a partir de los 89 dds, sin presentar diferencias entre fenotipo. En general, los tratamientos que correspondieron al mayor nivel de riego tendieron a presentar mayores valores de altura de plantas, observándose que 6 días después de floración, la chíá negra se vio más afectada que la blanca cuando el nivel de agua se reduce al 70%, efecto que se mantuvo casi hasta la senescencia

Altura de Plantas

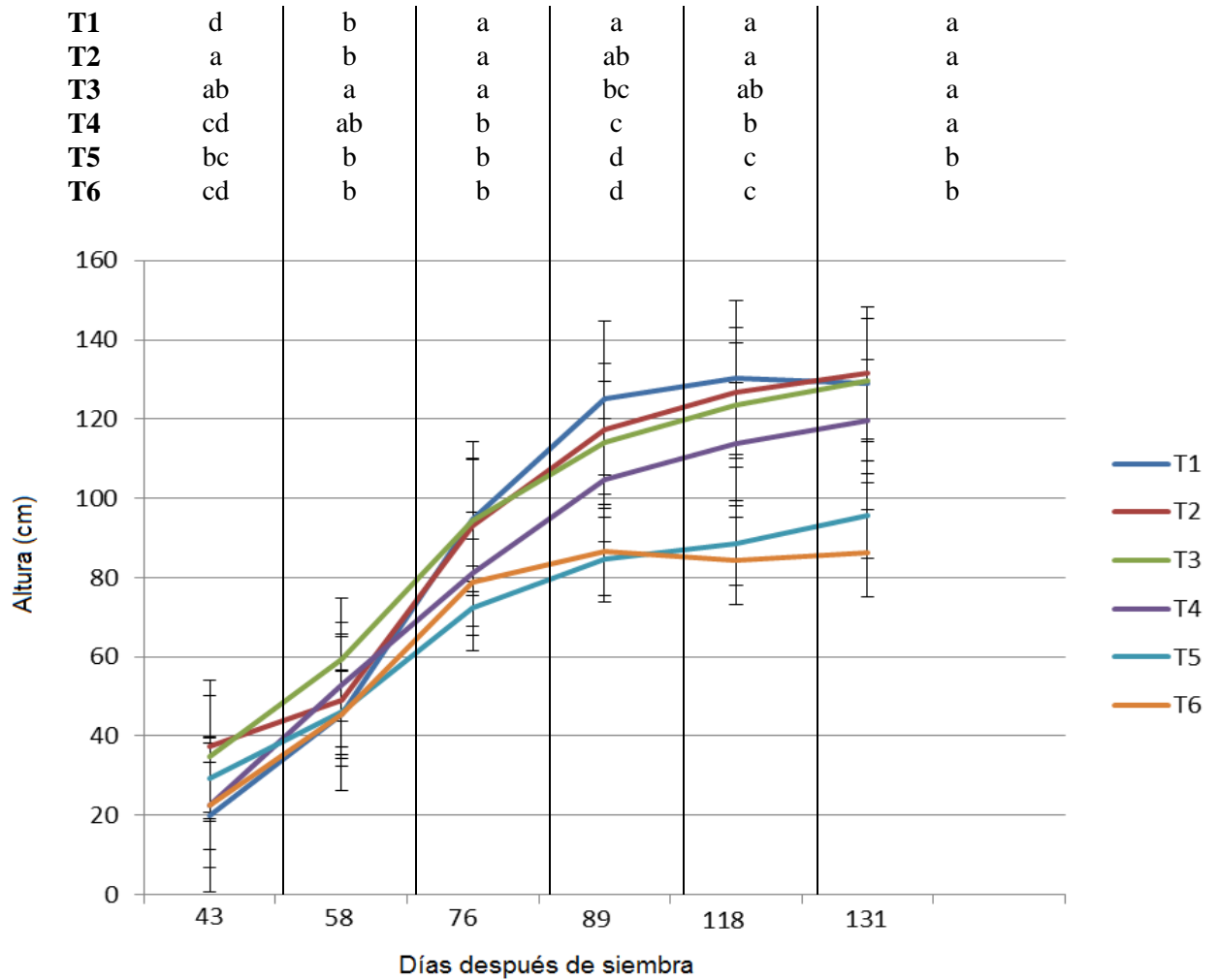


Figura 2. Altura de plantas registrada para cada tratamiento en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo.

A los 131 dds, los tratamientos con mayor nivel de riego lograron en promedio una altura equivalente a un 36,5 cm más que el promedio de los tratamientos con menor nivel de riego.

Biomasa seca de hojas, tallo, inflorescencias y total

Para biomasa seca de hoja, fueron encontradas diferencias significativas a los 131 dds, principalmente en los tratamientos con menores niveles de riego (T5 y T6) que presentaron un menor peso de hojas logrando en promedio $854,35 \text{ kg ha}^{-1}$ menos que el promedio obtenido por el tratamiento T2, que corresponde a mayor nivel de riego (Cuadro 4). A cosecha no se tuvieron diferencias significativas, ya que la biomasa de hoja decayó en valor varios días antes, sufriendo todos los tratamientos defoliación casi completa a cosecha. Los mayores valores de biomasa de hoja fueron registrados a los 89 dds, con un promedio de 2.290 kg ha^{-1} .

Cuadro 4. Biomasa seca de hoja registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra).

Tratamiento	43	58	76	89	118	131	152
	(kg ha ⁻¹)						
T1	344,5 a	546,5 ab	1.530,0 a	1.671,2 a	1.383,0 a	749,4 ab	44,2 a
T2	166,7 a	483,0 b	1.213,4 a	2.799,2 a	1.498,0 a	1.018,2 a	88,3 a
T3	376,6 a	1.062,3 a	1.301,2 a	2.889,7 a	1.298,1 a	568,8 abc	74,1 a
T4	222,7 a	565,1 ab	1.257,0 a	2.438,8 a	1.237,0 a	507,3 bc	38,4 a
T5	354,4 a	649,8 ab	1.757,3 a	2.121,5 a	831,2 a	133,2 c	0 a
T6	194,5 a	535,6 ab	1.104,6 a	1.820,2 a	894,8 a	194,5 c	0 a

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

En cuanto a biomasa seca de tallo (Cuadro 5), solo fueron observadas diferencias significativas a los 118 dds, momento en el cual, los tratamientos con mayor nivel de agua aplicada presentaron en promedio 2.229 kg ha^{-1} más de biomasa que aquellos regados con el menor nivel de agua. El mayor valor de biomasa seca de tallo fue encontrando a los 131 dds siendo en promedio para todos los tratamientos de 4.257 kg ha^{-1} , excepto para T1, el cual logro el máximo a los 118 dds con un promedio de $5.157,3 \text{ kg ha}^{-1}$. El valor promedio a cosecha fue de 3.017 kg ha^{-1} siendo un 37,8% menor que a los 118 dds.

Cuadro 5. Biomasa seca de tallo registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra).

Tratamiento	43	58	76	89	118	131	152
	(kg ha ⁻¹)						
T1	332,7 a	741,3 a	2.565,3 a	3.950,0 a	5.157,3 a	4.807,5 a	3.859,5 a
T2	101,9 a	652,6 a	2.581,6 a	2.942,4 a	5.047,4 a	5.295,7 a	3.195,8 a
T3	292,3 a	891,1 a	2.709,3 a	3.144,2 a	4.877,4 a	5.188,8 a	3.398,3 a
T4	127,8 a	733,3 a	1.623,7 a	2.281,1 a	3.927,8 ab	4.138,6 a	3.288,8 a
T5	299,8 a	744,3 a	1.746,7 a	2.036,1 a	2.698,1 b	3.230,2 a	2.158,5 a
T6	112,8 a	620,1 a	1.801,8 a	2.223,0 a	2.347,5 b	2.882,3 a	2.205,8 a

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

Respecto a la biomasa seca de inflorescencia, no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las fechas evaluadas, alcanzando la máxima cantidad a los 131 dds, con un promedio de 2.117 kg ha⁻¹ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Biomasa seca de inflorescencia registrada para cada tratamiento, en distintos momentos durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días después de siembra).

Tratamiento	73 dds	76 dds	89 dds	118 dds	131 dds	152 dds
	(kg ha ⁻¹)					
T1	59,1 a	92,3 a	296,6 a	1.869,1 a	2.226,0 a	1.849,6 a
T2	58,5 a	100,3 a	346,1 a	1.990,1 a	2.624,6 a	2.010,5 a
T3	47,4 a	96,0 a	401,5 a	1.905,6 a	2.667,7 a	1.691,1 a
T4	58,4 a	68,3 a	297,3 a	1.747,0 a	1.789,2 a	1.888,0 a
T5	77,1 a	88,6 a	367,2 a	1.418,0 a	1.707,0 a	1.220,5 a
T6	56,1 a	87,2 a	346,6 a	1.353,3 a	1.685,3 a	1.420,3 a

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

Los valores de biomasa seca aérea total, presentaron diferencias significativas solo para los 118 dds, al igual que para los datos de biomasa seca de tallo, observándose los menores valores en los tratamientos con menor nivel de riego (T5 y T6). Como se muestra en la Figura 3, todos los tratamientos presentaron la producción máxima de biomasa aérea entre los 118 y 131 dds.

Biomasa seca aérea total

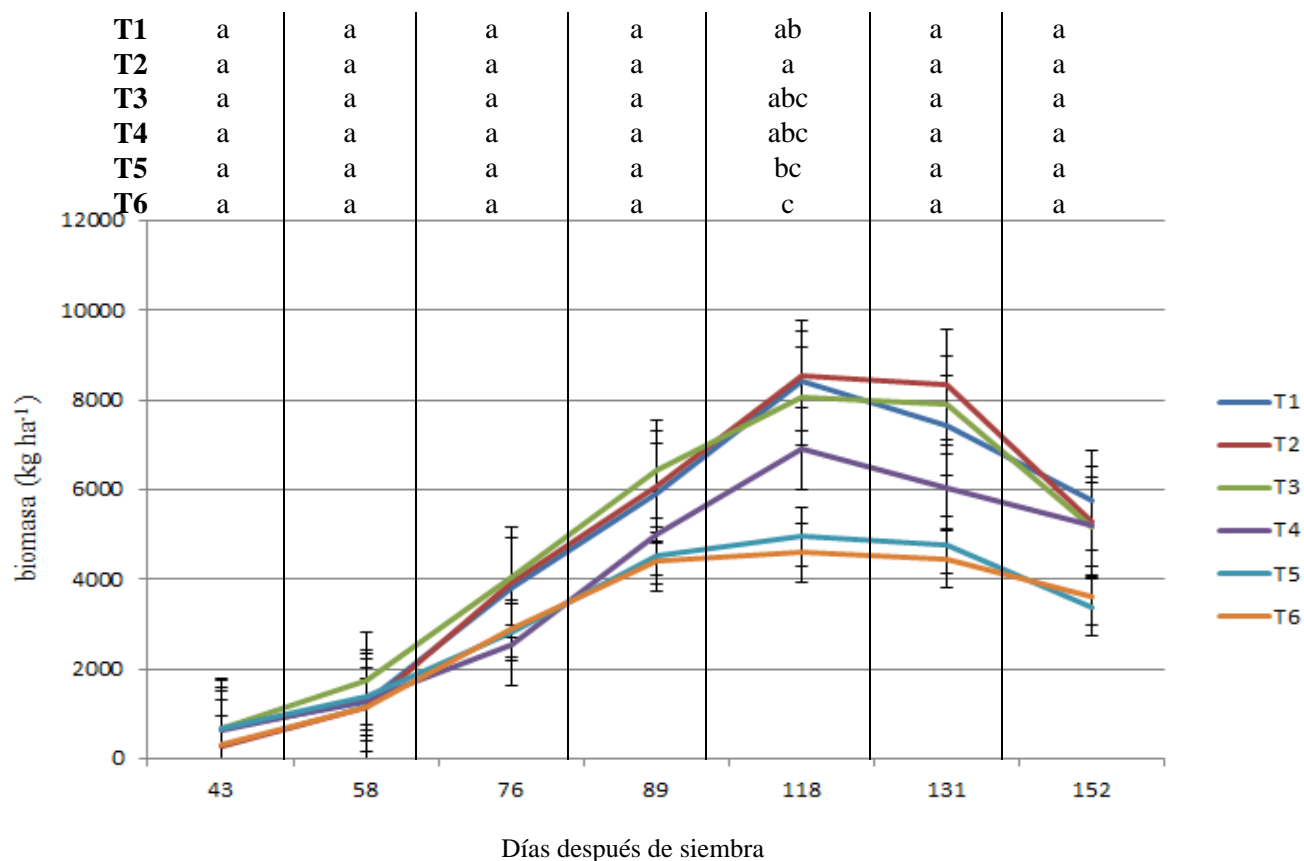


Figura 3: Biomasa seca aérea total registrada en los diferentes tratamientos de riego a través del tiempo.

Área foliar e índice de área foliar

El de área foliar por planta presentó diferencias significativas a partir de los 118 dds (Cuadro 7), presentándose estas entre el tratamiento T2 (100% de ET_0) y los tratamientos T5 y T6 (40% ET_0), siendo 2,36 veces mayor el tratamiento de mayor riego con respecto a los de menor. A los 131 dds, se obtuvo una clara diferencia entre los tratamientos con mayor nivel de agua (T1 y T2) y los tratamientos de menor disponibilidad hídrica (T5 y T6) siendo estos en promedio 315,6 cm² mayor.

Cuadro 7. Área foliar por planta registrada para cada fecha de muestreo para cada uno de los tratamientos de riego (días después de siembra).

Tratamiento	43	58	76	89	118	131
	(cm ²)					
T1	161,7 a	162,6 a	568,4 a	630,5 a	441,3 ab	428,7 a
T2	75,3 a	183,5 a	561,3 a	656,9 a	513,1 a	456,7 a
T3	198,3 a	325,8 a	482,7 a	530,7 a	353,9 ab	328,9 ab
T4	132,5 a	292,7 a	333,5 a	447,9 a	411,9 ab	367,9 ab
T5	62,9 a	273,9 a	359,8 a	594,0 a	198,5 b	144,3 b
T6	93,8 a	227,7 a	379,8 a	605,8 a	235,3 b	109,8 b

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

Los resultados para IAF (Cuadro 8) siguen igual tendencia que el área foliar, presentándose los mayores valores a los 100 dds. Los mayores valores obtenidos para área foliar e índice de área foliar para todos los tratamientos fueron registrados a los 89 dds, lo que también corresponde con la fecha en que se registraron los mayores valores de biomasa seca de hoja (Cuadro 4).

Cuadro 8. Índice de área foliar registrado para cada fecha de muestreo para cada uno de los tratamientos de riego (días después de siembra).

Tratamiento	43	58	76	89	118	131
	(sin unidad)					
T1	1,07 a	1,22 a	3,87 a	3,85 abc	3,16 ab	2,98 a
T2	0,54 a	1,45 a	3,76 a	4,47 a	3,56 a	3,58 a
T3	1,21 a	2,13 a	3,56 a	4,35 ab	2,68 abc	2,37 ab
T4	0,71 a	1,71 a	2,35 a	3,13 c	2,79 abc	2,46 ab
T5	1,19 a	2,03 a	2,50 a	3,19 bc	1,44 c	1,03 b
T6	0,64 a	1,55 a	2,51 a	2,99 c	1,58 bc	0,73 b

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

Largo y número de inflorescencias

El largo de inflorescencia fue medido a los 131 y 152 dds, presentando diferencias significativas en ambas fechas (Cuadro 9). Para ambas situaciones, los tratamientos con menores niveles de riego (T5 y T6) fueron significativamente más bajos que el resto. A los

131 dds se presentó una diferencia por fenotipo, puesto que dentro de los niveles de riego más altos, correspondientes a 100 % (T1 y T2) y 70% (T3 y T4), la chíá negra presento el mayor largo de inflorescencia. A los 152 dds, las diferencias se hacen más marcadas siendo la chíá negra la que presento un valor superior en el largo de inflorescencia respecto de los tratamientos con mayor nivel de agua (aunque sin presentar diferencias significativas respecto a la chíá blanca regada al 100%), logrando inflorescencias 4,5 cm superiores a las de tratamientos de riego intermedios (T3 y T4) y 11,8 cm más respecto de los tratamientos con menor nivel de agua (T5 y T6). En cuanto al número de inflorescencias, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, produciéndose en promedio 7,43 inflorescencias por planta.

Cuadro 9. Largo de inflorescencias medido a dos fechas y número de inflorescencias por planta.

Tratamiento	Largo inflorescencias (cm)		Nº Inflorescencias
	131 dds	152 dds	152 dds
T1	12,41 bc	21,57 ab	7,90 a
T2	14,57 a	24,34 a	7,68 a
T3	10,85 c	19,90 b	7,40 a
T4	12,87 ab	19,74 b	7,50 a
T5	8,70 d	11,75 c	8,07 a
T6	7,82 d	13,48 c	6,08 a

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

Rendimiento e índice de cosecha

En cuanto a rendimiento, este resultó significativamente mayor en los tratamientos T2 y T4, los que correspondieron a chíá negra, logrando un promedio de 428 kg ha⁻¹, lo que significó 187 kg ha⁻¹ más que el promedio del resto de tratamientos (Cuadro 10). Hay que destacar además que el fenotipo blanco fue más estable en su rendimiento, dado que este fue muy similar en los diferentes niveles de riego aplicados.

El índice de cosecha (IC) presentó diferencias significativas solo entre los tratamientos intermedios de nivel de agua aplicado (T3 y T4), logrando para estos tratamientos el mayor valor correspondiente a chíá negra (Cuadro 10). El valor más bajo fue obtenido en T3, pudiendo deberse esto a que no fueron registradas diferencias significativas en la biomasa aérea total, pero si en el rendimiento, viéndose afectado así el IC.

Cuadro 10. Rendimiento en grano e índice de cosecha.

Tratamiento	Rendimiento en grano	Índice de cosecha
	(kg ha ⁻¹)	(sin unidad)
T1	269,50 b	0,05 ab
T2	420,42 a	0,07 ab
T3	205,22 b	0,03 b
T4	435,45 a	0,08 a
T5	221,17 b	0,06 ab
T6	268,74 b	0,07 ab

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

Componentes del rendimiento

El mayor peso de 1.000 granos (Cuadro 11) fue registrado en el fenotipo blanco en el tratamiento de menor nivel de agua (T5), logrando en promedio 0,32 gr más que la chíá negra correspondiente al mismo tratamiento hídrico, en tanto que para el tratamiento de mayor nivel de agua y fenotipo blanco esta fue 0,61 gr más pesado. Para el número de granos por metro cuadrado, no se registraron diferencias significativas entre fenotipos, solo presentándose diferencias entre los tratamientos T1, T2 y T4 y el tratamiento T5.

La tendencia observada en los tratamientos correspondientes al menor nivel de agua (40% de la ET_0) a presentar mayor peso de grano, puede relacionarse a la tendencia mostrada por los mismos tratamientos para el número de granos por metro cuadrado, en la que estos tratamientos correspondieron a los menores valores registrados. Esto puede deberse a que las semillas de chíá, compensan un menor número de granos en superficie con un mayor peso individual de estas.

No se presentaron diferencias significativas en el número de granos por inflorescencias ni en el número de granos por planta para ningún tratamiento siendo en promedio 130,8 y 877,1 respectivamente.

Cuadro 11. Componentes de rendimiento de grano en chíá en función de los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Peso 1.000 granos	Granos m ⁻²	Granos inflorescencia ⁻¹	Granos planta ⁻¹
	(g)		(n°)	
T1	0,62 c	549.382 a	96,4 a	680,1 a
T2	0,66 bc	583.936 a	135,6 a	947,2 a
T3	0,66 bc	478.322 ab	104,0 a	775,2 a
T4	0,72 bc	547.219 a	153,2 a	1.172,1 a
T5	1,23 a	184.868 b	133,9 a	753,0 a
T6	0,91 b	285.189 ab	162,1 a	934,9 a

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

Eficiencia de uso de agua

Respecto a la eficiencia de uso de agua (EUA), medida en base a producción de biomasa, no se registraron diferencias significativas para ninguna fecha de medición (Cuadro 12). Los mayores valores fueron registrados para todos los tratamientos a los 118 dds, siendo en promedio 2,49 kg m³. El tratamiento T3 (70% de nivel de riego, fenotipo negro) tendió a presentar un nivel más alto de EUA, no logrando diferenciarse del resto de los tratamientos.

Cuadro 12. Eficiencia de uso de agua durante el período del cultivo (días después de siembra).

Tratamiento	58	89	118	152
	(kg m ⁻³)			
T1	0,83 a	2,18 a	2,19 a	1,40 a
T2	0,73 a	2,24 a	2,19 a	1,29 a
T3	1,10 a	3,15 a	3,25 a	1,99 a
T4	0,82 a	2,45 a	2,78 a	2,01 a
T5	0,88 a	2,39 a	2,35 a	1,57 a
T6	0,73 a	2,32 a	2,18 a	1,69 a

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

Para la eficiencia de uso de agua medida en base a producción de grano (Cuadro 13) solo existió diferencia entre el tratamiento T4 y el T1, siendo 2,55 veces mayor el tratamiento correspondiente al 70% de riego y chíá negra (T4). También el fenotipo negro presento en promedio 0,05 kg de grano producidos por m³ de agua aplicada más que el fenotipo blanco.

Cuadro 13. Eficiencia de uso de agua para producir grano.

Tratamiento	EUA grano (kg m ⁻³)
T1	0,07 b
T2	0,10 ab
T3	0,08 ab
T4	0,17 a
T5	0,10 ab
T6	0,13 ab

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

DISCUSIÓN

El rendimiento en grano de chíá negra fue significativamente mayor en los tratamientos correspondientes al 100% y 70% de nivel de riego (T2 y T4), con un promedio 428 kg ha⁻¹ (Cuadro 10), no observándose diferencias entre el resto de los tratamientos. A pesar de esto el rendimiento total fue menor en relación a lo obtenido en otros ensayos realizados en nuestro país donde se han alcanzado rendimientos promedio de 1.668 kg ha⁻¹ y 1.908 kg ha⁻¹ para el fenotipo de semilla blanca y negra, respectivamente en la localidad de Azapa, de la Región de Arica y Parinacota (Baginsky et al., 2015). Cabe destacar que a nivel mundial el rendimiento fluctúa de 446 a 1.753 kg ha⁻¹ para sectores productivos en Ecuador (Ayerza y Coates, 2009); 606 a 1.400 kg ha⁻¹ en Argentina (Coates y Ayerza, 1998; Lobo et al., 2011) y en promedio de 1.600 kg ha⁻¹ en Paraguay (Bochicchio et al., 2015).

Una posible razón de los bajos rendimientos obtenidos podría estar relacionada con los requerimientos climáticos de esta planta, dado que la chíá es de origen centro americano, considerada como un cultivo de día corto, con floración a inicios de otoño, siendo una planta sensible a las bajas temperaturas, no resistiendo heladas durante cualquier momento de su ciclo. Además de verse muy afectada por bajas temperaturas lo que incide en su crecimiento y rendimiento, presentando un rango de temperaturas promedios a las cuales se adapta de 11 y 36° C, con un óptimo entre 20-30 °C (Ayerza y Coates, 2006; Ayerza y Coates, 2009). Estudios realizados en México determinaron que en zonas con temperaturas medias anuales menores a 16°C y mayores a 28 °C no son aptos para el cultivo y con altitudes menores a los 1.000 m.s.n.m. existe un menor potencial productivo de chíá (Ramírez et al., 2012). En este sentido las plantas de chíá en este ensayo estuvieron expuestas a una temperatura media durante el ciclo de desarrollo del cultivo de 14.7 °C (Agromet, 2014), además, el ensayo se estableció en una zona ubicada a 300 m.s.n.m. aproximadamente.

En relación a los componentes del rendimiento, no se presentaron diferencias en el número de granos por inflorescencia ni en el número de granos por planta, pero sí en el número de granos por m² siendo más bajo en los tratamientos regados al 40% de la ET₀, en contraste al peso de 1.000 granos, que fue mayor en la chíá negra correspondiente al menor nivel de riego con 1,23 g siendo en promedio 0,56 g mayor en comparación a los tratamientos con mayor nivel de riego y cercano a lo obtenido en ensayos realizados en Tucumán, Argentina, los que oscilaron entre 1,22 y 1,26 g entre los años 2008 y 2010 (Rovati et al., 2012). El mayor peso de granos se comporta en forma opuesta a lo señalado por Eck et al., (1987) en que un estrés hídrico podría disminuir el peso de los granos.

El mayor rendimiento registrado para la chíá negra en los mayores niveles de riego corresponde a lo señalado por Di Sapio et al. (2012) quienes indicaron que las semillas oscuras están presentes en una mayor proporción que las semillas blancas, siendo el rendimiento de las semillas oscuras mayor que el de las semillas blancas. La diferencias entre fenotipo también se dan en el IC, siendo significativamente mayor en chíá negra con respecto a chíá blanca para el 70% de nivel de riego, el cual resultó similar al de otros ensayos realizados en Canchones y las Cruces y menores a los realizados en el Valle de Azapa en nuestro país (Baginsky et al., 2015). Pese a esto, los tratamientos con mayor nivel de riego no presentaron diferencias significativas con aquellos que cuentan con un menor nivel de agua, lo que difiere con algunos autores que señalan que un estrés hídrico podría producir un aumento en el IC (Steduto y Hsiao, 2007).

La eficiencia de uso de agua para grano es más alta para los fenotipos de chíá negra, lo que concuerda con los tratamientos, pues la chíá negra alcanzo un valor muy superior en los tratamientos correspondientes al 100% y 70%. También, se presenta una diferencia entre el tratamiento T4 (70% chíá negra) y el tratamiento T1 (100% chíá blanca) lo que se explica por la mayor cantidad de agua aplicada pero no el aumento la producción de este último. En cambio, para la EUA de biomasa no se presentaron diferencias para los diferentes tratamientos hídricos.

Si bien el ciclo biológico del cultivo no se vio afectado por los diferentes tratamientos de riego (Cuadro 3), lo cual coincide con lo indicado por Lobo et al (2011) en un ensayo realizado en Argentina, si se presentaron diferencias en cuanto al crecimiento del cultivo para los diferentes tratamientos, obteniéndose mayores valores de biomasa seca de tallo y hoja en los tratamientos con mayor nivel de riego; observándose que la biomasa aérea total a los 118 dds corresponde a los mayores valores registrados. Para la biomasa seca de hojas, además de presentar diferencias significativas por dosis de riego, como se menciona en la literatura, se presentó una defoliación total de las plantas entre los 131 y 152 dds asociada a la floración, acentuándose en aquellas plantas no regadas (Orozco, 1993).

En relación a las características de las inflorescencias, se observaron diferencias en su tamaño (Cuadro 4) pero no así en el número de inflorescencias entre los tratamientos, siendo las de menor tamaño aquellas que tenían un menor nivel de riego. Lo anterior sumado a los datos de biomasa obtenidos se podrían resumir en que la planta de chíá fue capaz de lograr igual cantidad de estructuras reproductivas, disminuir el tamaño de estas, y de conservar igual biomasa seca en estas que una planta con la dosis más alta de riego.

En caso del área foliar por planta y el IAF en general los valores fueron superiores en los tratamientos con una mayor nivel de riego, lo que podría explicarse por una inhibición del crecimiento foliar o a la defoliación foliar asociada a la floración (Hsiao y Xu, 2000). El

mayor valor de área foliar e IAF concuerda con la mayor acumulación de biomasa de hoja seca, presentándose a los 19 días después del inicio de floración sin presentar diferencias en esta fecha, pero que para las siguientes mediciones fueron significativamente menor en todos los casos para los tratamientos con menor nivel de agua.

Respecto a la altura de las plantas, los tratamientos asociados a la menor cantidad de agua aplicada (T5 y T6) presentaron en promedio 36,5 cm menos respecto de los otros tratamientos, no presentándose diferencias entre fenotipo. Este hecho se ajusta a lo indicado por algunos autores en que una provisión de humedad abundante en el suelo promueve la elongación de los entrenudos para ciertas especies como trigo (Pinthus, 1973, citado por Schürch, 2006).

Debido a que la chía negra mantiene un rendimiento hasta el nivel de riego del 70% y que luego, al bajar al 40%, este se reduce en 37%, y que la chía blanca, pese a poseer un rendimiento más bajo que el fenotipo negro, al disminuir el suministro hídrico, este no varía, es que se acepta la hipótesis planteada. Se puede reducir la cantidad de agua aplicada en base a la ET_0 del lugar de referencia hasta un 70% para el fenotipo negro y hasta el 40% para el fenotipo negro, sin afectar significativamente el rendimiento en grano. No obstante sí se observaron diferencias en el crecimiento para todos los tratamientos, no se presentaron diferencias significativas al final de período para biomasa aérea seca total, pero sí para área foliar y altura.

Como recomendación final es necesario seguir investigando respecto al del efecto del estrés hídrico en el cultivo de chía.

CONCLUSIONES

La disponibilidad de agua en chíá, no afecta su ciclo de desarrollo pero si incide en el crecimiento y acumulación de biomasa por parte de la planta.

El nivel de agua aplicado al fenotipo negro puede reducirse hasta un 70% de la ET_0 sin afectar el rendimiento en grano, mientras que para el fenotipo blanco puede reducirse hasta un 40%.

La eficiencia de uso de agua para producir biomasa no se ve afectada por los tratamientos hídricos o fenotipo, mientras que para grano, el fenotipo negro presenta un mayor valor de esta.

Se determina que el nivel de riego que permite un mejor comportamiento del cultivo en esta zona corresponde a un 70% de la ET_0 para semilla negra, pero, que por los bajos rendimientos alcanzados en comparación a otras zonas, no se recomienda su cultivo.

Con el fin de corroborar los datos obtenidos, se deberían realizar más estudios en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

Agromet. 2012 y 2014. [En línea]. Recuperado en: <<http://agromet.inia.cl/>> Consultado el: 08 de abril de 2014.

Araya, H. y M. Lutz. 2003, abril. Alimentos funcionales y saludables. [En línea] Revista chilena de nutrición, 30(1): [s.p.]. Recuperado en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182003000100001&script=sci_arttext> Consultado el: 29 de mayo 2015

Ayerza, R. and W. Coates. 2009. Influence of environment on growing period and yield: protein, oil and alpha-linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Industrial Crops and Products* 30:321-324.

Ayerza, R. y W. Coates. 2006. Chia: redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas. [En línea]. Buenos Aires, Argentina: Del Nuevo Extremo. 232p. Recuperado en: <<http://books.google.cl/books?id=CwL16F7ef7YC&pg=PA105&lpg=PA105&dq=caracteristicas+morfologicas+salvia+hispanica&source=bl&ots=ihcJDICWZy&sig=TJengPK2UvuhmIOL9HGmEYNM&hl=es#v=onepage&q=caracteristicas%20morfologicas%20salvia%20hispanica&f=false>> . Consultado el: 30 de abril de 2015.

Ayerza, R.; W. Coates and M. Lauria. 2002. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as an ω -3 Fatty Acid Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Cholesterol and Fat Content of White and Dark Meats, Growth Performance, and Sensory characteristics. *Poultry Science*, 81: 826–837.

Baginsky C; J. Arenas; H. Escobar; M. Garrido; N. Valero; D. Tello et al. 2015. Effect of latitude and sowing date on the yield of *Salvia hispanica* L., in desert and temperate Mediterranean zones of Chile. Submitted to *Industrial Crops and Products*.

Bochicchio, R.; TD. Philips; S. Lovelli; R. Labella; F. Galgano; A. Di Marisco et al. 2015. Innovative crop productions for healthy food: the case of chia (*Salvia hispanica* L.). In: A. Vastola (Ed.), *The sustainability of agro-food and natural resource systems in the Mediterranean basin*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany, pp 29-45.

Coates, W. and R. Ayerza. 1998. Commercial production of chia in northwestern Argentina. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75 (10), 1417–1420.

Coates, W. 2011. Whole and ground chía (*Salvia hispanica* L.) seeds, chía oil e effects on

plasma lipids and fatty acids. (Cap 37, pp 309 – 315). In: Preedy, V.; R. Watson and V. Patel (eds). Nuts and seeds in health and disease prevention. Londres, Gran Bretaña: Academic press 1226p.

Corell, M.; M. García; F. Ortega y P. Cermeño. 2009. Estrategias de aclimatación a situaciones de déficit hídrico en salvias. (pp. 764–767). En: Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas (6(, 25 a 29 de mayo de 2009, La Rioja, España).

De Almeida, M.; C. Moura; C. Labate; S. Guidetti-Gonzalez; J. De Santana; L. Ferreira et al. 2012. Chapter 6: Breeding for Water Use Efficiency. (cap.). En: Fritsche-Neto, R and A. Borém. Plant breeding for abiotic stress tolerance. 176p.

Di Sapia, O.; M. Bueno; H. Busilacchi; M. Quiroga y C. Severin. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de Salvia hispánica. Boletín Latinoamericano del Caribe de Plantas Medicinales Aromáticas. 11(3):249 – 268.

Dorji, K.; M. Behboudian and J. Zegbe-Dominguez. 2005. Water relations. Growth. Yield and fruit quality of ho pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. Scientia Horticulturae 104:137-149.

Eck, H.; A. Mathers and J. Musick. 1987. Plant water stress at various stages and growth and yield of soybeans. Field Crops Research. 17:1-16

FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. Evaporación del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. 298p.

Fereres E.; F. Orgaz and V. Gonzalez-Dugo. 2011. Reflections on food security under water scarcity. ES Journal of Experimental botany. 62(12):4079-4086 p.

Gechev, T. S.; F. Van Breusegem; J. Stone; I. Denev and C. Laloi. 2006. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. Bioessays 28, 1091–1101.

Hsiao, T.; P. Steduto and E. Fereres. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. Irrigation Sciences 25:209-231.

- Hsiao, T. and L-K. Xu. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51, 1596-1616.
- Jury, W. and H. Vaux. 2005. The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:15715-15720.
- Lobo, R.; G. Alcocer; J. Fuentes; W. Rodriguez; M. Morandini y M. Devani. 2011. Desarrollo del cultivo de chía en Tucuman, República Argentina. *Avance Agroindustrial* 32 (4): 27 – 30.
- Luzio, W.; M. Casanova y O. Seguel. 2010. *Suelos de Chile*. Luzio W. (Editor). Universidad de Chile. 346 p.
- Medrano, H.; J. Bota; C. Llompart; J. Flexas y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*, ISSN 0213-4691, N° 43: 63-84.
- Medrano, H.; M. Tomás; S. Martorell; J. Flexas; E. Hernández; J. Roselló et al. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency(WUE) in complex canopies. Limitations of leaf WUE as a selection target. *CropJ.* 3 (3), 220–228.
- Orozco, G. 1993. Evaluación de herbicidas para el control de malezas en chía (*Salvia hispánica* L.) en condiciones de temporal, en Agatic, Jal. Tesis Ingeniero Agrónomo. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. 92h.
- Philipp, D.; V. Allen; J. Lascano; C. Brown and D. Wester. 2007. Production and water use efficiency of three old world bluestems. *Crop Science* 47:787-794.
- Postel S. 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological Applications* 10:941-948.
- Pozo, S. 2010. Alternativas para el control químico de malezas anuales en el cultivo de la Chía (*Salvia hispánica*) en la granja ECAA, provincia de Imbabura, memoria de título. Ingeniero Agropecuario. Ibarra, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ciencias agrícolas y ambientales E.C.A.A. Ibarra. 113 h.
- Ramírez, J.; R. Rosado; R. Castellanos y G. Chel. 2012. Potencial productivo para el cultivo de chía (*Salvia hispanica* L.) en México y calidad del aceite Extraído. *Rev. Fac. Ing. Quím.* 52:32-36

Rovati, A.; E. Escobar y C. Prado. 2012. Metodología alternativa para evaluar la calidad de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.). en Tucumán, R. Argentina. EEAOC – Avance Agroindustrial, 33(3): 44-46.

Schürch, C. 2006. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento sobre la morfología y rendimiento de tres genotipos de trigo en la provincia del Bio-Bio. [En línea]. Tesis Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. 44p. Recuperado en: <<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fas394e/doc/fas394e.pdf>> Consultado el: 25 de junio de 2013.

Singh R. Van Dam, J. and R. Feddes. 2005. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agricultural water management* 25 :241-249.

Steduto, P. and T. Hsiao. 2007. On the conservative behavior of biomass waterproductivity. *Irrig. Sci.* 25, 189–207.

Taisheng D.; S. Kang; J. Zhang and L. Fusheng. 2008. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China. *Irrigation Science* 26:147-159.

Uribe, J.; R. Cabrera; A. De la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Santiago: Adros impresores. 228 p.

Valenzuela, A. y R. Uauy. 2005. Funciones biológicas y metabolismo de los ácidos grasos esenciales y de sus derivados activos. En: Gil A., editor. Tratado de nutrición. Madrid: Acción Médica; 2005 (1): 429-450.

Van Halsema, G. and L. Vincent. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*, 108, 9– 15.

Weber, C.; H. Gentry; E. Kohlhepp and P. McCrohan. (1991). The nutritional and chemical evaluation of chia seeds. *Ecology of Food and Nutrition* 26:119-125.

Zegbe-Dominguez J.; M. Behboudian and B. Clothier. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management* 68:195-206.

ANEXOS

ANEXO I. Resultados Análisis de suelo

Identificación Cuartel	:	N° 1	N° 2
Profundidad muestreo(cm)	:	0-20 cm.	20-40 cm.
N° de Laboratorio	:	158701	158702
Fertilidad			
pH	(agua, relación 1:2,5)	1:2,5	6,9 Neutro
C.Eléctrica	(en extracto)	dS/m	3,2 Lev.Salino
Materia orgánica		%	0,86 Sin Problema
Nitrógeno disponible	(N)	mg/kg	1,1 Bajo
Fósforo disponible	(P)	mg/kg	0,51 Bajo
Potasio disponible	(K)	mg/kg	30 Medio
			27 Adecuado
			9 Bajo
			167 Adecuado
			106 Medio

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

ANEXO II. Resultados Análisis de agua

Identificación muestra	:	Muestra De Agua	Interpretación para Riego		
			Nch1333	Agrónomico	
			Limite máx	Riesgo de uso	
N° de Laboratorio	:	29955	(1)	Ninguno	Alto
pH		7,98	5,5 - 9,0	6,5 - 8,4	
C.Eléctrica	dS/m	0,91	(3)	< 0,75	> 3,0
RAS corregida (Relación Adsorción Sodio)		2,0		< 6,0	> 9,0
Sodio porcentual	(Na) %	32,3	35		
Dureza	(CaCO3) mg/l	310		< 140	> 320
Cationes y aniones (meq/l)					
Calcio	(Ca) meq/l	4,2			
Magnesio	(Mg) meq/l	2,0			
Potasio	(K) meq/l	0,10			
Sodio	(Na) meq/l	3,0		< 3,0	> 9,0
Cloruro	(Cl) meq/l	1,4		< 4,0	> 10,0
Sulfato	(SO4) meq/l	6,5			
Bicarbonato	(HCO3) meq/l	1,2		< 1,5	> 8,5
Cationes y aniones (mg/l)					
Calcio	(Ca) mg/l	84			
Magnesio	(Mg) mg/l	24			
Potasio	(K) mg/l	4			
Sodio	(Na) mg/l	69		< 70	> 200
Cloruro	(Cl) mg/l	50	200	< 140	> 350
Sulfato	(SO4) mg/l	312	250		
Bicarbonato	(HCO3) mg/l	73		< 90	> 500
Otras determinaciones					
N-Amoniacal	(NNH4) mg/l	1,6			
N-Nitrico	(NNO3) mg/l	2,1			
Fósforo	(P) mg/l	0,04			
Boro	(B) mg/l	0,67	0,75	< 0,5	> 2,0
Cobre	(Cu) mg/l	< 0,01	0,20		0,20
Hierro	(Fe) mg/l	0,03	5,00		
Manganeso	(Mn) mg/l	< 0,01	0,20		0,20
Zinc	(Zn) mg/l	0,06	2,00		2,00

(1) Norma NCh1333 Of78 Modificada1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes Usos. Parte 6: Requisitos del agua para riego.

(2) Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada elemento. En el caso de RAS, la autoridad competente debe establecerla en cada caso específico. Los elementos que figuran sin valor no se encuentran regulados en la norma.

(3) Clasificación del agua para riego según su salinidad de acuerdo a la norma NCh1333.

N° Lab. 29955 : Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles

APENDICES

APENDICE I. Valores de agua aplicada para cada tratamiento ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

DDS	100%	70%	40%
	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$		
1	0	0	0
6	240,3	253,5	266,2
31	1123,2	1119,6	1127,4
58	1557,5	1574,8	1588,9
87	2717,2	2046,2	1889,9
115	3833,2	2487,6	2106,3
152	4102,9	2591,6	2146,1

APENDICE II. Temperatura promedio, Evapotranspiración de referencia (ET_0) y Humedad relativa (HR) durante el período de cultivo

Mes	T_{promedio} ($^{\circ}\text{C}$)	ET_0 (mm)	HR (%)
Enero	18.4	151.8	72.8
Febrero	17.5	117.4	75.8
Marzo	15.1	91.6	81.7
Abril	13.2	61.79	81.1
Mayo	11.9	52.79	83.7
Junio	10.3	37.2	82.3

APENDICE III. Fertilización aplicada para la superficie experimental

Producto aplicado		
20	kg	Fosfato Mono Amónico
18	kg	Sulfato de Potasio

Parcialización en Fertirriego		
4	kg	Fosfato Mono Amónico
3,6	kg	Sulfato de Potasio
40	lt	Agua

Dosis por Tratamiento		
1,33	kg	Fosfato Mono Amónico
1,2	kg	Sulfato de Potasio
13,3	lt	Agua

Realizado a los 45, 52, 60, 67 y 74 días después de siembra.

APENDICE IV. Fertilización aplicada en valores kg ha⁻¹

Producto aplicado		
308,6	kg	Fosfato Mono Amónico
277,7	kg	Sulfato de Potasio

Parcialización en Fertirriego		
61,7	kg	Fosfato Mono Amónico
55,5	kg	Sulfato de Potasio
617,3	lt	Agua

Dosis por Tratamiento		
20,6	kg	Fosfato Mono Amónico
18,5	kg	Sulfato de Potasio
205,8	lt	Agua

APENDICE V. Altura de plantas registrada para cada tratamiento.

Tratamiento	43 dds	58 dds	76 dds	89 dds	118 dds	131 dds
	(cm)					
T1	20,00 a	45,61 a	94,80 b	125,19 d	130,46 c	128,96 b
T2	37,40 d	48,98 a	93,10 b	117,43 cd	126,63 c	131,66 b
T3	34,74 cd	59,26 b	94,51 b	113,97 bc	123,51bc	129,67 b
T4	22,50 ab	52,89 ab	80,94 a	104,58 b	113,66 b	119,52 b
T5	29,19 bc	46,00 a	72,28 a	84,59 a	88,63 a	95,54 a
T6	22,41 ab	45,44 a	78,77 a	86,47 a	84,31 a	86,19 a

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

APENDICE VI. Biomasa seca aérea total.

Tratamiento	43 dds	58 dds	76 dds	89 dds	118 dds	131 dds	152 dds
	(kg ha ⁻¹)						
T1	677,2 a	1.287,8 a	3.826,0 a	5.917,8 a	8.409,4 ab	7.412,0 a	5.753,4 a
T2	268,6 a	1.135,6 a	3.925,2 a	6.087,7 a	8.535,5 a	8.331,5 a	5.294,7 a
T3	668,9 a	1.730,6 a	4.062,3 a	6.435,5 a	8.081,2 abc	7.886,0 a	5.163,5 a
T4	650,6 a	1.298,5 a	2.533,3 a	5.017,3 a	6.911,8 abc	6.052,4 a	5.215,3 a
T5	654,3 a	1.394,1 a	2.833,8 a	4.524,8 a	4.947,3 bc	4.763,7 a	3.379,1 a
T6	307,3 a	1.155,8 a	290,3 a	4.389,8 a	4.595,7 c	4.448,8 a	3.626,2 a

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