

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

**Memoria de Título**

**EFECTO DE LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS SOBRE EL RENDIMIENTO EN  
CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN LA REGIÓN METROPOLITANA.**

**DIANE BLANCA ELOÍSA VILLEGAS ROJAS**

**SANTIAGO - CHILE**

**2013**

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

**Memoria de Título**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS SOBRE EL RENDIMIENTO EN  
CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN LA REGIÓN METROPOLITANA.**

**EFFECT OF HERBICIDE APPLICATIONS ON YIELD IN CHIA  
(*Salvia hispanica* L.) IN THE METROPOLITAN REGION.**

**DIANE BLANCA ELOÍSA VILLEGAS ROJAS**

**SANTIAGO - CHILE**

**2013**

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

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS SOBRE EL RENDIMIENTO EN  
CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN LA REGIÓN METROPOLITANA.**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera Agrónoma

**DIANE BLANCA ELOÍSA VILLEGAS ROJAS**

	Calificaciones
Profesores Guía Cecilia Baginsky G., Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,4
M. Verónica Díaz M., Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,3
Profesores Evaluadores Paola Silva C., Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.Dr.	6,0
Jorge Pérez Q., Ingeniero Agrónomo, M.S.Ph.D.	7,0
Colaborador Herman Silva R., Profesor de Biología y Ciencias, Mg.Sc.Dr.	

SANTIAGO - CHILE

2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Al final de este largo proceso de elaboración de mi memoria de título hay muchas personas a quienes agradecer, porque cada una de aquellas que me rodean, han aportado con grandes y pequeños, valiosos granitos que conforman este trabajo.

En especial quisiera agradecer a mis Profesoras Guías, Verónica Díaz y Cecilia Baginsky, quienes me han ayudado a dirigir este trabajo con mucha paciencia y disposición.

Al profesor Herman Silva, quien ha sido un pilar fundamental en todo este proceso y a quien agradezco enormemente toda su dedicación, máximo apoyo y confianza.

A la empresa Benexia quien ha colaborado con el financiamiento este trabajo.

Agradecer a mis amigas(os) por los consejos y el ánimo otorgado.

A mi familia y pareja, muchas gracias por todo el amor que me entregan día a día.

## ÍNDICE

RESUMEN	1
Palabras clave	1
ABSTRACT	2
Key words	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis y objetivos	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Materiales	6
Lugar del Estudio	6
Material vegetal	6
Herbicidas utilizados y características	6
Método	7
Tratamientos y Diseño experimental	7
Establecimiento del cultivo	9
Aplicación de herbicidas	9
Riego	9
Fertilización	10
Evaluaciones	10
Evaluaciones de estados de desarrollo	10
Evaluaciones de fitotoxicidad en el cultivo	10
Evaluaciones de control de malezas	11
Evaluaciones a cosecha	11
Análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Evaluaciones de estados de desarrollo	13
Evaluaciones de fitotoxicidad en el cultivo	15
Porcentaje de emergencia	15
Altura de la planta	17
Daño visual	18
Evaluaciones de control de malezas	21
Evaluaciones a cosecha	26
Parámetros de crecimiento	26
Parámetros de rendimiento	29
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
ANEXO Y APÉNDICE	39

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la tolerancia y efectividad de distintos herbicidas sobre el rendimiento en chíá (*Salvia hispanica* L.) se realizó un estudio en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile durante la temporada verano-otoño 2010-2011.

Se evaluaron seis tratamientos herbicidas; Metalocloro y Trifluralina aplicados en pre-siembra incorporados (en dosis de 1,04 y 2,5 L·ha<sup>-1</sup>), Linurón y Pendimethalin aplicados en pre-emergencia (en dosis de 1,4 kg·ha<sup>-1</sup> y 3,03L·ha<sup>-1</sup>) y Bentazón y Quizalofop-p-ethyl aplicados en post emergencia (en dosis de 1,2 kg·ha<sup>-1</sup> y 0,129 L·ha<sup>-1</sup>), más un tratamiento Testigo (sin aplicación y desmalezado manualmente) y un tratamiento Sin Control (con malezas durante todo el desarrollo del cultivo). Los 8 tratamientos fueron dispuestos en bloques completos al azar con 5 repeticiones y la unidad experimental fue una parcela de 12 m<sup>2</sup>.

Durante el desarrollo del cultivo se determinaron los días a los distintos estados fenológicos, además se evaluó la toxicidad producto de la aplicación de herbicidas en términos de emergencia, altura y daño visual (15, 30, 45 y 60 días después de la emergencia). La efectividad de los herbicidas sobre las malezas presentes se evaluó mediante el uso de un cuadrante de 25 cm por lado para determinar densidad y dominancia de malezas sobre el cultivo, considerando solo aquellas de hoja ancha. Finalmente a la cosecha se evaluó el crecimiento del cultivo (altura, número de ramificaciones, número de nudos) y el rendimiento en Kg·ha<sup>-1</sup> de granos.

No se observó un efecto sobre la duración de los estados de desarrollo en el ensayo frente a la aplicación de los productos químicos. Los herbicidas de pre-siembra y pre-emergencia lograron buen control de malezas, excepto Metalocloro; no obstante, afectaron la emergencia del cultivo. Los herbicidas de post emergencia, Bentazón y Quizalofop-p-ethyl, no controlaron eficientemente las malezas y provocaron daños visuales como clorosis y necrosis en meristema apical, respectivamente; sin embargo, ninguno causó la muerte de las plantas.

Se concluye que Trifluralina y Linurón resultan ser herbicidas efectivos en el control de malezas y provocan menor toxicidad al cultivo, no afectando su rendimiento en grano.

**Palabras claves:** toxicidad, Metalocloro, Trifluralina, Linurón, Pendimethalin, Bentazón, Quizalofop-p-ethyl.

## ABSTRACT

In order to evaluate the tolerancy and efficacy of different herbicides about the yield chía (*Salvia hispanica* L.) a study was performed in Antumapu Experimental Station of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Chile during the summer-autumn season 2010 -2011.

Six herbicide treatments were evaluated; Metolachlor and Trifluralin applied preplant incorporated (with doses of 1,04 and 2,5 L•ha<sup>-1</sup>), Linurón and Pendimethalin applied pre-emergence (with a dose of 1,4 kg•ha<sup>-1</sup> and 3,03 L•ha<sup>-1</sup>) and Bentazón and Quizalofop-p-etyl applied in post emergence (with a dose of 1,2 kg•ha<sup>-1</sup> and 0,129 L•ha<sup>-1</sup>) plus a Control treatment (without application and hand weeding) and No Control treatment (with weeds throughout the growing season). The 8 treatments were arranged in a randomized complete block with 5 replications, and the experimental unit was a plot of 12 m<sup>2</sup>.

During the crop development, the days of different growth stages were determined, also was evaluated the toxicity resulting from the application of herbicides in terms of emergence, height and visual impairment (15, 30, 45 and 60 days after emergence). The effectiveness of herbicides on the present weeds was evaluated using a quadrant of 25 cm per side to determine density and dominance of weeds on the crop, considering only those broadleaves. Finally at harvest was evaluated crop growth (height, number of branches, number of nodes) and performance in kg • ha<sup>-1</sup> of grain.

There was no effect on the duration of the stages of development in the test compared to the application of chemicals. Herbicides pre-plant and pre-emergence keep weed controlled except Metolachlor, however, affected the emergency, reducing the number of plants established. Postemergence herbicides, bentazone and Quizalofop-p-ethyl, could not effectively control weeds and caused visual damage as chlorosis and apical meristem necrosis, respectively, but none killed plants.

Finally was concluded that Trifluralina and Linurón proved to be more effective in weed control and cause less toxicity to the crop, no affect grain yield.

**Key words:** toxicity, Metolachlor, Trifluralin, Linurón, Pendimethalin, Bentazón, Quizalofop-p-etyl

## INTRODUCCIÓN

Frente al creciente interés en el consumo de alimentos sanos, inocuos, que sean benéficos para la salud de las personas y además que tengan una acción preventiva contra enfermedades, se ha incentivado al estudio de distintas especies de cultivos que ofrezcan estas características al incluirlos en la alimentación diaria (Araya y Lutz, 2003). Dentro de estas especies se encuentra la chía (*Salvia hispanica* L.), la cual destaca porque es la especie vegetal que junto con el Lino, produce a nivel de semilla el mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados del tipo Omega 3 (alfa-linolénico) y 6 (alfa-linolénico), no sintetizados por el hombre y de comprobado valor nutricional y funcional para la salud humana (Ayerza *et al.*, 2002) sin dejar de lado su elevado contenido de fibra dietaria, proteínas y antioxidantes. Esta especie, perteneciente a la familia de las Lamiaceae, proviene de culturas precolombinas, quienes la consideraban como uno de sus principales alimentos de su dieta, junto al amaranto, poroto y maíz (Ayerza y Coates, 2006).

En Chile existe un fuerte déficit nutricional de ácidos grasos Omega 3, ya que en la dieta los aceites que se consumen son muy pobres en estos nutrientes esenciales (Valenzuela y Uauy, 2005). Por lo tanto, la introducción y adaptación de la chía a nuestro país, es un gran desafío como una fuente potencial de Omega 3 no solo para uso nutricional y médico, sino también, para alimentación animal (Salazar *et al.*, 2009). Inclusive su introducción permitiría ampliar la diversificación de la agricultura nacional tal como se ha implementado en países como Bolivia y Argentina (Coates y Ayerza, 1996). Pese a su importancia, existen escasos antecedentes respecto al manejo agronómico del cultivo dado que las principales investigaciones han sido orientadas al valor nutricional y funcional que poseen sus semillas y a la descripción botánica y morfológica de la especie.

A nivel morfológico esta planta está compuesta por un tallo principal de 1 a 1,5 m de altura y tallos ramificados de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Sus hojas son opuestas con bordes aserrados de 8-10 cm de largo y de 4-6 cm de ancho. Las flores son hermafroditas, de color púrpura o blanco, pedunculadas, reunidas en grupos de seis o más, en verticilos sobre el raquis de la inflorescencia (Ixtaina, 2010). La floración de la especie ocurre con el acortamiento de los días, y se indica que es una especie alógama y de polinización principalmente entomófila, dado que su autopolinización se ve dificultada por la posición de los órganos sexuales y por presentar protoandria (Mann 1959, citado por Hernández 1989). Su fruto es un esquizocarpo, que a la madurez, se separa en cuatro frutos individuales dentro del cáliz. La semilla de chía es muy pequeña, pues mide apenas unos 2 mm de largo y 1,5 mm de ancho (Hernández, 1989).

La chía *Salvia hispanica* L., es una planta herbácea anual, que cumple su desarrollo durante el periodo estival, no soportando heladas en ninguna etapa de su desarrollo, especialmente durante floración. Se indica que el rango de temperatura adecuada para el cultivo varíe entre los 14 y los 20 °C, requiere una precipitación de 250 a 300 mm, una

altitud entre 0 a 2600 m.s.n.m, suelos ligeros a medios, bien drenados y bien mullidos, un pH que fluctúe entre 6,5 – 7,5 (Rocca 2008, citado por Pozo, 2010).

Se señala que uno de los principales problemas que presentan las plantas de chía ha sido representado por la baja capacidad competitiva que tiene el cultivo con las malezas durante los primeros estados de desarrollo, debido a su lento crecimiento inicial lo que se traduce en una baja capacidad de cubrimiento del suelo (González *et al.*, 1996). Ensayos realizados en México, indican que cuando las malezas compiten con el cultivo durante periodos prolongados, el rendimiento se reduce hasta un 90%, lo que demuestra lo necesario de realizar un control de malezas durante el periodo crítico de interferencia (Hernández, 1989), definiéndose este como el momento en que el cultivo debe estar limpio de malezas si se quieren lograr los máximos rendimientos (Doll, 1996). En la mayoría de los cultivos corresponde a las primeras fases del crecimiento y específicamente en chía su periodo crítico de interferencia corresponde a los primeros 45 días post emergencia (Ayerza y Coates, 2006).

El control químico de malezas en el cultivo chía tiene dificultades específicas descritas por Coates y Ayerza (1998) ya que la especie es muy sensible a los herbicidas de uso común empleados para el control de malezas de hoja ancha y/o angosta, pues estos dañan fuertemente a la planta, lo que ha obligado a los productores a utilizar el control mecánico de malezas llevándose a cabo varias limpiezas durante la temporada de crecimiento. Este hecho además ha obligado a utilizar densidades de plantas bastante mayores a las óptimas para el cultivo (sobre todo disminuyendo la distancia entre hilera).

Pozo (2010) evaluó algunas alternativas para el control químico de malezas anuales en el cultivo de chía para la provincia de Imbabura (Ecuador) para lo cual utilizó el herbicida Sencor (Metribuzin) en pre-emergencia y Verdict (Haloxifop-R metil ester) en post-emergencia, resultando ambos buenos controlando las malezas del ensayo pero tóxicos para el cultivo al provocar muerte de plantas post aplicaciones.

Hartley (1993) estudió la tolerancia a herbicidas en varias plantas aromáticas tales como la *Mentha piperita*, *Mentha smithiana*, *Melissa officinalis*, *Origanum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Thymus vulgare*; donde Pendimethalin y Trifluralina, mostraron un control efectivo de las malezas sin causar fitotoxicidad. Además se indica que se puede utilizar en *Salvia officinalis* el herbicida bentazón sin peligro de toxicidad (Espaillat *et al.*, 1993). Sin embargo no hay herbicidas registrados posibles de utilizar específicamente en el cultivo de la chía, en nuestro país.

La presencia de malezas en el cultivo va en desmedro de la calidad y pureza del material comercializable. Coates y Ayerza (1998) atribuyen el porcentaje de impurezas dentro de una muestra de chía (4,5-39%) a la dificultad para la limpieza debido a lo pequeño de su semilla, a las condiciones de cosecha y a las malezas presentes en los cultivos. En Rosario, Argentina se ha encontrado lotes de variada pureza dentro de lo que destacan lotes en que hay sobre un 5% de impurezas, otros de 80% de impurezas atribuible a la presencia de semillas de otras especias o por una sustitución total del material por otro (Bueno *et al.*, 2010).

De acuerdo a lo indicado anteriormente, y con el objetivo de controlar eficazmente las malezas presentes en el cultivo de chíá, se planteó realizar un estudio en la zona central de Chile, tendiente a evaluar herbicidas que logren contrarrestar la competencia provocada por las malezas durante el periodo crítico de interferencia, sin que estos productos dañen al cultivo y que finalmente se pueda lograr un material de calidad. En base a ello se planteó lo siguiente:

Hipótesis:

Existe al menos un herbicida que no cause toxicidad al cultivo de la chíá, potenciando su rendimiento en grano.

Objetivo General:

Evaluar el efecto de seis herbicidas (Metalcloro, Trifluralina, Linurón, Pendimethalin, Bentazón y Quizalofop-p-etyl) en el rendimiento de chíá.

Objetivos específicos:

- 1.- Evaluar la tolerancia de la chíá frente a los distintos herbicidas.
- 2.- Determinar la efectividad de los herbicidas sobre las especies de malezas predominantes en el cultivo de la chíá
- 3.- Evaluar el efecto de los distintos herbicidas sobre el rendimiento en chíá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

#### Lugar del Estudio.

El ensayo se realizó durante la temporada 2010-2011 en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la Región Metropolitana, Comuna de la Pintana. Éste se encuentra entre el paralelo 33° 40' Latitud Sur y 70° 38' Longitud Oeste, a 420 msnm. El clima correspondiente a esta localidad, según la clasificación climática de Köeppen, es templado cálido con estación seca prolongada de 7 a 8 meses. La precipitación anual es de 278 mm 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). Los suelos de Antumapu son de origen aluvial, perteneciente a la serie Santiago (CIREN, 1996), y según análisis químico posee un pH de 7,31 y un 2,17% de materia orgánica (Anexo I).

#### Material Vegetal

El material biológico utilizado correspondió a semillas de chíá provenientes de la empresa Benexia, lote CF3.14.9, producida en Santa Cruz, Bolivia.

#### Herbicidas utilizados y características

El ensayo contempló la aplicación de seis herbicidas: dos de pre-siembra incorporados, dos de pre-emergencia y finalmente dos de post-emergencia. En el Cuadro 1, se especifica cada uno de ellos y sus principales características.

Cuadro 1: Características de los herbicidas utilizados en el ensayo.

Producto Comercial	Ingrediente activo	Grupo Químico	Acción	Momento de aplicación
Dual Gold 960 EC	Metalocloro	Cloroacetamidas	Suelo-activo	Pre-siembra
Treflan	Trifluralina	Dinitroanilinas	Suelo-activo	Pre-siembra
Linurex 50 SC	Linurón	Ureas sustituidas	Suelo-Activo	Pre-emergencia
Herbadox 45 CS	Pendimethalin	Dinitroanilinas	Suelo-Activo	Pre-emergencia
Basagran	Bentazón	Benzotiadiazina	Contacto, selectivo	Post-emergencia
Assure Plus	Quizalofop-p-ethyl	Fenoxi propiónicos	Sistémico, selectivo	Post-emergencia

FUENTE: AFIPA 2010

Trifluralina y Pendimethalin, pertenecen al grupo químico de las dinitroanilinas y se caracterizan porque actúan inhibiendo la división celular; se absorben fácilmente por las raíces de las plántulas en germinación e inhiben el crecimiento de la raíz, a la vez que interfieren con la mitosis. Las plantas desarrollan un abultamiento en el ápice de las raíces. La falta de desarrollo radical conduce a la muerte (Labrada *et al.*, 1996)<sup>1</sup>.

Metalocloro, pertenece al grupo de las cloroacetamidas y actúa como inhibidor de la división celular. En plántulas dicotiledóneas en germinación detiene la actividad meristemática en el ápice de raíces y tallos, y en gramíneas inhibe la emergencia de hojas a partir de la vaina foliar, de esta manera las malezas no logran emerger<sup>2</sup>.

Linurón, pertenece al grupo de las ureas sustituidas, actúa como inhibidor del fotosistema II, bloqueando el transporte de electrones mediante la interacción con un polipéptido en la membrana de los cloroplastos<sup>3</sup>.

Bentazón es un herbicida de contacto pertenece a la familia de los benzotiadiazoles el cual actúa inhibiendo la fotosíntesis, requiere para un óptimo efecto un completo cubrimiento de la planta<sup>4</sup>.

Quizalofop-p-ethyl, graminicida sistémico perteneciente al grupo de los ariloxifenoxipropiónico, ejerce su acción sobre los meristemas inhibiendo la biosíntesis de los ácidos alifáticos<sup>5</sup>.

## Método

### Tratamientos y Diseño Experimental

El ensayo contempló ocho tratamientos, constituidos por los seis herbicidas nombrados anteriormente, un testigo sin aplicación de herbicida, el cual se mantuvo con limpiezas semanales desde la siembra hasta la cosecha del cultivo y un tratamiento Sin Control en el cual no se aplicó herbicidas y no se controlaron las malezas durante todo su ciclo de desarrollo.

En el Cuadro 2 se indican los tratamientos utilizados, las dosis para cada tratamiento y su momento de aplicación.

---

<sup>1</sup> Labrada, R.; J.C. Caseley y C. Parker. 1996. Herbicidas: Caracterización de los principales grupos de herbicidas. (cap. 10, s.p). En su: Manejo de malezas para países en desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal-120). [En línea] Roma, Italia: FAO Plant Production and Protection Papers. Recuperado en: <<http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>> Consultado el: 15 de junio de 2012.

<sup>2</sup> Loc. Cit.

<sup>3</sup> Loc. Cit.

<sup>4</sup> Loc. Cit.

<sup>5</sup> Loc. Cit.

Cuadro 2. Tratamientos de herbicidas para el cultivo de chía.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis (Lt i.a./ha)	Momento de aplicación
Testigo	Sin aplicación	-	-
T1	Metalocloro	1,04	Pre-siembra
T2	Trifluralina	2,50	Pre-siembra
T3	Linurón	1,40*	Pre-emergencia
T4	Pendimethalin	3,03	Pre-emergencia
T5	Bentazón	1,20*	Post-emergencia
T6	Quizalofop-p-etyl	0,13	Post-emergencia
Sin Control	Sin aplicación	-	-

\* kg i.a/ha.

El ensayo se llevó a cabo a través de un diseño de Bloques Completos al Azar contemplando un total de 5 repeticiones. La unidad experimental correspondió a una parcela de 12 m<sup>2</sup> en la cual se establecieron 7 hileras de plantas de 5 metros de largo cada una, distanciadas a 40 cm, como se muestra en la Figura 1.

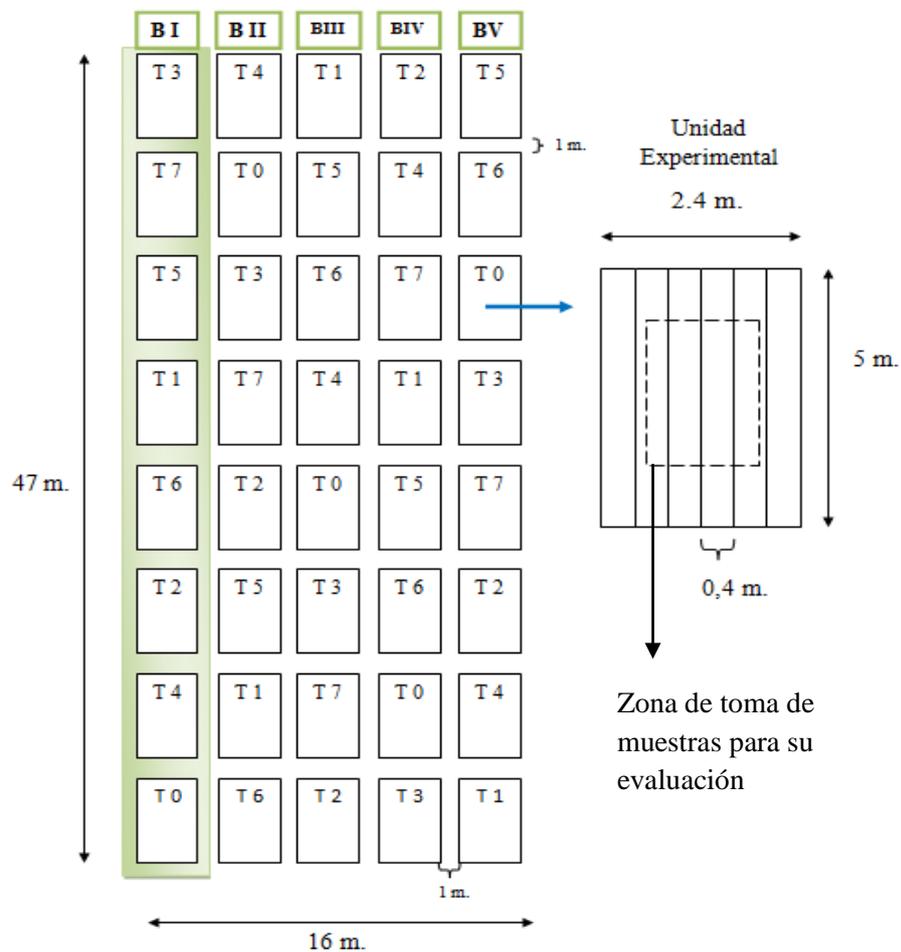


Figura 1: Distribución en terreno y dimensiones del ensayo.

### **Establecimiento del cultivo**

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

El cultivo se sembró el 22 de diciembre, sobre un suelo mullido, libre de terrones, y friable. Para ello, el suelo fue previamente regado y posteriormente se preparó en base a dos rastrajes afinando la cama de semillas con un motocultor, de modo de obtener un suelo apropiado para la siembra, dado lo pequeña que es la semilla (1-2 mm).

La siembra se realizó con una sembradora manual adaptada dado el bajo calibre de la semilla, dosificando finalmente  $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Con el objeto de obtener una densidad de  $50 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ , se realizó un raleo de plantas cuando éstas alcanzaron una altura de aproximadamente 10 cm.

### **Aplicación de herbicidas**

La aplicación de los herbicidas para cada tratamiento y repetición se realizó en forma paralela a las hileras del cultivo con una máquina de espalda, con tres boquillas de abanico plano (8001) y volumen de aspersión de agua de  $180 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Con el objeto de evitar la deriva de los herbicidas a las parcelas adyacentes se dejó una distancia de un metro entre cada parcela y además durante la aplicación se usaron barreras físicas de modo de evitar el traslape de los tratamientos.

Los herbicidas de presembrado incorporados (Metalocloro y Trifluralina), se aplicaron momentos antes de la siembra y fueron incorporados con rastrillo. Por otra parte, Linurón y Pendimethalin, se aplicaron en pre emergencia inmediatamente realizada la siembra y finalmente, Bentazón y Quizalofop-p-etyl fueron aplicados en post emergencia a los 25 y 28 días después de la emergencia, respectivamente.

Las malezas que no fueron controladas por los respectivos tratamientos con aplicación de herbicidas fueron eliminadas de forma manual a los 35 días luego de la emergencia.

### **Riego**

El riego del cultivo se realizó por cinta, el cual consistió en una línea de goteros, con un caudal de  $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$  para cada hilera de plantas. El primer riego se realizó hasta que el bulbo de mojamiento logró juntarse en la entre hilera y así diariamente durante la primera semana. Posteriormente se realizaron riegos 3 veces por semana de una duración de media hora por bloque durante los meses de temperaturas altas (Enero y Febrero) para luego disminuir la frecuencia a una vez por semana. La frecuencia de riego se determinó mediante el análisis visual de la superficie y la humedad en profundidad, mediante el tacto de muestras tomadas con barreno a una profundidad de aproximadamente 20 cm en distintas partes del sitio experimental.

## **Fertilización**

La fertilización nitrogenada del cultivo se realizó en base al análisis de suelo y los antecedentes que existen 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). Sin embargo no se sabe con precisión sobre los requerimientos de fertilización del cultivo. En base a lo anterior se aplicó urea en una sola dosis de 35 Kg N·ha<sup>-1</sup> a los 15 días luego de la emergencia. El fertilizante se distribuyó en forma manual en la entre-hilera y posteriormente se realizó un riego.

## **Evaluaciones**

Todas las mediciones se realizaron en las tres hileras centrales de cada unidad experimental, con el objeto de eliminar el efecto borde. En la Figura 1 se muestra un esquema de esta área.

De acuerdo a los objetivos planteados se realizaron las siguientes evaluaciones:

### **Evaluaciones de estados de desarrollo.**

Se llevó un registro de días desde siembra a los siguientes estados de desarrollo.

- Emergencia
- Inicio de emisión de inflorescencias.
- Inicio de crecimiento de grano.
- Cosecha.

El estado de desarrollo quedó registrado cuando el 50% de las plantas de cada unidad experimental lo presentó. Para ello se realizaron observaciones semanales de las unidades experimentales.

### **Evaluaciones de fitotoxicidad en el cultivo**

Se realizaron tres evaluaciones de fitotoxicidad determinadas por:

- a) Porcentaje de emergencia. Se determinó a los 10 días luego de la siembra, evaluándose el número de plantas establecidas en dos hileras de 1 metro lineal cada una. En aquellos tratamientos que contemplaron la aplicación de herbicidas de post emergencia se realizó un nuevo recuento siete días después de la aplicación. A estas mismas plantas se les evaluaron los parámetros de altura y daño visible.

b) Altura. Se evaluó la altura de las plantas a los 15, 30, 45 y 60 días post emergencia. Las mediciones fueron realizadas desde el cuello de las plantas hasta el ápice de la rama principal a 10 plantas.

c) Daño visual. Se identificaron los daños físicos que presentaron las plantas mediante observaciones a los 15, 30, 45 y 60 días de la emergencia del cultivo. Para lo cual se contabilizaron las plantas dañadas dentro del área de un metro cuadrado y se determinó su porcentaje.

### **Evaluaciones de control de malezas**

Para cada unidad experimental se evaluaron las malezas presentes a los 20 y 35 días después la siembra (dds) hasta antes del periodo crítico. Para ello se utilizó un cuadrante de 25 cm x 25 cm, el cual fue arrojado al azar en cada tratamiento y repetición. En este cuadrante se contabilizó el número de individuos (densidad). Posteriormente se cosecharon las malezas del cuadrante para determinar la especie y se llevaron a una estufa de secado a 70°C hasta peso constante. Una vez que las muestras estuvieron secas, estas se pesaron en una balanza analítica para determinar materia seca (dominancia). Se utilizaron las siguientes fórmulas para hacer los cálculos respectivos:

Densidad (De) = N° de individuos (N) / Unidad de Superficie.

Dominancia (Dom) = Peso seco de individuos (g) / Unidad de Superficie.

### **Evaluaciones a cosecha**

Las evaluaciones a cosecha se realizaron para determinar el crecimiento de las plantas, el rendimiento del cultivo y sus componentes, para lo cual se marcaron al azar dos sectores de un metro lineal cada uno en todas las unidades experimentales. Estos sectores se seleccionaron en función de una emergencia uniforme y que sus plantas crecieran en competencia perfecta.

Para la cosecha se cortó el extremo superior de las plantas de modo de obtener solo material con inflorescencias y 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. Posteriormente se separaron las inflorescencias de las ramas y se llevaron a estufa a 70°C hasta peso constante. Luego el material fue trillado y tamizado y finalmente los granos fueron pesados en una balanza analítica. Una vez limpios los granos se pesaron 1.000 unidades de cada tratamiento y repetición.

Además se realizó la cosecha de 5 plantas seleccionadas al azar de cada unidad experimental a las cuales se les determinó; la altura, número de ramas, número de nudos y número de inflorescencias. Posteriormente se separaron las inflorescencias de las ramas y tallos y se llevaron a estufa a 70 °C, hasta peso constante de modo de obtener el peso seco de cada una estas estructuras (ramas, tallos e inflorescencias).

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de cada tratamiento fueron sometidos a un test de normalidad y de homogeneidad de varianza. Los valores obtenidos en porcentajes fueron ajustados según la transformación angular de Bliss ( $y = \arcsin(\sqrt{\%/100})$ )

Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de confianza del 95%. Al existir diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos se realizó una prueba de rango múltiple de Tukey al 5% para comparar las medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluaciones de estados de desarrollo.

Se llevó un registro de los días transcurridos desde la siembra a los distintos estados de desarrollo del cultivo. Los resultados no arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, por lo que en el Cuadro 3 se presentan los días en promedio en que las plantas llegaron a un determinado estado de desarrollo.

Cuadro 3. Días promedio en que las plantas de chíá alcanzaron los diferentes estados de desarrollo.

Etapa de desarrollo	Días desde siembra	Fecha
Emergencia	7	29 Dic.
Inicio de emisión de inflorescencias	106	7 Abr.
Inicio de formación de grano	128	13 May.
Madurez de cosecha	173	14 Jun.

Como se muestra en el Cuadro 3, el cultivo tuvo una rápida emergencia logrando este estado una semana después de la siembra. La etapa vegetativa fue prolongada, presentando una duración de 99 días, lo que permitió un largo periodo para el desarrollo de hojas, tallo y ramas potenciales para el cultivo. De acuerdo a los resultados, la duración del periodo vegetativo representó un 60% respecto a su ciclo completo.

En cuanto a la emisión de inflorescencias, Ayerza y Coates (2006) mencionan que la chíá es una especie que reacciona favorablemente al fotoperiodo caracterizado por día corto, por lo tanto, cuando las plantas detectan una determinada longitud de día (señal) florecen. En la Figura 2 es posible apreciar que desde marzo las horas de luz fueron menores que las horas nocturnas, llegando en junio a obtener los días más cortos.

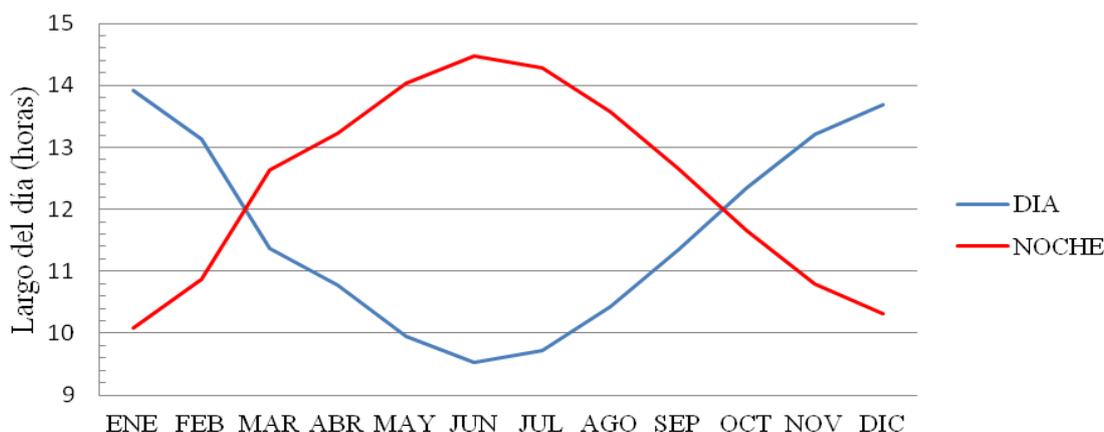


Figura 2: Promedio mensual del largo del día y de la noche. Santiago, Chile.  
Fuente: Gráfico de elaboración propia en base a información obtenida en [www.weather.com](http://www.weather.com).  
Climatología: amanecer/anocheecer para Santiago, Chile.

El comienzo de la floración, identificado como el momento en que se observa la emisión de las inflorescencias, ocurrió el día 7 de abril, por lo cual es posible decir que el cultivo necesitó de mínimo 13 horas nocturnas para inducir la floración y ésta ocurrió para todos los tratamientos en la misma fecha. La chíá, al igual que la soya son especies de día corto, y estas responden al acortamiento de los días acelerando su tasa de crecimiento. Específicamente la soya necesita de un máximo de 14 horas de luz para florecer (Fresoli *et al.*, 2004).

En Tucumán, Argentina (Latitud Sur 26°04' a 28°00' y Longitud Oeste 64°29' a 66°09'), el inicio de floración se produce a partir del 5 de abril en ensayos realizados en la temporada 2008-2009 (Lobo *et al.*, 2012)<sup>1</sup>, lo que resultó ser una fecha muy cercana a lo observado en el presente ensayo (Santiago, Chile). Según la latitud, es posible explicar que dependiendo de ésta el cultivo determinará la inducción floral, puesto que la duración del día y la noche está directamente relacionada con los parámetros de latitud de la zona donde se establecerá la producción.

El inicio de la formación del grano comenzó en mayo a los 128 días post siembra. Se señala que durante los meses de mayo y junio no se deben producir heladas debido a que el cultivo se encuentra con granos estado lechoso<sup>2</sup>.

La madurez de cosecha fue determinada a los 173 días post emergencia, luego que el cultivo tuviera una humedad de granos cercana al 14% (apropiada para la trilla).

En general el desarrollo del cultivo concuerda con la duración de ensayos realizados en México por Hernández (1989), utilizando dos fechas de siembra, siendo la del 8 de mayo (8 de noviembre en Chile) la que desarrolló un periodo más extenso del cultivo de 166 días de siembra-cosecha. Así mismo en ensayos realizados en Argentina, se obtuvo un ciclo de aproximadamente 160 días entre los meses de enero a julio (Lobo *et al.*, 2012)..

De acuerdo a lo descrito por Rulfo (1937, citado por Hernández 1989), el estado óptimo de desarrollo de la chíá es asegurado por un ambiente sin riesgos de heladas, con alta intensidad luminosa y no muy caluroso, evitando que la época lluviosa coincida con la cosecha. Estas condiciones fueron posibles durante los primeros meses de establecido el cultivo, sin embargo, posteriormente, con la entrada del otoño se presentaron temperaturas mínimas en promedio 6°C en abril, 3°C en mayo y de 1,5 °C en junio, además de la presencia de heladas posterior al 25 de mayo que afectaron el desarrollo de los granos en diferentes estados de madurez (Figura 3).

---

<sup>1</sup>Lobo, R.; MG. Alcocer; FJ. Fuentes; W. Rodríguez; M. Morandini y M. Devani. 2012. Desarrollo del cultivo de chíá en Tucumán, República Argentina. *Avance Agroindustrial*, 32 (4): 27-34

<sup>2</sup> Ibid, p. 30.

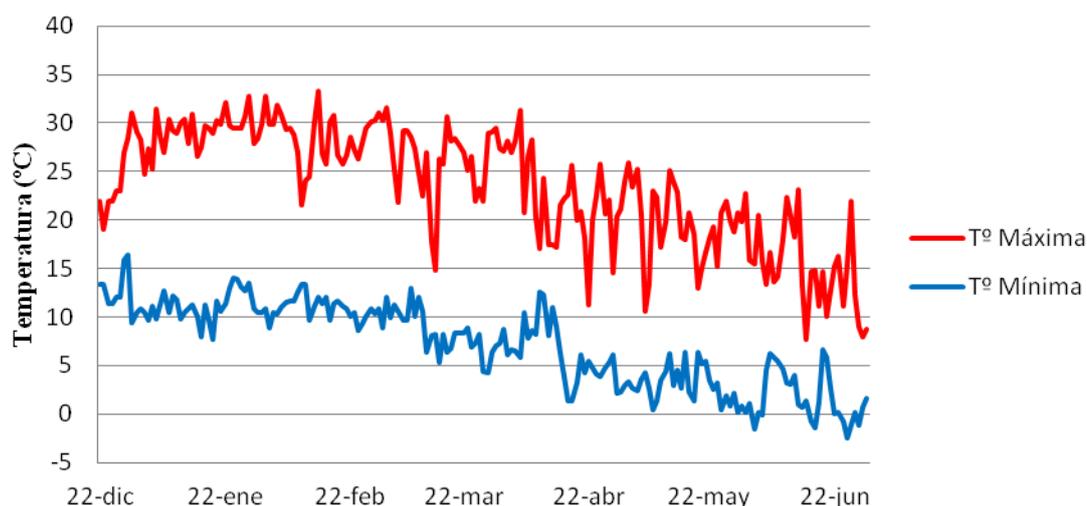


Figura 3: Temperaturas máximas y mínimas diarias desde enero hasta junio del 2011.  
Fuente: [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl). Sistema agroclimático FDF-INIA-DMC

### Evaluaciones de fitotoxicidad de los herbicidas en el cultivo

Para determinar la fitotoxicidad provocada por la aplicación de los diferentes herbicidas se realizaron evaluaciones de: porcentaje de emergencia de plantas, altura de plantas y daño visual (15, 30, 45, 60 días después de la emergencia)

#### Porcentaje de emergencia

Respecto a la fitotoxicidad causada por los tratamientos herbicidas se comparó solo aquellos de presembrado y preemergencia en relación al porcentaje de emergencia de las parcelas Testigo sin aplicación de herbicidas a los 10 días después de la siembra (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de emergencia medida a los 10 días después de la siembra.

Tratamiento	Emergencia (%)
Testigo (Sin aplicación)	100 a
Metalocloro	76 bc
Trifluralina	87 b
Linurón	85 bc
Pendimethalin	66 c
Bentazón	No estaba aplicado
Quizalofop-p-etyl	No estaba aplicado
Sin Control (Sin aplicación)	100 a

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%. Los datos porcentuales fueron ajustados según la transformación angular de Bliss.

Como se aprecia en el Cuadro 4, los herbicidas provocaron una disminución estadísticamente significativa en el establecimiento del cultivo.

De acuerdo al modo de acción de los herbicidas utilizados se indica que tanto las cloroacetamidas (Metalocloro) como las dinitroanilinas (Trifluralina y Pendimethalin) son inhibidores del crecimiento de plántulas, actuando poco después de su germinación y antes de su emergencia (Esqueda y Rosales, 2006). Específicamente las dinitroanilinas inhiben el desarrollo de radículas en plántulas en crecimiento, provocándole la muerte. El crecimiento de brotes y raíces está condicionado por dos procesos que son la división y la elongación celular, por lo cual, cualquier inhibición en estos procesos afectará el crecimiento. Principalmente los herbicidas pertenecientes a éste grupo químico interfieren en la mitosis (Kogan y Pérez, 2003).

Las diferencias estadísticas detectadas para los herbicidas Trifluralina y Pendimethalin, ambos del grupo de las dinitroanilinas, podrían deberse a procesos de volatilización y fotodescomposición. Trifluralina, presenta una mayor presión de vapor ( $4,58 \times 10^{-5}$  mm Hg a  $25^{\circ}\text{C}$ ) en comparación con Pendimethalin ( $3 \times 10^{-5}$  mm Hg a  $25^{\circ}\text{C}$ ) lo que se traduce en una mayor volatilidad del producto (CICOPLAFEST, 2004). Lo anterior podría tener inferencia sobre un menor y significativo efecto en la disminución del porcentaje de emergencia por parte de Trifluralina en comparación con Pendimethalin, siendo Trifluralina más volátil y pudiendo haberse perdido parte de la concentración del producto debido a las altas temperaturas durante la época de aplicación, provocando una reducción en su acción.

En ambos casos, para Cloroacetamidas y Dinitroanilinas, se indica que semillas grandes logran sobrevivir al efecto de estos herbicidas debido a que sus brotes y raíces pueden crecer a través de la zona del suelo con alta concentración de herbicida (Esqueda y Rosales, 2006), lo cual podría significar que semillas pequeñas como las de chíá, fueran más sensibles al efecto de este tipo de herbicida en la etapa de emergencia, reduciéndose por tanto el stand de plantas establecidas.

También se observaron diferencias en el porcentaje de emergencia respecto a la aplicación de Linurón. Este es un herbicida sistémico inhibidor de la fotosíntesis cuyos síntomas de daño se observan luego que las plantas hayan emergido y eliminado sus cotiledones e iniciado la fotosíntesis, provocando en un principio clorosis en márgenes y ápices foliares, que posteriormente conllevará a una necrosis y muerte del tejido foliar. Su acción se debe a la interrupción de la reacción de Hill en el fotosistema II, que provoca la destrucción de la clorofila y los carotenoides (Kogan y Pérez, 2003). En las fenilureas, familia química a la cual pertenece Linurón, la selectividad se debe principalmente a la ubicación del herbicida en el suelo, debiendo estar localizado lejos del radio de absorción radical del cultivo para no causar daño (Peterson *et al.*, 2001, citado por Esqueda y Rosales, 2006). En relación a lo descrito anteriormente las diferencias encontradas en el porcentaje de emergencia pueden deberse a la existencia de semilla expuesta y no cubierta por suelo en el momento de la aplicación, permaneciendo el producto directamente sobre la semilla, lo que podría ser considerado como una sobredosis del producto en esas áreas, puesto que como se indicará más adelante las plantas que lograron la emergencia no presentaron daños visuales con este producto.

### Altura de la planta

Otro factor considerado para evaluar toxicidad causada por los diferentes herbicidas aplicados fue la altura de las plantas determinada en sus primeros 60 días post emergencia, cuando se encontraban aún emitiendo ramificaciones.

Cuadro 5. Altura de plantas de chíá, luego de la aplicación de tratamientos herbicidas.

Tratamiento	Altura de plantas (m)							
	Días después de la emergencia							
	15		30		45		60	
Testigo (Sin aplicación)	0,17	a	0,36	a	0,50	a	0,70	a
Metalocloro	0,08	b	0,15	b	0,37	b	0,45	c
Trifluralina	0,18	a	0,34	a	0,56	a	0,70	a
Linurón	0,12	b	0,23	b	0,44	ab	0,66	ab
Pendimethalin	0,11	b	0,22	b	0,41	ab	0,52	bc
Bentazón	-		0,30	a*	0,40	ab	0,53	bc
Quizalofop-p-etyl	-		0,33	a**	0,40	ab	0,57	abc
Sin Control (Sin aplicación)	0,17	a	0,32	a	0,39	ab	0,52	bc

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%.

\* Aplicación efectuada 5 días antes de la evaluación.

\*\* Aplicación efectuada 2 días antes de la evaluación.

Estadísticamente, como se observa en el Cuadro 5, a los 15 y 30 días post-emergencia Metalocloro, Linurón y Pendimethalin presentaron diferencias estadísticas significativas respecto al Testigo sin aplicación. A los 45 días post-emergencia solo las plantas que recibieron la aplicación de Metalocloro mostraron diferencias estadísticamente significativas con el Testigo ya que para todos los demás tratamientos las plantas comienzan a sobreponerse. Luego a los 60 días, las plantas sometidas a Metalocloro tuvieron un crecimiento un 36% menor que el Testigo, observándose además un efecto de los herbicidas post emergentes en éste parámetro, obteniéndose plantas aproximadamente un 25% más pequeñas que el testigo.

Ensayos realizados en Ecuador por Pozo (2010) muestran una disminución de un 40% en altura de plantas utilizando herbicidas de post emergencia (Haloxifop R-Metil Ester) y de un 60% con herbicidas de preemergencia (Metribuzin) respecto a un control manual de malezas en chíá (dosis de siembra entre 6 y 8 Kg·ha<sup>-1</sup>), medido a los 80 días post siembra.

La menor altura observada en las plantas tratadas con Metalocloro, podría ser explicada por el modo de acción del herbicida, el cual impide la síntesis de los lípidos que forman la membrana celular, inhibiendo la división y elongación celular, deteniendo el crecimiento (Labrada *et al.*, 1996).

En general se observa que desde los 15 hasta los 45 días después de la emergencia el cultivo aumenta lentamente su altura, mostrando una tasa de crecimiento de 1,5 cm día,

este lento crecimiento inicial, permite el establecimiento de malezas que compiten favorablemente con el cultivo. A los 45 días post emergencia, las plantas del tratamiento Testigo y aquellas de los tratamientos no afectados lograron el 100% de la cobertura, sin embargo las plantas sometidas a Metalocloro y Pendimethalin sólo lo lograron a los 60 días. Las diferencias en altura encontradas con Metalocloro y Pendimethalin se deben principalmente por la toxicidad que este herbicida produce sobre el cultivo, según su modo de acción, en la emergencia y daño visual que se comentará más adelante.

### Daño visual

El daño visual, se evaluó a los 15, 30, 45 y 60 días después de la emergencia. Como se observa en el Cuadro 6, el cultivo se vio afectado significativamente por la aplicación de Metalocloro y Pendimethalin, herbicidas suelo-activos, durante los primeros 45 días de la emergencia de cultivo.

Cuadro 6. Porcentaje de daño visual por la aplicación de los distintos herbicidas

Tratamiento	Plantas dañadas por metro cuadrado (%)							
	Días después de la emergencia							
	15		30		45		60	
Testigo	0,0	c	0,0	c	0,0	b	0,0	b
Metalocloro	58,1	a	42,5	a	26,1	a	8,2	ab
Trifluralina	11,4	bc	4,2	bc	0,0	b	0,0	b
Linurón	4,4	c	1,6	c	0,0	b	0,0	b
Pendimethalin	26,4	ab	24,7	ab	20,7	a	10,3	ab
Bentazón	-		35,9	a*	16,3	ab	1,6	b
Quizalofop-p-etyl	-		29,0	a**	26,1	a	26,1	a

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%. Se ajustaron los datos porcentuales según la transformación angular de Bliss.

\* Aplicación efectuada 5 días antes; \*\* Aplicación efectuada 2 días antes

Las plantas tratadas con Metalocloro (Figura 4a) presentaron daño desde etapa de emergencia hasta los primeros 45 días de su establecimiento, observándose un desarrollo anormal de ellas. Este daño visual fue también observado en las plantas tratadas con Pendimethalin (Figura 4b).

## Testigo



a) Metalocloro

b) Pendimethalin

Figura 4. Efecto fitotóxico de a) Metalocloro y b) Pendimethalin a los 30 días post emergencia en comparación al Testigo sin aplicación.

En general los herbicidas pre emergentes tienen variados modos de acción que afectan directamente la germinación de semillas o su establecimiento como plántulas. Evitan también, que las plantas elaboren carbohidratos, proteínas o lípidos esenciales y de esta forma se controlan las malezas; sin embargo, este modo de acción también afecta a los cultivos comerciales (Kogan y Pérez, 2003)<sup>1</sup>.

Si bien ya se dijo que las cloroacetamidas y las dinitroanilinas son inhibidores del crecimiento de plántulas afectando la emergencia, también se indica, que las plantas sensibles a Metalocloro que logran emerger presentan hojas de apariencia rugosa y venas gruesas y cortas<sup>2</sup>, lo que explicaría su efecto sobre el crecimiento y apariencia que se observó en el ensayo. Así mismo las plantas afectadas por los herbicidas disruptores de la mitosis (Pendimethalin) no emergen en su totalidad, en tanto las que si lo logran, ven atrofiado su crecimiento<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Kogan, M. y A. Pérez. 2003. Herbicidas, Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 333p.

<sup>2</sup> Ibid, p. 180.

<sup>3</sup> Ibid, p. 220.

Pérez (2011), evaluando toxicidad sobre zanahoria (*Daucus carota* L.), observó que aplicaciones de Pendimethalín, en dosis de  $3,5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  de i.a., provocaron cerca de un 17,9% de mortalidad de plantas después de 15 días de haber emergido. Por el contrario, la aplicación de Trifluralina, que pertenece al mismo grupo químico que Pendimethalín, no afectó mayormente al cultivo, permitiendo el desarrollo de las plantas. En albahaca (*Ocimum basilicum* L.), especie que pertenece a la familia de las Labiadas, al igual que la chía, no se observó fitotoxicidad al ser sometida a aplicaciones de pre-siembra con Trifluralina (48%) en dosis de  $600 \text{ gr i.a./ha}$ , sin embargo, influyó en la emergencia del cultivo, incidiendo en un menor número de plantas por metro cuadrado y disminuyendo los rendimientos (Fernández, citado por Handwerck, 2006).

Los herbicidas Trifluralina y Linurón, no causaron daños visuales o sus daños fueron leves, no presentando diferencias en forma significativa en relación a las plantas que no recibieron aplicación de herbicidas.

En el caso de las aplicaciones de los herbicidas de post emergencia, se observó que Bentazón a los 5 días post aplicación presentó daño en un 35% de las plantas, asociado particularmente a las plantas que se vieron alcanzadas por el producto. Inicialmente se observó clorosis en hojas y una posterior necrosis en su margen, la cual disminuyó al transcurrir el tiempo (Cuadro 6), producto de la renovación de hojas a medida que avanza su crecimiento. En la Figura 5a, se presenta el daño en la octava hoja expandida.



a) Bentazón

b) Quizalofop-p-etyl

Figura 5. Efecto fitotóxico de a) Bentazón a los 5 días post aplicación y b) Quizalofop-p-etyl a los 17 días post aplicación y a cosecha.

Bentazón es un herbicida de contacto y que actúa sobre la fotosíntesis, inhibiendo el flujo de electrones en el fotosistema II (AFIPA, 2010). Foyer *et al.*, (1994, citado por Handwerck 2006), indican que los herbicidas alteran el metabolismo de las plantas y esto favorece la formación de especies oxidativas a nivel de cloroplastos. En este sentido por su modo de acción, Bentazón genera estrés oxidativo, de tal modo que la aplicación de estos herbicidas inducirían un aumento en la tasa de permeabilidad relativa en las membranas y una reducción en el contenido de clorofilas, lo que se manifiesta finalmente en una clorosis; además, producto de este daño, se producen

radicales libres que destruyen la membrana celular provocando necrosis (Duke y Dylan 2001, citado por Rosales y Esqueda 2006). Ensayos realizados en maíz determinaron clorosis 7 días post aplicación de Bentazón, sin embargo, a los 14 días, la clorosis disminuyó significativamente no presentando diferencias con el testigo sin aplicación, lo que concuerda con las observaciones del ensayo (Ahumada, 1995).

En cuanto a la fitotoxicidad provocada por Quizalofop-p-ethyl (aplicado a los 28 días post emergencia) se observó un 29% de daño del cultivo a los dos días luego de ser aplicado, daño que se mantuvo hasta la cosecha (Cuadro 6). En la Figura 5b, se muestra el efecto cuando el cultivo se encontraba en la doceava hoja. El daño se inicia con una clorosis progresiva sobre hojas superiores, posteriormente los ápices detienen su crecimiento apical finalizando en una necrosis completa del ápice. Este hecho ocasionó una detención en el desarrollo de la rama principal, sin embargo permitió un mayor desarrollo de ramas basales.

Quizalofop-p-ethyl es un graminicida selectivo de post emergencia (GSPE) y actúa inhibiendo la biosíntesis de los ácidos alifáticos y ácidos grasos. Estos inhiben específicamente la enzima Acetil coenzima A carboxilasa (ACCasa). De este modo cuando el herbicida es absorbido por las hojas superiores se moviliza a las hojas jóvenes en expansión y a meristemas apicales concentrando su efecto en este sitio. Su efecto es visible a los 2-7 días provocando necrosis en las hojas jóvenes y tejidos meristemáticos en el interior de nudos y yemas produciendo la muerte de la planta (Bayer, 2012). Una situación similar se observó en las plantas de chífa.

Especies dicotiledóneas, como el cultivo, presentan una enzima ACCasa cloroplástica insensible a estos herbicidas generando tolerancia, por esta razón, no afectaría a los cultivos de hoja ancha como chífa; sin embargo, el cultivo no se comportó de esta manera. Wang *et al.*, (2012) estudiaron el efecto de Quizalofop-p-ethyl sobre enzimas protectoras y la fotosíntesis en *Radix isaditis* una especie de uso medicinal de la familia de las Brassicaceas. Estos autores determinaron que a mayor dosis de este herbicida existe una mayor producción de malondialdehído producto de la peroxidación lipídica en hojas; por ello recomiendan, utilizar menores dosis evitando daño al cultivo.

### **Evaluaciones del control de malezas**

El control de malezas efectuado por la aplicación de los diferentes herbicidas, se evaluó mediante los parámetros densidad y dominancia (20 y 35 días después de la siembra). Para determinar la población inicial, se utilizó el tratamiento Sin Control de malezas como referencial.

Sattin y Berti (1996) , indican que la presencia de las malezas conlleva a un aumento del número de plantas dentro de una área determinada y dado que los cultivos son establecidos a una densidad que optimiza los rendimientos, la presencia de malezas llevará a una reducción del rendimiento debido a la competencia tanto intraespecífica (cultivo-cultivo; malezas-maleza) como interespecífica (cultivo-maleza; diferentes

especies de malezas) que enfrentará el cultivo por los factores productivos como son luz, agua, nutrientes y espacio.

Específicamente Hernández (1989) determinó que los primeros 45 días de establecido el cultivo de chíá, este se ve más afectado por la presencia de malezas y su competencia por los factores productivos, momento conocido como periodo crítico de interferencia, por esta razón las evaluaciones en este estudio se realizaron durante éste período.

En cuanto a la eficiencia del control de malezas efectuado por la acción de los diferentes herbicidas, se observaron diferencias significativas al compararlos con el tratamiento que se mantuvo durante todo el desarrollo Sin Control de malezas, en los parámetros: densidad (número de individuos por unidad de superficie) y dominancia (peso seco por unidad de superficie), tal como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Densidad y dominancia de malezas totales luego 20 y 35 días del establecimiento del cultivo de chíá.

Tratamiento	Densidad (Nº·m <sup>-2</sup> )		Dominancia (g·m <sup>-2</sup> )	
	Días después de siembra			
	20	35	20	35
Metalcloro	208,0 a	144,0 ab	3,1 b	102,9 ab
Trifluralina	20,0 b	67,2 bc	1,6 b	58,6 ab
Linurón	0,0 b	12,8 c	0,0 b	5,0 b
Pendimethalin	53,3 b	73,6 bc	2,7 b	52,1 ab
Bentazón	+	137,6 ab	+	58,5 ab
Quizalofop-p-etyl	+	137,6 ab	+	134,8 a
Sin Control	201,6 a	166,4 a	9,5 a	144,9 a

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%.

+No aplicado

Ayala (2010)<sup>1</sup> y Pérez (2011)<sup>2</sup> indican que la densidad de malezas es un parámetro que puede ser indicador de la emergencia de ellas, y de esta forma es posible determinar el efecto que tendrían los herbicidas en controlar las malezas antes o durante el proceso de germinación.

Respecto a la dominancia se indica que es un parámetro utilizado para cuantificar el crecimiento en biomasa de las malezas y de esta forma el efecto que los herbicidas provocarían en la supresión del crecimiento<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Ayala, P. 2010. Efecto de la aplicación de diferentes herbicidas sobre el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* plenck.). Memoria de título Ingeniero agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 37 h.

<sup>2</sup> Pérez, C. 2011. Evaluación de herbicidas pre y post emergentes sobre zanahorias (*Daucus carota* L.) miniatura y estándar. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Fitotecnia. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 49 h.

<sup>3</sup> Ayala, Op. Cit. p. 29.

Según la densidad de malezas, los herbicidas Trifluralina, Linurón y Pendimethalin mostraron valores significativamente inferiores al tratamiento Sin Control en las dos fechas evaluadas, lo que indica que éstos herbicidas provocaron una menor emergencia de malezas lo que produce una menor interferencia sobre el cultivo. Respecto a la dominancia se observan diferencias para todos los tratamientos herbicidas que habían sido aplicados, lo que indica que hubo un efecto de los herbicidas mediante la supresión del crecimiento de las malezas según su modo de acción, generando menor interferencia maleza-cultivo, sin embargo a los 35 días post siembra solo Linurón fue diferente al tratamiento Sin Control de malezas totales.

Los herbicidas de post emergencia (Bentazón y Quizalofop-p-etil) no presentaron diferencias estadísticas con respecto al tratamiento Sin Control. Específicamente Bentazón no tuvo un efecto significativo sobre el control de malezas, lo cual podría deberse a que fue aplicado solo 5 días antes de la evaluación, y las malezas ya se encontraban establecidas. De este modo no interfirieron en el valor de densidad y tampoco sobre la dominancia dado que para estas evaluaciones solo se considera número y peso seco, respectivamente, por lo que los daños visuales de marchitez, característicos del herbicida, como clorosis y necrosis en las malezas dicotiledóneas no fueron considerados en estas evaluaciones, a pesar de que sí se observaron daños sobre las malezas utilizando bentazón.

Respecto al control de Quizalofop-p-etyl, al igual que bentazón, no se encontraron diferencias con el tratamiento Sin Control. Este hecho radica en que este herbicida actúa sobre malezas monocotiledóneas (AFIPA, 2010), las cuales no fueron consideradas en este ensayo, siendo solamente evaluadas las especies de hoja ancha.

Posteriormente fueron seleccionadas las malezas que se encontraron en mayor proporción en el tratamiento Sin Control, es decir para los parámetros de densidad un 82% y dominancia un 95% medidos a los 35 días post siembra (Figura 6 y 7).

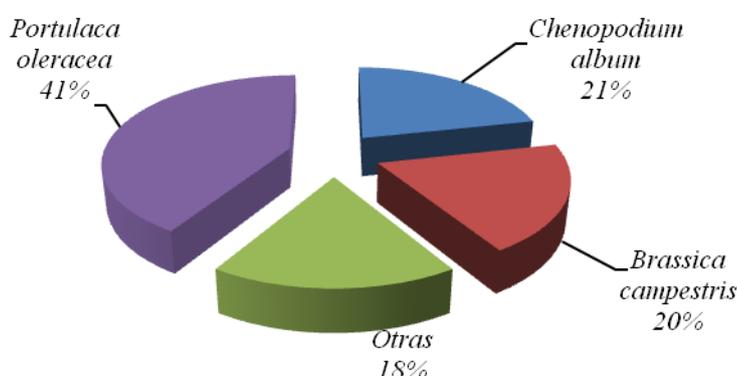


Figura 6. Densidad de malezas presentes en el tratamiento Sin Control a los 35 días post emergencia del cultivo representadas en porcentajes respecto al total de malezas del mismo tratamiento.

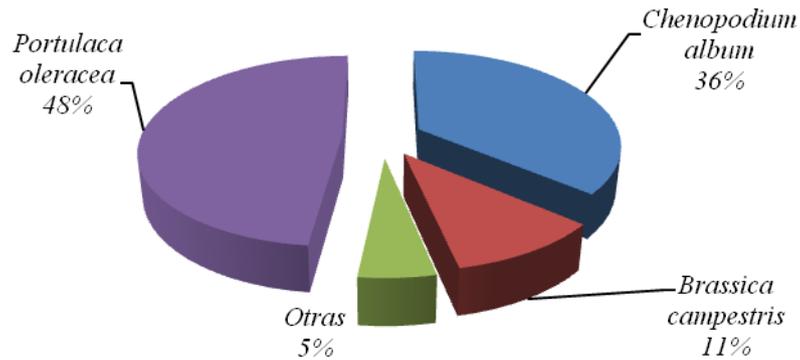


Figura 7. Dominancia de malezas presentes en el tratamiento Sin Control a los 35 días post emergencia del cultivo de chíá representadas en porcentajes respecto al total de malezas del mismo tratamiento.

De acuerdo a estos resultados, se evaluaron en forma independiente para cada tratamiento las siguientes malezas: *Chenopodium album* (quinguilla), *Brassica campestris* (yuyo) y *Portulaca oleracea* (verdolaga). El porcentaje restante correspondió a: *Convolvulus arvensis* L. (correhuela), *Matricaria chamomilla* (manzanilla), *Datura stramonium* (chamico) y *Senecio sp.*(senecio).

En la Figura 8 y 9 se puede observar que el comportamiento de los herbicidas sobre el porcentaje de control de malezas de acuerdo al parámetro densidad, fue similar a lo observado en dominancia de estas mismas. De acuerdo con esto Linurón efectuó un control excelente (100%) sobre la totalidad de las malezas de mayor proporción encontradas en el ensayo.

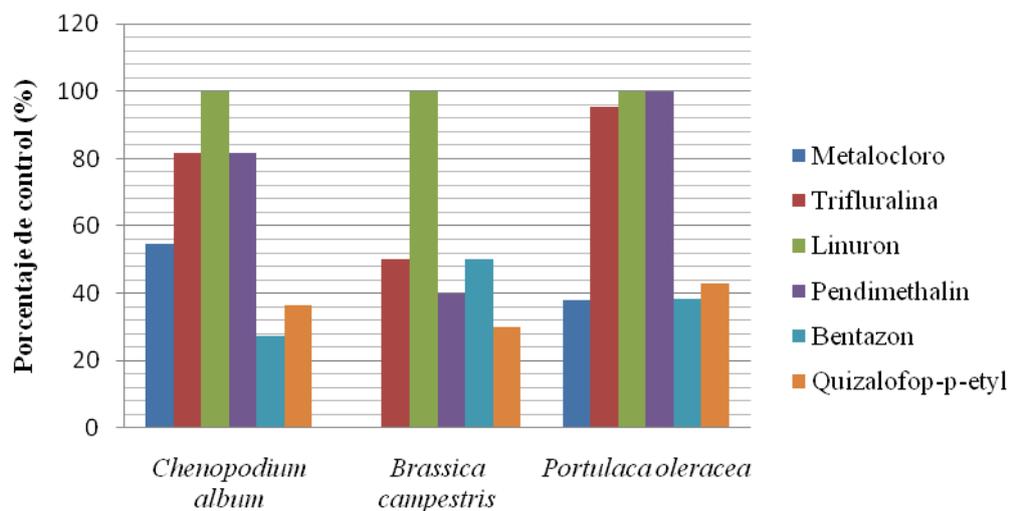


Figura 8. Relación entre el porcentaje de control de malezas de los tratamientos herbicidas y el tratamiento Sin Control. Respecto a la Densidad de malezas.

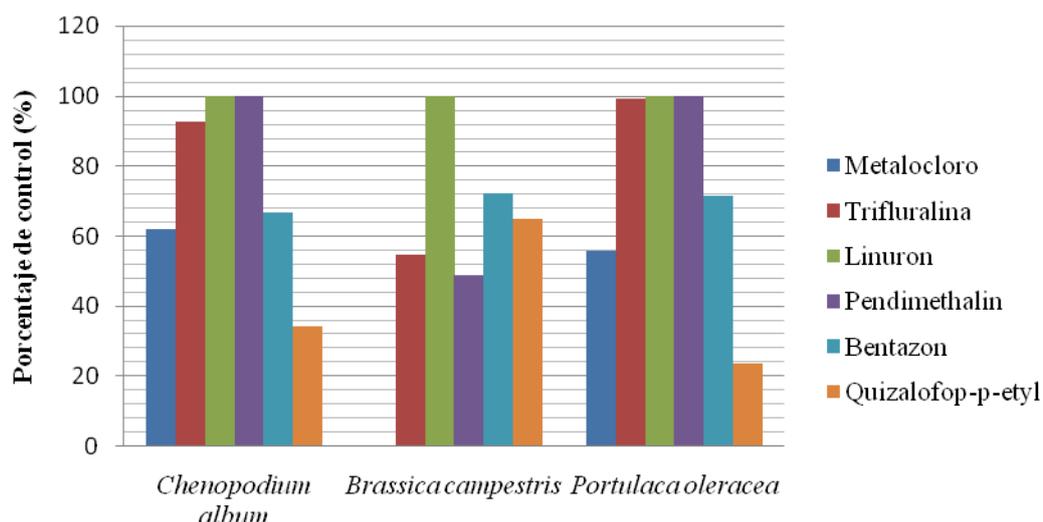


Figura 9. Relación entre el porcentaje de control de malezas de los tratamientos herbicidas y el tratamiento Sin Control. Respecto a la dominancia de malezas.

Además, con los tratamientos Trifluralina y Pendimethalin el porcentaje de control respecto al testigo Sin Control fue igual o superior al 80% sobre las malezas *Chenopodium album* y *Portulaca oleracea*. Este porcentaje es considerado como el mínimo requerido para indicar que hubo control y no necesariamente supresión de malezas (Díaz, 2012)<sup>1</sup>, así mismo según la escala ALAM (1974) considera que entre 81 y 90% indica un muy buen control de las malezas. Por otra parte, el control de *Brassica campestris* no fue eficiente con los herbicidas Trifluralina y Pendimethalin, lo que concuerda con lo indicado por BASF (2010) y AFIPA (2010) sobre las malezas que controlan estos herbicidas.

Lo anterior coincide también con lo observado por Díaz (2002) quien indica que tanto Trifluralina como Pendimethalin realizan un buen control de *Chenopodium album* y realizan un control deficiente sobre *Brassica campestris*, y que Linurón, efectúa un buen control sobre *Chenopodium album* y *Brassica campestris*.

Estudios de alternativas del control de malezas en *Mentha piperita* L. muestran que el uso de Trifluralina y Pendimethalin en preemergencia logran un eficiente control con más de 80% (Darré *et al.*, 2004). Lo mismo fue observado en Albahaca (*Ocinum bacilicum* L.) para producción de semillas, utilizando Trifluralina (Fernández *et al.*, 1994).

Lo expuesto radica en que tanto Trifluralina, Linurón y Pendimethalin son herbicidas que inhiben la emergencia de plántulas y afectan su crecimiento, por el modo de acción antes mencionado, al evaluar fitotoxicidad sobre el cultivo mismo, lo que se ve reflejado en los resultados obtenidos sobre densidad y dominancia de las malezas.

<sup>1</sup> Verónica Díaz M. 2012. Ingeniero Agrónomo, MS. Universidad de Chile (Comunicación Personal). vdiaz.uchile@gmail.com

Por otra parte los herbicidas de post emergencia (Bentazón y Quizalofop-p-etyl) y Metalocloro (aplicado en pre-siembra) no lograron establecer un control efectivo respecto a la densidad y a la dominancia de las malezas del ensayo, ya que los porcentajes de control están, para todas las malezas, bajo el 80% considerado como efectivo.

El limitado efecto sobre los parámetros de densidad y dominancia resulta lógico para los herbicidas de post-emergencia debido específicamente a que se asperjaron a los 29 y 33 días después de la siembra, y por tanto no interfieren en el proceso de emergencia de malezas. Lo anterior se suma con que Quizalofop-p-etyl es un graminicida, y tal como se muestra, no hay efecto en las tres malezas evaluadas puesto que se trata de malezas dicotiledóneas. Respecto a Bentazón, no tuvo un efecto significativo en el control de malezas, evaluado como densidad y dominancia, lo que podría deberse al estado de desarrollo de las especies en el momento de la aplicación; no obstante, se visualizaron los daños de clorosis y necrosis en las malezas presentes en el ensayo.

Con Metalocloro no se logró realizar un buen control de malezas, posiblemente porque se trata de un herbicida de pre-siembra clasificado como graminicida sistémico, que controla un amplio espectro de malezas de hoja angosta (no considerados en el ensayo) y algunas de hoja ancha, donde *Portulaca oleracea* y *Chenopodium album* se incluyen dentro de aquellas malezas que controla o que son sensibles en condiciones favorables (Syngenta, 2011).

La dominancia de *Brassica campestris* muestra que no fue controlada por los herbicidas utilizados, y más aún en Metalocloro logra un crecimiento superior que en el tratamiento Sin Control de malezas, esto podría deberse a que es una maleza que compitió en forma interespecífica con el cultivo y con las demás especies de malezas potenciando su desarrollo.

## **Evaluaciones a cosecha**

### **Parámetros de crecimiento**

En los Cuadro 9 y 10 se presentan los diferentes parámetros de crecimiento (altura, número de nudos, número de ramificaciones, peso seco de ramificaciones y tallo y peso seco de inflorescencias) medidos por planta al momento de cosecha para los distintos tratamientos.

Cuadro 9. Altura de plantas a cosecha.

Tratamiento	Altura	
	(m)	
Testigo	1,80	a
Metalocloro	1,53	cd
Trifluralina	1,64	bc
Linurón	1,74	ab
Pendimethalin	1,52	d
Bentazón	1,62	cd
Quizalofop-p-etyl	1,63	bc
Sin Control	1,24	e

\*Letras diferentes en la columna indican diferencias estadísticamente significativas para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%.

Respecto a la altura (Cuadro 9), se observa que existieron diferencias estadísticas entre el testigo con todos los tratamientos excepto con Linurón. De esta forma, Metalocloro, Pendimethalin y Bentazón fueron los herbicidas que más afectaron este parámetro reduciendo la altura de las plantas en aproximadamente un 17%, respecto al Testigo sin aplicación y que se mantuvo libre de malezas. Así mismo, se observó una reducción de un 30% en la altura cuando el cultivo se mantuvo con las malezas durante todo su desarrollo. Resultados obtenidos en México (Hernández, 1989), indican que mantener las malezas durante el primer 25% del desarrollo del cultivo provocan una reducción de aproximadamente un 8% y cuando no se controlaron malezas durante todo el desarrollo del cultivo la altura se reduce un 15%, resultados que no indicaron diferencias significativas a diferencia del presente ensayo.

Vitta (2004), indica que de los tres factores por los que compiten las malezas y los cultivos (luz, agua y nutrientes), la luz es el factor que condiciona la diferencia de altura. Además indica que diferencias muy pequeñas en altura entre malezas y cultivos pueden tener un efecto en los niveles de intercepción de luz. En este sentido, Linurón fue el herbicida que tuvo un control efectivo sobre las tres malezas de mayor densidad y dominancia sobre el cultivo durante los primeros días de su establecimiento, lo que evitaría la interferencia sobre el crecimiento en altura del cultivo en este tratamiento, a pesar de que en un principio este herbicida sostuvo diferencias con el Testigo.

En el Cuadro 10, se observa que, al igual que en la altura, los herbicidas Metalocloro y Pendimethalin, provocaron una disminución en forma significativa sobre el número de nudos, número de ramas y peso seco del tallo. De igual forma se observaron diferencias entre el tratamiento Sin Control y el Testigo.

Cuadro 10. Parámetros de crecimiento por planta.

Tratamiento	Nudos		Ramas		PS tallo		PS Inf*	
	(n°)		(n°)		(g)		(g)	
Testigo	17,4	a	11,3	a	14,9	a	3,5	a
Metalocloro	13,5	b	8,3	b	9,8	c	2,6	ab
Trifluralina	17,1	a	11,5	a	13,5	ab	3,2	ab
Linurón	17,3	a	10,3	ab	13,4	ab	2,9	ab
Pendimethalin	14,5	b	8,6	b	9,7	c	2,5	b
Bentazón	16,2	a	9,6	ab	11,2	bc	2,8	ab
Quizalofop-p-etyl	16,8	a	9,8	ab	12,0	abc	3,1	ab
Sin Control	13,7	b	3,4	c	3,5	d	0,6	c

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%.

\*Inf: Inflorescencia

Respecto al número de nudos, los herbicidas Metalocloro y Pendimethalin, fueron los que produjeron una mayor disminución de este parámetro con aproximadamente 3 nudos menos respecto al Testigo, y no diferenciándose del tratamiento Sin Control.

De acuerdo al número de ramas se observa una influencia significativa de los herbicidas Metalocloro y Pendimethalin, lo que se puede relacionar con el efecto fitotóxico (Figura 4) que estos herbicidas produjeron sobre el cultivo, y puede estar asociado al menor número de nudos producidos producto de la aplicación de los mismo herbicidas y no específicamente por el control de malezas. Hernández (1989) señala que la presencia de malezas tiene un efecto significativo sobre la producción de ramas en la chíá, sin embargo, indica que no hay diferencias al dejar un 25% del periodo del cultivo con malezas en comparación a un 100% de control. De esta forma no debieran encontrarse diferencias sobre los tratamientos herbicidas ya que las malezas se mantuvieron solo un 25% del desarrollo del cultivo y luego fueron eliminadas, por lo que las diferencias encontradas con Metalocloro y Pendimethalin, se pueden asociar al efecto fitotóxico sobre el cultivo. Por otro lado, los resultados concuerdan cuando se compara la producción de ramas en el tratamiento Sin Control, puesto que este autor indica que no controlar las malezas durante gran parte del período de desarrollo del cultivo, el número de ramas se afecta significativamente, lo cual se puede igualar con el presente estudio.

El peso seco del tallo y ramas constituye el mayor componente de la materia seca a cosecha y según los resultados encontrados, se siguen identificando los herbicidas Metalocloro y Pendimethalin como aquellos tratamientos que se diferencian del Testigo, asumiendo una menor producción de nudos y por esto una menor producción de ramas, provocando una merma de un 30% en el peso seco final del tallo y ramas. Al no desmalezar las plantas se ven sometidas a una alta presión de las malezas y por lo tanto la competencia es tal que finalmente se producen plantas con solo un 20% del peso seco respecto a tratamiento Testigo siempre desmalezado. Por otra parte el peso seco de las inflorescencias, un parámetro esencial sobre el rendimiento final, sólo mostró diferencias con la aplicación de Pendimethalin obteniendo un gramo menos que el Testigo siempre limpio que produjo 3,5 gramos de materia seca correspondiente a inflorescencias, a pesar de que Metalocloro no mostró ser diferente estadísticamente solamente produjo 0,1 gramo más que Pendimethalin.

Los bajos valores encontrados en los parámetros del crecimiento pueden ser explicados por la fitotoxicidad que los herbicidas Metalocloro y Pendimethalin provocaron sobre el cultivo y el nivel de estrés al que estuvieron sometidas las plantas durante su desarrollo. Salisbury (2000, citado por Ayala 2010) indica que el estrés biológico radica en cualquier alteración de las condiciones ambientales, lo que puede influir sobre el crecimiento o desarrollo de una planta y por este motivo crecer menos.

Linurón y Trifluralina no presentaron diferencias con el Testigo, lo que se relaciona con la baja toxicidad que estos herbicidas produjeron sobre el cultivo y sumado a lo obtenidos al evaluar la densidad y dominancia (Figura 8 y 9), donde se observa un mejor control de las malezas, permitiendo un mejor desarrollo de las plantas, evitando la competencia interespecífica con las malezas.

### Parámetros de rendimiento

En el Cuadro 11 se muestra el rendimiento por planta y por superficie para cada tratamiento evaluado. Como se observa, los herbicidas que presentaron los rendimientos más altos fueron Linurón y Trifluralina, siendo estadísticamente iguales al Testigo para ambos parámetros. Metalocloro, Pendimethalin, Bentazón y Quizalofop-p-etyl provocaron un menor rendimiento que Linurón y Trifluralina, sin embargo su rendimiento fue 9 veces superior al tratamiento Sin control.

Cuadro 11. Rendimiento por planta y por hectárea de semillas de chíá.

Tratamiento	Rendimiento		Rto·planta <sup>-1</sup>
	(Kg·ha <sup>-1</sup> )		(g)
Testigo	309,8	a	0,51 a
Metalocloro	160,7	b	0,28 c
Trifluralina	225,2	ab	0,45 ab
Linurón	292,1	a	0,52 a
Pendimethalin	183,0	b	0,34 bc
Bentazón	144,2	b	0,21 c
Quizalofop-p-etyl	159,1	b	0,29 bc
Sin Control	18,5	c	0,03 d

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas con  $p \leq 0,05$ .

Pozo (2012) encontró diferencias significativas en tres rangos, al evaluar el efecto del control químico de malezas sobre el rendimiento en chíá, en donde el mayor rango se obtuvo con el tratamiento de Control manual alcanzando los 1.352 kg·ha<sup>-1</sup>, luego utilizando el herbicida de post-emergencia Haloxifop R-Metil Ester se obtuvo 696 kg·ha<sup>-1</sup>, y en menor rango el tratamiento herbicida de pre-emergencia Metribuzin con 237 kg·ha<sup>-1</sup>.

A modo de entender los valores de rendimiento obtenidos en el presente ensayo, se calcularon los componentes de rendimiento en base a lo indicado en ensayos realizados

en México y que corresponden a: granos por inflorescencia, peso de 1.000 granos, número de inflorescencia por planta y número de granos por planta (Cuadro 12).

Cuadro 12. Componentes del rendimiento de chía.

Tratamiento	Inf*·planta <sup>-1</sup>		Peso de 1.000 granos		Granos·planta <sup>-1</sup>		Granos·Inf* <sup>-1</sup>	
	(n°)		(g)		(n°)		(n°)	
Testigo	11,5	a	1,01	a	501,1	ab	43,7	a
Metalocloro	7,2	b	1,01	a	287,2	bc	40,1	a
Trifluralina	10,1	ab	0,97	a	486,0	ab	51,4	a
Linurón	15,9	a	1,03	a	522,6	a	48,3	a
Pendimethalin	8,7	ab	1,19	a	286,7	bc	34,0	a
Bentazón	8,4	ab	0,97	a	216,8	c	25,7	a
Quizalofop-p-etyl	9,4	ab	0,98	a	302,5	abc	32,8	a
Sin Control	1,0	c	0,84	a	39,5	d	37,4	a

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas, para la prueba de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 5%.

\*Inf: Inflorescencia

El número de inflorescencias promedio fue afectado por la aplicación de Metalocloro encontrándose diferencias estadísticamente significativas con el Testigo. Este herbicida provocó una disminución de aproximadamente un 36% en el número de éstas, resultado que se ve también reflejado sobre el peso del total de inflorescencias por planta descrito anteriormente. De igual forma, es posible identificar una disminución de un 85% del número de inflorescencia al no controlar malezas durante todo el desarrollo de las plantas. Hernández (1989) señala que el número de inflorescencia por planta es uno de los componentes importantes del rendimiento y presenta una alta correlación (0,89) con el número de ramificaciones de las plantas, lo que también se observa en los resultados de este ensayo (Cuadro 10). Este hecho se manifestó en el rendimiento final en granos (Cuadro 11).

Lobo *et al.*, (2012) evaluando distintas densidades en chía, determinaron que a menor número de plantas se obtenía mayor número de inflorescencias por planta, debido a la capacidad compensatoria del cultivo. En este sentido, los tratamientos Metalocloro y Pendimethalin, que por su modo de acción provocan pérdida de plantas, podrían haber generado más inflorescencias por planta, sin embargo este efecto no se presentó. La razón de este resultado se debe al efecto de estos herbicidas sobre las plantas que lograron emerger, viendo disminuido su crecimiento, lo que se ve reflejado sobre los parámetros de crecimiento.

Los componentes, número de granos por inflorescencias y el peso de 1.000 granos no se ven influenciados en forma significativa con el testigo, con la aplicación de los diferentes herbicidas. El peso de los granos, es un componente que presenta alta heredabilidad, y por ello no se observan mayores cambios, de acuerdo a esto, en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) no se encontraron diferencias al evaluar el peso de 1.000 semillas utilizando herbicidas de presiembrá como Prometrina y Trifluralina (Fernández *et al.*, 1994). En el mismo sentido, Hernández (1989) evaluando dos

densidades de siembra (25 cm y 50 cm entre hilera) y distintos regímenes de control de malezas en el cultivo de chíá, indica que el desarrollo de los frutos no se vio alterado cuando el cultivo estuvo siembre limpio, cuando las malezas se desarrollaron después del 75% inicial del ciclo o cuando las malezas se mantuvieron sólo el primer 25% del ciclo de la chíá; debido a que la etapa de formación y desarrollo del fruto transcurrió sin la competencia con malezas.

Respecto al número de granos por planta, se observan diferencias significativas entre el tratamiento Linurón y los tratamientos Metalocloro, Pendimethalin y Bentazón, siendo Linurón el herbicida que produce plantas con un 54% más granos, lo cual estaría asociado con el mayor número de inflorescencias producidas con Linurón.

El número de inflorescencia por planta y el número de granos por planta son componentes que tienen una correlación altamente significativa sobre el rendimiento por planta y por superficie (Apéndice I). Sin embargo, lo anterior no se reflejó en forma significativa al evaluar los parámetros de componentes del rendimiento por si solos, donde solo es posible apreciar menores valores al Testigo con el uso de los herbicidas Metalocloro, Pendimethalin, Bentazón y Quizalofop-p-etyl lo que finalmente sopesó sobre el rendimiento final por planta y por superficie.

Finalmente en base a los resultados obtenidos sobre el Rendimiento por superficie se calculó la pérdida de rendimiento debido a la aplicación de los herbicidas en relación a lo obtenido con el tratamiento sin aplicación y libre de malezas durante todo el desarrollo del ensayo (Figura 9).

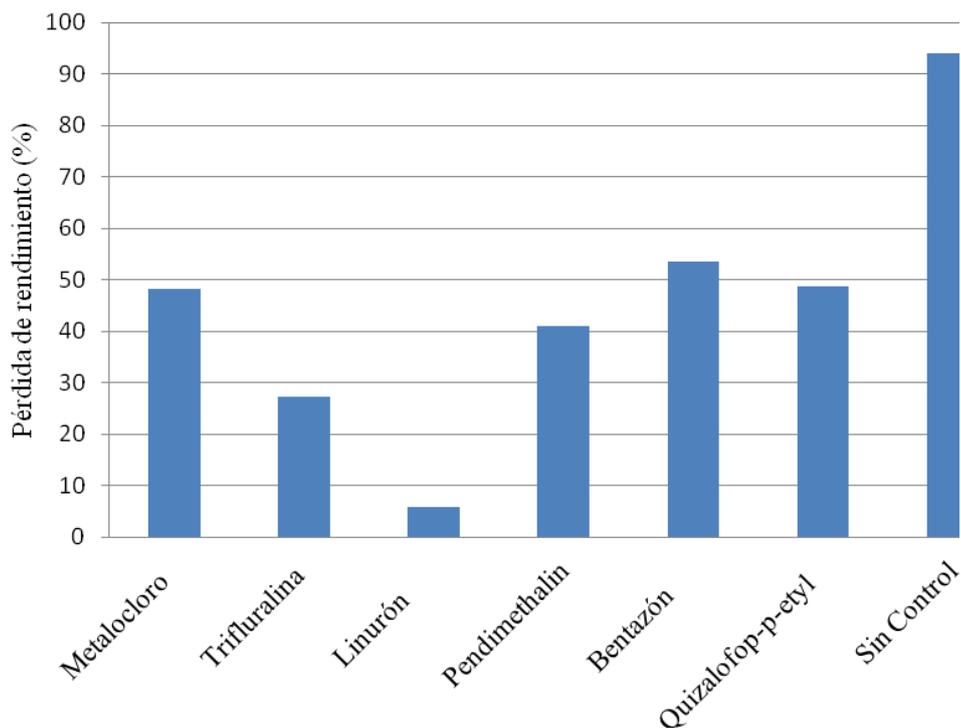


Figura 9. Porcentaje de pérdida de rendimientos de los distintos tratamientos herbicidas respecto al Testigo. Se incluye además el tratamiento Sin Control.

Se observa que los tratamientos Trifluralina y Linurón provocaron una menor pérdida de rendimientos, ya que controlaron las malezas en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, evitando la competencia por luz, agua y nutrientes; sumado a ello, presentaron una baja toxicidad demostrada sobre el cultivo, donde solo fue afectado el número de plantas establecidas en el ensayo, y que el cultivo logró autocompensar.

Mitchell y Abernethy (1993) evaluando la tolerancia de salvia, cilantro y comino a herbicidas aplicados pre-y post-emergencia, indicaron que Linurón solo causó un efecto mínimo en el número de plantas y controló bien las malezas.

Ensayos realizados en *Lippia polystachia* Griseb Té de Burro, una especie aromática similar a algunas especies de la familia de las Lamiaceae, muestran que Trifluralina aplicado en preemergencia no causó fitotoxicidad al cultivo y que el efecto del control de malezas fue bueno, en contraste con aplicaciones de Bentazón donde la aplicación del herbicida causó un daño general, pero no muy severo, al cultivo y no provocó ningún efecto en el control de malezas (Zumelzú *et al.*, 2000). Este resultado concuerda con lo obtenido en el presente estudio.

Metalocloro y Pendimethalin afectaron el rendimiento del cultivo provocando una pérdida de un 49% y un 40% respectivamente sobre el Testigo desmalezado. El mayor porcentaje de pérdida de rendimiento con Metalocloro puede estar asociado a un control deficiente de malezas, ya que para ambos herbicidas, el cultivo se mostró susceptible a estos productos, disminuyendo en un principio la emergencia y posteriormente dañando a las plantas que lograron sobrevivir afectando su crecimiento (número de ramas, número de nudos, altura y peso seco de tallos, ramas e inflorescencias).

Los tratamientos de post-emergencia, provocaron pérdidas de rendimiento de alrededor un 50%, lo que significó mantener malezas durante el 25% del desarrollo del cultivo. Este hecho obedece a que el control de malezas no pudo ser considerado como efectivo porque si bien se observó el efecto característico del herbicida bentazón sobre las malezas, no lo fue sobre los parámetros de densidad y dominancia evaluados en este ensayo. Respecto a Quizalofop-p-etyl por deberse exclusivamente a un graminicida y considerando que las gramíneas fueron eliminadas en forma manual, este herbicida no infirió sobre las malezas dicotiledóneas presentes, y también provocaron daños al cultivo, sin embargo, no la muerte. Hernández (1989) observó pérdidas de rendimiento de aprox. 25% al no desmalezar durante el primer 25% del desarrollo del cultivo, lo que resulta ser un 25% menos que lo obtenido en este ensayo, de esta forma las pérdidas de rendimientos pueden ser atribuidas a los daños fitotóxicos que provocaron los herbicidas sobre el cultivo, estresando a las plantas.

Por otra parte, cuando el cultivo se mantuvo durante todo su desarrollo enmalezado el porcentaje de pérdida de rendimiento superó el 90%, tal como lo señala Hernández (1989). En amaranto (*Amaranthus*), cultivo con semillas tan pequeñas como en la chíá, se observó una reducción de aproximadamente un 70% al no controlar malezas evaluando tres cultivares (De Troiani *et al.*, 2008). En otros cultivo como la soya (*Glycine max*) se observa una reducción de 50% en rendimiento en grano al no controlar las malezas (Avav *et al.*, 1995), y en maíz (*Zea mays* L.) los rendimientos se reducen un 20% (Delgado, 2012).

## CONCLUSIONES

En consideración a los objetivos planteados en este ensayo y en base a la hipótesis “Existe al menos un herbicida que no cause toxicidad al cultivo de la chía, potenciando su rendimiento en grano” se concluye que:

1. Los productos Trifluralina y Linurón no provocan daños al cultivo de chía, permitiendo un crecimiento normal del cultivo, no afectando el rendimiento en grano.
2. El cultivo es susceptible a los herbicidas Metalocloro, Pendimethalin, Bentazón y Quizalofop-p-ethyl ya que las plantas presentan síntomas de fitotoxicidad característicos de estos herbicidas, daño que interfiere en el crecimiento y rendimiento final del cultivo.
3. Trifluralina, Linurón y Pendimethalin son herbicidas que ejercen un buen control de malezas, sin embargo Linurón posee un mayor espectro de control.

## BIBLIOGRAFÍA

AFIPA (Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Plaguicidas Agrícolas A.G.), Chile. 2010. Manual Fitosanitario 2009-2010. [Santiago, Chile]: 973 p.

Ahumada, M. 1995. Evaluación de fitotoxicidad de diferentes herbicidas aplicados al follaje en maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) y su efecto en el rendimiento. Tesis Ingeniero Agrónomo. Fitotécnica. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 64 h.

ALAM. 1974. Asociación Latinoamericana de Malezas. Resumen del panel sobre Métodos para la Evaluación de Ensayos en Control de Malezas en Latinoamérica. II Congreso de ALAM. Cali, Colombia. pp. 6 - 12.

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](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182003000100001&script=sci_arttext)> Consultado el: 4 de marzo 2012

Avav, T.; O. Okereke and I. Abutu. 1995. Evaluation of herbicide mixtures for weed control in soybean (*Glycine max*) in southern Nigeria. [En línea]. The Indian Journal of Agricultural Sciences. 65(3). Recuperado en: <<http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAgS/article/view/18661>> Consultado el: 17 de noviembre 2012

Ayala, P. 2010. Efecto de la aplicación de diferentes herbicidas sobre el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* plenck.). Memoria de título Ingeniero agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 37 h.

Ayerza, R y W. Coates. 2006. Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. [En línea]. 1ª Ed. Buenos Aires, Argentina: Del nuevo extremo S.A. 232p. Recuperado en: <[http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=CwL16F7ef7YC&oi=fnd&pg=PR17&dq=chia+redescubriendo&ots=iheMCjI02C&sig=sXsqLv\\_demFELM3Fq0BJzbI7k4w](http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=CwL16F7ef7YC&oi=fnd&pg=PR17&dq=chia+redescubriendo&ots=iheMCjI02C&sig=sXsqLv_demFELM3Fq0BJzbI7k4w)> Consultado el: 20 de abril de 2012

Ayerza, R.; W. Coates and M. Lauria. 2002. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as an  $\omega$ -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.

BASF. 2010. Herbadox 45 CS. [En línea]. Santiago, Chile: The Chemical Company. Recuperado en: <[http://www.basf.cl/sac/web/chile/es\\_ES/function/conversions:/publish/content/chile/agro/productos/documentos/hojas\\_folleto/herbadox45.pdf](http://www.basf.cl/sac/web/chile/es_ES/function/conversions:/publish/content/chile/agro/productos/documentos/hojas_folleto/herbadox45.pdf)> Consultado el: 14 de Diciembre de 2012

BAYER. 2012. Quisqualop-p-etil técnico. [En línea]. Madrid, España: Ediciones agrotécnicas S.L. Recuperado en: <[http://www.terraia.com/vademecum\\_de\\_productos\\_fitosanitarios\\_y\\_nutricionales/ind\\_ex.php?proceso=registro&numero=1487](http://www.terraia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/ind_ex.php?proceso=registro&numero=1487)> Consultado el: 17 de noviembre 2012

Bueno, M.; O. Di Sapio; M. Barolo; H. Busilacchi; M. Quiroga y C. Severin. 2010. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). (Bol. Tec. N°3). Cooperación Latinoamericana y Caribeña de Plantas Medicinales y Aromáticas. Argentina: BLACMA. 221-227.

CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas), México. 2004. Catalogo de plaguicidas. México D.F.: Secretaría de medio ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud y Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Coates, W. and R. Ayerza. 1998. Commercial production of Chia in Northwestern Argentina. *JAOCs*, 75 (10): 1417 – 1420.

Coates, W. and R. Ayerza. 1996. Production potential of Chia in Northwestern Argentina. *Industrial Crops and Products*. 5 (3): 229-233.

CIREN (Centro de Información de Recursos naturales). 1996. Estudio agrologico Región Metropolitana. Descripción de suelos. Materiales y símbolos. N° 115. Santiago, Chile: Ciren. Esc.1:20.000. 464 p. 2v.

Darré, C.A; R. J. Novo; G. Zumelzu y E.R. Bracamonte. 2004. Alternativas de control químico de malezas anuales en *Mentha piperita* L. *AGRISCIENTIA*, 21 (1): 39-44.

Delgado, Y. 2012. Control de malezas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando tres herbicidas pre-emergentes, en la granja “La pradera” Chaltura-Imbabura. Tesis Ingeniero Agrónomo. Ibarra, Ecuador: Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte. 85h.

Díaz, J. 2002. Control de malezas. (cap. 5, pp 62-74). En: Aguilera, A.; R. Campillo; A. Celis; J. Díaz; S. Ferrada; R. Galdames et al. Cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) para la zona sur de Chile. [boletín electrónico] N° 84, Temuco, Chile: INIA. Centro Regional de Investigación Carillanca del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura. Recuperado en <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR29005.pdf>> Consultado el: 15 de diciembre 2012

De Troiani, R.M; N. Reinaudi y H. Troiani. 2008. Efecto del control mecánico de malezas en los caracteres agronómicos de tres genotipos de amaranto. *Revista de Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario*, 11:19-30.

Doll, J. 1996. Dinámica y complejidad de la competencia de malezas. (cap. 3, s.p.) En su: Manejo de malezas para países en desarrollo. (Estudio FAO producción y protección vegetal-120). [s.p.] [En línea] Roma, Italia: FAO Plant Production and Protection Papers. Recuperado en: <[http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s07.htm#capítulo\\_3\\_dinámica\\_y\\_complejidad\\_de\\_la\\_competencia\\_de\\_malezas](http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s07.htm#capítulo_3_dinámica_y_complejidad_de_la_competencia_de_malezas)> Consultado el: 15 de junio de 2012.

Espaillet, J.R.; E. French; D. Colvin; S. West and C. Meister. 1993. Phytotoxicity screening off our postemergence applied herbicides on seven herbs. *Proceeding Soil and Crop Science Society of Florida*. 52:33-39.

Esqueda y Rosales. 2006. Clasificación y uso de herbicidas por su modo de acción. de Agricultura, Ganadería y Pesca. [En línea]. Buenos Aires, Argentina: INTA [s.p.] [En línea] Cotaxtla, Veracruz. INIFAP. Recuperado en: <[http://www.asomecima.org/Tapachula/Clasificacion\\_uso\\_herbicidas\\_enrique\\_robles\\_y\\_alentin\\_esqueda.pdf](http://www.asomecima.org/Tapachula/Clasificacion_uso_herbicidas_enrique_robles_y_alentin_esqueda.pdf)> Consultado el 25 septiembre 2012.

Fernández, M.; I. Paunero; D. Carabajal; V. Luque; L. Montalbán; C. González. et al. 1994. Efecto del control químico de malezas en el cultivo de *Ocimum basilicum* L. en el valle central de Catamarca. (pp. 83-91). [En línea]. En: Anales de SAIPA - Sociedad Argentina para la Investigación de Productos Aromáticos Congreso Nacional De Recursos Naturales Aromáticos y Medicinales. (9<sup>no</sup>, Catamarca, Argentina). Recuperado en <<http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio015-08.html>> Consultado el: 18 de abril de 2013

Fresoli, D.; P. Beret y P. Rojas. Mayo, 2004. Desarrollo de cultivares de soja mejorados con alto potencial de rendimiento para la región litoral. *Ciencia, Docencia y Tecnología*,15(28): 247-252.

González, C.; M. Fernández; O. Roldan; L. Montalbán; V. Luque; G. Contreras y S. Gorosito. 1996. Incidencia de la época, distanciamiento y densidad de siembra en la producción de semilla de *Salvia hispánica* L. en Catamarca. (pp: 358-362). In: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Jojoba and Its Uses and the 3<sup>th</sup> International Conference on New Industrial Crops and Products. Eds. Princen, L.H., and Rossi, C., American Oil Chemists' Society, Peoria, Illinois, USA: The Association for the Advancement of Industrial Crops

Handwerck, C. 2006. Efectos fisiológicos de la aplicación de los herbicidas bentazon y fomesafen en dos cultivares de poroto verde para congelado. Memoria Ingeniero agrónomo, Mención Fitotécnia. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 33 h.

Hartley, M.J. 1993. Herbicide tolerance and weed control in culinary herbs. In: Proceedings the forty sixth New Zealand, Plant protection Conference, christchurch, New Zealand. Rotorua, New Zealand, 35-39 p.

Hernández., J. 1989. Efecto de la fecha de siembra, densidad de población y competencia, en el rendimiento de Chía (*Salvia hispánica* L.). Tesis MC Ingeniero

Agrónomo. Especialista en Genética. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 99 h.

Ixtaina, V. 2010. Caracterización de la semilla y el aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos. Tesis Doctoral. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. 275 h.

Kogan, M. y A. Pérez. 2003. Herbicidas, Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Ediciones Universidad Católica. Santiago, Chile. 333p.

Labrada, R.; J.C. Caseley y C. Parker. 1996. Herbicidas: Caracterización de los principales grupos de herbicidas. (cap. 10, s.p). En su: Manejo de malezas para países en desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal-120). [En línea] Roma, Italia: FAO Plant Production and Protection Papers. Recuperado en: <<http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>> Consultado el: 15 de junio de 2012.

Lobo, R.; MG. Alcocer; FJ. Fuentes; W. Rodríguez; M. Morandini y M. Devani. 2012. Desarrollo del cultivo de chía en Tucumán, República Argentina. *Avance Agroindustrial*, 32 (4): 27-34.

Mitchell, R. B. and Abernethy, R. J. 1993. Tolerance of clary sage, coriander and caraway to herbicides applied pre- and post-emergence. (pp 24 - 29). In: Proceedings of the Forty Sixth New Zealand Plant Protection Conference (56, 10-12 August 1993, Christchurch, New Zealand). Recuperado en: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/19932339985.html;jsessionid=86B391F04F5FF62C04DD93F7EA2FF082>> Consultado el: 19 de Noviembre 2012

Pérez, C. 2011. Evaluación de herbicidas pre y post emergentes sobre zanahorias (*Daucus carota* L.) miniatura y estándar. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Fitotecnia. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 49 h.

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.

Salazar, M.; G. Rosado y L. Chel. 2009, marzo. Composición en ácido graso alfa linolénico ( $w_3$ ) en huevo y carne de aves empleando chia (*Salvia hispánica* l.) en el alimento. *INCI*, 34(3): 209-213.

Santibáñez, F y J. Uribe. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile. 65p.

Sattin y Berti. 1996. Parámetros para la competencia malezas-cultivos. En su: Manejo de malezas para países en desarrollo (pt. 1, s.p.). En: Labrada (Ed.). Manejo de malezas para países en desarrollo. [En línea]. Roma, Italia: FAO producción y protección vegetal-120. Recuperado en:

<<http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s04.htm#TopOfPage>> Consultado el: 15 de noviembre de 2012.

Sistema de Red Agroclimático FDF-INIA-DMC. [En línea]. Santiago, Chile: Fundación para el Desarrollo Frutícola, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Dirección meteorológica de Chile. Recuperado en: <[www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl)> Consultado el: 15 de abril de 2012

Syngenta. 2011. DUAL® GOLD 960 EC. [En línea]. Cartagena, Colombia.

Recuperado en:

<<http://www.syngenta.com/country/cl/cl/soluciones/proteccioncultivos/Documents/Etiquetas/DualGold960EC.pdf>> Consultado el: 12 de diciembre de 2012

The Weather Channel. 2002. Santiago-Horas de la salida y la puesta del sol. [En línea]. Estados Unidos. Recuperado en: <<http://espanol.weather.com/climate/sunRiseSunSet-Santiago-CIXX0020:1:CI?month=1>> Consultado el: 15 de junio de 2012

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.

Vitta, J. 2004. Cátedra de Malezas, Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.R., Santa Fe, Argentina. Recuperado en:

<[http://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/12-competencia\\_cultivos\\_malezas.htm](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/12-competencia_cultivos_malezas.htm)> Consultado 17 de Noviembre 2012

Wang X.; E. Rong; J. Zhang; X. Yuan; Y. Wen y P. Guo. 2012. Effect of quizalofop on protective enzymes and photosynthesis in *Radix Isatidis*. *Journal of Medicinal Plants Research* 6 (9): 1770-1776.

Zumelzú, G.; C. Darré y R. Novo. 2000. Control de malezas en Té de burro *Lippia polystachia* Griseb con herbicidas pre y post emergentes. (pp. 91-96). En: Anales de SAIPA-Sociedad Argentina para la investigación de Productos Aromáticos; Congreso Nacional de Recursos Naturales aromáticos y Medicinales. (9<sup>no</sup>, Córdoba, Argentina). Córdoba, Argentina. Recuperado en: <<http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio016-13.html>> Consultado el: 15 de diciembre de 2012

## ANEXO

### ANEXO I. Resultados Análisis químico de suelo.

<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>
pH (en agua)	7,31
CE (dS·m <sup>-1</sup> )	1,36
MO (%)	2,17
N (mg·kg <sup>-1</sup> )	36
P (mg·kg <sup>-1</sup> )	7
K (mg·kg <sup>-1</sup> )	151

## APÉNDICE

Cuadro I. Coeficientes de correlación entre el rendimiento de chía y sus componentes.

	1	2	3	4	5	6
1. Rendimiento por hectárea	1	0,94**	0,81**	0,36	0,86**	0,31
2. Rendimiento por planta		1	0,83**	0,34	0,93**	0,39*
3. N° inflorescencias por planta			1	0,28	0,80**	0,03
4. Peso de 1000 granos				1	0,02	-0,12
5. N° granos por planta					1	0,48*
6. N° granos por inflorescencia.						1

\*Significativo al nivel del 5%

\*\*Significativo al nivel del 1%