

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFECTO DEL ESPINO (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) SOBRE EL RENDIMIENTO  
DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL SECANO INTERIOR DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA**

**VICENTE ANDRÉS NORAMBUENA ALVEAR**

**SANTIAGO - CHILE**  
**2014**

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO DEL ESPINO (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) SOBRE EL RENDIMIENTO  
DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL SECANO INTERIOR DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA**

**EFFECT OF THE ESPINO (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) ON THE BREAD WHEAT  
YIELD (*Triticum aestivum* L.) AT THE RAINFED AREA OF THE  
METROPOLITAN REGION**

**VICENTE ANDRÉS NORAMBUENA ALVEAR**

**Santiago - Chile**  
**2014**

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

**Memoria de Título**

**EFFECTO DEL ESPINO (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) SOBRE EL RENDIMIENTO  
DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL SECANO INTERIOR DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero Agrónomo

**VICENTE ANDRÉS NORAMBUENA ALVEAR**

<b>PROFESORES GUÍAS</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	7,0
Sr. Luis Piña M. Ingeniero Agrónomo, Mg Sc.	6,6
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Giorgio Castellaro G. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,0
Sr. Cristian Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,5

**Santiago, Chile**  
**2014**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que se cruzaron en mi vida universitaria.

A mi madre Cecilia, por haberme apoyado en mi formación académica desde el colegio, por estar siempre preocupada y pendiente, por su paciencia y cariño incondicional.

A mi hermano Bruno, por todos los buenos momentos que vivimos en nuestra infancia y en especial por haberme ayudado a madurar de golpe en mis dos últimos años de colegio. Sin el siempre he pensado que no hubiera entrado a esta carrera ni a esta universidad.

A la Weli, por soportarme, quererme y haber estado presente durante este largo proceso.

A mi padre, por haberme otorgado una feliz infancia, de la cual guardo muchos recuerdos alegres. Te agradezco también el haberme financiado el arancel de la carrera permitiéndome egresar y titularme libre de deudas bancarias.

Agradezco muy especialmente a mi novia Geraldine por su apoyo incondicional y por todo el amor que me ha entregado durante estos últimos cinco años.

A mi profesor Luis Piña, por guiarme a lo largo de esta memoria de título. A mi profesor Alfredo Olivares (El noble alfilerillo) por soportarme y aceptarme como su alumno.

En terreno agradezco a mi querida Omi, Coca, Cromañón, Javier Pérez y Jorjeje, por ayudarme durante la fase experimental de esta memoria de título. A Jiménez y Sánchez, por ayudarme en las labores de aradura en Rinconada de Maipú.

A Bernardo, por su ayuda en temas bibliográficos y a Marco Mocelli, por su ayuda en la revisión de redacción y ortografía.

A todos los funcionarios Antumapinos por su buena disposición, amistad y simpatía.

A la 2008, por los grandes momentos vividos. Al Coca, Negro, Piero y el pequeño Benjamín, por ayudarme a superar todos los ramos que cursamos juntos. A mis amigos Leny, Jorjeje, Camilin, Markiño, Chombo, Josese y Canco por su compañía y buena onda.

## ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
Lugar del ensayo.....	5
Metodología.....	5
Variables Microambientales.....	6
Variables de suelo.....	8
Variables productivas.....	9
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Contenido de agua del suelo.....	14
Radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el cultivo.....	15
Densidad aparente.....	16
Retención de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	17
Análisis químico de suelo.....	19
Biomasa aérea.....	20
Rendimiento de granos.....	21
Índice de cosecha.....	23
Número de granos por metro cuadrado.....	23
Espigas por metro cuadrado.....	24
Número de granos por espiga.....	25
Estados Fenológicos.....	26
CONCLUSIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que genera un estrato arbóreo compuesto por *Acacia caven* (Mol.) Mol., en el rendimiento y desarrollo de un cultivo de trigo en la Estación Experimental Germán Greve Silva, Rinconada de Maipú, Región Metropolitana de Chile.

Se establecieron cuatro parcelas de 64 m<sup>2</sup>, contando cada una de ellas con un espino adulto. Estas parcelas se sembraron en su totalidad con trigo cultivar Pandora INIA. Se analizaron tres tratamientos; SIE: sin influencia de espino; CIEBC: con influencia espino bajo copa; CIESE: con influencia espino al sur del espino. Se midieron las precipitaciones bajo y fuera de la copa de espino y la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el cultivo de trigo (PAR<sub>0</sub>). En el suelo se midió: el contenido de agua, densidad aparente, capacidad de retención de agua a 33 y 1.500 kPa, pH, conductividad eléctrica, NPK disponible y contenido de materia orgánica. En el cultivo de trigo se midió: rendimiento de biomasa y de grano, componentes del rendimiento y el tiempo en alcanzar distintos estados fenológicos.

Durante la temporada de crecimiento del cultivo, precipitaron 138,4 mm en los sectores de los tratamientos SIE y CIESE, mientras que en CIEBC, producto de la intercepción generada por las copas de los árboles, precipitaron aproximadamente 76,1 mm. El contenido de agua en el suelo fue mayor al momento de siembra en el tratamiento SIE, mientras que en madurez fisiológica el contenido de agua en el suelo fue mayor en el tratamiento CIEBC. Los niveles de PAR<sub>0</sub> fueron menores en el tratamiento CIEBC, representando en promedio un 45,8% del PAR<sub>0</sub> total recibido por el tratamiento SIE. La retención de agua entre 33 y 1.500 kPa fue mayor bajo el tratamiento CIEBC, siendo esta diferencia de un 2,28% superior, lo que implica un aumento del 25% en la capacidad de retención de agua aprovechable, respecto de los tratamientos SIE y CIESE.

El tratamiento SIE presentó los mayores valores de biomasa aérea. El rendimiento de granos presentó diferencias estadísticamente significativas, siendo el tratamiento CIESE el que presentó los mayores rendimientos; mientras que los menores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento CIEBC. Para las mediciones de estados fenológicos, se registraron diferencias en los días en alcanzar los estados de espigadura y madurez fisiológica. Para el estado fenológico de espigadura, se presentaron siete días de diferencia entre el tratamiento SIE y los tratamientos CIEBC y CIESE. Para el estado fenológico de madurez fisiológica esta diferencia aumentó a nueve días. Se concluye que el espino genera modificaciones microambientales y físico-químicas de suelo; sin embargo, estas modificaciones no provocaron un aumento en el rendimiento del cultivo de trigo.

**Palabras claves:** Secano, microclima, agrosilvopastoral, asociación de especies, estados de desarrollo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of a tree stratum composed by *Acacia caven* (Mol.) Mol; on the yield and development of a wheat crop in the German Greve Silva Experimental Station, Rinconada de Maipu, Metropolitan Region, Chile.

Four plots of 64 m<sup>2</sup> were established having each one an adult Espino (*Acacia caven*). These plots were fully sown with spring wheat cultivar Pandora INIA. Three treatments were analysed; SIE: No Espino influence; CIEBC: Under influence of Espino canopy; CIESE: Under Espino influence south of the Espino. Rainfall and photosynthetically active radiation incident on the wheat crop (PAR<sub>0</sub>) were measured under and out of the Espino canopy cover. In the soil: content of water, bulk density, water retention at 33 and 1.500 kPa, pH, electrical conductivity, available NPK and organic matter content were measured. On the wheat crop: biomass yield, grain yield, the yield components and the time it took to achieve the different plant development stages were measured.

During the crop growing season in the SIE and CIESE treatment, 138,4 mm of rainfall were registered, whereas in the CIEBC treatment as a result of the interference created by the canopy cover of the Espino trees, 76,1 mm of rainfall were registered. The content of water in the soil of the SIE was greater at the moment of sowing, while regarding physiological maturity the content of water in the soil was greater in the CIEBC treatment zone. The levels of wheat crop PAR<sub>0</sub> were lower in the CIEBC treatment section representing in average a 45,8% of PAR<sub>0</sub> totally achieved by SIE treatment. The water retention between 33 and 1.500 kPa was greater in CIEBC, being this difference a 2,28 % higher, what implies an increase of a 25% of usable water holding capacity compared to the SIE and CIESE treatments.

The SIE treatment presented the higher values of aerial biomass. Grain yield presented statistically significant differences, being the CIESE treatment the one that presented the higher grain yield, whereas the CIEBC treatment yielded the lowest. For plant development stages measurements, differences in the days to reach heading date and physiological maturity development stages were recorded. There was a difference of seven days between SIE treatment and the CIEBC and CIESE treatments to reach heading date development stage. To reach development stage of physiological maturity the difference raised to nine days.

It is concluded that the Espino, generates microenvironmental and soil physico-chemical modifications, however, these modifications did not provoke an increase of wheat crop yield.

**Key words:** Rainfed zone, microclimate, agro-silvopastoral, species association, development stages.

## INTRODUCCIÓN

El secano interior chileno corresponde a un gran agro-ecosistema, que comprende los sectores no regados de la depresión central y la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, cubriendo aproximadamente dos millones de hectáreas entre los paralelos 30° y 37° LS (INIA, 2004).

Esta zona presenta un clima templado cálido, el cual se caracteriza por tener una gran variabilidad en las precipitaciones, tanto en cantidad como en intensidad y distribución. En invierno, se concentra la mayor parte de las precipitaciones anuales, presentando una precipitación media anual que fluctúa entre los 200 a 250 mm año<sup>-1</sup>, con un periodo seco de 7 a 8 meses (Uribe *et al.*, 2012).

El cultivo tradicional del secano interior de la zona central de Chile es el trigo, el cual representa hoy en día uno de los cultivos más importantes a nivel nacional y mundial, alcanzando una superficie promedio aproximada de 271.000 ha a nivel nacional y 52.700 ha entre la Región de Coquimbo y la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, durante la temporada 2010/2011 (INE, 2011).

El cultivo de trigo en el secano interior, se ve generalmente expuesto a déficit hídrico en los últimos meses de su ciclo productivo, fenómeno conocido como sequía terminal, lo cual provoca una disminución sustancial en los rendimientos potenciales de grano. El llenado de grano, a menudo, se produce cuando las temperaturas van en aumento y el suministro de agua en el suelo está disminuyendo (Blum, 1998). De este modo, se vuelve necesario estudiar alternativas que contrarresten esta situación y que permitan aumentar la disponibilidad hídrica del suelo, disminuir las pérdidas por evaporación y aumentar la eficiencia en el uso del agua (EUA).

Bajo este contexto, el espino podría jugar un rol favorable sobre el balance hídrico del suelo, la eficiencia en el uso del agua y la estabilidad del ecosistema.

Estudios en praderas naturales bajo espinos, muestran que la humedad disponible del suelo se agota antes en las áreas no protegidas por éstos y que la EUA, expresada en kg de materia seca (MS) m<sup>-3</sup> de agua evapotranspirada, siempre es superior en el área de influencia arbórea (Olivares *et al.*, 1989), lo que produce un aumento aproximado de un 100% en la producción de biomasa aérea de la pradera natural cuando ésta se encuentra bajo la influencia del espino.

Lo anterior, permite suponer que el cultivo de trigo en condiciones de secano en clima mediterráneo, se puede ver favorecido por la influencia del espino, ya que el principal factor limitante de los rendimientos de trigo es la disponibilidad hídrica.

Este estudio tiene por finalidad analizar la factibilidad de establecer sistemas agrosilvopastorales estables en el tiempo, integrando la rotación del cultivo de trigo con la pradera para ser utilizada en producción animal, ambos bajo la influencia del espinal, con el objetivo de incrementar la sustentabilidad del sistema productivo.

**Hipótesis:**

- El efecto de un estrato arbóreo de *Acacia caven*, aumenta la producción de trigo en el secano interior de la Región Metropolitana.
- El efecto de un estrato arbóreo de *Acacia caven*, modifica la duración de las etapas fenológicas del cultivo.

**Objetivos:**

- Evaluar el efecto de un estrato arbóreo de *Acacia caven*, sobre la producción de trigo en el secano interior de la Región Metropolitana.
- Evaluar el efecto de un estrato arbóreo de *Acacia caven*, sobre la duración de las distintas etapas fenológicas del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar del ensayo

El estudio se realizó en el Programa de Rumiantes Menores y Praderas de Secano de la Estación Experimental Germán Greve Silva, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33°29' S; 70°52' O). Los análisis de las muestras, tanto de suelo como de la cosecha de trigo, fueron realizados en el Laboratorio de Manejo de Praderas, pertenecientes al Departamento de Producción Animal de la Facultad.

El suelo del ensayo pertenece a la serie Pudahuel, miembro de la familia franca gruesa, mixta de los vertadicos durixerolls (Mollisols). Son suelos ligeramente profundos de textura moderadamente gruesa; la profundidad efectiva del suelo varía entre los 35 y 70 cm. Se estima que la temperatura media anual del suelo varía entre 15 y 16 ° C (CIREN, 1996).

Santibáñez y Uribe (1990), definen el clima del lugar donde se llevó a cabo el estudio como un clima de tipo templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido.

### Metodología

Los tratamientos establecidos fueron los siguientes:

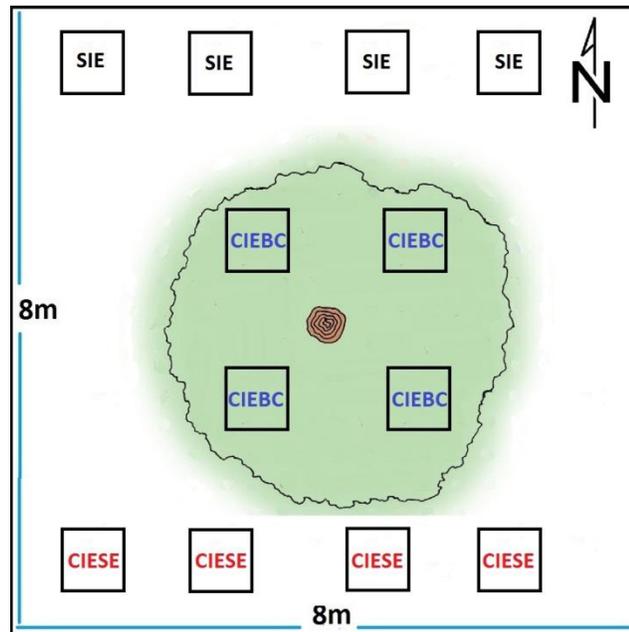
- SIE : Cultivo de trigo sin influencia del espino.
- CIEBC : Cultivo de trigo con influencia del espino, ubicado bajo su copa.
- CIESE : Cultivo de trigo con influencia del espino, ubicado al sur de este último, fuera de su copa.

El ensayo se efectuó en un sector de 1,34 ha, en el cual se encuentra una población de individuos adultos de *Acacia caven* (Mol.) Mol., la cual no ha sido intervenida en aproximadamente ocho años.

Se escogieron cuatro espinos adultos homogéneos, en cuanto a altura, tamaño y densidad de copa.

En cada uno de los cuatro espinos se establecieron parcelas de 64 m<sup>2</sup> (8m · 8m), ubicándose cada espino al centro de ésta (Figura 1).

Se realizaron las labores de preparación de suelo en cada una de las parcelas, una vez ocurrida la primera lluvia efectiva del año (Olivares *et al.*, 2006), siendo ésta de 59,1 mm, la cual se produjo entre los días 26 y 27 de mayo. Posteriormente, las parcelas fueron sembradas en su totalidad con trigo cultivar Pandora INIA, con una dosis de siembra de 150 kg ha<sup>-1</sup> y una distancia entre hilera de 20 cm. La siembra se realizó de forma manual.



**Figura 1.** Representación gráfica de una de las cuatro parcelas de 64 m<sup>2</sup> con los tres tratamientos en estudio, en vista aérea.

Inicialmente, se planteó el estudio como una comparación entre los tratamientos SIE y CIEBC. Al momento de cosecha, se apreció que el sector al sur de espino presentaba diferencias respecto al sector norte (tratamiento SIE), por lo que se decidió considerar este sector como un nuevo tratamiento y registrar sus resultados de rendimientos productivos. Es por esta razón que no se realizaron mediciones de PAR<sub>0</sub> interceptado y contenido de agua en el suelo para el tratamiento CIESE.

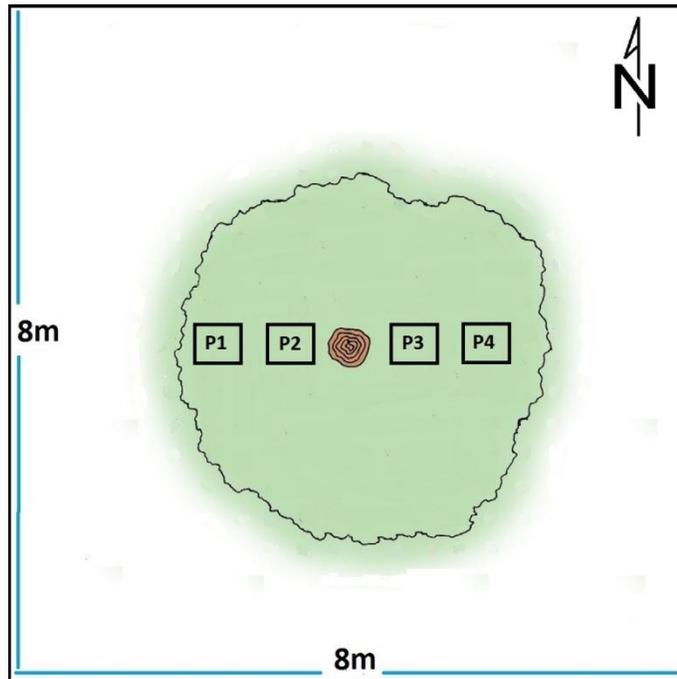
### Variables microambientales

#### Radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre el cultivo

Para medir la PAR se utilizó un ceptómetro Delta-T Devices UK. modelo SS1, el cual consiste en una barra de 1 metro de largo con 64 sensores independientes, los cuales miden la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Se tomaron dos mediciones sobre el cultivo de trigo en el sector norte de cada bloque, correspondiente al tratamiento SIE, y ocho veces en el sector bajo la copa de los distintos espinos en estudio, correspondiente al tratamiento CIEBC, estas últimas se realizaron en forma radial desde el tronco de los espinos, a fin de capturar las variaciones en la cantidad PAR que atraviesa los distintos sectores de las copas en estudio. Estas mediciones fueron efectuadas en los estados fenológicos de emergencia, primer nudo y espigadura, entre las 11:00 y 13:00 h.

## Precipitaciones

Para los tratamientos SIE y CIESE, las precipitaciones fueron medidas en la estación meteorológica aledaña al potrero donde se realizó el ensayo. En cuanto a las mediciones de precipitaciones para CIEBC, se instalaron cuatro pluviómetros bajo la copa de uno de los espinos en sentido oeste a este (Figura 2).



**Figura 2.** Representación gráfica de la ubicación de los cuatro pluviómetros instalados en una de las parcelas del ensayo.

## Contenido de agua del suelo

Las mediciones se realizaron según el método gravimétrico (Hernández *et al.*, 1991). Estas fueron efectuadas al momento de siembra y en los estados fenológicos de emergencia, primer nudo, espigadura y madurez fisiológica (MF). Las muestras de suelo fueron extraídas con barreno a una profundidad de 30 cm. Se obtuvieron dos muestras por tratamiento (SIE y CIEBC) en cada uno de los cuatro bloques establecidos.

El cálculo para obtener el contenido de agua en el suelo se efectuó según la siguiente fórmula:

$$P_w = H_m \times 100 \times P_{ss}^{-1}$$

Donde:

- $P_w$  = Humedad de la muestra (g agua g suelo seco<sup>-1</sup>)
- $P_{ss}$  = Peso suelo seco (g) (105°C durante 48 horas)
- $H_m$  = Contenido de agua de la muestra (g)

### **Variables de suelo**

Los muestreos de suelo, tanto para los análisis físicos como para los análisis químicos, se realizaron fuera y bajo la copa de los distintos espinos, en cada uno de los bloques en estudio, con el objetivo de determinar el efecto de la presencia del árbol sobre las características físicas y químicas del suelo. Los tratamientos SIE y CIESE fueron caracterizados mediante muestras obtenidas en el sector fuera de la influencia de la copa del árbol y el tratamiento CIEBC por el sector bajo la copa de los espinos.

#### **Densidad aparente de suelo (Da)**

La  $D_a$  se determinó mediante el método del cilindro (Grossman y Rreinsch, 2002; Sandoval *et al.*, 2012). Se obtuvieron dos muestras a una profundidad de 10 cm, tanto fuera como dentro de la copa, en cada uno de los cuatro bloques.

#### **Retención de agua de suelo a 33 kPa (capacidad de campo (CC)) y 1.500 kPa (punto de marchitez permanente (PMP))**

Se obtuvieron dos muestras tanto fuera como dentro de la copa, en cada uno de los cuatro bloques. El muestreo se realizó con un barreno a una profundidad de 15 cm. Las muestras de suelo se tamizaron a 2 mm, luego se saturaron con agua y se dejaron drenar por 16 h. Los resultados de retención de agua del suelo se obtuvieron mediante la utilización de una olla Richard's (Hernández *et al.*, 1991; Sandoval *et al.*, 2012) sometiendo las muestras a presiones de 33 kPa (CC) y 1.500 kPa (PMP) durante 24 h.

## **Análisis químico**

El muestreo se realizó con un barreno a una profundidad de 15 cm, obteniéndose dos muestras tanto fuera como bajo la copa de los espinos, en cada uno de los cuatro bloques. Los siguientes análisis químicos de suelo fueron efectuados en el Laboratorio de Química de Suelo, perteneciente al Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

- pH (extracto acuoso 1:1,25; Sadzawka *et al.*, 2006).
- Conductividad eléctrica (extracto de saturación y determinación por conductivimetría; Sadzawka *et al.*, 2006).
- Porcentaje de materia orgánica (oxidación con dicromato en medio ácido y determinación colorimétrica del cromato reducido, Sadzawka *et al.*, 2006).
- Contenidos de nitrógeno disponible (extracción con cloruro de potasio,  $2 \text{ mol }^{-1}\text{L}$ , destilación de  $\text{NH}_3$  y determinación por titulación; Sadzawka *et al.*, 2006).
- Contenido de fósforo disponible (extracción con solución de bicarbonato de sodio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 8,5 y determinación colorimétrica del azul de molibdeno; Sadzawka *et al.*, 2006).
- Contenido de potasio disponible (extracción con solución de acetato de amonio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 y determinación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica con lanato; Sadzawka *et al.*, 2006).

## **Variables productivas**

### **Rendimiento del cultivo de trigo y componentes del rendimiento**

El cultivo de trigo fue cosechado el día 23 de noviembre, fecha en la cual los tratamientos CIEBC y CIESE, que fueron los últimos en alcanzar el estado fenológico de madurez fisiológica, alcanzaron dicho estado de desarrollo. Se cosecharon cuatro muestras por tratamiento en cada uno de los cuatro bloques, cada muestra cosechada se obtuvo de un cuadrante de  $0,25 \text{ m}^2$  (Figura 1). Las muestras fueron analizadas y procesadas en su totalidad.

La cosecha se realizó a ras de suelo, formando un manojo por cada muestra. Cada una de éstas fue dispuesta en un saco distinto, indicándose tanto dentro como fuera de éste, el tratamiento y bloque al cual perteneció dicha muestra.

### Número de espigas por metro cuadrado

En cada una de las muestras, se separaron las espigas del resto del material cosechado. Luego, las espigas y el material restante fueron empaquetados en bolsas de papel de forma separada (Figura 3a y 3b). Se cuantificó el número de espigas por muestra, obteniéndose así el número de espigas por  $0,25 \text{ m}^2$ , para luego llevar estos resultados a espigas por  $\text{m}^2$ .



**Figura 3a.** Separación de espigas del resto del manojo.



**Figura 3b.** Espigas y resto del manojo, embolsados de forma independiente.

### Biomasa aérea

Las muestras fueron secadas en estufa con aire forzado a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 48 h. A continuación, se pesaron ambos paquetes (espigas y resto de las plantas) para estimar el rendimiento de biomasa aérea ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ).

### Rendimiento de granos

Se trillaron las espigas de cada muestra para separar los granos del resto de las estructuras (Figuras 4a y 4b). Una vez molidas las espigas, se utilizó un secador de pelo para separar los granos del resto del material vegetal (Figura 4c) y se contabilizó el número total de granos por muestra cosechada (Figura 5). Posteriormente, se empaquetaron los granos en una nueva bolsa de papel para poder pesar y obtener el rendimiento de granos por muestra (Figura 6).



**Figura 4a.** Espigas antes de molienda manual.



**Figura 4b.** Espigas molidas listas para el venteo.



**Figura 4c.** Venteo manual mediante secador de pelo.



**Figura 5.** Conteo de número de granos.



**Figura 6.** Rendimiento de granos por muestra.

### Número de granos por espiga

Una vez obtenidos los resultados de número de granos por muestra y número de espigas por muestra, se obtuvo el número de granos por espiga, mediante la división de estos dos resultados.

### Índice de cosecha (IC)

El índice de Cosecha se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{Rendimiento Granos (kg MS ha}^{-1}\text{)}}{\text{Biomasa Aérea (kg MS ha}^{-1}\text{)}} \times 100$$

### Etapas fenológicas

Se determinaron las fechas en alcanzar los estados de emergencia, primer nudo, espigadura y madurez fisiológica (MF), calculando así la duración entre las distintas etapas fenológicas. Se consideró que el cultivo alcanzó una determinada etapa fenológica cuando el 50% de la población de las zonas de muestreo alcanzó dicho estado. Para determinar las distintas etapas fenológicas o fases de desarrollo se utilizó la escala decimal Zadoks (Rawson y Macpherson, 2001).

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados, correspondiendo cada espino con su respectiva parcela a un bloque distinto, utilizándose cuatro bloques con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental una superficie de un cuarto de metro cuadrado de cultivo de trigo. Las variables analizadas fueron biomasa aérea, rendimiento de granos, índice de cosecha, espigas m<sup>-2</sup>, granos espiga<sup>-2</sup>, número de granos m<sup>-2</sup> y radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el cultivo. El contenido de agua en el suelo se analizó estadísticamente al momento de siembra y para los estados fenológicos de primer nudo, espigadura y madurez fisiológica, contando cada uno de los tratamientos con ocho repeticiones en cada momento de medición.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza considerando un grado de significancia del 5%. Se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la separación de medias.

Los resultados de precipitaciones bajo y fuera de espino, densidad aparente de suelo, retención de agua del suelo a CC y PMP, análisis químico de suelo y etapas fenológicas del cultivo de trigo fueron analizadas de manera descriptiva, usando promedios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el año 2012, se registraron 224,7 mm de precipitaciones en el sector del estudio (Cuadro 1), monto que es clasificado por Gastó (1966) como un año seco. La precipitación recibida por el cultivo de trigo fuera de la copa de los espinos fue de 138,4 mm, lo que corresponde a las precipitaciones ocurridas entre los meses de junio y noviembre.

**Cuadro 1.** Precipitaciones mensuales del año 2012, registradas en la Estación Experimental Germán Greve Silva, Rinconada de Maipú.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	2,1
Mayo	59,1
Junio	73,85
Julio	0
Agosto	34,15
Septiembre	0
Octubre	30,4
Noviembre	0
Diciembre	25,1
<b>Total</b>	<b>224,7</b>

Las precipitaciones presentadas en el Cuadro 1, corresponden a los tratamientos SIE y CIESE, ya que estos se ubicaban fuera de la copa de los espinos, por lo que no existió una intercepción de lluvia por parte de la copa de los árboles sobre estos tratamientos.

En el Cuadro 2, se observan las precipitaciones registradas en los pluviómetros ubicados bajo la copa de un espino (Figura 2), lo cual representa las precipitaciones recibidas por el tratamiento CIEBC entre siembra y madurez fisiológica, correspondiente a 63,3 mm.

Debido a que no todas las mediciones en estos pluviómetros se realizaron al día siguiente de ocurrida la precipitación, se cree que este valor puede subestimar lo realmente recibido por el cultivo bajo la copa de los espinos, ya que parte de lo precipitado en los pluviómetros podría haberse evaporado con el transcurso de los días. Si solo se consideran las mediciones realizadas al día siguiente de acontecida una lluvia, se puede estimar que un 55% de lo precipitado es capturado por los pluviómetros, por lo tanto, aplicando este porcentaje al 100% de lo precipitado entre siembra y madurez fisiológica, se obtiene un total de 76,1 mm precipitados bajo la copa de los espinos, correspondiente al tratamiento CIEBC.

**Cuadro 2.** Precipitaciones registradas bajo la copa de uno de los espinos correspondiente a lo recibido por el tratamiento CIEBC.

<b>Fecha</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
14-jun	17,4
21-jun	9,8
17-jul	7
29-ago	13,8
10-oct	15,3
<b>Total</b>	<b>63,3</b>

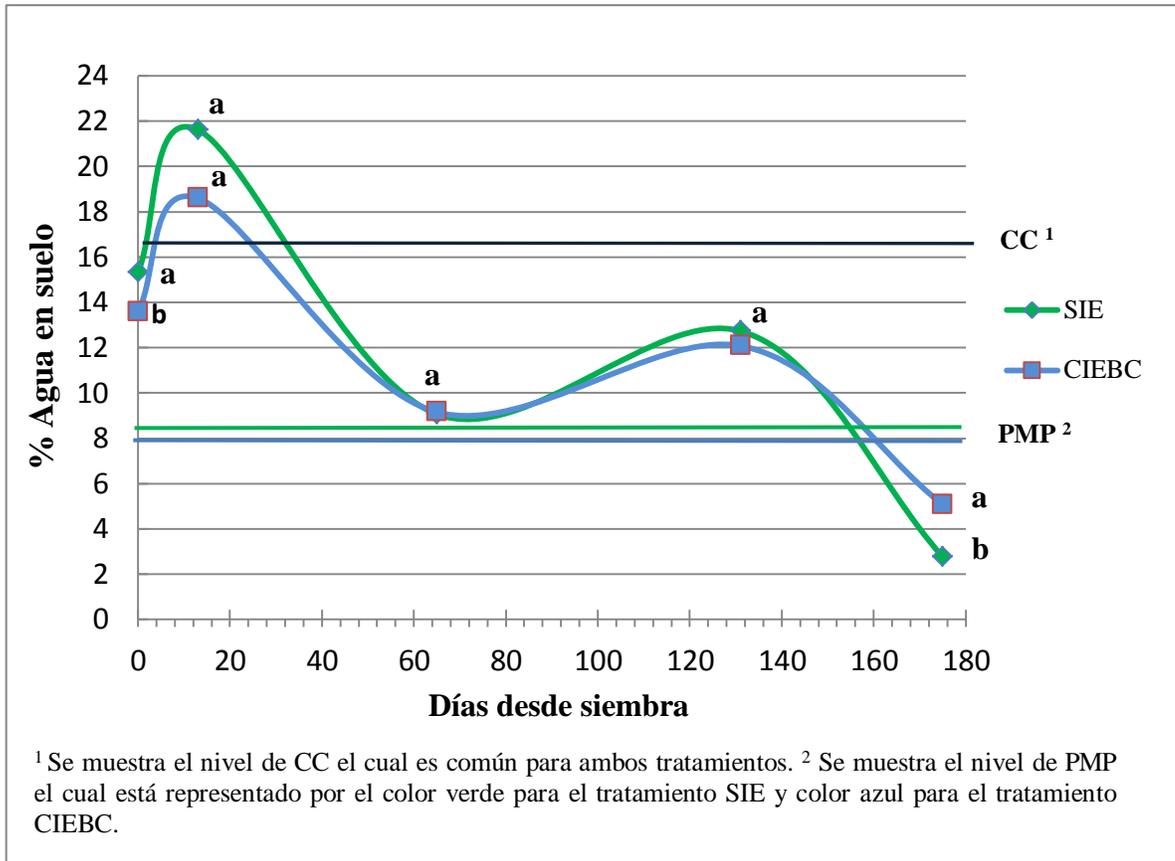
Castillo *et al.* (1990) encontraron resultados distintos a los de este estudio, señalando que con precipitaciones de 10 mm día<sup>-1</sup>, bajo un espino cae entre un 86 a 91% del 100% precipitado, mientras que con precipitaciones menores a 3 mm día<sup>-1</sup> los valores fluctúan entre el 58 y 76%. Los resultados de Navar y Korke (1989), en tanto, muestran que en promedio, lo precipitado bajo la copa de un arbusto semiárido es de 69,7% con un rango que va del 27,0 al 79,3% del total precipitado, presentando una desviación estándar del 9,5%. La cantidad de precipitación interceptada por el espino podría variar dependiendo del tamaño y estructura de la canopia, lo cual influye sobre la partición de lo precipitado entre pérdidas por interceptación, precipitación que atraviesa exitosamente y escurrimiento a través del fuste.

### **Contenido de agua del suelo**

El contenido de agua en el suelo, en los primeros 20 cm de profundidad, presento diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ) tanto al momento de siembra como MF. El contenido de agua en el suelo fue mayor bajo el tratamiento SIE al momento de siembra (Figura 7), pasando gran parte del ciclo de crecimiento del cultivo de trigo sin diferencias estadísticamente significativas, situación que se invierte al final del ciclo, en el cual se registró un mayor contenido hídrico bajo copa de los espinos. El tratamiento SIE bajó del nivel de PMP aproximadamente en el día 143 después de siembra (ds), mientras que CIEBC lo hizo diez días después, en el día 153 ds.

Estos resultados son concordantes con lo encontrado por Castillo *et al.* (1988) en estudios con *Acacia caven*, cuyos resultados demuestran una situación similar en los niveles de contenido hídrico con y sin influencia de un estrato superior. El comportamiento del contenido hídrico del suelo (Figura 7), se puede explicar por los estudios de Moller y Assouline (2006), que postulan que bajo un 30% de sombreado, la evapotranspiración de un cultivo ( $ET_c$ ) es un 38% inferior comparado a un testigo no sombreado. Según Castillo *et al.* (1990), la EUA sería el doble bajo la cobertura del espino, tanto en años secos como lluviosos, demostrando que las especies vegetales que se desarrollan bajo el árbol son favorecidas por su microambiente, determinando un mejor aprovechamiento del

agua, a pesar que tanto la cantidad de agua caída en este sector como la evapotranspiración real, son menores.

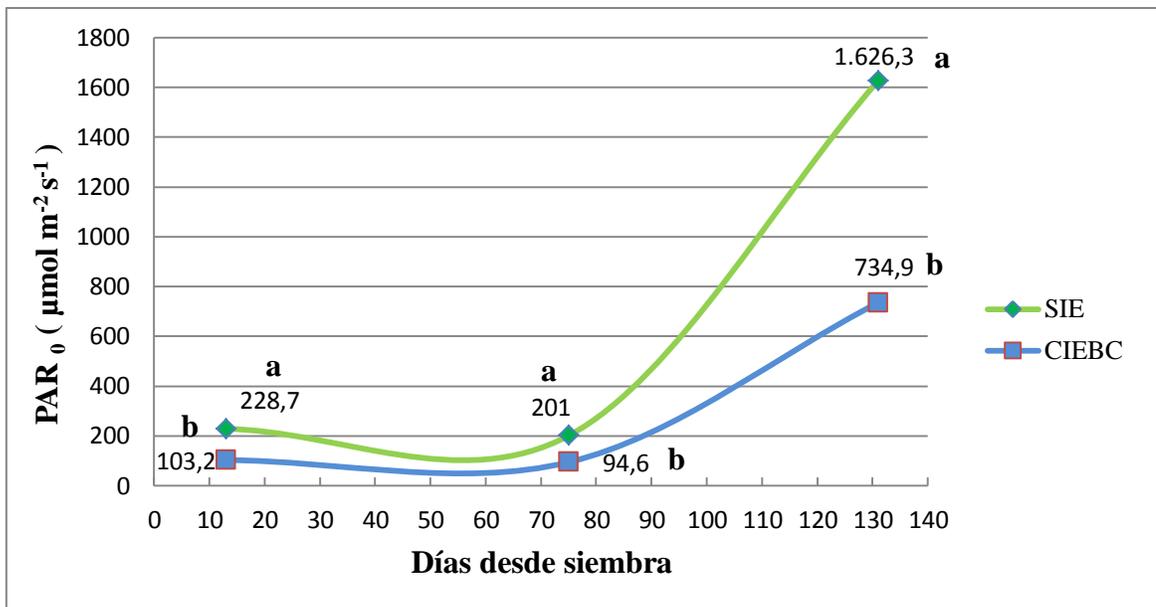


**Figura 7.** Contenido gravimétrico de agua en los primeros 20 cm de suelo para los tratamientos SIE y CIEBC.

### Radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el cultivo ( $PAR_0$ )

La  $PAR_0$  presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ) a través de todo el ciclo de desarrollo del cultivo (Figura 8). El sector norte del cultivo (SIE), al no encontrarse expuesto a sombreado, registró mayores cantidades de  $PAR_0$  a diferencia del sector ubicado bajo copa de espino (CIEBC) que, producto de esta última, dejó de recibir una cantidad importante de radiación fotosintéticamente activa. Los niveles de  $PAR_0$  fueron menores en el tratamiento CIEBC en comparación a los niveles registrados en el tratamiento SIE y representó, en promedio, un 45,8% del  $PAR_0$  total recibido por el tratamiento SIE. Olivares *et al.* (2002) sostienen que la cantidad de PAR que es recibido bajo un árbol, es diferente no solo debido al movimiento del sol durante el día y el año, sino también varía según la ubicación que este punto tenga con respecto al árbol al cual está asociado.

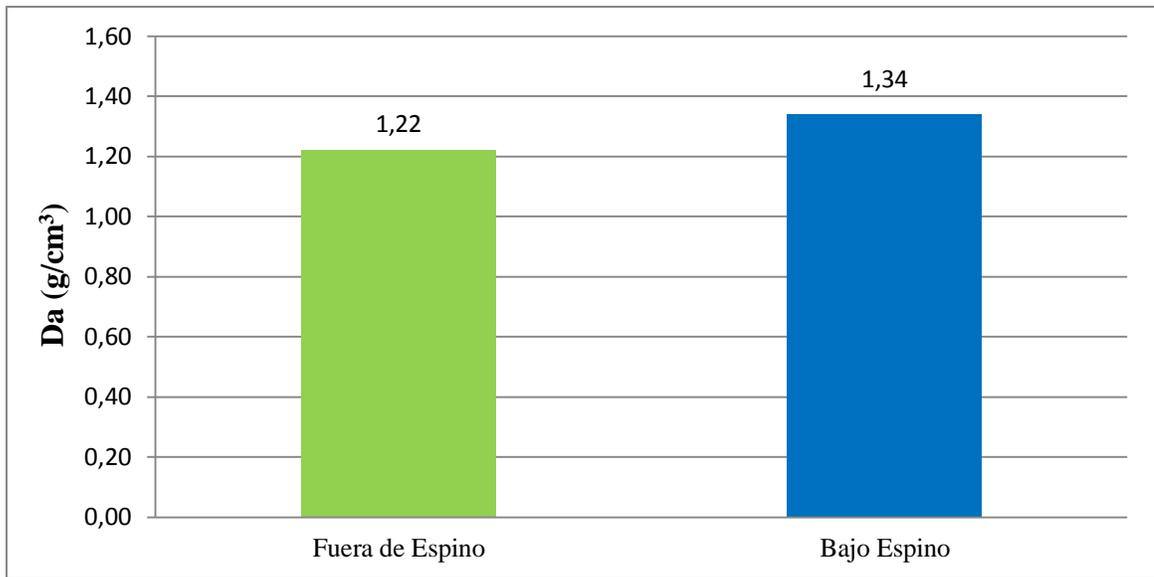
Además, la orientación Sur Este (SE) del espino sería el sector que recibe mayor sombreado en las horas de más altas temperaturas, provocando que sea el sector con mayor rendimiento de materia seca en el caso de la pradera natural (Hermosilla, 1991; Olivares *et al.*, 2002). El efecto sombreador de la canopia de un árbol puede ser simulado mediante la instalación de mallas sombreadoras, como lo estudiado por Moller y Assouline (2006). En dicho estudio, se instalaron mallas negras sombreadoras que interceptaban el 30% de la radiación incidente, las cuales generaron una disminución en la radiación global ( $R_G$ ) que fluctuó entre un 32 y 72% respecto del tratamiento no protegido, promediando en la temporada un 56% del tratamiento testigo. En cuanto a los valores de PAR, los autores indicaron valores muy distintos dentro del día, registrando una disminución del 6,3% a las 13:00 h y un 43,4% a las 17:30 h. Esto indica que también será importante considerar en que momento del día se realizan las mediciones de PAR.



**Figura 8.** Radiación fotosintéticamente activa recibida por los tratamientos SIE y CIEBC ( $\text{PAR}_0$ ), en los estados fenológicos de emergencia, primer nudo y espigadura respectivamente.

### Densidad aparente ( $D_a$ )

La densidad aparente de los primeros 10 cm del suelo donde se llevó a cabo el experimento, presentó diferencias numéricas entre los distintos sectores muestreados (Figura 9). Fuera de la copa se registró una  $D_a$  de  $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ , mientras que bajo la copa de los espinos se registró una  $D_a$  de  $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ .

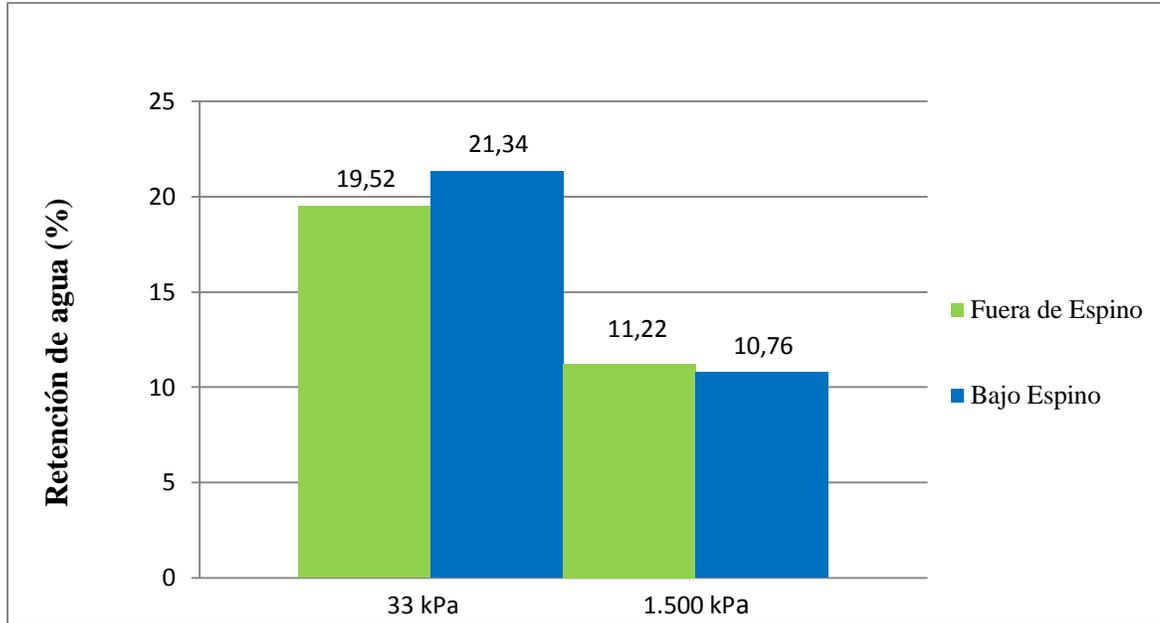


**Figura 9.** Densidad aparente de suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) para los sectores fuera de espino y bajo espino.

La USDA (s.f.) señala que, para un suelo de clase textural franco arenosa (similares al suelo del presente estudio), la  $D_a$  ideal es aquella que está por debajo de los  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ; mientras que Sandoval *et al.* (2012) señalan que los valores esperables de  $D_a$  para un suelo franco arenoso son aquellos cercanos a  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ . Así, ninguno de los tres tratamientos establecidos presentaría problemas de compactación en superficie, debido a que la  $D_a$  es un indicador de la compactación del suelo, afectando la infiltración, profundidad y restricciones de arraigamiento, capacidad de agua disponible, porosidad de suelo y actividad de microorganismos, los cuales influyen sobre procesos claves de suelo y su productividad (USDA, s.f.).

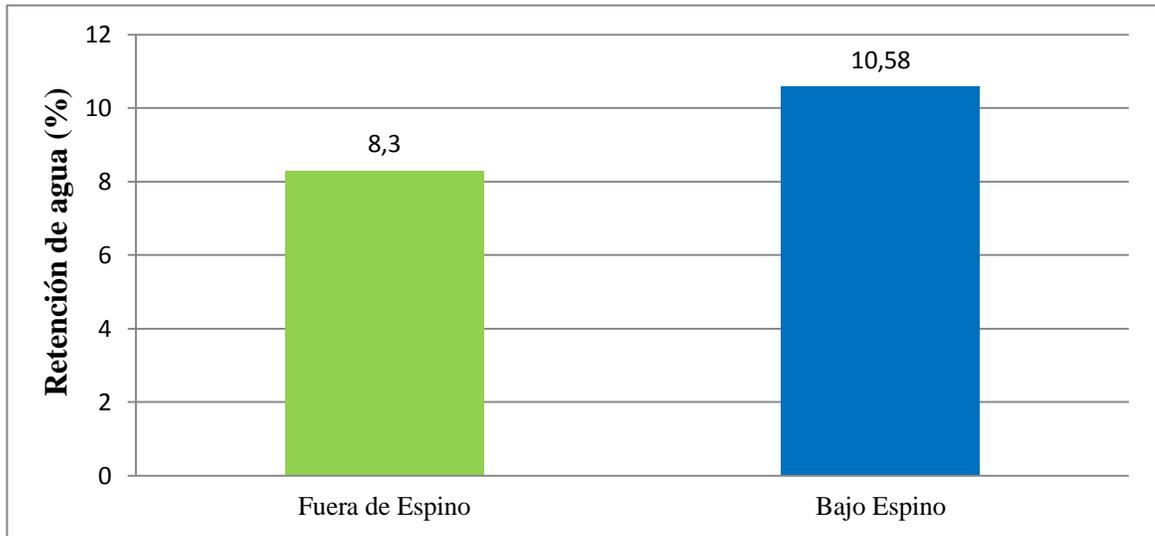
#### **Retención de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)**

La capacidad del suelo de retener agua a CC, fue distinta bajo y fuera de las copas de los espinos muestreados, siendo mayor bajo la copa del espino (Figura 10). En cuanto a su capacidad de retener agua a PMP, la diferencia entre ambas situaciones fue solo de un 0,45%. Warrick (2001), estima que para un suelo de clase textural franco arenosa, el contenido de agua a CC debiera rondar el 18%, mientras que a PMP debiera rondar el 6% en base volumen.



**Figura 10.** Retención de agua a CC (33 kPa) y PMP (1.500 kPa), expresada en base a volumen.

Si se analiza la capacidad de retención de agua del suelo entre CC y PMP (Figura 11), se observan diferencias numéricas importantes entre fuera y bajo de la copa de los espinos, siendo bajo espino el sector capaz de almacenar una mayor cantidad de agua utilizable por el cultivo, siendo esta diferencia de un 2,28% en base a volumen de agua en el suelo, lo que representa un aumento del 25% de retención de agua, respecto al sector fuera de espino. Esta mayor capacidad de retención de agua por parte del suelo del sector bajo espino, podría deberse a la mayor cantidad de materia orgánica (Cuadro 3), la cual le confiere al suelo una mayor capacidad de retener agua entre los potenciales estudiados.



**Figura 11.** Retención de agua entre CC (33 kPa) y PMP (1.500 kPa), expresada en base a volumen.

### Análisis químico de suelo

Los resultados del análisis químico de suelo (Cuadro 3), muestran diferencias numéricas en la conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica (MO), contenido de nitrógeno (N) y potasio (K) disponibles. La totalidad de estos parámetros, con la excepción de la conductividad eléctrica, se encuentra en una mejor condición bajo la copa de los distintos espinos.

**Cuadro 3.** Análisis químico de suelo para los sectores fuera y bajo espino.

	Fuera de Espino	Bajo Espino
pH (en agua)	6,4	6,6
Conductividad eléctrica (dS/m)	2,83	4,74
MO (%)	4,03	5,67
N (mg/kg)	120	212
P (mg/kg)	109	118
K (mg/kg)	866	1690

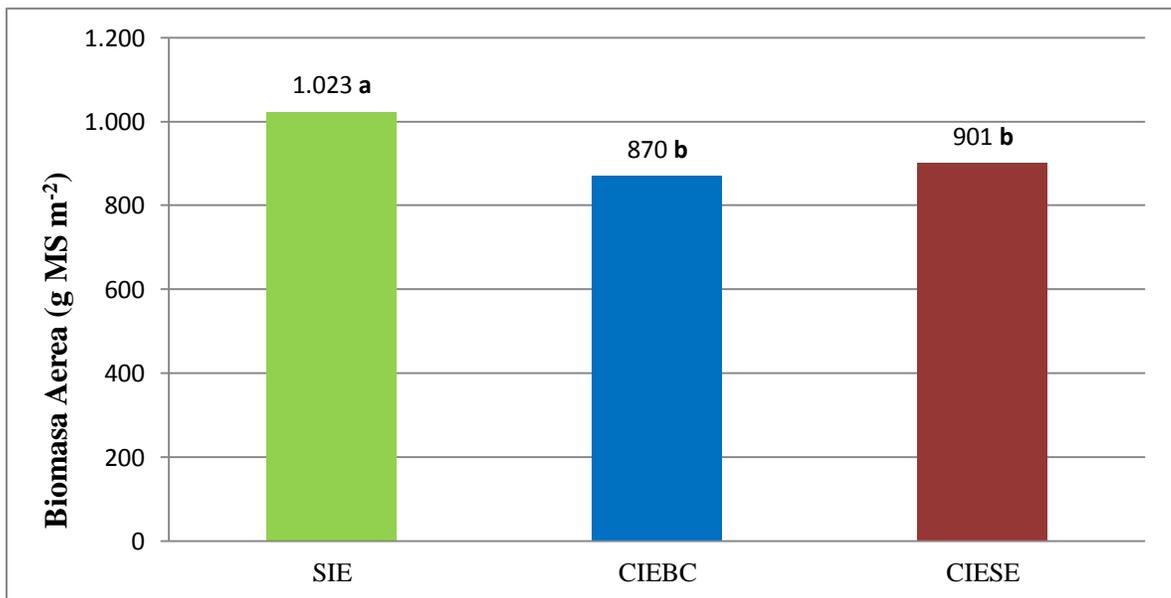
En cuanto al pH, no existen mayores diferencias numéricas, presentándose ambas situaciones en un estado de pH óptimo (Vitosh, 1998), siendo ambos suelos débilmente ácidos (Bernier, 2004). La conductividad eléctrica del suelo bajo la copa de los distintos espinos se encontró en niveles elevados, pudiendo ser categorizado como suelo salino (Benavides y Salazar, 2004), lo cual se aleja de una condición óptima para el crecimiento vegetal.

No obstante lo anterior, el cultivo de trigo no presenta problemas de crecimiento y desarrollo para dichos niveles de CE (Francois *et al.*, 1986; Richards *et al.*, 1987; Hu y Schmidhalter, 1997; El-Hendawy *et al.*, 2005).

Los niveles de MO encontrados bajo y fuera de las copas de los espinos, correspondieron a niveles altos y medios, respectivamente (Benavides y Salazar, 2004). Polzenius (1987) y Olivares *et al.* (1988) encontraron la misma tendencia en los contenidos de MO, pero a niveles inferiores, señalando que bajo la proyección de copa de *Acacia caven* el contenido de MO varía de 2,1 a 2,3 %, mientras que fuera de ésta los valores no superan el 1,3%. Esta diferencia podría deberse a la condición de árbol decíduo que presenta *Acacia caven* en condiciones de semiaridez (Olivares *et al.*, 1988), sumado a la presencia de fecas ovinas bajo la copa de los espinos en estudio. Polzenius (1987) y Olivares *et al.* (1988), al igual que con los niveles de MO, encontraron la misma tendencia en los resultados respecto de los niveles de nitrógeno y potasio, siendo estos mayores en los sectores bajo espino en comparación a fuera de estos. Sin embargo, tanto bajo como fuera de la copa de los distintos espinos, los niveles de N, P y K disponible se encuentran en niveles considerados “Muy alto” (Benavides y Salazar, 2004).

### Biomasa aérea

El rendimiento de biomasa aérea presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ) entre los tratamientos, siendo el tratamiento SIE el cual presentó los mayores rendimientos, seguido por los tratamientos CIEBC y CIESE (Figura 12).

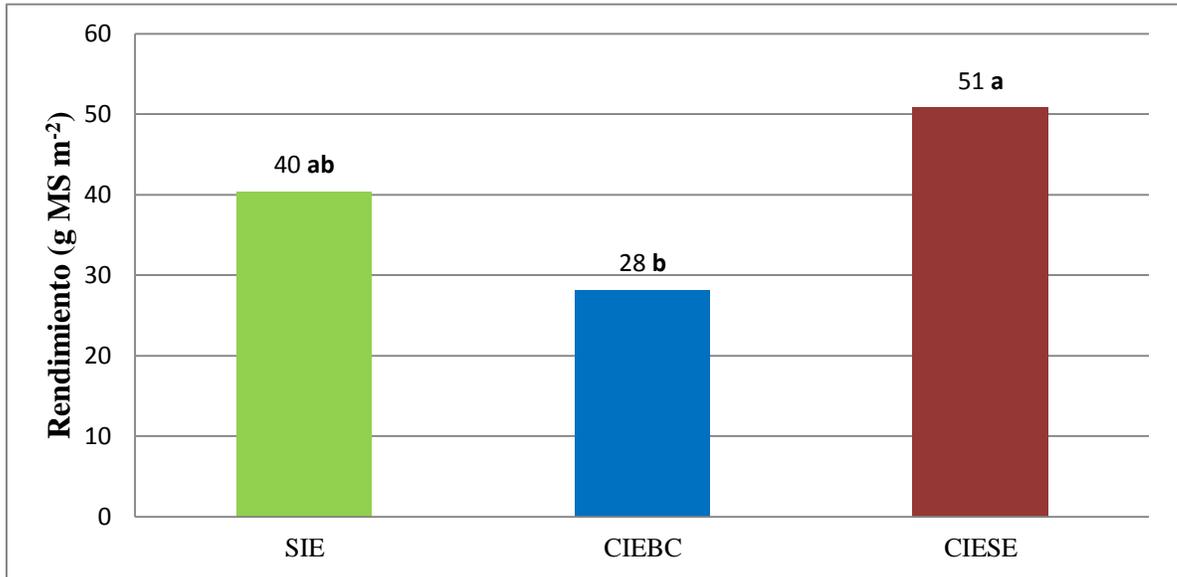


**Figura 12.** Rendimiento de biomasa aérea de los tratamientos SIE, CIEBC y CIESE.

El mayor rendimiento en biomasa aérea por parte del tratamiento SIE, se debería a la mayor proporción de masa vegetativa acumulada por el cultivo bajo este tratamiento, lo que podría ser explicado por la mayor PAR<sub>0</sub> (Figura 8) y el mayor contenido de agua (Figura 7), que se registró durante el ciclo de crecimiento vegetativo. Olivares *et al.* (1989), en estudios con pradera natural asociada a la influencia de *Acacia caven*, encontraron que los rendimientos de biomasa aérea, bajo la influencia arbórea, son mayores que en aquellos sectores sin la influencia de la estrata arbórea, aumentando el rendimiento de la pradera en aproximadamente un 100% en relación al testigo. Similares resultados obtuvieron Castillo *et al.* (1990), en estudios con pradera natural asociada a *Acacia caven*. Los autores observaron rendimientos de 1.658 kg MS ha<sup>-1</sup> bajo espino versus 869 kg MS ha<sup>-1</sup> en tratamiento testigo, en un año con 205 mm de precipitaciones y rendimientos de 1.883 kg MS ha<sup>-1</sup> bajo espino versus 1.396 kg MS ha<sup>-1</sup> en tratamiento testigo, con 366 mm de precipitaciones. La diferencia entre los resultados encontrados por los autores anteriormente mencionados y los resultados de este estudio, se podría explicar por las diferencias entre las especies vegetales que componen una pradera natural y el cultivo de trigo. El establecimiento bajo copa de la pradera natural es ampliamente superior a lo que fue el establecimiento del cultivo de trigo en este ensayo, sumado a que la composición botánica de la pradera natural bajo la influencia del espino, se encuentra adaptada de buena forma a las condiciones de sombreado de esta zona.

### **Rendimiento de granos**

El rendimiento de granos presentó diferencias estadísticamente significativas (P<0,005) (Figura 13). Numéricamente, el tratamiento que presentó los mayores rendimientos fue CIESE, y el tratamiento que presentó los menores rendimientos fue CIEBC, siendo el tratamiento SIE una situación intermedia.



**Figura 13.** Rendimiento de granos de los tratamientos SIE, CIEBC y CIESE.

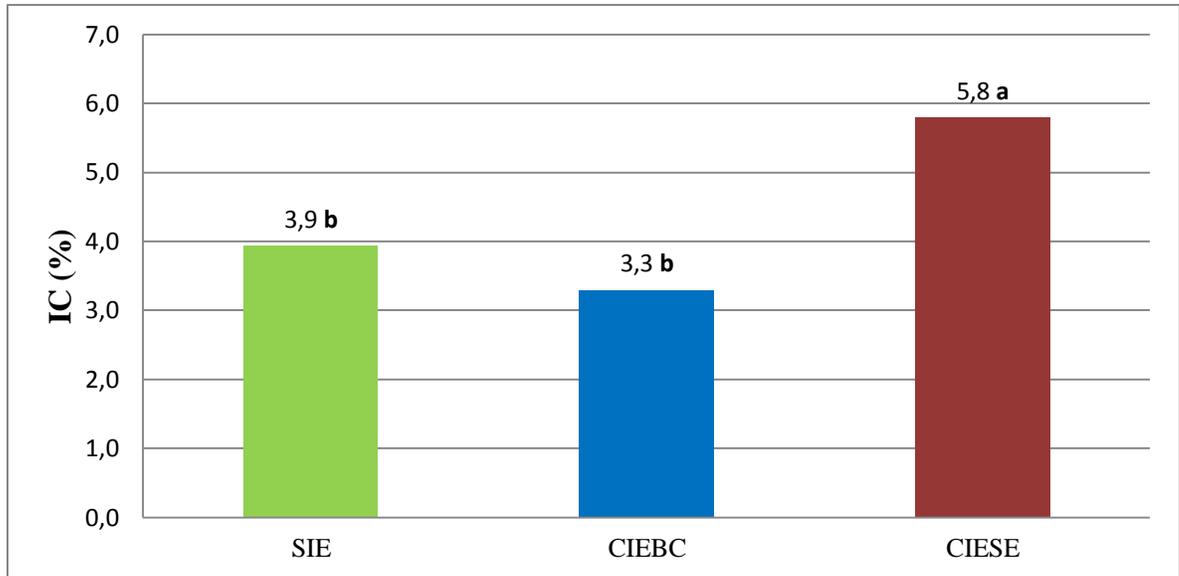
Los mayores rendimientos registrados en los tratamientos SIE y CIESE pueden ser explicados en el caso del tratamiento SIE, por la mayor  $PAR_0$  que incidió sobre el cultivo (Figura 8), sumado a las condiciones hídricas del suelo, que se mantuvieron sobre PMP durante 24 días post espigadura (Figura 7). En el caso del tratamiento CIESE, el mayor rendimiento se puede ver explicado por una situación promedio intermedia de  $PAR_0$  y de contenido hídrico en el suelo, entre los tratamientos SIE y CIEBC, sumado al mayor tiempo de crecimiento que presentó este tratamiento (Figuras 18 y 19). En relación a lo anterior, Blum *et al.* (1994) y Huawei *et al.* (2010), demostraron que bajo condiciones de sombreado, la redistribución de materia seca almacenada en órganos vegetativos hacia los granos mejora; afirmando también que el llenado de granos se basa en la redistribución de reservas desde órganos vegetativos después de antesis.

Faiguenbaum (2003), indica que los rendimientos de trigo en Chile fluctúan desde menos de  $2.000 \text{ kg ha}^{-1}$  hasta más de  $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , medido en peso fresco de granos cuyo contenido de humedad a cosecha ronda el 14%. Estos rendimientos pueden variar dependiendo de las condiciones edáficas, pluviométricas, de riego y tecnología.

Se vuelve necesario mencionar que durante el llenado de granos, la totalidad de los tratamientos establecidos en el presente ensayo, sufrieron un severo ataque de pájaros, el cual no pudo ser manejado de forma exitosa, desconociéndose si estos ataques fueron homogéneos o heterogéneos entre los tres tratamientos establecidos, lo que podría haber afectado el rendimiento obtenido y parte de sus componentes.

### Índice de cosecha (IC)

El índice de cosecha presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ), siendo mayor en el tratamiento CIESE y menor en los tratamientos SIE y CIEBC (Figura 14). Los valores obtenidos son considerablemente más bajos que los señalados en la literatura, los cuales son cercanos al 45% (Barriga, 1974). Estos bajos valores se deben principalmente a la pérdida de granos sufrida por el ataque de pájaros anteriormente mencionado y a los altos niveles de biomasa aérea (Figura 12).

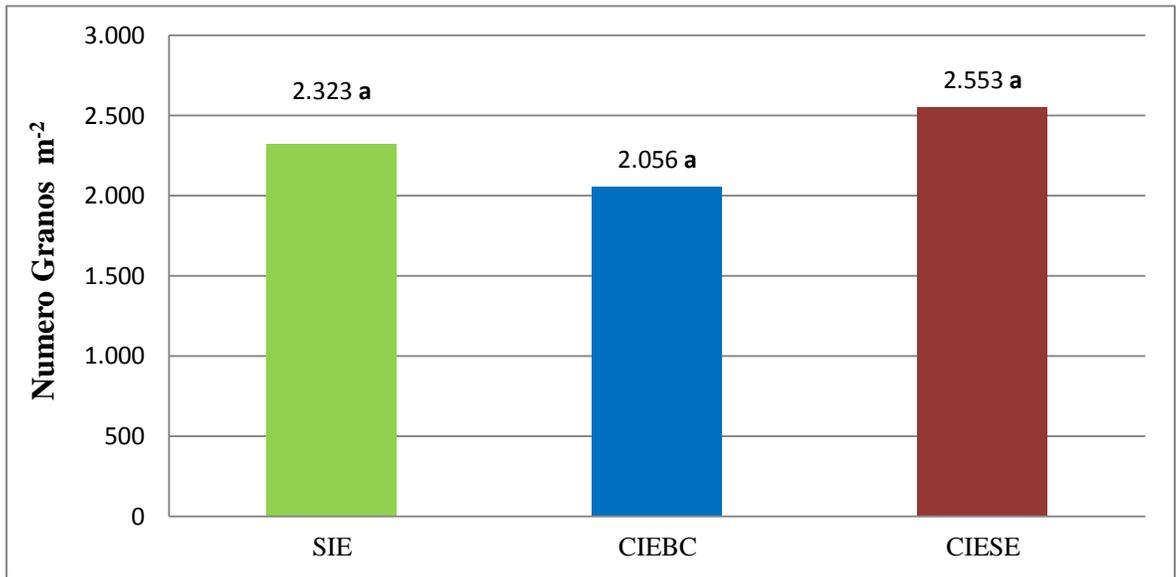


**Figura 14.** Índice de cosecha del cultivo de trigo en sus tres tratamientos.

### Número de granos por metro cuadrado

El número de granos por metro cuadrado de superficie cosechada (Figura 15), no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos ( $P < 0,005$ ).

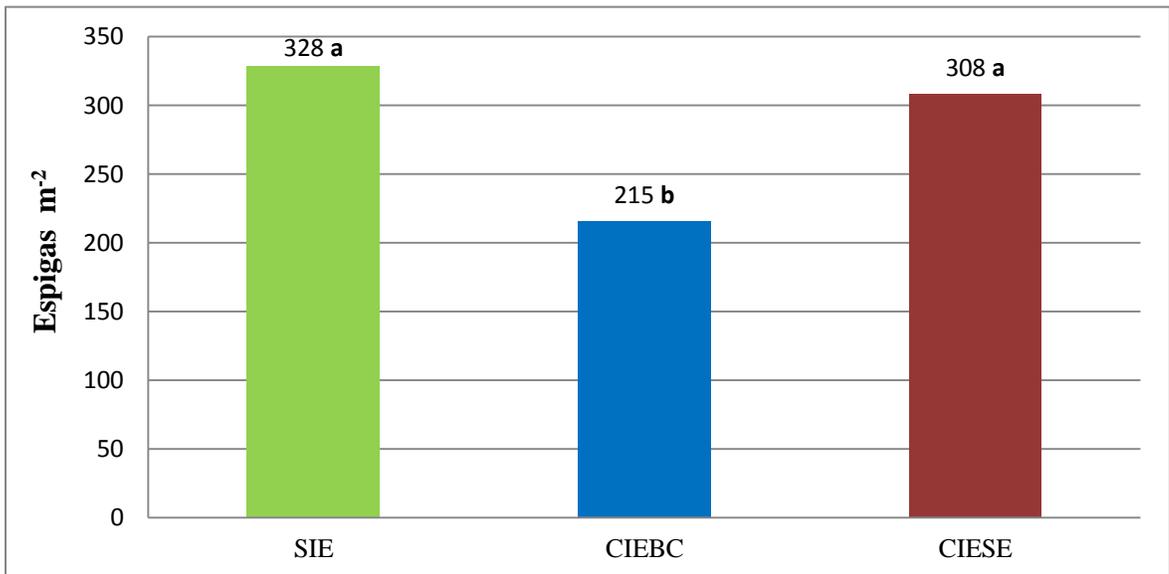
Estos resultados deben ser analizados con precaución, debido a que el ataque de pájaros podría haber afectado el número de granos en los distintos tratamientos, lo que impide realizar un análisis certero acerca del efecto del espino sobre esta variable. Slafer *et al.* (1994), señalan que un cultivo de trigo sometido a un sombreado del 50% del PAR, previo a antesis, reduce el número de granos  $m^{-2}$  en un 55%, debido a una reducción en los tallos principales (42%) y en los macollos (65%), sumado a una disminución en el número de espigas  $m^{-2}$ . Abbate *et al.* (1997), en tanto, sostienen que el rendimiento de un cultivo de trigo se ve perjudicado bajo sombreado, principalmente por el efecto negativo de éste sobre el número de granos  $m^{-2}$ .



**Figura 15.** Número de granos de trigo por metro cuadrado de superficie cosechada de los tratamientos SIE, CIEBC y CIESE.

#### Espigas por metro cuadrado

En cuanto al número de espigas presentes por metro cuadrado de superficie, se registraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ), encontrándose un mayor número de espigas m<sup>2</sup> en los tratamientos SIE y CIESE (Figura 16). El tratamiento CIEBC presentó una disminución del 34% respecto al tratamiento testigo.

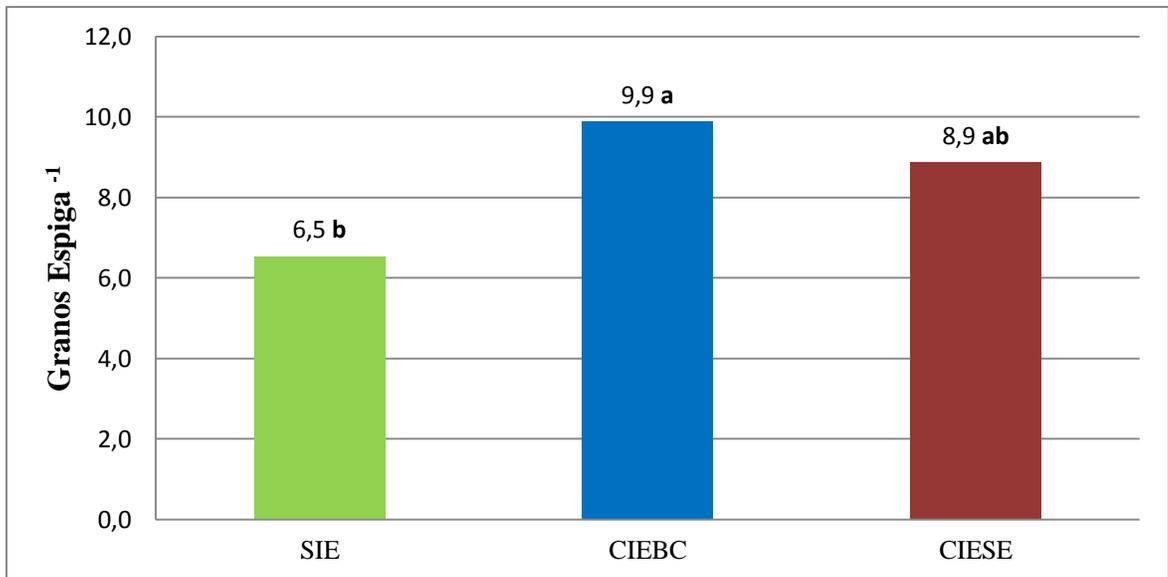


**Figura 16.** Número de espigas por metro cuadrado de superficie cosechada, en sus tres tratamientos.

En concordancia con estos resultados, el estudio de Slafer *et al.* (1994), sostiene que un sombreadamiento previo a antesis del 50% del PAR, redujo el número de espigas  $m^{-2}$  en un 35%, presentándose esta disminución en los macollos, no así en los tallos principales. Es posible concluir que el sombreadamiento parcial recibido por el tratamiento CIESE no fue lo suficientemente prolongado como para generar diferencias en cuanto al número de espigas  $m^{-2}$ .

### Número de granos por espiga

El número de granos por espiga presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,005$ ) (Figura 17). Numéricamente, el mayor número de granos por espiga lo presentó el tratamiento CIEBC, mientras que el menor número de granos por espiga lo presentó el tratamiento SIE.



**Figura 17.** Número de granos por espiga de trigo, en los tratamientos SIE, CIEBC y CIESE.

El estudio realizado por Slafer *et al.* (1994), no concuerda con estos resultados, señalando que el cultivo de trigo reacciona al sombreadamiento previo a antesis reduciendo su número de granos por espiguilla. Al igual que en resultados anteriormente presentados, los resultados de números de granos espiga<sup>-1</sup> (Figura 17) se vieron alterados por el ataque de pájaros acontecido durante el llenado de granos.

### **Estados fenológicos**

En los estados fenológicos de emergencia y primer nudo, no se detectaron diferencias numéricas entre tratamientos, en los días en alcanzar dichos estados. En los estados fenológicos de espigadura y madurez fisiológica, si se detectaron diferencias en los días que demoró el cultivo en alcanzar estos estados fenológicos.

El tratamiento SIE alcanzó el estado fenológico de espigadura al día 124 después de siembra (ds), mientras que los tratamientos CIEBC y CIESE alcanzaron este estado de desarrollo al día 131 ds, existiendo una diferencia de 7 días. Para el estado fenológico de madurez fisiológica, esta diferencia aumentó a 9 días, siendo registrado en el tratamiento SIE al día 166 ds, mientras que en los tratamientos CIEBC y CIESE se registró al día 175 ds.

En concordancia con los resultados encontrados, Castillo *et al.*, (1990) señalan que las condiciones más templadas registradas bajo los espinos determinan una menor velocidad de desarrollo, como también una menor evapotranspiración.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se desarrolló este ensayo, es posible concluir que:

El efecto de una estrata arbórea como el espino, no aumenta los rendimientos de trigo en el secano interior de la Región Metropolitana, por lo tanto se rechaza la primera hipótesis.

El efecto del espino modifica la duración de las etapas fenológicas del cultivo de trigo, provocando un ciclo de crecimiento más largo bajo su influencia. Por lo tanto, se acepta la segunda hipótesis de este estudio.

El efecto del espino genera modificaciones en las propiedades físico-químicas del suelo, provocando una mejor condición bajo este, con la excepción de la CE.

El efecto del espino provoca una modificación en el  $PAR_0$ , precipitaciones recibidas por el cultivo de trigo y en el contenido de agua en el suelo, generando una mayor disponibilidad hídrica al final del ciclo productivo del cultivo de trigo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P.E.; F.H. Andrade; J.P. Culot and P.S. Bindraban. 1997, sep. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Research*, 54(2-3): 245–257.
- Barriga, P. 1974. Índice de cosecha en trigo de primavera. *Agro Sur*, 2(1): 17-20.
- Benavides, C. y O. Salazar. 2004. Pauta interpretativa de análisis de suelo. Apuntes de Fertilidad de Suelos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. 4p
- Bernier, R. 2004. Curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados. Osorno, Chile: INDAP. 117p. (Serie actas N°02)
- Blum, A.; B. Sinmena; J. Mayer; G. Golan and L. Shpiler. 1994. Stem reserve mobilisation supports wheat-grain filling under heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21(6): 771 – 781.
- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica* 100: 77–83.
- Castillo, H.; A. Olivares y G. Polzenius. 1988. Modificaciones de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. I. Influencia en el microambiente. *Avances en Producción Animal*, 13 (1-2): 31-40.
- Castillo, H.; A. Olivares y G. Polzenius. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en rendimiento de la pradera desarrollada bajo la influencia del espino *Acacia caven* (Mol.) Mol. *Avances en Producción Animal*. 15 (1-2):19-28.
- CIREN (Centro de información de recursos naturales). 1996. Estudio agrológico, Región Metropolitana: descripciones de suelos, materiales y símbolos. Santiago, Chile: CIREN. 425p. (Publicación CIREN N° 115)
- El-Hendawy S.; Y. Hu; G. Yakout; A. Awad; S. Hafiz and U. Schmidhalter. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *European Journal of Agronomy* 22: 243–253.

Faiguenbaum H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Santiago, Chile: Editorial Ograma. 760p.

Francois L.; E. Maas; T. Donovan and V. Youngs. 1986, nov. Effect of Salinity on Grain Yield and Quality, Vegetative Growth, and Germination of Semi-Dwarf and Durum Wheat. *Agronomy Journal*, 78(6): 1053-1058

Gastó, J. 1966, nov. Variación de las precipitaciones anuales en Chile. (Bol. Tec. N° 24), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 20p.

Grossman R. B., and T. G. Reinsch. 2002. The soil Phase: Bulk density and linear extensibility. (cap.2, pp.201-254). In: Campbell, G. *et al.* Methods of soil analysis, part 4, physical methods. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America. 1662p.

Hermosilla, M. 1991. Relación entre la cantidad de luz incidente, producción de materia seca y composición botánica de la pradera anual mediterránea bajo influencia de *Acacia cavén* (Mol.) Mol. Tesis Ingeniero Agrónomo, Mención Producción Animal. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, Universidad de Chile. 71 h.

Hernández, J.; R. Escoppinichi y R. León. 1991. Manual operativo del laboratorio de suelo y agua. La paz, Mexico: Universidad Autónoma de Baja California Sur. 91 p. (Serie didáctica. Manuales universitarios; n°8)

Hu Y. and U, Schmidhalter. 1997. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. II. Composition. *Journal of Plant Nutrition*, 20(9): 1169-1182.

Huawei, L.; J. Dong; W. Bernd; D. Tingbo and C. Weixing. 2010, jul. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 33(2010): 267-275.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2011, oct. Agropecuarias, Informe Anual 2010. Santiago, Chile: INE. 172p.

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2004. Manejo y practicas conservacionistas del suelo para un desarrollo sustentable del secano. Chillan, Chile: INIA Quilamapu. 200p. (Boletín INIA N°124)

Moller, M. and S. Assouline. 2006, ago. Effects of a shading screen on microclimate and crop wáter requirements. *Irrigation Science*, 25 (2007): 171-181.

Navar, J. y B. Korke. 1989, jul. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 115(1999): 51-63.

Olivares, A.; H. Castillo y G. Polzenius. 1988. Modificaciones de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. II Influencia en la estrata herbácea. *Avances en Producción Animal*, 13 (1-2): 41-48.

Olivares, A.; H. Castillo y W. Potter. 1989. Cambios en el contenido de humedad, composición botánica y producción de fitomasa en la pradera anual mediterránea bajo la influencia del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol). *Avances en Producción Animal*, 14 (1-2): 41-62.

Olivares, A.; V. García de Cortázar y M. Hermosilla. 2002. Efecto de la luz incidente en la composición botánica y producción de materia seca de la pradera bajo la influencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. *Avances en producción Animal* 27(1-2): 69-76.

Olivares, A.; M. Johnston y C. Gutierrez. 2006. Crecimiento y desarrollo de *Bromus berterianus* Colla sometido a diferentes regímenes pluviométricos. *Agricultura Técnica* 66(2):166-173.

Polzenius, G. 1987. Características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. Tesis Ingeniero Agrónomo. Mención Producción Animal. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, Universidad de Chile. 101 h.

Rawson, H.M. y H.G. Macpherson. 2001. Trigo Regado: Manejo del Cultivo. Roma, Italia: FAO. 103p.

Richards R.; C. Dennett; C. Qualset; E. Epstein; J. Norlyn and M. Winslow. 1987. Variation in Yield of Grain and Biomass in Wheat, Barley, and Triticale in a Salt-Affected Field. *Field Crops Research*, 15(1987): 277-287.

Sadzawka R.; M.A. Carrasco; R. Grez; M.L. Mora; H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis de suelos recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 34, Santiago, Chile, 164 p.

Sandoval M.; J. Dorner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Departamento de Suelos y Recursos Naturales Universidad de Concepción. Publicación N°5. 80p.

Santibañez, F. y J.M. Uribe. 1990. Atlas agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología, Depto. de Ingeniería y Suelos. Universitaria. 65p.

Slafer G.A.; D.F. Calderini; D.J. Miralles And M.F. Dreccer. 1994. Preanthesis shading effects on the number of grains of three bread wheat cultivars of different potential number of grains. *Field Crops Research*, 36 (1994): 31-39.

Uribe, M.; R. Cabrera; A. De la fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Santiago, Chile: Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile; CORFO: Ministerio de Bienes Nacionales, Gobierno de Chile. 232p.

USDA (United States Department of Agriculture). s.f. Soil bulk density / moisture / aeration – Soil Quality Kit: Guide for educators. [En Línea]. United States of America: USDA. 9p. Recuperado en: <[http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/bulk\\_density\\_guide.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/bulk_density_guide.pdf)> Consultado el: 13 de Diciembre de 2013

Vitosh M. L., 1998, may. Wheat fertility and fertilization. (Bol. Tec. N°E-2526), Department of crop and soil sciences, Michigan state university. Michigan, United States of America. 4p.

Warrick, A.W. 2001. Soil physics companion. Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press. 389p.