

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

**Memoria de Título**

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DE LA CAPTURA DE CARBONO Y SU  
RELACIÓN CON LA TASA FOTOSINTÉTICA EN ESPECIES FESTUCA ALTA  
(*Festuca arundinacea* S.) Y FESTUCA ROJA (*Festuca rubra* L. spp. *rubra*).**

**Carlos Patricio José Figueroa Zuloaga**

**Santiago, Chile**

**2013**

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

**Memoria de título**

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DE LA CAPTURA DE CARBONO Y SU  
RELACIÓN CON LA TASA FOTOSINTÉTICA EN ESPECIES FESTUCA ALTA  
(*Festuca arundinacea* S.) Y FESTUCA ROJA (*Festuca rubra* L. spp. rubra).**

**CARBON SEQUESTRATION AND ITS RELATION WITH PHOTOSYNTHETIC  
RATE: SEASONAL COMPARISON BETWEEN TALL FESCUE (*Festuca  
arundinacea* S.) CULTIVARS AND RED FESCUE (*Festuca rubra* L. spp. rubra).**

**Carlos Patricio José Figueroa Zuloaga**

**Santiago, Chile**

**2013**

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

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DE LA CAPTURA DE CARBONO Y SU  
RELACIÓN CON LA TASA FOTOSINTÉTICA EN ESPECIES FESTUCA ALTA  
(*Festuca arundinacea* S.) Y FESTUCA ROJA (*Festuca rubra* L. spp. *rubra*).**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero Agrónomo

**Carlos Patricio José Figueroa Zuloaga**

<b>Profesor Guía</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Claudio Pastenes Villarreal Ingeniero Agrónomo. Ph.D.	6,9
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Osvaldo Salazar Guerrero. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.	6,2
Sr. Erwin Aballay Espinoza. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.	6,0
<b>Colaborador</b>	
Sra. Alejandra Acuña Estrella Ingeniero Agrónomo. M.S. Ph.D.	

**Santiago, Chile**

**2013**

*A mi familia y seres queridos.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Sandra y Carlos quienes siempre me estuvieron apoyando en todo momento del transcurso de mi carrera, al igual que mis hermanos Rodrigo quien me apoyó bastante económicamente para poder terminar; mi hermano César el cual siempre me brindó su ayuda al momento de juntarme con mis compañeros e irme a dejar a sus casas respectivas, y a mi hermanito Gonzalo que nos da alegría a todo nuestro núcleo familiar. A mi cuñada Carolina quien siempre me apoyó en todo junto a su esposo Rodrigo y mis sobrinitos que los amo mucho Amparito y Cristóbal. A mis abuelitas Dulcelina y Yolanda quienes en toda su vida me han brindado su cariño y amor; a mis tíos y tías, primos y primas.

A mis académicos que me dieron sus experiencias y conocimientos para la formación de mi profesión, al igual que la Universidad por su ambiente y oportunidades.

A mi profesora colaboradora Dra. Alejandra Acuña, quien me permitió investigar en este rubro hermoso y conocer a una gran persona como lo es ella, a mi profesor guía Dr. Claudio Pastenes por brindarnos siempre buenas vibras y un ambiente agradable de trabajo en su laboratorio. A los chicos del Laboratorio de Fisiología del Estrés Vegetal por sus innumerables apoyos y lindos recuerdos vividos, en especial Luis quién me ayudó bastante para poder analizar mis datos y Mariana que siempre nos sustentamos para poder dar lo mejor en esta investigación.

A mis amigos de la universidad Melita, Mariela, Gina, Diego, Payito, Tania, Freddys y Mati por los tantos momentos vividos juntos en el transcurso de la carrera y nuestras innumerables juntas de amistades y apoyo conjunto para poder terminar todos y ser buenos profesionales formados.

Finalmente, agradezco a todo el mundo quien me dio apoyo moral y de conocimiento para poder finalizar de buena manera esta memoria de título

## ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
Hipótesis.....	13
Objetivo General .....	13
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
Ubicación geográfica y condiciones del terreno.....	14
Material vegetal .....	15
Metodología.....	15
Mediciones.....	16
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	19
Carbono orgánico en el suelo.....	19
Carbono inorgánico en el suelo .....	23
Carbono Total.....	25
Carbono orgánico parte aérea (biomasa) .....	27
Fotosíntesis .....	29
Carbono orgánico almacenado y asimilación de CO <sub>2</sub> .....	32
CONCLUSIONES .....	34
BIBLIOGRAFÍA .....	35
ANEXO I.....	40
Ficha técnica especie <i>Festuca arundinacea</i> cv. Bingo	
ANEXO II.....	41
Ficha técnica especie <i>Festuca arundinacea</i> cv. Cindy Lou	
ANEXO III.....	42
Ficha técnica especie <i>Festuca arundinacea</i> cv. Cochise.	
ANEXO IV .....	43
Ficha técnica especie <i>Festuca arundinacea</i> cv. Cortez	
ANEXO V.....	44
Informe de resultados de análisis de agua de laboratorio AGROLAB	
ANEXO VI .....	45
Informe de resultados análisis de suelo Laboratorio AGROLAB	
APÉNDICE I.....	46
Temperaturas máximas y mínimas registradas en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012	
APÉNDICE II .....	47
Temperatura promedio registrada en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012	
APÉNDICE III.....	48
Temperatura promedio, máxima y mínima en el lugar del ensayo en la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012	
APÉNDICE IV.....	49

Temperatura promedio del suelo registrada en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012	
APÉNDICE V .....	50
Curva representativa de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012	
APÉNDICE VI.....	51
Promedio del carbono orgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011	
APÉNDICE VII .....	51
Promedio del carbono orgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012	
APÉNDICE VIII .....	52
Promedio de carbono orgánico total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012	
APÉNDICE IX.....	52
Promedio del carbono inorgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011	
APÉNDICE X.....	53
Promedio del carbono inorgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012	
APÉNDICE XI.....	53
Promedio de carbono inorgánico total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012	
APÉNDICE XII .....	54
Promedio del carbono total en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de septiembre 2011	
APÉNDICE XIII .....	54
Promedio del carbono total en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012	
APÉNDICE XIV .....	55
Promedio de carbono total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012	
APÉNDICE XV .....	55
Promedio de carbono orgánico de la biomasa aérea entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012	
APÉNDICE XVI.....	56
Promedio de la actividad fotosintética, conductancia estomática y tasa de transpiración de los cultivos en estudio	

**Comparación estacional de la captura de carbono y su relación con la tasa fotosintética en especies Festuca Alta (*Festuca arundinacea* S.) y Festuca roja (*Festuca rubra* L. spp. rubra).**

**RESUMEN**

Con el objetivo de determinar la capacidad de captura de carbono en el suelo y fotosíntesis de diferentes especies y cultivares comerciales de *Festuca*, se realizó un estudio a tres cultivares de *Festuca arundinacea* S. (Bingo, Cochise y Cortez), uno de *Festuca rubra* spp. rubra. (Cindy lou) y un testigo (suelo sin cobertura), llevados a cabo en el centro experimental localizado en la comuna de Pirque de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y las evaluaciones en el Laboratorio de Fisiología del Estrés Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

El diseño experimental fue en bloque completamente aleatorizado (BCA). Las muestras fueron obtenidas en tres secciones de profundidad de cada tratamiento (0 -10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm) con tres repeticiones cada una, en dos períodos de tiempo distintos (primavera 2011 y otoño 2012) para, luego, evaluar el contenido de carbono orgánico (C.O.) e inorgánico (C.I.) y total (C.T.) en cada sección y en el perfil estudiado de suelo, así como la obtención del carbono orgánico de la biomasa aérea de cada césped. En cuanto a la fotosíntesis, se determinó la asimilación neta de CO<sub>2</sub> de cada cultivar, tasa transpiratoria y conductancia estomática.

El contenido de C.O. tuvo diferencias en el perfil 20 – 30 cm de primavera, así como en el perfil 0 – 10 cm y 10 – 20 cm de otoño. El contenido de C.I., no se observó diferencias entre tratamientos. En cuanto al C.T., se percibió diferencias en el perfil 0 – 10 cm y en todo el perfil en la época de otoño entre los cultivares y el testigo.

El contenido de C.O. en la biomasa aérea, hubo diferencias entre Cortez y los demás en estudio, en la estación de primavera. En cuanto a la actividad fotosintética, hubo diferencias entre los cultivares en ciertos meses, sobre todo en primavera y verano. Respecto a la relación y asociación entre el contenido de C.O. del suelo y del CO<sub>2</sub> reducido en la fotosíntesis, hubo diferencias en el perfil 20 – 30 cm en ambas temporadas, y en el perfil 0 – 10 cm de otoño.

Palabras Claves: Césped, Medio Ambiente, Suelo, CO<sub>2</sub>.



**Carbon sequestration and its relation with photosynthetic rate: seasonal comparison between Tall Fescue (*Festuca arundinacea* S.) cultivars and Red Fescue (*Festuca rubra* L. spp. rubra).**

**ABSTRACT**

To determine the ability of carbon sequestration in the soil and photosynthesis of different species and cultivars of fescue, a study was conducted on three cultivars of *Festuca arundinacea* S. (Bingo, Cochise and Cortez), one of *Festuca rubra* spp. rubra. (Cindy Lou) and a control (bare soil), carried out in the experimental center of the Pontifical Catholic University located on Pirque, and assessments in the Laboratory of Plant Stress Physiology, Faculty of Agricultural Sciences University of Chile.

The organic carbon content (C:O.), has differences on the profile depth interval 20 to 30 cm in spring and profile 0 - 10 cm and 10 - 20 cm in fall. Inorganic carbon (C.I.) content, no differences between treatments were observed. In terms of total carbon (C.T.), differences in the profile 0 10 cm, and the whole profile in the autumn time between cultivars and the witness saw.

The content of C.O. in aboveground biomass had differences between Cortez and others in the study, in the spring season. As photosynthetic activity, there were differences between cultivars in certain months, especially in spring and summer. Regarding the relationship and partnership between the C.O. content of soil and reduced CO<sub>2</sub> in photosynthesis, there were differences in the profile 20 to 30 cm in both seasons, and the profile 0-10 cm autumn.

Key Words: Turf, Environment, soil, CO<sub>2</sub>.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe preocupación por aspectos ecológicos, derivados de la ya casi universalmente aceptada tendencia al cambio climático. Una de las principales causas de este fenómeno es la emisión de gases con efecto invernadero (GEI), entre los cuales destaca el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Según estimaciones de la Organización de Cooperación y Desarrollo (OECD), las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> por parte de la actividad económica crecerían alrededor de un 80% durante el período 2000 a 2020, debido al enorme crecimiento económico, el que incluye a Chile (Cifuentes *et al.*, 2000), aunque las estadísticas internacionales de la Agencia Internacional de Energía (IEA) indica que las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustión de hidrocarburos a nivel nacional, corresponde solo a un 0,2% del contexto mundial, manteniéndose estables en el tiempo (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Por lo anterior, como medio de mitigación a la emisión de CO<sub>2</sub>, se promueve su secuestro a través de la formación de componentes orgánicos estables. Un ejemplo de lo anterior es el aumento de áreas verdes en terrenos urbanos, ya que las plantas incorporan el CO<sub>2</sub> desde la atmósfera fijándolo como carbohidratos a través de la fotosíntesis. Dada la gran importancia que tienen las áreas verdes en ciudades, la Organización Mundial de la Salud propone un promedio mínimo de 9 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, del cual, Chile, sólo tiene un promedio de 4,2 m<sup>2</sup> por persona; no obstante, países como España señalan que un promedio óptimo es de 13 m<sup>2</sup> por habitante (Bascañán *et al.*, 2007).

Según Sorensen *et al.* (1998), las áreas verdes urbanas mejoran el aire, el agua y los recursos del suelo al absorber contaminantes de la atmósfera, aumentar las áreas de captación y almacenamiento de agua y de estabilizar los suelos. Dado que el césped es el tipo de vegetación más común en áreas verdes urbanas y su extensión es cada vez mayor (Quian, *et al.*, 2010; Robbins y Birkenholtz, 2003), éste podría cumplir un papel importante en la captura de CO<sub>2</sub> atmosférico en grandes ciudades, como Santiago.

El carbono es el principal elemento presente en la materia orgánica del suelo, comprendiendo entre el 48 al 58% del peso total (Nelson y Sommers, 1996). El CO<sub>2</sub> capturado por los céspedes es almacenado en el suelo, como carbono orgánico, y la suma con el carbono inorgánico, resulta el total del carbono presente en éste (Nelson y Sommers, 1996). El carbono orgánico está contenido en la fracción orgánica del suelo, correspondiente a células de microorganismos, residuos de plantas y animales en varias etapas de descomposición, humus estable sintetizados a partir de residuos, y compuestos altamente carbonizados como el carbón y grafito, éstas últimas denominadas formas elementales de carbono (Nelson y Sommers, 1996).

En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material fresco y la salida de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, erosión y lixiviación (Martínez *et al.*, 2008). La determinación del material orgánico del suelo es a menudo estimada por factores empíricos como el factor de Van Bemmelen equivalente a 1,724 basado en la suposición de que el contenido de materia orgánica contiene un 58% de carbono orgánico (Nelson y Sommers, 1996; Martínez *et al.*, 2008).

Townsend-Small y Czimczik (2010) señalan que praderas sin intervención pueden secuestrar cantidades significativas de carbono orgánico (C.O.) en los suelos a largo plazo. Franzluebbers (2010) compara el secuestro de carbono orgánico en el suelo de dos ecosistemas ubicados en el sur-este de Estados Unidos: un cultivo anual con un valor de secuestro de 0,45 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y el de una pradera; este último se asemeja a las condiciones de un césped, con un valor de secuestro de 0,86 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Este autor concluye que la mantención de una pradera puede mitigar los GEI emitidos en las ciudades. Según Townsend-Small y Czimczik (2010), la tasa de secuestro de CO<sub>2</sub> en céspedes ornamentales tiene un promedio de 1,4 t C ha<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, con un secuestro en los primeros veinte centímetros de suelo de 12 t C ha<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. Evidentemente, el tipo de manejo que tenga el césped, así como el tiempo de su cultivo en particular, será determinante en la capacidad de captura y secuestro de carbono. Es así que Quian y Follet (2002) encontraron que la tasa total de carbono acumulado en céspedes está en un rango de entre 0,9 a 1,0 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> alcanzando un máximo entre los 30 y 50 años. Por el contrario, Gutleben *et al.*, (2010), indican que los céspedes mantenidos en canchas de golf tienen una alta huella de carbono, con una emisión promedio de 11,3 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, lo que no ocurre en céspedes de baja mantención, los cuales tienen una captura de 1 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. Eso sí, se enfatiza, que el uso y manejo del césped en ciudades no necesariamente mitigaría las emisiones de CO<sub>2</sub>. Townsend-Small y Czimczik (2010) midieron el secuestro de carbono y las emisiones de gases con efecto invernadero en céspedes urbanos con alto manejo agronómico, en Estados Unidos y obtuvieron un balance negativo debido al alto uso de insumos dependientes del uso de combustibles fósiles.

Sahu (2008), no obstante a lo anterior, encontró que en ciertas regiones del mundo, el césped logró capturar cuatro veces más dióxido de carbono desde el aire de lo que es emitido por una cortadora de césped. Pouyat (2009) al comparar el almacenaje de carbono en el suelo entre un césped residencial y un suelo nativo, concluyó que ambos eran similares en la cantidad de carbono orgánico que pueden almacenar. Aunque, los estudios publicados respecto a la captura de carbono en tierras de uso agrícola han sido numerosos; los estudios respecto de la valorización del potencial de secuestro de carbono en sistemas de céspedes han sido limitados (Quian *et al.*, 2010).

Dentro de las especies más usadas como césped, se encuentra la Festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.), una especie de la familia Poaceae, perenne de metabolismo C<sub>3</sub>, adaptada a climas fríos (Garden *et al.*, 2007; Guillet, 1984). *Festuca arundinacea* es uno de los céspedes de estación fría con mayor capacidad de crecer en la temporada estival; soporta el calor y el frío, así como también la sequía y el exceso de agua (Guillet, 1984;

MacAdam *et al.*, 1992) y posee tolerancia a un amplio rango de tipos de suelo y clima (Hannaway *et al.*, 1999).

Según Zan *et al.*, (2001) el manejo de un cultivo perenne puede tener un potencial de almacenamiento de carbono significativamente mayor que un sistema de cultivo anual, por lo cual, *Festuca* al ser perenne sería una especie aventajada al momento de incorporarla en las áreas verdes de una ciudad para mitigar y reducir los niveles de CO<sub>2</sub> atmosféricos. La especie *Festuca arundinacea* tiene un crecimiento muy regular a lo largo del año (Guillet, 1984). Estas características permiten que *Festuca arundinacea* tenga una buena adaptación a zonas de clima mediterráneo y de transición (Acuña, 2011).

La especie *Festuca* roja (*Festuca rubra* L. *spp. rubra*) es una especie de la familia Poaceae, perenne de metabolismo C<sub>3</sub>, muy usada en Chile en mezclas con otras especies gramíneas. Está adaptada a sitios de buen drenaje, soleados a moderadamente sombreados, así como también a condiciones de sequía y a suelos salinos, infértiles y moderadamente ácidos. Posee propagación vegetativa mediante rizomas, no tolera condiciones de alta humedad, fertilidad, y cortes bajos frecuentes. Además, *Festuca rubra* se adapta bien a áreas de moderada mantención y tránsito (Pennucci y Langille, 1990).

La *Festuca* roja posee una textura de hoja fina y densidad radicular alta y uniforme; cuando su desarrollo radicular es adecuado, su tasa de establecimiento es muy buena (Beard, 1973). Sin embargo, la calidad y densidad de sus raíces, bajo condiciones de sombra, no siempre es buena al compararla con el crecimiento a plena luz (Beard, 1973). Es una especie originaria de regiones húmedas frías y posee una capacidad de crecimiento de hojas mayor que otros céspedes cuando su establecimiento es bajo sombra. Además, comparado con otras especies, es intolerante a las altas temperaturas (Beard, 1973; Christians, 2004). Asimismo, posee una tasa del uso del agua muy baja y presenta una alta resistencia a la sequía comparado con otros tipos de céspedes, pero posee muy poca resistencia al tránsito por lo cual, no es muy apropiada para campos deportivos debido a que su sistema de rizomas es muy débil y tiene una lenta tasa de recuperación al uso y desgaste (Beard, 1973).

Con respecto a los cultivares comerciales existentes en el mercado nacional, el cultivar Bingo, de *Festuca arundinacea*, presenta resistencia al estrés por alta temperatura, tiene un color verde oscuro; presenta una textura moderadamente fina con una excelente tolerancia al desgaste y es recomendada para uso permanente a plena sombra o sombra parcial en campos de golf y en lugares con baja mantención<sup>1</sup>. El cultivar Cochise presenta una excelente resistencia al estrés hídrico y es tolerante a bajas temperaturas, así como también al desgaste y a ciertas enfermedades como la mancha de la hoja (enfermedades del complejo *Helminthosporium*), mancha marrón (*Rhizoctonia solani*.), *Pythium* y *Fusarium*, presentando un color verde oscuro y una textura fina, recomendada para uso en jardines domésticos, parques, campos deportivos, producción de césped (pasto alfombra o sod),

---

<sup>1</sup> DLF International seed (Seeds and sciences): Product info: Bingo *Festuca arundinacea*.

campos de golf y sitios de baja mantención<sup>2</sup>. El cultivar Cortez presenta una alta resistencia al calor y al estrés hídrico, posee un color verde oscuro; y tiene buena tolerancia al tráfico<sup>3</sup>.

El cultivar Cindy Lou, de *Festuca rubra rubra*, presenta resistencia al estrés por alta temperatura, tiene una textura laminar fina, posee un excelente vigor y se adapta mejor a sitios sombríos con baja fertilidad en el suelo y un pH moderadamente alto; presenta un rápido crecimiento en primavera y prevalece su color verde en la época invernal<sup>4</sup>.

### **Hipótesis**

Existe una diferencia en el almacenaje de carbono en el suelo y parte aérea entre especies y cultivares del género *Festuca*, comparado con un suelo desnudo, lo anterior se relaciona con el comportamiento fotosintético de las especies vegetales en estudio.

### **Objetivo General**

Determinar la capacidad de captura de carbono y fotosíntesis de diferentes especies y cultivares comerciales de *Festuca*.

---

<sup>2</sup> DLF International seed (Seeds and sciences): Product info: Cochise *Festuca arundinacea*.

<sup>3</sup> DLF International seed (Seeds and sciences): Product info: Cortez II *Festuca arundinacea*.

<sup>4</sup> DLF International seed (Seeds and sciences): Product info: Cindy lou *Festuca rubra* spp. rubra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica y condiciones del terreno

El ensayo se llevó a cabo durante los años 2011 y 2012, en las dependencias de la estación experimental de Pirque de la Pontificia Universidad Católica de Chile, calle Alcalde Hernán Prieto (33° 40' lat. Sur, 70° 36' long. Oeste y 654 msnm.), ubicada en la comuna de Pirque, en la Zona Central de Chile, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. La estación presenta un clima Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido, con temperaturas que fluctúan, en promedio, entre una máxima en Enero de 28,2°C y una mínima en Julio de 4,4°C; con un período libre de heladas de 231 días, con un promedio de 11 heladas por año. La primera helada se registra el día juliano 140 (20 de Mayo) y la última el día juliano 224 (12 Agosto); con un registro anual de 1621 días-grado y 1147 horas de frío; con una precipitación media anual de 419 mm y un período seco de 8 meses (Santibáñez y Uribe, 1990).

La Serie de suelo presente en el lugar de ensayo es la denominada Estero Seco, miembro de la familia franca gruesa, mixta, térmica de los Ultic Haploxeroll (Mollisol). Esta serie tiene un origen aluvial, se caracteriza por tener suelos profundos, en posición de terrazas planas, con una clase textural superficial franca y con permeabilidad moderada y bien drenados (CIREN, 1996). El suelo posee un pH alcalino (8,0), con una conductancia eléctrica de 2,3 dS m<sup>-1</sup> (levemente salino), con 2,9% de materia orgánica (medio) y con un contenido N, P, K disponible de 21 (medio), 82 (alto), 188 (adecuado) mg kg<sup>-1</sup>. Previamente, en el sitio del ensayo, hubo Alfalfa sembrada en el año 2008 y a la cual se aplicó al establecimiento Superfosfato Triple en una dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup>, Muriato de Potasio a una dosis de 150kg ha<sup>-1</sup> y una enmienda de Fertiyeso a 200 kg ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, no se realizó una fertilización de mantención al cultivo. Con respecto a la clase textural del suelo, ésta se clasifica como Franca, con un 33% arena, 41% limo y 26% arcilla<sup>5</sup>. El agua de riego es de pozo y posee un pH de 7,69 y una conductancia eléctrica de 1,4 dS m<sup>-1</sup>.<sup>6</sup>

Para despejar el terreno del cultivo anterior (alfalfa), se realizó un control total con los herbicidas 2,4D (0,375 L ha<sup>-1</sup>) y Glifosato (6 L ha<sup>-1</sup>) aplicados en conjunto con un surfactante (0,2 L de Silwet en 1 L de solución) el día 9 de marzo de 2010. Debido a que no se logró un control total, el día 19 de marzo de 2010 se volvió a realizar una aplicación con los herbicidas 2,4D (0,7 L ha<sup>-1</sup>) y Glifosato (6 L ha<sup>-1</sup>) más el surfactante (0,25 L de Citroliv en 1L de solución).

---

<sup>5</sup> Agrolab, Informe de resultados de análisis de suelo. 2010.

<sup>6</sup> Agrolab, Informe de resultados de análisis de agua. 2010.

Las evaluaciones del contenido de carbono total y carbono orgánico (C.O.) se realizaron en el Laboratorio de Fisiología del Estrés Vegetal, del área de Fitotecnia del Departamento de Producción Agrícola de la Universidad de Chile.

### **Material vegetal**

Se usaron plantas de la especie festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) cultivares: Bingo, Cochise y Cortez y plantas de la especie festuca roja (*Festuca rubra* L.) ssp. Rubra, cultivar Cindy Lou, importadas por la empresa Anasac ambiental. Las variedades fueron sembradas el día 7 de abril de 2010 con una dosis de 0,5 t ha<sup>-1</sup>.

Para mantener el testigo siempre limpio de malezas, se aplicó en forma secuencial cada 4 semanas desde el inicio de la primavera hasta fin de la época de crecimiento el herbicida pre emergente Pendimethalin a una dosis de 2 L ha<sup>-1</sup> y, según necesidad, 4 L ha<sup>-1</sup> del herbicida sistémico no selectivo Glifosato.

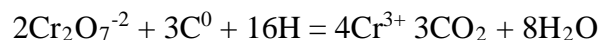
Aplicaciones adicionales, tanto de herbicidas como de fungicidas, se efectuaron sólo para evitar pérdidas de las parcelas experimentales en estudio.

Las unidades experimentales fueron regadas por aspersión durante la temporada de demanda hídrica, partiendo en la última semana de Agosto hasta la primera semana del mes de Mayo, variando según datos de evapotranspiración del lugar. El riego fue efectuado a través de un sistema de aspersión con un programador de frecuencia, el cual, se ajustó semanalmente según datos de evapotranspiración de la zona.

La fertilización NPK se hizo siguiendo un programa de mantención intermedia estacional para céspedes de estación fría.

### **Metodología**

En esta investigación, la metodología usada para calcular el contenido de carbono orgánico del suelo fue “el procedimiento modificado de Mebius” descrito por Nelson y Sommers (1996) y usado por Zan *et al.*, (2001), basado en el principio de que la materia orgánica puede ser oxidada al ser tratada con una mezcla de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Dicromato de Potasio) y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Ácido Sulfúrico) a una temperatura de 150° C, de acuerdo a la siguiente ecuación:



Después de esta reacción, el exceso de Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup> (Dicromato) es tratado con Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O (Sulfato ferroso de Amonio hexahidratado o sal de Mohr), donde

el  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  que no fue reducido durante la reacción con el suelo, es equivalente al contenido de carbono orgánico presente en la muestra (Nelson y Sommers, 1996).

Adicionalmente y considerando que el suelo del estudio posee un alto pH (8,0), para las muestras de suelo, se midió el contenido de carbono inorgánico por medio de la metodología descrita por Bundy y Bremner (1972). Este método propone que un suelo tratado con ácido clorhídrico en una concentración 2 M, desprende dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y este gas reacciona proporcionalmente con hidróxido de potasio (KOH) a una concentración de 0,1 N, formando carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), y a través de una titulación realizada con ácido clorhídrico, se estima el contenido de carbonato de calcio presente en las muestras de suelo. De este modo, se pudo obtener una estimación del carbono total del suelo: carbono orgánico más carbono inorgánico, con y sin cubierta vegetal.

## Mediciones

- Se midió el contenido de carbono orgánico en la parte aérea, y suelo de los cuatro cv. de Festuca y suelo desnudo (testigo).
- Se midió el contenido de carbono inorgánico de la parte subterránea de los cuatro cv. de Festuca y suelo desnudo (testigo).
- Se midió la transpiración, conductancia estomática y tasa de asimilación (fotosíntesis) de los cuatro cv. de Festuca en cada estación de crecimiento.

**Carbono orgánico:** para extraer la muestra de suelo, se usaron cilindros de Policloruro de Vinilo (PVC) con un largo de 50 cm y un diámetro de 40 mm los cuales fueron insertos en las parcelas correspondientes y extraídos para luego ser cortados a tres alturas: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm. Luego se extrajo desde cada tubo la muestra de suelo, se sacó la parte aérea y la capa intermedia entre ésta y el suelo (*thatch*), y se tomó su peso fresco en terreno a través de una balanza electrónica. Cada sección de suelo fue individualmente contenida e identificada en bolsas plásticas herméticas y almacenadas a  $-20^\circ\text{C}$  hasta el momento del secado. Previo al análisis químico, las muestras fueron secadas en una estufa a  $70^\circ\text{C}$  hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se molieron, usando un molino eléctrico para material mineral. Luego de la molienda cada muestra de suelo se tamizó a través de un tamizador metálico de 2 mm, (eliminando todo material mayor a 2 mm, entre ellos raíces) (Sadzawka *et al.*, 2004). Finalmente, se utilizó 1 g de este material, para determinar carbono orgánico con la metodología anteriormente descrita.

La densidad aparente de cada unidad experimental y profundidad del suelo, se calculó usando el método del cilindro (Lopez-Bellido *et al.*, 2010). Con esto, se calculó el



contenido de carbono total para cada una de las profundidades de suelo analizadas usando la ecuación propuesta por Lal *et al.*, (1998), en donde  $\text{Mg C ha}^{-1} = [\text{Porcentaje de carbono} \times \text{densidad aparente (Mg m}^{-3}) \times \text{profundidad de suelo analizada (m)} \times 104 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}] / 100$ .

La recolección y procesamiento de muestras se efectuó en dos temporadas: primavera 2011 y otoño 2012.

**Carbono orgánico parte aérea:** se tomaron muestras de la parte aérea de los cuatro cultivos y se transportaron al laboratorio en sobres de papel en una cooler con gel congelado para conservar el contenido de agua en ellas y, posteriormente, se midió su peso fresco.

Estas fueron obtenidas desde cada parcela experimental, muestreando con un cuadrado de PVC con un área de  $0,0324 \text{ m}^2$  ( $0,18 \text{ m} \times 0,18 \text{ m}$ ), cortados con tijeras convencionales. Posteriormente, se secaron en una estufa a  $70^\circ \text{C}$  hasta llegar a peso constante para calcular la materia seca.

Luego, se molió la materia seca y después, fueron tamizadas con un tamizador metálico de 2 mm y se pesaron 0,01 g de materia seca para ser digeridas con la misma metodología descrita para determinar carbono orgánico en las muestras de suelo.

La obtención de las muestras se efectuó en dos temporadas: primavera 2011 y otoño 2012.

**Carbono inorgánico:** Se efectuó el mismo procedimiento para la obtención de las muestras del carbono orgánico, por lo que, se obtuvieron tres muestras por cada profundidad de suelo (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm) por unidad experimental. Para llevar a cabo la digestión inorgánica, se pesó 1 g de suelo y a través de una cámara de digestión, se colocó la muestra de 1 g. Se colocaron 5 mL de KOH en un vaso precipitado de 10 mL evitando el contacto con la muestra de suelo y se aplicó 10  $\mu\text{L}$  de 1-octanol, para adsorber cualquier impureza orgánica que pudiera distorsionar el muestreo. Se tapó y se sacó 50 mL de aire con una jeringa de vidrio. Se incorporó 20 mL de ácido clorhídrico a una concentración 2 M y se dejó digiriendo entre 16 a 20 horas.

Posteriormente, el KOH se vació en un vaso precipitado y se le agregaron 45 mL de agua destilada, de modo de completar 50 mL de volumen. Se incorporaron a la solución 300  $\mu\text{L}$  de fenoltaleína y se tituló con ácido clorhídrico 1 M hasta llegar a un color rosa pálido, luego se cambió por el mismo ácido a 0,1 M hasta que la solución se volviera incolora; finalmente se agregaron 800  $\mu\text{L}$  de verde de bromocresol y se tituló con ácido clorhídrico 0,1 M hasta que la solución cambiara de color azul a amarillo.

La obtención de las muestras se efectuó en dos temporadas: primavera 2011 y otoño 2012.

**Fotosíntesis:** Con el objetivo de asociar la capacidad de secuestro de carbono de las especies en estudio con su comportamiento fisiológico estacional, se midió la tasa fotosintética, conductancia estomática y transpiración, usando el instrumento IRGA (Infrared gas analyzer) en los cuatro cultivares de *Festuca* durante las temporadas de primavera, verano, otoño e invierno.

También se midió la radiación fotosintéticamente activa (PAR) cada vez que se determinó la fotosíntesis.

### **Diseño Experimental y Análisis Estadístico**

Para la fase experimental, se estableció un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA), con 5 tratamientos que corresponden a las 4 variedades a analizar (3 variedades de *Festuca arundinacea* Schreb. y 1 variedad de *Festuca rubra* L. spp. rubra) y un suelo descubierto que corresponde al testigo, con 3 repeticiones y cada una de ellas evaluadas a 3 distintas profundidades del perfil que corresponden: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. Cada unidad experimental (parcela) correspondió a un área de 2,4 m de largo por 0,9 m de ancho.

El análisis de los datos se efectuó mediante un Análisis de Varianza (ANDEVA) usando el programa estadístico INFOSTAT y una Prueba de Comparaciones Múltiples de Fisher LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Los factores a analizar en este ensayo fueron: 1) la estación para observar los cambios que puedan haber entre una estación y otra en la captura de CO<sub>2</sub>, 2) diferencias existentes entre los cultivares en el almacenamiento de carbono, 3) las diferencias en el almacenamiento de carbono orgánico e inorgánico existentes entre las distintas profundidades del suelo y 4) las diferencias en la capacidad de secuestro y de almacenamiento de carbono orgánico que puedan existir entre las especies en estudio.

Las variables que fueron medidas son: el contenido de carbono inorgánico y orgánico del suelo, el rendimiento y el carbono orgánico de la biomasa aérea y la fotosíntesis estacional de cada especie en estudio.

Además, se realizó una relación y una correlación entre las variables carbono orgánico almacenado en el suelo y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asimilado en la fotosíntesis.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Carbono orgánico en el suelo

En cada estación, algunas secciones o perfiles del suelo no mostraron diferencias significativas en la acumulación de carbono orgánico entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ) (ANDEVA), excepto en el perfil 20 – 30 cm de primavera 2011, y el perfil 0 – 10 cm y 10 – 20 cm de otoño 2012 ( $p \leq 0,05$ ) (Figura 1). En el caso de primavera 2011, se observó diferencias en la acumulación de carbono orgánico en el suelo en la sección 20 – 30 cm, entre el testigo y el cultivar Cochise, así como entre esta última y el cultivar Cortez (Figura 1)

Con respecto a la sección más superficial de la estación de otoño, se observaron diferencias entre el testigo y los cultivares Cochise, Cindy lou y Bingo (Figura 1). En tanto, en la sección 10 – 20 cm, se observan diferencias entre el testigo y los cultivares Bingo, Cindy Lou y Cortez (Figura 1). Por otra parte, el contenido de carbono orgánico en el suelo de los cultivares en estudio no tuvieron una diferencia estadísticamente significativa entre las dos épocas ( $p > 0,05$ ), no así el testigo el cual hubo un descenso en su contenido de carbono orgánico (Figura 2).

Pouyat *et al.*, 2009, cuantificaron carbono orgánico en céspedes de áreas urbanas de más de 40 años en la región de Baltimore, en Estados Unidos, y observaron que en el perfil de suelo de 0 a 20 cm, éstos acumularon una cantidad de carbono orgánico de  $64 \text{ t C ha}^{-1}$ , lo que significa una captura aproximada de  $1,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , similar a las observaciones encontradas en este estudio entre las profundidades 0 a 10 cm y 10 a 20 cm de profundidad, en especial para la variedad Cochise en la estación de primavera 2011 y para las variedades Bingo y Cindy Lou en otoño 2012.

En este estudio, se observa un aumento muy leve en el secuestro de carbono orgánico en el suelo por parte de las especies en estudio entre una época y otra, (Figura 1 y 2). Hontoria *et al.*, (2004) indican que la cero labranza, o la mínima labranza, y el uso de cubiertas sobre el terreno (como el césped), el control de la erosión y la fertilización, entre otras prácticas, son manejos que aumentan el contenido de carbono en el suelo. Según Paul (1997, citado por Neal *et al.*, 2012), indica que los factores principales que afectan el contenido de carbono orgánico en el suelo son el clima, la producción vegetal, la textura del suelo y los manejos agronómicos, todos ellos con efectos en el largo plazo, lo cual no es observable en este estudio por su corto período (sólo dos estaciones).

Con relación al contenido total de carbono orgánico en el perfil del suelo, no hubo diferencias significativas en la época de primavera 2011 ( $p > 0,05$ ) (Figura 2). En cambio, durante la estación de otoño 2012, si se pudo observar diferencias entre los cultivares y el testigo ( $p < 0,05$ ) como se muestra en la Figura 2. La acumulación de carbono orgánico

encontrado en el perfil del suelo es similar a la observada por Pouyat *et al.*, (2009) en donde cuantificaron un total de 120 t C ha<sup>-1</sup> en una profundidad de 1 m en suelos con cobertura de césped en la región de Baltimore; lo anterior, en un período mayor a 40 años. Es decir, anualmente se capturaron en promedio 3 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, similar a los valores observados en esta investigación en todos los cultivares, en especial Bingo y Cochise en la época de primavera 2011, y Bingo para la estación de otoño 2012.

Por otra parte, Townsend-Small y Czimcsik (2009), en un estudio realizado en cuatro parques localizados dentro de un radio de 7 km en Irvine, California, Estados Unidos, concluyeron que los céspedes ornamentales tenían un bajo stock inicial de carbono orgánico de 12 t C \* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los primeros 20 cm de profundidad del suelo, secuestrado a una tasa de 1,4 t C \* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Sin embargo, ellos observaron que los campos deportivos tuvieron un contenido alto de carbono orgánico de aproximadamente 35 t C \* ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los campos deportivos más antiguos presentaron un contenido de carbono orgánico significativamente mucho mayor que los otros campos deportivos de menor edad (Townsend-Small y Czimcsik, 2009).

Corre *et al.*, (1999) realizó una comparación de la acumulación de carbono orgánico total (C.O.T.) en una cubierta de bosque nativo, pastos de estación fría (C3) y de estación cálida (C4), en seis lugares seleccionados en el noreste de Estados Unidos en una profundidad de 1 m. Estos autores lograron identificar que el carbono orgánico total en el suelo no tuvo diferencias significativas ni para los suelos cubiertos por bosques nativos, ni para aquellos con cubierta vegetal de gramíneas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Estos autores reportaron valores entre 1,9\*10<sup>-8</sup> y 3,5\*10<sup>-8</sup> t C.O.T en especies C<sub>3</sub>, resultados muy por debajo de los encontrados por las observaciones realizadas en esta investigación. Sin embargo, estos autores observaron que en cada localidad, el carbono orgánico total del suelo era, en parte, dependiente de la edad de la vegetación, lo cual en el caso de este estudio es difícil de determinar por lo joven del sistema (3 años) y lo limitado de las observaciones (sólo dos estaciones).

Zan *et al.*, (2001) en un estudio realizado con dos cultivos perennes, Swithgrass (*Panicum virgatum* L.) y sauce blanco (*Salix alba x glatfelteri* L), en el sureste de Quebec, Canadá, obtuvieron resultados de secuestros de carbono de 3 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (equivalente a un incremento en la concentración de carbono de un 18%) lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, probablemente debido a que las dos especies del género *Festuca* son cultivos perennes.

Jo y McPherson (1995), en un estudio llevado a cabo en el noreste de Chicago, Estados Unidos, sobre almacenamiento y flujo de carbono en espacios verdes de residencias urbanas, observaron la deposición de este elemento en dos especies de césped (Kentucky bluegrass y Festuca) con un período de seguimiento de 2,9 años, llegando a concluir que el máximo almacenamiento de carbono en estos céspedes fue en el mes de Julio (Enero para el hemisferio Sur) para ambas especies de 1,8607 t C.O.T ha<sup>-1</sup>, del cual 1,1464 t C.O.T ha<sup>-1</sup> proviene de las raíces. Si bien hay una diferencia en cuanto a la época en el cual se registra la mayor acumulación de carbono orgánico total en este estudio, en el cual no hubo comparación alguna entre las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, el clima en el

estudio citado es del tipo continental, con una máxima temperatura promedio de 9,4°C (NOAA, citado por Jo y McPherson 1995). Por lo anterior, en términos de regímenes térmicos, esta temperatura está muy por debajo de las observadas en la localidad de Pirque en Chile para la época de otoño e invierno (19,77° C y 15,6° C) (Santibáñez y Uribe, 1990). Es muy probable entonces, que la temperatura sea un factor importante en la captura de carbono en el suelo asociado a las raíces. El impacto directo de la temperatura se produce en la parte aérea, afectando el proceso fotosintético de las plantas. Por otra parte, se han observados que aumentos de temperatura en pastizales templados, aumenta el sumidero de carbono en el suelo (Thornley y Cannell (1997); Cao y Woodward (1998), citado por Jones y Donnelly (2004)).

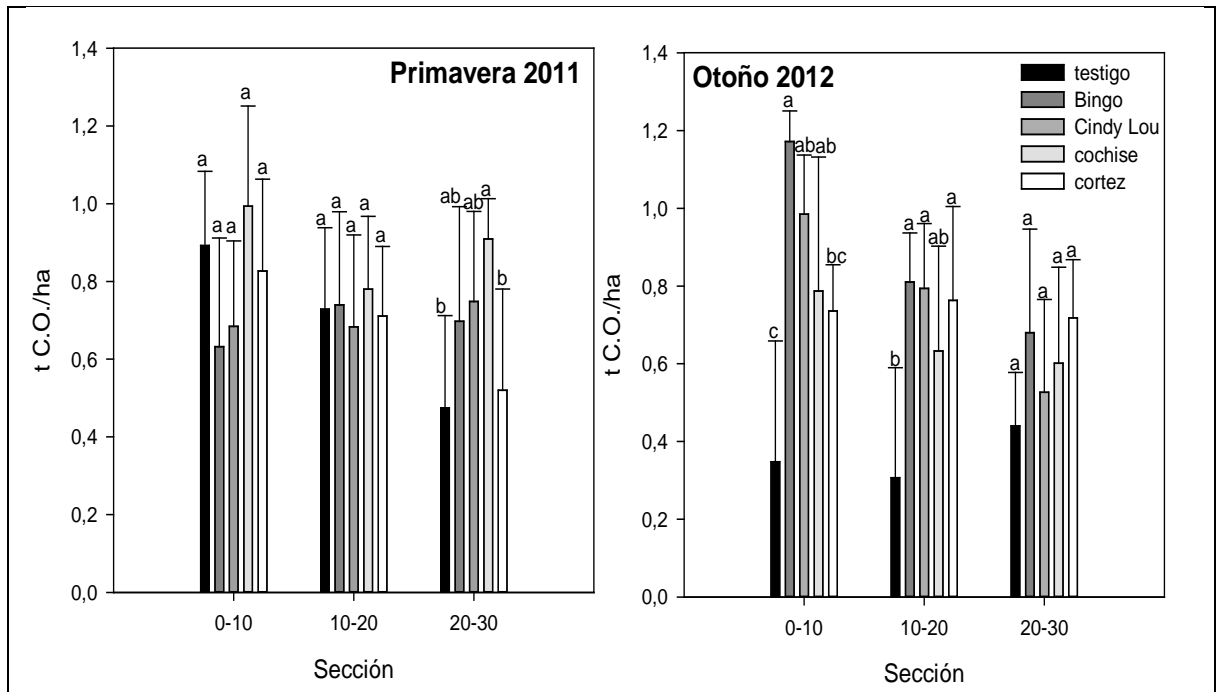


Figura 1. Promedio de carbono orgánico (C.O) en el perfil del suelo, en tres secciones distintas, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

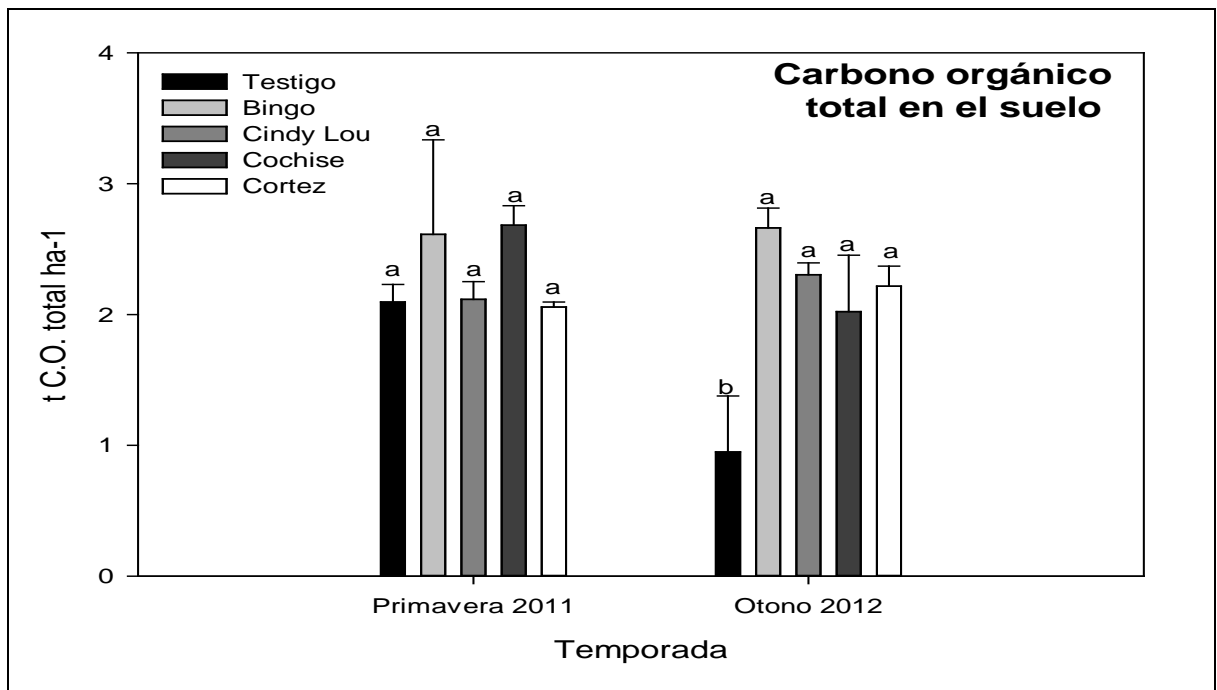


Figura 2. Carbono orgánico total en el perfil del suelo en las estaciones primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

## Carbono inorgánico en el suelo

No se observaron diferencias significativas en la cantidad de carbono inorgánico en las tres secciones del suelo, tanto en la temporada de primavera 2011 y otoño 2012 ( $p > 0,05$ ) (Figura 3). Por otra parte, en cuanto al carbono inorgánico total en el perfil del suelo, no se observaron diferencias entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ) para la temporada de primavera 2011 ni para la temporada de otoño 2012 (Figura 4).

El carbono secuestrado en forma inorgánica es importante debido a que, es almacenado en una forma mucho más estable, un ejemplo de estos es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), pero los estudios para su determinación han sido escasos (Lal 2002, citado por Sánchez *et al.*, 2004). Según Jo y McPherson (1995), la cantidad de carbono inorgánico encontrado en los suelos cubiertos bajo una carpeta de *Festuca* fue de 44,4 t C.I.  $\text{ha}^{-1}$ , muy superior a los encontrados por este estudio. Sin embargo, estos autores no encontraron diferencias significativas en su investigación en cuanto a la acumulación de carbonatos en el suelo, similar al presente estudio.

No obstante, en el perfil de suelo de este estudio no se encontraron diferencias entre las profundidades dado que las aguas de riego en el estudio (pozo) son muy duras (540  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ) con un riesgo de uso muy alto ( $>320 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ) según informe de resultados del análisis de agua llevados a cabo por el servicio de laboratorio agrícola AGROLAB (Figura 13) y como lo afirma Lucio (2010) en que atribuye la presencia de carbonato de calcio debido a la incorporación de las aguas de riego, en especial los suelos regados con aguas del río Maipo. Por lo mismo, se puede inferir que al momento de usar estas aguas para el riego, las sales carbonatadas se distribuyen a lo largo de todo el perfil del terreno y aumentan en forma homogénea los contenidos de carbonato de calcio que influyen los contenidos de carbono inorgánico reportados en este estudio y con esto dificultando la diferencia entre tratamientos.

Sánchez *et al.* (2004), ponen al manifiesto que para la estimación del contenido de carbono inorgánico en el suelo, se debe considerar el hecho de que una mayor o menor parte de los carbonatos calculados no son de origen edáficos, sino heredados por el material parental. Sin embargo, en esta investigación no se observa el efecto de una entrega de carbonatos por parte del material parental, dado que el perfil 20 – 30 cm de la temporada primavera 2011 y otoño 2012, no presentan diferencias con los otros perfiles analizados observándose una tendencia a la mayor concentración de carbonatos en los horizontes más profundos. Por lo mismo, Sánchez *et al.* (2004) indican que para saber la procedencia del carbono inorgánico de un suelo, es fundamental la realización de experimentos con isótopos radiactivos que pongan de manifiesto la procedencia del carbono, es decir, si es atmosférico (difusión como gas, acumulación de carbonatos como sólido o entrada en forma disuelta en la precipitación), biológico (respiración radicular o microbiana procedentes del aumento de presión parcial de  $\text{CO}_2$ ) o del material originario.

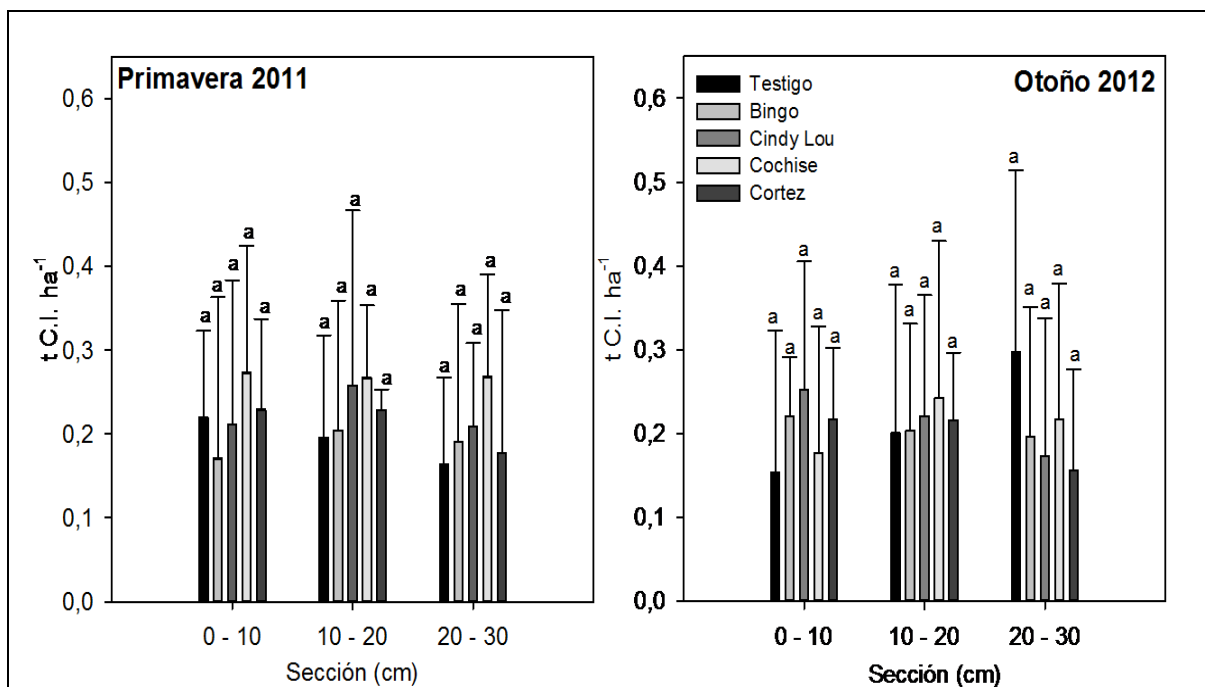


Figura 3. Promedio de carbono inorgánico (C.I.) en el perfil del suelo, en tres secciones distintas en las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

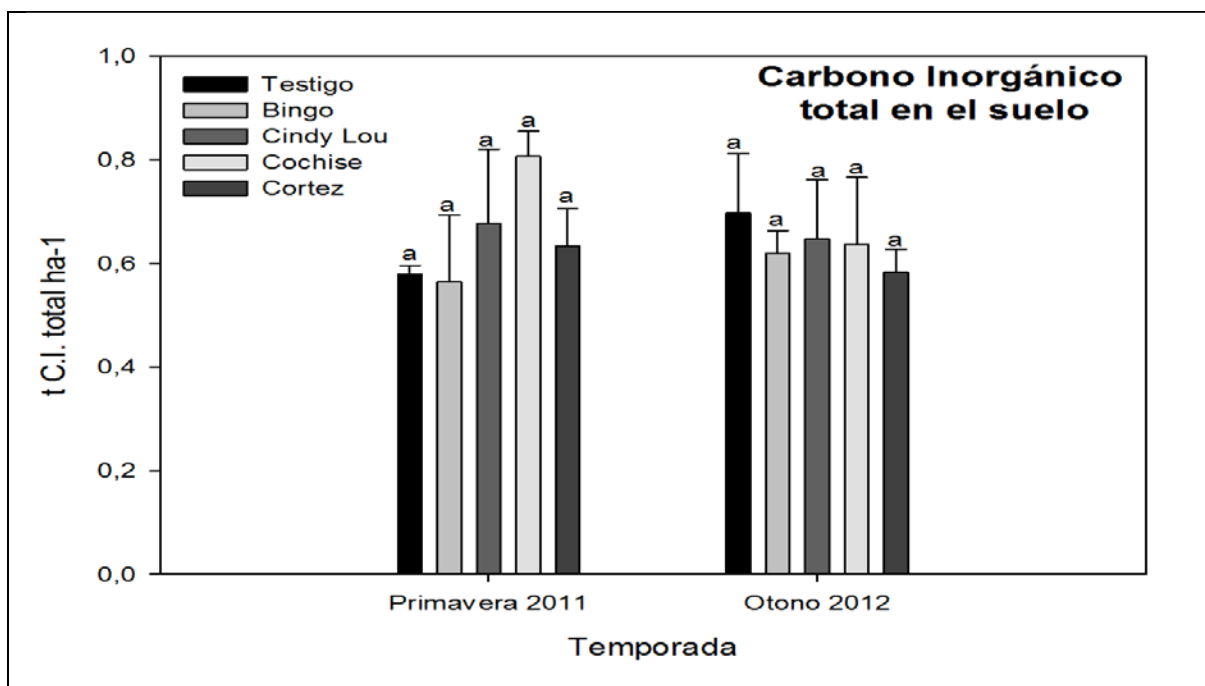


Figura 4. Promedio de carbono inorgánico total (C.I.T.) en el perfil del suelo, en tres secciones distintas en las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).



### **Carbono Total.**

En cuanto a la acumulación de carbono orgánico total en los tres perfiles del suelo, no se observaron diferencias significativas en la temporada de primavera 2011 entre las tres secciones estudiadas ( $p > 0,05$ ) (Figura 5).

En la temporada otoño 2012, se observó en la sección 0 – 10 cm, una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre el testigo y los cultivares Bingo, Cindy Lou y Cochise, así como también diferencias entre los cultivares Bingo y Cortez (Figura 5). Por el contrario, las otras dos secciones no presentan diferencias significativas.

El contenido total de carbono secuestrado en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012, no evidenció diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los cultivares en la temporada primavera 2011, no obstante, en la temporada otoño 2012, se observan diferencias entre los cultivares y el testigo ( $p \leq 0,05$ ) (Figura 6).

Algunos autores indican, en estudios relacionados con la tasa de acumulación de carbono en el suelo durante el establecimiento de pastos perennes en climas de estepa templados, que estos alcanzan los  $1,1 \text{ t C.T. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Post y Kwon, 2000). Tales niveles son similares a los observados por la captura de carbono total en los cultivos evaluados en las tres secciones del presente estudio.

Jo y McPherson (1995), identificaron que en áreas de suelo con cobertura de césped, a una profundidad de 60 cm, el mayor contenido total de carbono ocurrió durante la temporada de verano, con un almacenamiento de  $13,1 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en la temporada de invierno, este valor fue de  $6,8 \text{ t ha}^{-1}$ . En ambos, no encontraron diferencias significativas, como se observó en este estudio en las diferentes especies en ambas temporadas analizadas. Resultados similares se obtuvieron en el presente estudio, aunque con niveles de carbono total muy inferiores entre  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  y  $3,3 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 6). Estos mismos autores, indican que la entrada anual de carbono en los suelos con césped proveniente del material muerto, fue de  $6,7 \text{ t ha}^{-1}$ , y la cantidad de descomposición anual fue de  $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Esto es importante, dado que en la mayoría de los ecosistemas de pastizales templados, el 75% a 80% de la biomasa de las raíces está en los 30 cm superficiales del suelo (Reeder *et al.*, 2001; citado por Jones y Donnelly, 2004).

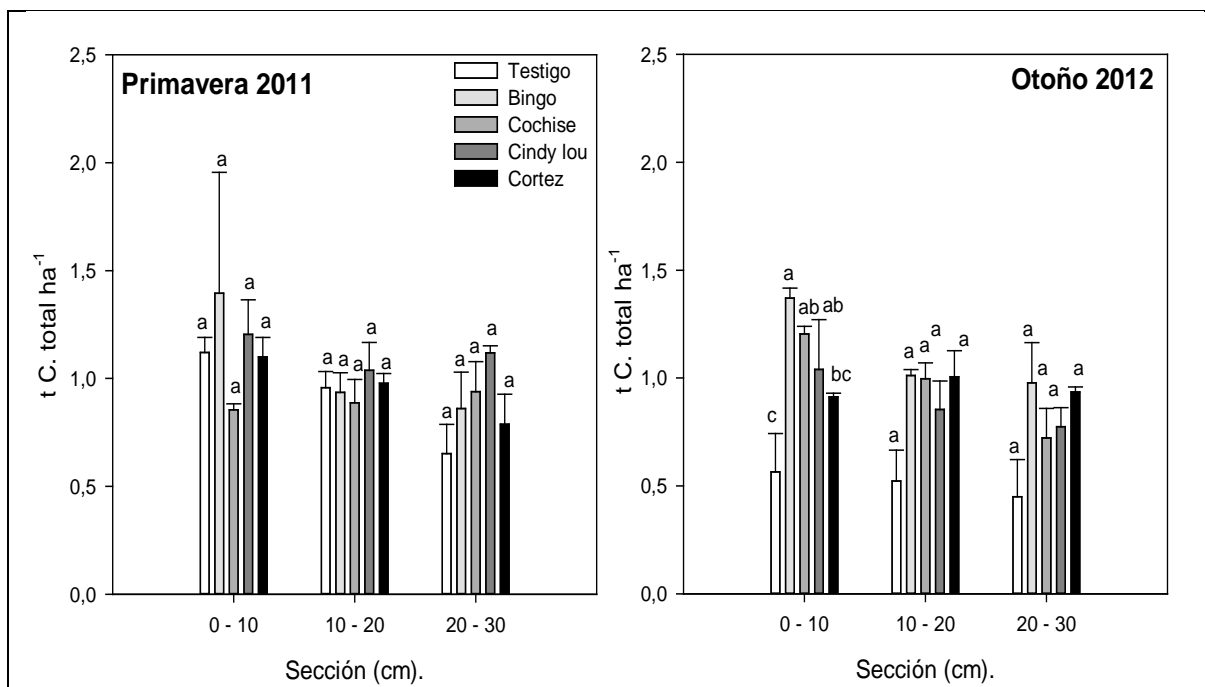


Figura 5. Carbono total (C.T) en el perfil del suelo, en tres secciones distintas, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

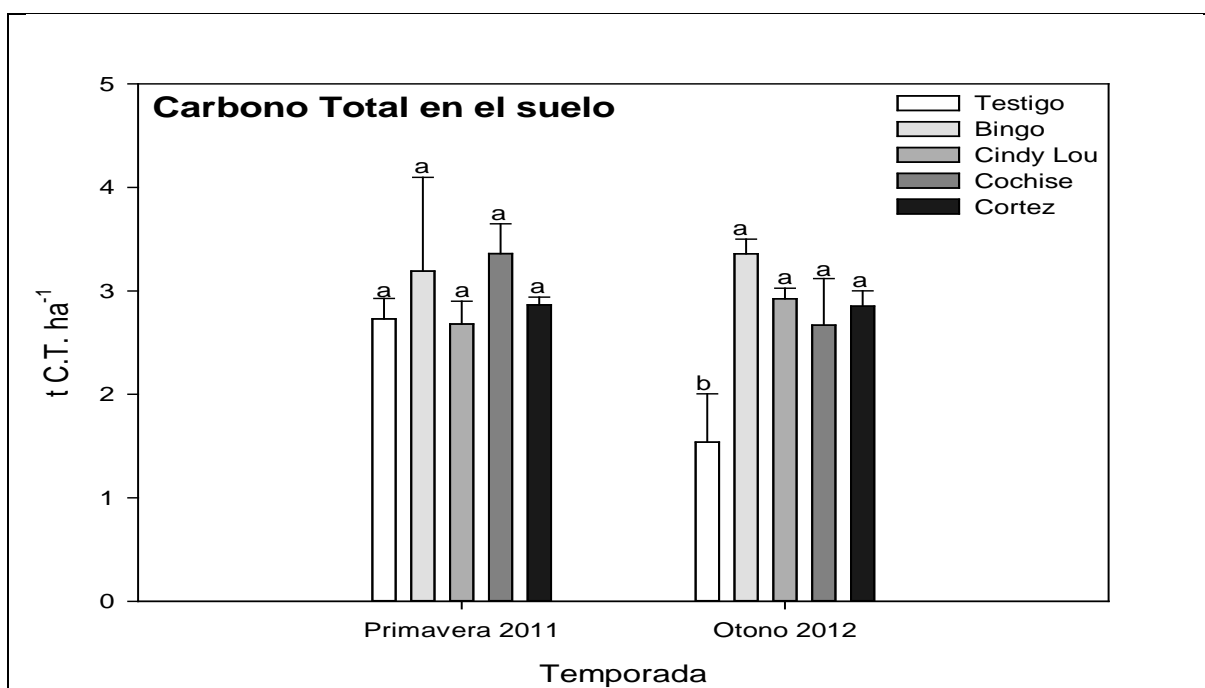


Figura 6. Carbono total (C.T.) en el perfil del suelo, en las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

### **Carbono orgánico parte aérea (biomasa)**

La acumulación de carbono orgánico en la biomasa en la temporada de primavera 2011, tuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) solamente en el cultivar Cortez, siendo significativamente mayor a los otros tres cultivares del género *Festuca*. No obstante, en la temporada de otoño 2012, no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) como se observa en la Figura 7. En cuanto a la cantidad de carbono orgánico entre las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012, estas tuvieron una mayor acumulación en la época otoñal, en comparación a la época primaveral ( $p \leq 0,05$ ) (Figura 7).

Langjun *et al.*, (2006) indican que un estrés por altas temperaturas es uno de los principales factores que inciden en el crecimiento y desarrollo del género *Festuca* en regiones de climas de transición y templados. Es por esto que el contenido de C.O. en la parte aérea es mayor en la temporada de otoño que en primavera. Según Langjun *et al.*, (2006), la especie *Festuca arundinacea* Shreb., tiene temperaturas óptimas de crecimiento entre los 15° y 20°C, las cuales se registran en los meses de otoño en la zona central de Chile. Esta sería la razón del porqué la cantidad de biomasa producida en otoño es mayor que en primavera (Figura 7). Sin embargo, se debe enfatizar que las altas temperaturas prolongadas durante pleno período de verano en estas regiones pueden inhibir el crecimiento de los céspedes de estación fría (Martin y Wehner, 1987; citado por Langjun *et al.*, 2006) y reducir la tasa fotosintética de estos (Huang y Gao, 2000; citado por Langjun *et al.*, 2006), especialmente, cuando se registran meses con temperaturas altas en primavera.

Por otra parte, un aumento en la cantidad de biomasa aérea se debe también a un adecuado programa de fertilización, manejo agronómico típico en áreas verdes, como lo demostró Jaramillo y Lynch (2008), los cuales describieron las potenciales interacciones en el crecimiento y fisiología de las gramíneas de metabolismo C3 *Festuca arundinacea* Shreb., causadas por el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico en conjunto con la variabilidad en la fertilidad natural y propiedades de 13 tipos diferentes de suelos recolectados en zonas de Puerto Rico, Ecuador y Estados Unidos (Alaska). Estos autores, observaron que un aumento significativo de la biomasa depende del suministro de nitrógeno, fundamental en la producción de biomasa aérea, así como el potasio y el fósforo, con la producción de carbohidratos no estructurales. Bélanger *et al.*, (1994) también observó que a mayor fertilización con nitrógeno, mayor producción de biomasa; considerando que el lugar del estudio se mantuvo con un programa de fertilización nitrogenada estacional de mantención, se puede inferir que ésta tuvo un efecto positivo en la producción de biomasa otoñal.

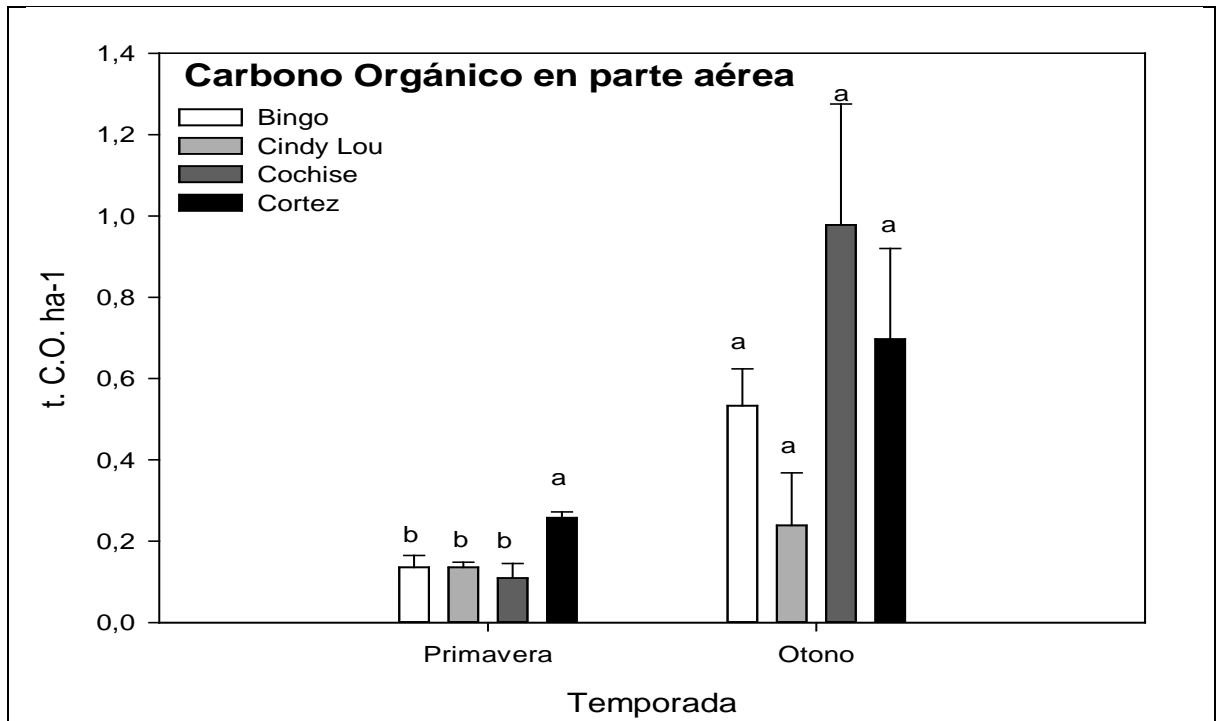


Figura 7. Carbono orgánico secuestrado en la parte aérea (biomasa) de *Festuca arundinacea* y *Festuca rubra* spp. rubra, en las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

## Fotosíntesis

Las tasas fotosintéticas entre las dos temporadas estudiadas fueron mayores en los meses de primavera y verano, comparadas a las observadas en otoño e invierno. La mayor tasa fotosintética se alcanzó en los meses de verano y la mínima en los meses de invierno. Los cultivares de *Festuca arundinacea* alcanzaron mayores tasas fotosintéticas en comparación con la especie *Festuca rubra* spp. rubra en casi todos los meses del año, principalmente en los meses de altas temperaturas (Figura 8, A). Aunque, esta última alcanzó mayores tasas fotosintéticas en el mes de Junio (invierno) comparada con los restantes cultivares de *Festuca arundinacea* (Figura 8, A).

La conductancia estomática fue mayor en los meses de otoño e invierno comparado a los de primavera y verano (Figura 8, B). Así mismo, se aprecian diferencias significativas en la conductancia estomática en los meses otoñales y primaverales que los meses de verano e invierno, en los cuales todas las especies de *Festuca* no tuvieron diferencias significativas entre sí. En cuanto a la conductancia estomática en las distintas especies, estas fueron mayores entre los meses de febrero a mayo de 2012 para los 3 cultivares de *Festuca arundinacea* comparado con la especie *Festuca rubra* spp. rubra. Entre cada uno de los cultivares, hubo diferencias en la temporada de otoño, con una mayor conductancia estomática en el cultivar Cortez, respecto a los otros 2 cultivares y el cultivar de la especie *Festuca rubra* spp. rubra, mientras que en el mes septiembre 2012, el cultivar Cortez alcanzó una mayor conductancia estomática que los cultivares Cochise y Cindy Lou (Figura 8, B).

En cuanto a la transpiración entre las dos temporadas estudiadas, esta resultó ser mayor entre los meses de febrero a mayo para los cultivares de *Festuca arundinacea*, respecto a los meses de octubre a enero (Figura 8, C). En cuanto a *Festuca rubra* spp. rubra tuvo un descenso en su tasa de transpiración entre los meses de enero a febrero producto de un estrés por temperatura, como se dijo anteriormente, aumentando esta tasa de transpiración en los meses consecutivos dado a su capacidad de producir rizomas, lo cual le permite a la planta volver a regenerarse (Figura 8, C). Hay diferencias significativas entre las dos especies, siendo los cultivares de la especie *Festuca arundinacea* los que alcanzaron mayores niveles de transpiración comparados con *Festuca rubra* spp. rubra entre los meses de abril a junio 2012, no presentando diferencias entre ellos mismos (Figura 8, C). No obstante, en los meses de primavera y verano, no se observa diferencias significativas entre las dos especies, teniendo solamente el cultivar Cindy Lou diferencias en el mes de enero 2012 con los cultivares Cortez y Cochise, y en el mes de septiembre 2012 entre las variedades Cortez y Bingo, siendo mayor en la primera y menor en la segunda (Figura 8, C).

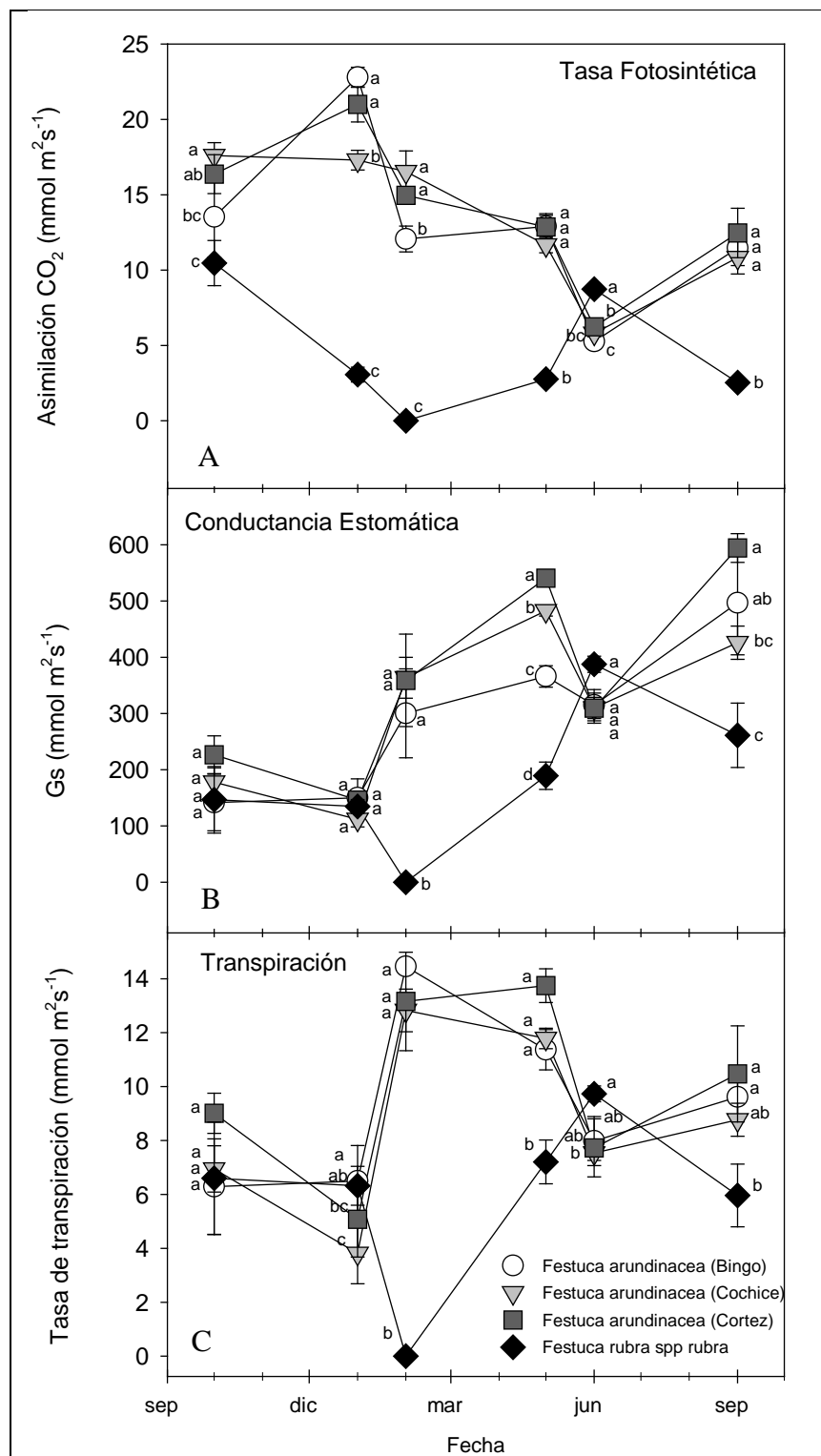


Figura 8. Tasa fotosintética, conductancia estomática y tasa de transpiración de las distintas variedades de *Festuca* en las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Las tasas fotosintéticas en las variedades de *Festuca arundinacea*, no se vieron considerablemente afectadas en el verano, comparadas con *Festuca rubra* spp. rubra, posiblemente porque estas especies tienen mayor resistencia al estrés por altas temperaturas, no así la especie *Festuca rubra* spp. rubra (Figura 8, A). Esto puede explicarse porque la disminución de la fotosíntesis resulta en la deformación de la estructura y la pérdida de funcionalidad de los cloroplastos, así como a la reducción de la acumulación de clorofila bajo un estrés de alta temperatura (Xu *et al.*, 1995 y Dekov *et al.*, 2000; citado por Langjun *et al.*, 2006). En efecto, se ha observado una disminución de la fotosíntesis y la conductancia estomática en *Festuca arundinacea* por altas temperaturas en la temporada de verano (Langjun *et al.*, 2006; Maragni *et al.*, 2000; Niu *et al.*, 2005). Lo anterior se asemeja a lo observado en esta investigación, con una disminución drástica en la tasa fotosintética en la variedad Cindy lou, no así en las variedades Bingo, Cochise y Cortez (Figura 8, A) Posiblemente, estas últimas variedades tienen una mayor capacidad de resistencia a altas temperaturas comparada a la primera, aún cuando su conductancia estomática en los meses de primavera y mediados de verano disminuyen comparado con los meses de otoño e invierno (Figura 8, B). Huang y Gao (2000), observaron una disminución significativa en el contenido de clorofilas en hojas, ocurridos después de una exposición a 10 días a 34°C o 20 días a 30°C en los tres cultivares estudiados de *Agrostis palustris*, así como en la fotosíntesis de todos los cultivares evaluados. También se ha observado que el estrés por calor provoca daños a nivel fisiológico asociado a un aumento en el daño oxidativo en plantas perenes (Liu and Huang 2000, citado por Larkindale and Huang, 2003) dado a la sobreproducción de especies activas de oxígeno (radicales superóxidos, peróxidos de hidrógenos, radicales hidróxilos y oxígeno singlete) causando daño a nivel celular, en particular a la membrana celular (Foyer *et al.*, 1994, citado por Larkindale and Huang, 2003).

Por otra parte, se puede observar que en los meses de primavera y verano, la tasa fotosintética neta en las especies de *Festuca arundinacea* es mayor respecto a los meses más fríos de la temporada otoño e invierno. Esto se puede explicar a un efecto de la temperatura, ya que, existe una relación directamente proporcional entre la tasa fotosintética y la temperatura foliar. Sasaki *et al.*, (2002) observaron una relación entre la temperatura de la hoja y la tasa fotosintética en el crecimiento en *Festuca* alta en dos diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> la cual, a medida que aumenta la temperatura de la hoja, aumenta la tasa fotosintética. Esto coincide con lo observado en la Figura 8 A, B y C, que en el mes de enero se alcanza el mayor nivel de tasa fotosintética en las especies de *Festuca* alta, pero la conductancia estomática y la transpiración son menores que en otros meses.

Estreses de alta temperatura provocan también un aumento en la transpiración, aumentando la pérdida de agua por parte de la planta, tal como se observa en la Figura 8, C. Jiang y Huang (2001), indican que ambientes calurosos inducen pérdidas anormales de agua por transpiración, que aunque tiene un efecto de enfriamiento, puede causar deshidratación celular rápida. Esto se puede observar en los meses de verano en el cultivar Cindy lou que cae la tasa de transpiración, posiblemente producto de las altas temperaturas, llegando a mediados de la estación estival sin cubierta vegetal, causa por la cual no se observa

transpiración en esta. Lo contrario ocurrió en los cultivares de Festuca alta, las cuales tienen resistencia a altas temperaturas (Figura 8, C).

### **Carbono orgánico almacenado y asimilación de CO<sub>2</sub>.**

Las relaciones entre el contenido de C.O. fijado en el suelo y el contenido de carbono reducido en la fotosíntesis, tienen poca vinculación entre ellas, debido a que los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) en cada caso, son bastante bajos (Cuadro 1). Por otra parte, en la mayoría de los casos hay un bajo grado de asociación expresada como coeficiente de Pearson ( $\rho$ ), entre el C.O. almacenado y el contenido de carbono fijado en la fotosíntesis con coeficientes cercanos al valor cero (Cuadro 1). Por el contrario, en la sección 20 – 30 cm, en ambas temporadas y en el año, se logra observar que hay un cierto grado de asociación entre las variables, así como en la sección 0 – 10 cm de la temporada de otoño, entre el contenido de C.O. fijado en el suelo y de CO<sub>2</sub> reducido en la fotosíntesis (Cuadro 1). Finalmente, bajo una prueba de hipótesis, se observa que las secciones 20 – 30 cm tanto para primavera 2011, otoño 2012 y el año entero, presentan una correlación lineal estadísticamente significativa entre el contenido de carbono orgánico fijado en el suelo y de CO<sub>2</sub> reducido en la fotosíntesis, así como también para la sección 0 – 10 cm de la temporada de otoño 2012 (Cuadro 1).

Esta baja relación entre el contenido de C.O. fijado en el suelo y el CO<sub>2</sub> reducido en la fotosíntesis, se debe a que hay varios otros factores que inciden en la acumulación del carbono orgánico en la matriz del suelo, distintas a la sola actividad fotosintética de la planta. La actividad biológica del suelo es importante en la descomposición de la materia orgánica, aportando a fijar el carbono orgánico en el suelo (Davidson y Janssens, 2006). También los factores abióticos tales como temperatura, precipitación y humedad, entre otras, aumentan el contenido de carbono orgánico en el suelo (Davidson y Janssens, 2006), lo mismo que la actividad humana por las prácticas culturales de mantención y cuidado de la cubierta de césped (Paul 1997, citado por Neal *et al.*, 2012). La única diferencia observada entre estas dos variables se observó en la sección 0 – 10 cm de la temporada de otoño (Cuadro 1), posiblemente debido a que en esta temporada hay un aumento en la actividad de la planta por las condiciones favorables para especies de céspedes de estación fría como lo es Festuca, induciendo una mayor producción de raíces nuevas, de biomasa aérea y, sobre todo, de actividad e interacción entre la planta y los organismos del suelo.

En cuanto al grado de asociación del contenido de C.O. del suelo respecto a la asimilación de CO<sub>2</sub> por la fotosíntesis en la sección 20 – 30 cm en las dos temporadas (Cuadro 1), estas están estrechamente relacionadas dado a que, a este nivel de profundidad hay una menor actividad biológica respecto a las secciones superiores, el cual la mayor parte del carbono orgánico corresponde a raíces en distintas formas (vivas y en diversas etapas de descomposición). Por otra parte, en la temporada de otoño, se observa que hay una asociación negativa entre las variables (Cuadro 1), posiblemente debido a que es la temporada en que hay una mayor actividad por parte de estas especies, probablemente se



importan las reservas acumuladas en las raíces hacia la producción de material vegetal aéreo (brotación), ya que los hidratos de carbonos almacenados en partes específicas de la planta juegan un papel importante en la regeneración de éstas (Rahman y Saiga, 2005).

En cuanto al perfil 0 – 10 cm de la temporada de otoño 2012, también están las variables estrechamente correlacionadas entre sí, debido a que es la sección de mayor actividad radical, con altas interacciones específicas entre estas y organismos biológicos (Davidson y Janssens, 2006; Agnelli *et al.*, 2004). Además, dado que las condiciones de temperatura que se registran en esta temporada son benignas para la actividad de estas especies de céspedes, estos tendrán un mayor metabolismo y, por ende, mayor interacción entre estas dos variables analizadas (Davidson y Janssens, 2006; Langjun *et al.*, 2006).

Cuadro 1: Relaciones del contenido de carbono orgánico almacenados en el suelo y la asimilación de la fotosíntesis (t C.O./t C.A.) representadas por el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y grado de asociación simbolizada por el coeficiente Pearson ( $\rho$ ) entre las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012 .

Profundidad (cm)	Anualidad			
	$R^2$	P – value	P	t-Student
Perfil completo	0,06	> 0,05	0,25	0,82
(0 – 10)	0,09	> 0,05	0,29	0,99
(10 – 20)	$1,9 \times 10^{-4}$	> 0,05	-0,01	0,03
(20 – 30)	0,31	> 0,05	0,56	2,14 *
Temporada primavera				
Perfil completo	0,1	> 0,05	0,32	1,01
(0 – 10)	0,01	> 0,05	0,08	0,32
(10 – 20)	$2,7 \times 10^{-3}$	> 0,05	0,05	0,16
(20 – 30)	0,27	> 0,05	0,52	1,93 *
Temporada Otoño				
Perfil completo	$1,5 \times 10^{-3}$	> 0,05	-0,04	0,13
(0 – 10)	0,44	< 0,05	0,66	2,78 *
(10 – 20)	0,06	> 0,05	-0,25	0,82
(20 – 30)	0,3	> 0,05	-0,55	2,08 *

\*Correlación lineal estadísticamente significativa a un nivel de significancia de un 5%

## CONCLUSIONES

El contenido de carbono orgánico en el suelo no tuvo diferencias significativas entre las épocas posiblemente a que los cultivares del género *Festuca* son muy jóvenes (tres años) además de lo corto de la investigación (sólo dos estaciones). Sin embargo, se visualiza que hay un aumento muy ralentizado del contenido de carbono orgánico en el suelo a medida que avanza el tiempo, observándose mayor acumulación en la primera capa perfil de suelo analizado, en donde se encuentra la mayor actividad tanto de las raíces como de otro tipo de organismos que habitan el suelo.

Entre los múltiples factores que intervienen el almacenamiento de carbono en el suelo, es la temperatura uno de los que más interviene en su acumulación debido a que, dependiendo de esta, los organismos aumentan o retardan su metabolismo. En el caso de las especies en estudio, gramíneas de estación fría con metabolismo C3. Se observó que en la época de otoño, aumenta el metabolismo de captura de CO<sub>2</sub> por parte de la actividad fotosintética dado a que las temperaturas que se alcanzan en estas fechas son ideales para el buen funcionamiento de la actividad de estas especies (entre 13,8°C y 15,6°C). Con respecto a la relación entre la asimilación de CO<sub>2</sub> y el carbono almacenado en el suelo, esta sólo fue estadísticamente detectable en la profundidad 0 – 10 cm en otoño en donde el 44% del carbono orgánico cuantificado proviene de la asimilación de CO<sub>2</sub> por parte de la fotosíntesis. No obstante, en cuanto al grado de correlación entre estas dos variables, se visualizó que alcanzaron un mayor grado de asociación entre estas en el perfil 20 – 30 cm debido principalmente a que el carbono orgánico almacenado en el suelo está dado principalmente por las raíces que alcanzan esa profundidad en el suelo. Así también, para el contenido de carbono orgánico de la parte aérea que logra mayor acumulación en la temporada de otoño dado por las condiciones de temperatura óptimas para el buen funcionamiento de la actividad fotosintética de estas plantas, además de un correcto manejo agronómico de esta a través de un programa de fertilización lo que afectan netamente a un mayor rendimiento de la materia seca.

Respecto al carbono inorgánico en el suelo, no se visualizan diferencias estadísticamente significativas entre las distintas profundidades ni entre las épocas dado a que las aguas usadas para el riego en esta localidad son provenientes del río Maipo con un alto contenido de sales de carbonato, distribuyendo de forma homogénea este compuesto a lo largo de todo el perfil.

Todo esto infiere que el contenido total de carbono en el suelo se ve netamente afectado por el secuestro de carbono orgánico en este, tanto por las especies de césped que cubren el suelo, como también la actividad biológica que están presentes en el perfil, lo cual aumenta de lentamente en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A. 2011. *Festuca alta (Festuca arundinacea)*. [En línea]. Disponible en: [http://globalcesped.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=226:festuca-alta-festuca-arundinacea-&catid=101:turfgrass&Itemid=65](http://globalcesped.org/index.php?option=com_content&view=article&id=226:festuca-alta-festuca-arundinacea-&catid=101:turfgrass&Itemid=65). Santiago, Chile. [Consultado: 17 de Octubre de 2011].
- Agnelli, A.; Ascher, J.; Corti, G.; Ceccherini, M.; Nannipieri, P. and Pietramellara, G. 2004. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. *Soil Biology and Biochemistry*. 36: 859 – 868.
- Bascuñan, F.; Walker, P. y Mastrantonio, J. 2007. Modelo de cálculo de áreas verdes en planificación urbana desde la densidad poblacional. Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile. *Urbano*. 10: 97 – 101.
- Beard, J. 1973. *Turfgrass: Science and cultural*. Ed. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Michigan State University, Michigan, United State. 668 p.
- Bélanger, G.; Gastal, F. and Warembourg, F. 1994. Carbon balance in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.): Effects of nitrogen fertilization and the growing season. *Annals of botany*. 74: 653 – 659.
- Bundy, L. and Bremner, J. 1972. A simple titrimetric method for determination of inorganic carbón in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 273 – 274 pp.
- Christians, N. 2004. *Fundamentals of turfgrass management*. 2ª ed. Editorial John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, United State. 359 p.
- Cifuentes L., Sauma E., Jorquera H., and Soto F. Preliminary Estimation of the potencial ancillary benefits for Chile. 2000. [En línea]. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/12/2052062.pdf> . Santiago, Chile. [Consultado: 14 de Septiembre de 2011].
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio agrológico Región Metropolitana. Santiago, Chile. 425 p.
- Corre, M.D.; Schnabel, R.R. and Shaffer, J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forest, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biology and Biochemistry*. 31 (11): 1531 – 1539.
- Davidson, E and Janssens, I. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 440: 165 – 173.

Franzluebbers, A. 2010. Achieving Soil Organic Carbon Sequestration with Conservation Agricultural Systems in the Southeastern United State. *Soil Science Society of America Journal*. 74 (2): 347 - 357.

Gardner, D.; Yan, J.; and Wherley, B. 2007. Horticulture and Crop Science 407. Laboratory manual. Ed. Uniprint. Ohio, University. Ohio, United State. 95 p. 74 – 86p.

Gutleben, C; Provendier, D; Streit, J; Bécid, P and Lecourt, J.M. 2010. Carbon footprint of turfgrass maintenance: First results and identification of leavers. Editorial European Turfgrass Society. Loire Valley. Angers, Francia. 256 p. 87 – 89 pp.

Guillet, M. 1984. Les Graminées Fourragères: Description, Fonctionnement, Applications à la culture de l'herbe. Ed. Gauthier-Villars, Bordas. Traducido al español por María Carmen Alzueta Luzarreta. Bordas, París. 349p. 313 – 321 pp.

Hannaway, D.; S. Fransen, J.; Crooper, M.; Chaney, M.; Teel, M.; Griggs, T.; Halse, R.; Hart, J.; Cheeke, P.; Hansen, D.; Klinger, R. and Lane. W. 1999. Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). Oregon, Estados Unidos. 20 p.

Hontoria, C.; Rodríguez-Murillo, J.C. y Saa, A. 2004. Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España peninsular. *Edafología*. 11. (2) 149 – 157.

Huang, C. and Gao, H. 2000. Growth and carbohydrate metabolism of creeping bentgrass cultivars in response to increasing temperatures. *Crop science*. 40: 1115 – 1120.

Jaramillo, R. y Lynch, J. 2008. Control edáfico de la respuesta al incremento de CO<sub>2</sub> ambiental en *Festuca arundinacea* Schreb. (1 – 7). En: Congreso ecuatoriano de ciencia del suelo. (9<sup>na</sup>, 29 al 31 de octubre de 2008).

Jiang, Y. and Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrass in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crops science*. 41: 436 – 442.

Jo, H. and McPherson. 1995. Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*. 45: 109 – 133.

Jones, M.B. and Donnelly, A. 2004. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*. 164: 423 – 439.

Lal, R.; Kimble, J. M.; Follett, R. F. and Cole, C.C. 1998. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 128 pp.

Langjun, C.; Jianlong, L.; Yamin, F.; Sheng, X. and Zhen, Z. 2006. High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility. *Botanical Studies*. 46: 61 – 69.

Larkindarle, J. and Huang, B. 2003. Thermotolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: Involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of plant physiology*. 161: 405 – 413.

Lopez-Bellido. R.; Lal, R.; Danneberger, K.; and Street, J. 2010. Plant growth regulator and nitrogen fertilizer effects on soil organic sequestration in creeping bentgrass fairway turf. *Plant and Soil*. 332:247 – 255.

Luzio, W. 2010. Suelos de Chile. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 364 p.

MacAdam, J.; Nelson, C. and Sharp, R. 1992. Peroxidase Activity in the leaf Elongation Zone of Tall Fescue. Department of Agronomy, University of Missouri, Columbia. *Plant Physiology*. 99: 872 – 878.

Maragni, L.; Knaap, A. and McAllister, C. 2000. Patterns and Determinants of potential carbon grain in the C3 evergreen *Yucca glauca* (Liliaceae) in a C4 grassland. *American journal of botany*. 87 (2): 230 – 236.

Martínez E., Fuentes J. y Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Departamento de producción agrícola, Universidad de Chile. Santiago, Chile. R.C. Suelo y *Nutrición Vegetal*. 8: 68 – 96.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2011. Segunda comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. [En línea]. Disponible en: < [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50880\\_documentoCambioClimatico.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50880_documentoCambioClimatico.pdf)>. Santiago, Chile. [Consultado: 29 de mayo de 2013].

Neal, J.S.; Eldridge, S.M.; Fulkerson, W.J.; Lawrie, R. and Barchia, I.M. 2012. Differences in soil carbon sequestration and soil nitrogen among forages used by the dairy industry. *Soil Biology and Biochemistry*. 57 (2013), 542 – 548.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: *Methods of soils analysis, Part 2*, 2<sup>da</sup> ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9: 961 – 1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI.

Niu, S.; Yuan, Z.; Zhang, Y.; Liu, W., Zhang, L.; Huang, J. and Wan, S. 2005. Photosynthetic responses of C3 and C4 species to seasonal water variability and competitor. *Journal of experimental botany*. 56 (421), 2867 – 2876.

Pennucci, A and Langille, A. 1990. An Evaluation of Turfgrass Species and Varieties: Fineleaf Fescue. Maine Agricultural and Forest Experiment Station, University of Maine. Orono, United States. 13 pp.

Post, W.M. and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*. 6: 317 – 327.

Pouyat, R.; Yesilonis, D. and Golubiewski, N. 2009. A Comparison of Soil Organic Carbon Stock between Residential Turfgrass and native soil. *Urban Ecosystem*. 12: 45 – 62.

Quian, Y. and R. Follet. 2002. Assessing soil carbon sequestration in turfgrass systems using long-term soil testing data. *Agron. journal*. 94: 930 – 935.

Quian, Y.; Follet, R. and Kimble, J. 2010. Soil Organic Carbon input from Urban Turfgrasses. *Soil Science Society of America Journal*. 74 (2): 366-371.

Rahman, M. and Saiga, S. 2005. Endophytic fungi (*Neotyphodium coenophialum*) affect the growth and mineral uptake, transport and efficiency ratios in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Plant and Soil*. 272: 163 – 171.

Robbins, P. and Birkenholtz, T. 2003. Turfgrass revolutions: Measuring the expansion of the American Lawn. *Land Use Policy*. 20: 181 – 194.

Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora, M. 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de normalización y acreditación (CNA). Sociedad chilena de la ciencia del suelo. Santiago, Chile. 113p.

Sahu, R. 2008. Technical Assessment of the Carbon Sequestration Potential of Managed Turfgrass in the United States. [En línea]. Disponible en: <http://www.opei.org/dotAsset/15570.pdf>. (Consultado: 24 de Septiembre de 2011)

Sánchez, J.; Recatalá, L. y Goberna, M. 2004. Secuestro de carbono inorgánico en el suelo: una primera estimación en el ámbito semiárido español. *Edafología*. 11 (3): 309 – 317.

Santibáñez, F y Uribe, J. 1990. Atlas agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 65 p. p. 36.

Sasaki, H.; Fukuyama, M.; Onoue, T.; Suyama, T. and Shoji, A. 2002. Effects of increasing CO<sub>2</sub> concentration and leaf temperature on the photosynthesis of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Grassland science*. 48 (1), 12 – 16.

Sorensen, M.; Barzetti, V.; Keipi, K. y Williams, J. 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington D.C., Estados Unidos. 81 p.

J. Thornley and Cannel, M. 1997. Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurley pasture model. *Annals of botany*. 80: 205 – 221.

Townsend-Small, A. and Czimczik, C. 2010. Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophysical Research Letters*. 37: 1-5.

Wang, J.; Cui, L.; Wang, Y. and Li, J. 2009. Growth, lipid peroxidation and photosynthesis in two tall fescue cultivars differing in heat tolerance. *Biologia plantarum*. 53 (2): 237 – 242.

Zan, C.; Fyles, J.; Girouard, P. and Samson. R. 2001. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in southern Quebec. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 86: 135 – 144.

ANEXO I.

Ficha técnica especie *Festuca arundinacea* cv. Bingo

Product info

# BINGO

## Festuca arundinacea



### Tall fescue

Excellent drought tolerance



- Drought tolerant
- Disease resistant
- Good winterhardiness
- Dark green color

Rating

Turf Quality	Wear tolerance	Color	Drought tolerance
-----●-----	-----●-----	-----●-----	-----●-----

**Quick Facts**  
 BINGO is a new and improved, heat and disease resistant, tall fescue variety developed for superior turf quality across a wide area of adaptation. Bingo is a special bluegreen, moderately fine textured tall fescue with excellent wear tolerance. It exhibits a unique combination of traits including improved turf density and resistance to Brown Patch. Bingo is endophyte enhanced for added disease resistance. It is recommended for permanent turf in full or partial shade on golf course roughs, out of bounds areas, and low maintenance sites. It can be utilized in polypspecies grass seed mixtures maintained at a moderate height of cut. It can also be mixed with Ming for cool and warm season turf in transitional climates around the globe.

DLF International Seeds . PO Box 229 Halsey . OR 97348 USA . tel: 541.369.2251 . toll free: 800.445.2251 . e-mail: intseed@intlseed.com

Figura 9: Ficha de información de cultivar Bingo, empresa DLF international sedes.



## ANEXO II

Ficha técnica especie *Festuca arundinacea* cv. Cindy Lou

Product info

CINDY LOU

Festuca rubra rubra

## Strong creeping red fescue

CINDY LOU



Rating

Drought Tolerance	Spring Green Up	Density	Turf Quality
-----●-----	-----●-----	-----●-----	-----●-----

**Quick Facts**  
CINDY LOU is a very dark green, fine leaf textured, aggressively rhizomatous variety of strong creeping red fescue. It exhibits an upright crown growth habit and remains distinctly green and aesthetically pleasing when under moderate drought stress. It has excellent seedling vigor and is best adapted to shady sites where low fertility and moderately high pH conditions prevail. It is endophyte enhanced for added disease and pest resistance. CINDY LOU was entered in the 1998 Fine Fescue NTEP Test along with 78 fine fescues and 22 strong creeping red fescue varieties. Data from the 2000 NTEP Fine Fescue Progress Report conducted across 28 locations in the US and Canada indicates that CINDY LOU tied for 1st in turf quality among all fine fescue varieties.

- Drought & Cold Tolerant
- Quick Spring Green Up
- Very High Shoot Density
- Excellent Winter Color

DLF International Seeds . PO Box 229 Halsey . OR 97348 USA . tel: 541.369.2251 . toll free: 800.445.2251 . e-mail: intseed@intseed.com

Figura 10: Ficha de información de cultivar Cindy lou, empresa DLF international sedes.


ANEXO III

Ficha técnica especie *Festuca arundinacea* cv. Cochise.

Product info


## Cochise

### Festuca arundinacea



## Tall Fescue

Improved Turf Density and Quality plus fine Leaf Texture



Rating

Density	Fineness of leaves	Wear tolerance	Colour
-----●-----	-----●-----	-----●-----	-----●-----

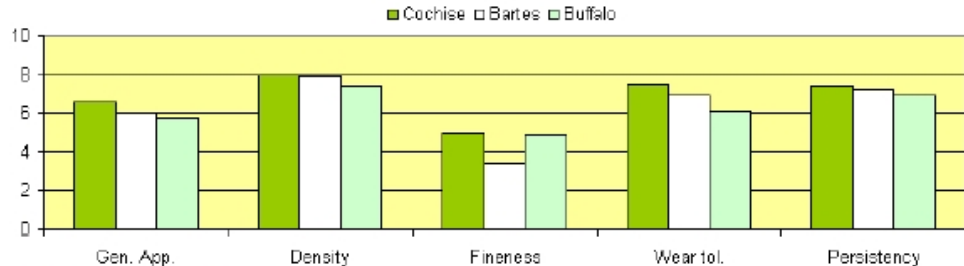
**High Disease Resistance**  
Cochise has a good resistance to Leaf spot, Brown patch, Pythium blight and Fusarium patch.

**Survival**  
Cochise has demonstrated an excellent drought and wear tolerance and a good cold tolerance. These high scorings for stress tolerance and key points in areas for tall fescue.

**Uses**  
Cochise is recommended for home lawns, parks, athletic fields, sod production, golf courses and low maintenance areas.

- Durable
- Drought tolerant
- Fine leaves with dark green colour
- Low maintenance

**Characteristics of Cochise**



Category	Cochise	Bartes	Buffalo
Gen. App.	6.5	5.8	5.5
Density	7.8	7.5	7.2
Fineness	4.8	3.5	4.5
Wear tol.	7.2	6.8	6.0
Persistency	7.2	7.0	6.8

Source: Bulletin des Gazons (France)


DLF-TRIFOLIUM . Ny Oestergade 9 . DK 4000 Roskilde . Denmark . Tel. +45 4633 0300 . Fax +45 4632 0830 . www.dlf.com . dlf@dlf.com

Figura 11: Ficha de información de cultivar Cochise, empresa DLF international sedes.

ANEXO IV

Ficha técnica especie *Festuca arundinacea* cv. Cortez

TECH SHEET



A Warrior in Performance in the Heat of the Battle!

- Outstanding Turf Quality
- Heat Tolerant
- Good Drought Resistance
- Excellent Dark Green Color
- Fine Leaf Blade

**Cortez II** has the highest ranking from Advanta Seed Research conducted in Fayetteville, NC trials for Turf Quality with a ranking of 6.4 out of 9 (lowest 4.9, LSD .68). **Cortez II** achieved high marks in trials conducted in Albany, OR by Advanta with a Turf Quality rating of 6.4 (highest 7.3, lowest 5.2, LSD 0.26) and ranked the highest in Winter Color with a 6.67.

Performance Data

Shade Tolerance: *Good*  
 Drought Tolerance: *Excellent*  
 Traffic Tolerance: *Good*

Fertilizer Needs: .1-.5 lbs. Nitrogen per 1,000 sq. ft. growing month.

Seeding Rates

New Lawn: 8-10 lbs. 1,000/sq. ft.  
 Existing Lawns: 3-5 lbs. 1,000/sq. ft.

Turf Quality Average

CORTEZ II	5.5
SIGNIA	4.7
TITAN LTD	3.7
LSD	0.4



CORTEZ COCHISE III CORTEZ II

The continued genetic improvements from the original Cortez to **Cortez II** are apparent.

Cortez II also performed well in Turf Quality Performance Trials at Rutgers University in Adelphia, NJ.



www.ampacseed.com

Figura 12: Ficha de información de cultivar Cortez, empresa AMPAC seed company.

## ANEXO V

## Informe de resultados de análisis de agua de laboratorio AGROLAB

Identificación muestra		Pirque	Interpretación para Riego		
			NCh1333	Agrónomico	
Origen		Pozo	Limite máx	Riesgo de uso	
N° de Laboratorio		20761	(1)	Ninguno	Alto
pH		7,39	5,5 - 9,0	6,5 - 8,4	
C.Eléctrica	dSm	1,4	(3)	< 0,75	> 3,0
RAS corregida (Relación Adsorción Sodio)		2,1		< 6,0	> 9,0
Sodio porcentual (Na)	%	23,2	35		
Dureza	(CaCO <sub>3</sub> ) mg/l	540		< 140	> 320
<b>Cationes y aniones (meq/l)</b>					
Calcio	(Ca) meq/l	9,4			
Magnesio	(Mg) meq/l	1,4			
Potasio	(K) meq/l	0,12			
Sodio	(Na) meq/l	3,3		< 3,0	> 9,0
Cloruro	(Cl) meq/l	3,8		< 4,0	> 10,0
Sulfato	(SO <sub>4</sub> ) meq/l	5,9			
Bicarbonato	(HCO <sub>3</sub> ) meq/l	4,5		< 1,5	> 8,5
<b>Cationes y aniones (mg/l)</b>					
Calcio	(Ca) mg/l	188			
Magnesio	(Mg) mg/l	17			
Potasio	(K) mg/l	5			
Sodio	(Na) mg/l	76		< 70	> 200
Cloruro	(Cl) mg/l	135	200	< 140	> 350
Sulfato	(SO <sub>4</sub> ) mg/l	283	250		
Bicarbonato	(HCO <sub>3</sub> ) mg/l	275		< 90	> 500
<b>Otras determinaciones</b>					
N-Amoniacal	(NH <sub>4</sub> ) mg/l	2,4			
N-Nitrato	(NO <sub>3</sub> ) mg/l	12,6			
Fósforo	(P) mg/l	0,10			
Boro	(B) mg/l	0,26	0,75	< 0,5	> 2,0
Cobre	(Cu) mg/l	0,03	0,20		0,20
Hierro	(Fe) mg/l	0,15	5,00		
Manganeso	(Mn) mg/l	0,03	0,20		0,20
Zinc	(Zn) mg/l	0,01	2,00		2,00

(1) Norma NCh1333.Of78 Modificada1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes Usos. Parte 6: Requisitos del agua para riego.  
(2) Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada elemento. En el caso de RAS, la autoridad competente debe establecerla en cada caso específico. Los elementos que figuran sin valor no se encuentran regulados en la norma.  
(3) Clasificación del agua para riego según su salinidad de acuerdo a la norma NCh1333.  
N° Lab. 20761: Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles

Figura 13: Información de análisis de agua efectuada por el Laboratorio Agrolab.

## ANEXO VI

## Informe de resultados análisis de suelo Laboratorio AGROLAB


		LABORATORIO AGRICOLA ANALISIS DE SUELO - FOLIAR - AGUA	
<b>INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 74.088</b> <b>ANALISIS SUELO</b>			
Productor : Anasac Ambiental S.A. Predio :	Empresa : Anasac Remite : Ignacio Humeres	Fecha muestreo : 09-03-2010 Fecha análisis : 12-03-2010	F.ingreso : 12-03-2010 F.informe : 22-03-2010
Provincia : Cordillera Comuna : Pirque Localidad : Pirque			
Pag. 1/1			
Identificación Cuartel :	Pirque		
Profundidad muestreo(cm) :			
Nº de Laboratorio :	118496		
<b>Fertilidad</b>			
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	8,0	Alcalino
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	2,3	Lev.Salino
Materia orgánica	%	2,9	Medio
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	21	Medio
Fósforo disponible (P)	mg/kg	82	Alto
Potasio disponible (K)	mg/kg	188	Adecuado
<b>Textura</b>			
Arena (2,00 - 0,05 mm)	%	33	
Limo (0,05 - 0,002 mm)	%	41	
Arcilla (< 0,002 mm)	%	26	
Clase Textural		Franca	
Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g			

Figura 14: Información de análisis de suelo efectuada por el Laboratorio Agrolab.

## APÉNDICE I

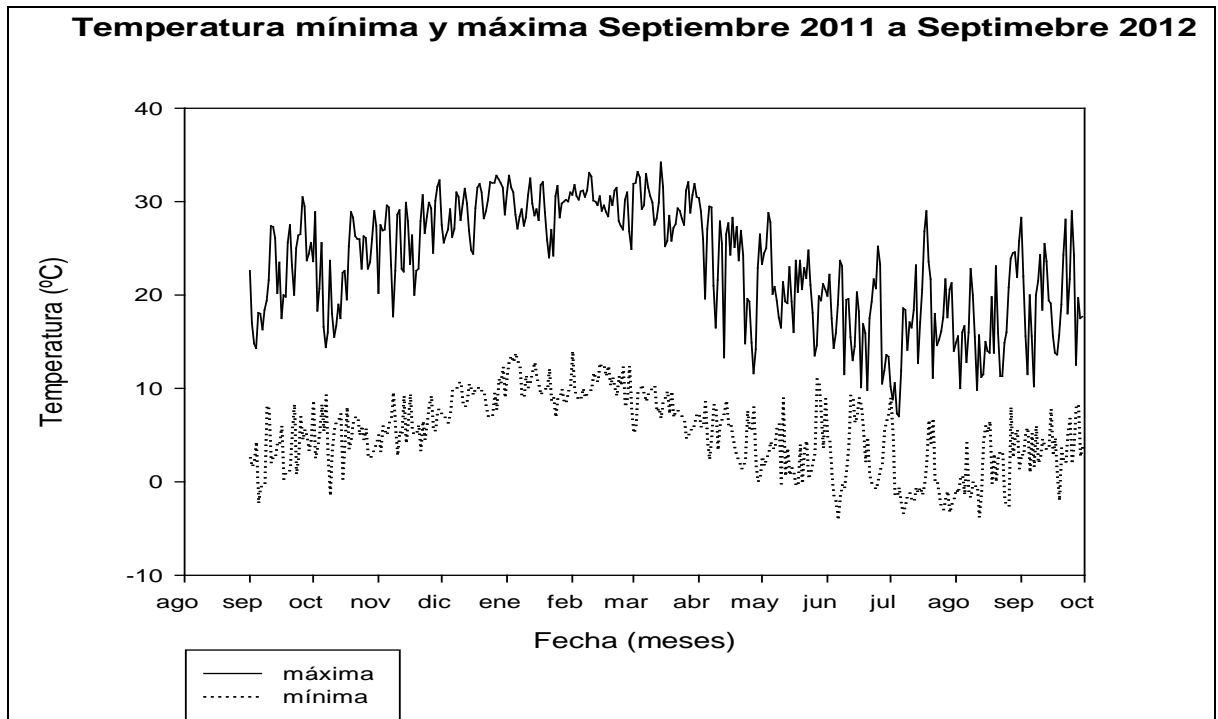
**Temperaturas máximas y mínimas registradas en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012**

Figura 15. Temperaturas atmosféricas registradas durante el período de septiembre 2011 a septiembre 2012, en la localidad de Pirque.



## APÉNDICE II

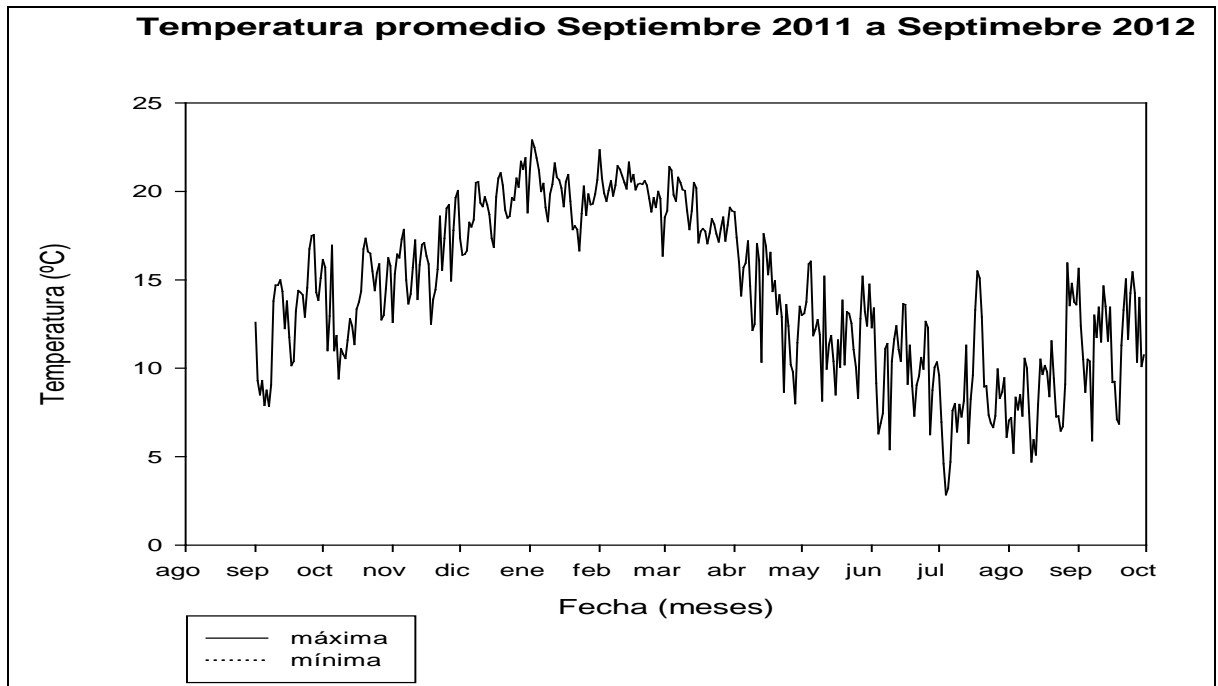
**Temperatura promedio registrada en el lugar del ensayo durante la temporada  
Septiembre 2011 y Septiembre 2012**

Figura 16. Temperatura promedio atmosférica registrada durante el período septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque

## APÉNDICE III

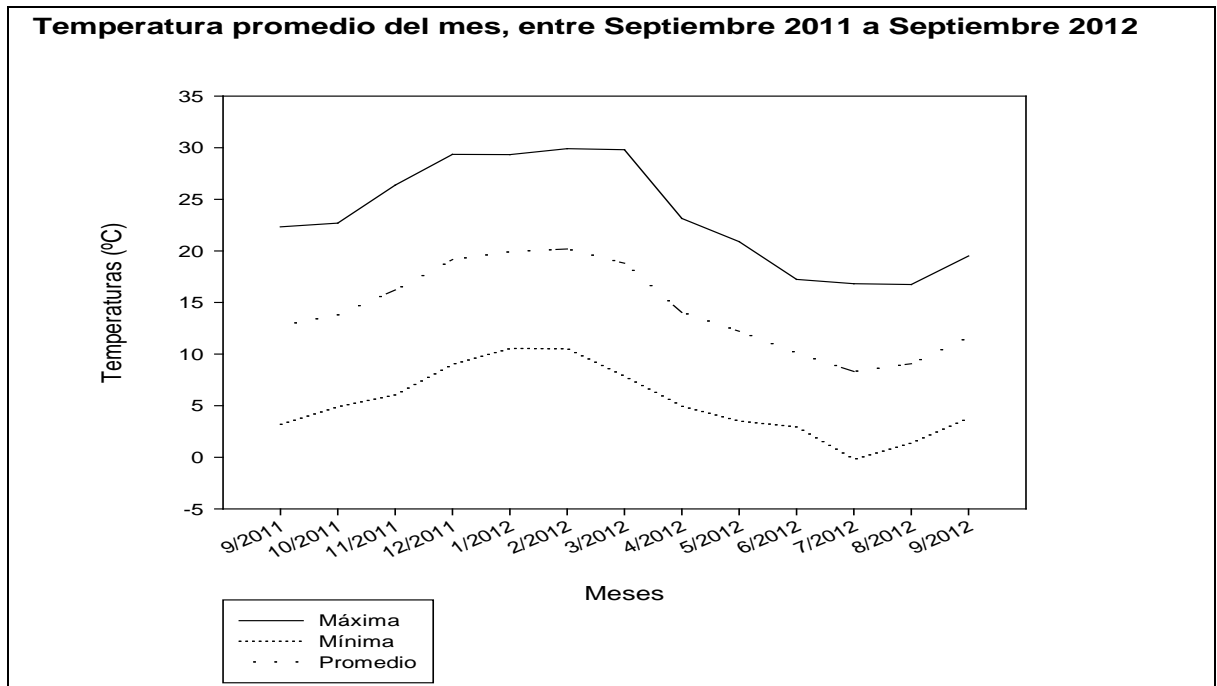
**Temperatura promedio, máxima y mínima en el lugar del ensayo en la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012**

Figura 17. Temperatura promedio atmosférica por mes registrado en el período septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque.



## APÉNDICE IV

**Temperatura promedio del suelo registrada en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012**

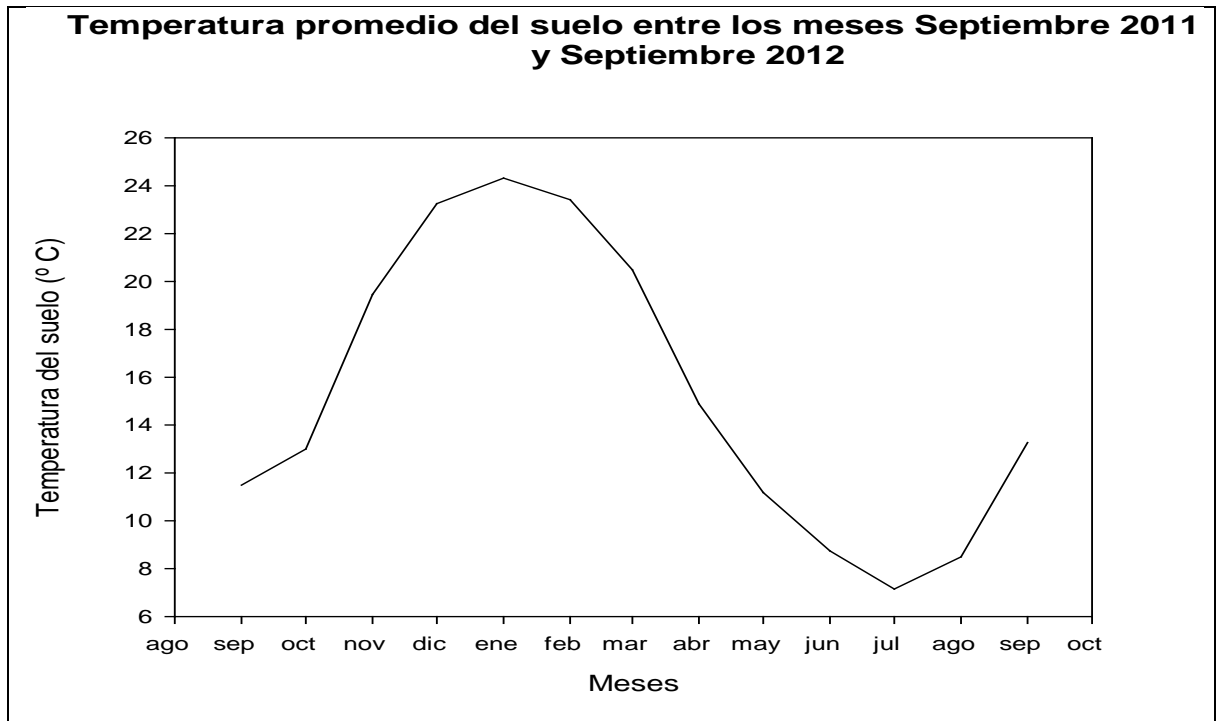


Figura 18. Temperatura promedio del suelo registrada durante el período septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque.

## APÉNDICE V

Curva representativa de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012

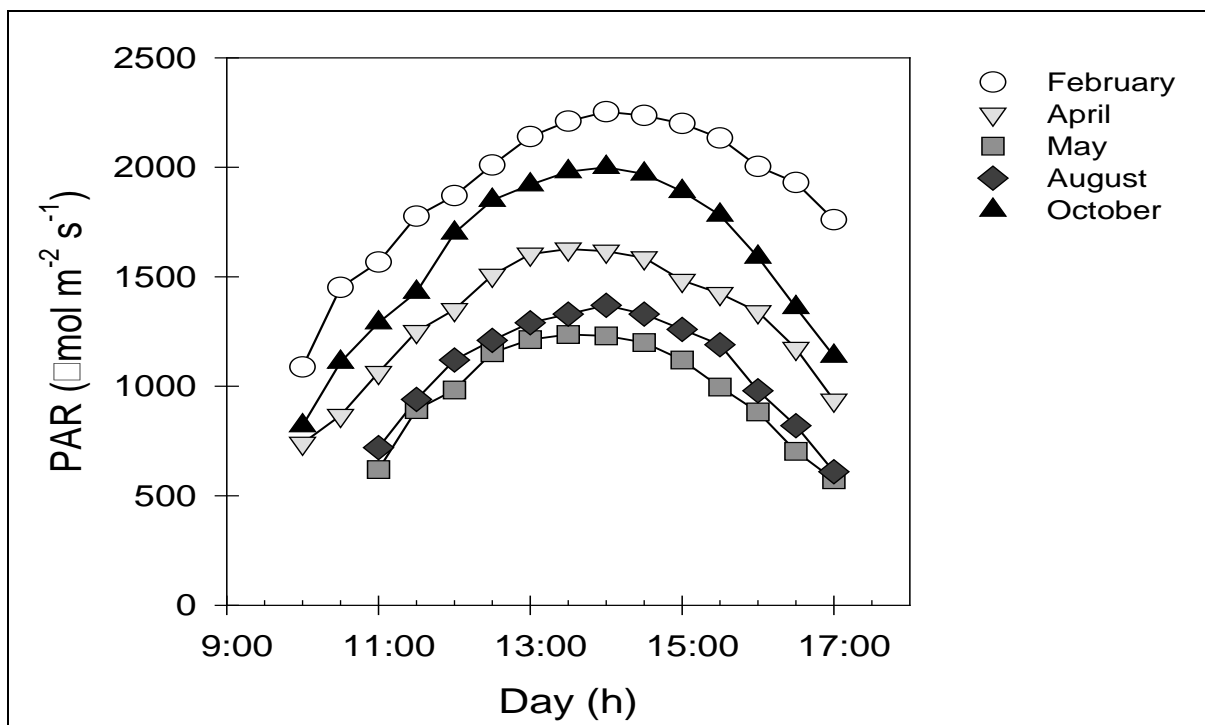


Figura 19. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) medidas durante distintos meses del año en la localidad de Pirque.

## APÉNDICE VI

### Promedio del carbono orgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011

Cuadro 2. Promedio carbono orgánico en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm.)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	t C.O.ha <sup>-1</sup>					
<b>Testigo</b>	0,892 ± 0,109	ab	0,728 ± 0,132	a	0,475 ± 0,169	b
<b>Bingo</b>	0,633 ± 0,156	b	0,739 ± 0,172	a	0,697 ± 0,261	ab
<b>Cindy lou</b>	0,685 ± 0,145	ab	0,683 ± 0,168	a	0,749 ± 0,161	ab
<b>Cochise</b>	0,993 ± 0,199	a	0,780 ± 0,105	a	0,909 ± 0,032	a
<b>Cortez</b>	0,823 ± 0,167	ab	0,711 ± 0,096	a	0,519 ± 0,204	b
<b>LSD</b>	0,331		0,268		0,276	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE VII

### Promedio del carbono orgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012

Cuadro 3. Promedio carbono orgánico en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm.)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	t C.O.ha <sup>-1</sup>					
<b>Testigo</b>	0,348 ± 0,289	c	0,306 ± 0,241	b	0,440 ± 0,038	a
<b>Bingo</b>	1,172 ± 0,018	a	0,811 ± 0,048	a	0,680 ± 0,213	a
<b>Cindy lou</b>	0,985 ± 0,069	ab	0,794 ± 0,084	a	0,526 ± 0,171	a
<b>Cochise</b>	0,787 ± 0,356	ab	0,633 ± 0,217	ab	0,601 ± 0,183	a
<b>Cortez</b>	0,736 ± 0,042	bc	0,763 ± 0,174	ab	0,717 ± 0,067	a
<b>LSD</b>	0,397		0,343		0,325	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE VIII

### Promedio de carbono orgánico total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012

Cuadro 4. Promedio carbono orgánico total en el suelo, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t C.O.T. ha <sup>-1</sup>	
<b>Testigo</b>	2,096 ± 0,232 a	0,949 ± 0,739 b
<b>Bingo</b>	2,613 ± 1,250 a	2,663 ± 0,262 a
<b>Cindy lou</b>	2,117 ± 0,135 a	2,305 ± 0,156 a
<b>Cochise</b>	2,683 ± 0,258 a	2,022 ± 0,749 a
<b>Cortez</b>	2,058 ± 0,066 a	2,217 ± 0,265 a
<b>LSD</b>	1,0455	1,0352

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE IX

### Promedio del carbono inorgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011

Cuadro 5. Promedio carbono inorgánico en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm.)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
	t C.I.ha <sup>-1</sup>		
<b>Testigo</b>	0,219 ± 0,032 a	0,195 ± 0,045 a	0,163 ± 0,033 b
<b>Bingo</b>	0,170 ± 0,112 a	0,204 ± 0,073 a	0,190 ± 0,082 ab
<b>Cindy lou</b>	0,211 ± 0,089 a	0,258 ± 0,131 a	0,209 ± 0,029 ab
<b>Cochise</b>	0,273 ± 0,069 a	0,267 ± 0,023 a	0,268 ± 0,045 a
<b>Cortez</b>	0,228 ± 0,035 a	0,228 ± 0,002 a	0,177 ± 0,087 ab
<b>LSD</b>	0,147	0,115	0,096

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE X

### Promedio del carbono inorgánico en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012

Cuadro 6. Promedio carbono inorgánico en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm.)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	t C.I.ha <sup>-1</sup>					
<b>Testigo</b>	0,154 ± 0,057	a	0,201 ± 0,094	a	0,298 ± 0,141	a
<b>Bingo</b>	0,220 ± 0,015	a	0,203 ± 0,049	a	0,196 ± 0,072	a
<b>Cindy lou</b>	0,253 ± 0,069	a	0,221 ± 0,062	a	0,173 ± 0,081	a
<b>Cochise</b>	0,177 ± 0,069	a	0,242 ± 0,106	a	0,217 ± 0,079	a
<b>Cortez</b>	0,217 ± 0,022	a	0,216 ± 0,019	a	0,156 ± 0,044	a
<b>LSD</b>	0,116		0,149		0,167	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE XI

### Promedio de carbono inorgánico total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012

Cuadro 7. Promedio carbono inorgánico total en el suelo, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada			
	Primavera 2011		Otoño 2012	
	t C.I.T. ha <sup>-1</sup>			
<b>Testigo</b>	0,578 ± 0,030	a	0,697 ± 0,198	a
<b>Bingo</b>	0,564 ± 0,224	a	0,619 ± 0,077	a
<b>Cindy lou</b>	0,678 ± 0,247	a	0,647 ± 0,198	a
<b>Cochise</b>	0,807 ± 0,083	a	0,636 ± 0,223	a
<b>Cortez</b>	0,634 ± 0,123	a	0,583 ± 0,044	a
<b>LSD</b>	0,253		0,159	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE XII

### Promedio del carbono total en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de septiembre 2011

Cuadro 8. Promedio carbono total en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm.)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	t C.I.ha <sup>-1</sup>					
<b>Testigo</b>	1,121 ± 0,120	a	0,956 ± 0,130	a	0,651 ± 0,234	b
<b>Bingo</b>	1,395 ± 0,969	a	0,935 ± 0,157	a	0,861 ± 0,291	ab
<b>Cindy lou</b>	1,204 ± 0,277	a	1,037 ± 0,225	a	1,118 ± 0,057	a
<b>Cochise</b>	0,854 ± 0,047	a	0,887 ± 0,187	a	0,938 ± 0,241	ab
<b>Cortez</b>	1,099 ± 0,158	a	0,977 ± 0,078	a	0,787 ± 0,241	ab
<b>LSD</b>	0,570		0,232		0,333	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE XIII

### Promedio del carbono total en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012

Cuadro 9. Promedio carbono total en las tres distintas profundidades del suelo, en la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm.)					
	0 a 10		10 a 20		20 a 30	
	t C.T.ha <sup>-1</sup>					
<b>Testigo</b>	0,564 ± 0,308	c	0,522 ± 0,247	b	0,450 ± 0,297	b
<b>Bingo</b>	1,370 ± 0,080	a	1,011 ± 0,047	a	0,977 ± 0,323	a
<b>Cindy lou</b>	1,039 ± 0,401	ab	0,854 ± 0,228	a	0,774 ± 0,152	ab
<b>Cochise</b>	1,205 ± 0,061	ab	0,997 ± 0,127	ab	0,722 ± 0,237	ab
<b>Cortez</b>	0,912 ± 0,029	bc	1,006 ± 0,210	a	0,935 ± 0,041	a
<b>LSD</b>	0,3899		0,3692		0,449	

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD

## APÉNDICE XIV

### Promedio de carbono total del suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012

Cuadro 10. Promedio carbono total en el suelo, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t C.T. ha <sup>-1</sup>	
<b>Testigo</b>	2,730 ± 0,343 a	1,537 ± 0,810 b
<b>Bingo</b>	3,192 ± 1,281 a	3,359 ± 0,244 a
<b>Cindy lou</b>	2,681 ± 0,380 a	2,924 ± 0,177 a
<b>Cochise</b>	3,361 ± 0,497 a	2,669 ± 0,781 a
<b>Cortez</b>	2,865 ± 0,130 a	2,853 ± 0,256 a
<b>LSD</b>	0,7223	1,0793

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE XV

### Promedio de carbono orgánico de la biomasa aérea entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012

Cuadro 11. Promedio carbono orgánico de la parte aérea (biomasa) de los distintos cultivares del género *Festuca*, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t C.O. ha <sup>-1</sup>	
<b>Bingo</b>	0,136 ± 0,022 b	0,239 ± 0,224 ab
<b>Cindy lou</b>	0,136 ± 0,051 b	0,533 ± 0,156 b
<b>Cochise</b>	0,109 ± 0,062 b	0,978 ± 0,515 a
<b>Cortez</b>	0,258 ± 0,020 a	0,697 ± 0,386 ab
<b>LSD</b>	0,0541	0,554

Letras distintas indican diferencias entre tratamientos bajo una comparación de Fisher LSD.

## APÉNDICE XVI

**Promedio de la actividad fotosintética, conductancia estomática y tasa de transpiración de los cultivares en estudio**

Cuadro 12. Promedio de la tasa fotosintética, conductancia estomática y tasa de transpiración en los distintos cultivares de las especies *Festuca arundinacea* y *Festuca rubra* spp. rubra, entre los meses de primavera 2011 y otoño 2012.

<b>Asimilación</b>										
<b>Cultivar</b>	Octubre 2011	Enero 2012	Febrero 2012	Mayo 2012	Junio 2012	Septiembre 2012				
$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$										
<b>Bingo</b>	13,53 ± 4,65 bc	22,80 ± 1,15 a	12,07 ± 1,21 b	12,90 ± 0,85 a	5,27 ± 0,50 c	11,47 ± 2,02 a				
<b>C. lou</b>	10,47 ± 2,60 c	3,07 ± 0,85 c	0 c	2,77 ± 0,31 b	8,73 ± 0,61 a	2,53 ± 0,47 b				
<b>Cochise</b>	17,60 ± 1,49 a	17,30 ± 1,14 b	16,53 ± 2,39 a	11,67 ± 0,89 a	5,80 ± 0,40 bc	10,83 ± 1,89 a				
<b>Cortez</b>	16,37 ± 2,24 ab	21 ± 2,02 a	14,97 ± 0,35 a	12,87 ± 1,33 a	6,23 ± 0,35 b	12,47 ± 2,84 a				
<b>P- value</b>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05				
<b>LSD</b>	3,76	3,08	2,41	1,98	0,87	4,03				
<b>Conductancia estomática</b>										
$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$										
<b>Bingo</b>	141,67 ± 87,21 a	150 ± 58,51 a	300,33 ± 111,8 a	366 ± 33,06 c	315 ± 48,14 a	496,67 ± 159,58 ab				
<b>C. lou</b>	146,67 ± 102,5 a	134,67 ± 21,22 a	0 b	189,33 ± 42,01 d	387,67 ± 24,83 a	261,33 ± 99,28 c				
<b>Cochise</b>	178 ± 43,72 a	111,67 ± 23,01 a	363,67 ± 62,93 a	482,67 ± 16,26 b	310 ± 32,60 a	426 ± 51,26 bc				
<b>Cortez</b>	226,67 ± 58,29 a	146 ± 8,54 a	359 ± 142,33 a	540,67 ± 16,07 a	309,67 ± 46,46 a	594,33 ± 36,06 a				
<b>P- value</b>	> 0,05	> 0,05	< 0,05	< 0,05	> 0,05	< 0,05				
<b>LSD</b>	160,21	64,88	203,63	54,64	88,99	216,22				

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ) o bajo una comparación de Fisher LSD. (Continúa)



Cuadro 12. Continuación.

Cultivar	Transpiración											
	Octubre 2011		Enero 2012		Febrero 2012		Mayo 2012		Junio 2012		Septiembre 2012	
	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$											
<b>Bingo</b>	6,29 ± 3,067	a	6,50 ± 2,274	a	14,46 ± 0,332	a	11,37 ± 1,29	a	7,98 ± 1,576	ab	9,61 ± 1,556	a
<b>C. lou</b>	6,60 ± 3,619	a	6,32 ± 1,247	ab	0	b	7,21 ± 1,41	b	9,73 ± 0,508	a	5,96 ± 2,015	b
<b>Cochise</b>	6,95 ± 1,489	a	3,81 ± 1,955	c	12,83 ± 1,371	a	11,79 ± 0,66	a	7,54 ± 0,480	b	8,77 ± 1,058	ab
<b>Cortez</b>	9,01 ± 1,287	a	5,08 ± 2,426	bc	13,16 ± 3,164	a	13,75 ± 1,08	a	7,73 ± 1,865	ab	10,47 ± 3,087	a
<b>P- value</b>	> 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05		> 0,05		> 0,05	
<b>LSD</b>	5,678		1,274		3,435		2,61		2,072		3,522	

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ) o bajo una comparación de Fisher LSD.