

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAJE DE CARBONO TOTAL Y
CARBONO ORGÁNICO EN TRES CULTIVARES DE BALLICA PERENNE
(*Lolium perenne* L.) Y SU RELACIÓN CON LA FOTOSÍNTESIS**

MARIANA ALEJANDRA ARANEDA CALDERÓN

SANTIAGO, CHILE

2016

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAJE DE CARBONO TOTAL Y
CARBONO ORGÁNICO EN TRES CULTIVARES DE BALICA PERENNE
(*Lolium perenne* L.) Y SU RELACIÓN CON LA FOTOSÍNTESIS**

**CARBON STORAGE AND ITS RELATION WITH PHOTOSYNTHESIS:
SEASONAL COMPARISON BETWEEN THREE PERENNIAL RYEGRASS
(*Lolium perenne* L.) CULTIVARS**

MARIANA ALEJANDRA ARANEDA CALDERÓN

SANTIAGO, CHILE

2016

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**COMPARACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAJE DE CARBONO TOTAL Y
CARBONO ORGÁNICO EN TRES CULTIVARES DE BALLICA PERENNE
(*Lolium perenne* L.) Y SU RELACIÓN CON LA FOTOSÍNTESIS**

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniera Agrónoma

MARIANA ALEJANDRA ARANEDA CALDERÓN

Profesor Guía	Calificaciones
Sr. Claudio Pastenes Villarreal Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,6
Profesores Evaluadores	
Sra. Paola Silva Candia Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc, Dra.	6,2
Sr. Erwin Aballay Espinoza Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	6,7
Colaborador	
Sra. Alejandra Acuña Estrella Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	

Santiago, Chile

2016

AGRADECIMIENTOS

La gratitud más profunda a mi familia, quienes me han acompañado incondicionalmente en este largo proceso. Gracias por los oportunos consejos y palabras de aliento, por la paciencia y por respetar mi necesidad de espacio y tiempo: Mamá, Papá y Martín, gracias por quererme tanto.

A mis queridos amigos: Carlitos, Marcelo, Samuel, Valentina, Luís y Braulio, quienes generosamente me ayudaron a construir este trabajo compartiendo su tiempo y conocimientos.

Al Laboratorio de Fisiología del Estrés Vegetal y a quienes lo conformaron durante mi paso por el, en especial a los profesores Claudio Pastenes y Alejandra Acuña.

Finalmente gracias a los amigos y amigas que encontré durante mi paso por la Universidad, a los profesores que me formaron y a aquellos que desinteresadamente aportaron en este trabajo, también a todo quien que sin querer pueda pasar por alto.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Hipótesis	5
Objetivo General	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Lugar de estudio.....	6
Material vegetal.....	6
Implementación y diseño de los tratamientos	7
Manejos agronómicos	7
Diseño experimental	8
Mediciones	8
Análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Carbono orgánico en el suelo.....	13
Carbono orgánico de la biomasa aérea	15
Carbono orgánico del sistema suelo-biomasa aérea.....	17
Carbono inorgánico del suelo	19
Carbono total en el suelo.....	21
Parámetros Fotosintéticos.....	23
Transpiración	23
Conductancia estomática	25
Fotosíntesis neta	27
Carbono orgánico almacenado y su relación con la fotosíntesis	30
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXO I.....	38
Ficha técnica especie <i>Lolium perenne</i> L. cv. Derby Xtreme	38
ANEXO II	39
Ficha técnica especie <i>Lolium perenne</i> L. cv. Nobility	39
ANEXO III.....	40
Ficha técnica especie <i>Lolium perenne</i> L. cv. Premier II.....	40
ANEXO IV	41
Informe de resultados de análisis de agua de laboratorio AGROLAB	41

ANEXO V	42
Informe de resultados análisis de suelo Laboratorio AGROLAB	42
Temperaturas máximas y mínimas registradas en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012	43
APÉNDICE II.....	44
Temperatura promedio registrada en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012.....	44
APÉNDICE III	45
Temperatura promedio, máxima y mínima en el lugar del ensayo en la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012.....	45
APÉNDICE IV	46
Temperatura promedio del suelo registrada en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012.....	46
APÉNDICE V	47
Curva representativa de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el lugar del ensayo entre las temporadas Septiembre 2011 y Septiembre 2012.....	47
APÉNDICE VI	48
Promedios de CO en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.	48
APÉNDICE VII.....	48
Promedios de CO en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.....	48
APÉNDICE VIII	49
Promedios de COS durante las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.....	49
APÉNDICE IX	49
Promedios de CO en la biomasa aérea de los tres cultivares de Lolium perenne L. durante las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012.	49
APÉNDICE X.....	50
Promedios de CO el perfil de suelo más la biomasa aérea de los tres cultivares de Lolium perenne L. durante las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012.	50
APÉNDICE XI	50
Promedios de CI en tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.	50
APÉNDICE XII.....	51

Promedios de CI en tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.....	51
APÉNDICE XIII	51
Promedios de CIS durante las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.	51
APÉNDICE XIV.....	52
Promedios de CT en las tres profundidades de suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.	52
APÉNDICE XV	52
Promedios de CT en las tres profundidades de suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.....	52
APÉNDICE XVI.....	53
Promedios de CT en suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.	53
APÉNDICE XVII.....	54
Promedios de la Transpiración de los tres cultivares en estudio.	54
APÉNDICE XVIII	55
Promedios de Conductancia Estomática de los tres cultivares en estudio.	55
APÉNDICE XIX.....	56
Promedios de Fotosíntesis Neta de los tres cultivares en estudio.....	56
APÉNDICE XX.....	57
Correlación entre las variables Fotosíntesis Neta (Pn), COS y CO parte aérea (COPa) respecto a los cultivares estudiados durante las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012.....	57

RESUMEN

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) pueden conducir a un aumento de la temperatura ambiental global e influir en el cambio climático, lo cual se ha convertido en un problema de discusión global. Los céspedes urbanos pueden mitigar estos efectos, ya que capturan el CO_2 mediante el almacenamiento de carbono en los sustratos y la vegetación. El objetivo del presente estudio fue comparar estacionalmente la habilidad de secuestro de carbono y los parámetros fotosintéticos de tres cultivares de ballica perenne (*Lolium perenne* L.): ‘Derby Xtreme’, ‘Nobility’ y ‘Premier II’ y un suelo desnudo en la zona central de Chile. Se realizaron dos muestreos de suelo de los tres cultivares a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–30 cm), en la primavera de 2011 y en el otoño de 2012. En cada uno se determinó el contenido de carbono orgánico (COS), carbono inorgánico (CIS) y carbono total del suelo (CT). Paralelamente, se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) de la biomasa aérea en dichos momentos de muestreo. Por otro lado, se midió la fotosíntesis neta, la tasa de transpiración y la conductancia estomática de cada cultivar en seis momentos entre ambas temporadas. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas en el almacenaje de COS y de CIS de los cultivares en ninguna sección del perfil en ambas temporadas. En cambio, se encontró que el contenido de carbono total del suelo (CT) fue significativamente mayor en los tres cultivares en comparación al suelo desnudo, en la sección 10–20 cm durante la temporada de otoño. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de CO de la biomasa aérea entre los diferentes cultivares. Sin embargo, la suma de almacenaje de CO de todo el sistema (suelo y biomasa aérea) fue mayor para el cv. ‘Nobility’ y de ‘Premier II’, en el otoño de 2012. En cuanto a los parámetros fotosintéticos, se determinó que el cultivar ‘Premier II’ mostró medias significativas para valores de transpiración, conductancia estomática y fotosíntesis neta durante las mediciones realizadas en los meses de Febrero, Mayo y Junio. ‘Derby Xtreme’ evidenció diferencias de promedios en los parámetros de conductancia estomática y fotosíntesis neta durante el mes de Mayo. ‘Nobility’ sólo logra medias significativas durante el mes de febrero. Con respecto a la relación entre C almacenado y la fotosíntesis, no se encontró correlación entre el almacenaje de COS y tampoco en el CO parte aérea con la fotosíntesis neta para ninguno de los tres cultivares en estudio.

Palabras clave: Césped, CO_2 , secuestro de carbono, suelo.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) emissions can lead to an increase in global temperature and influence the climate change which has become a global discussion issue. Urban lawns can mitigate these effects, because they capture carbon dioxide by storing carbon in soil and vegetation. The aim of this study was to seasonally compare the carbon sequestration ability and photosynthetic parameters of three cultivars of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): 'Derby Xtreme', 'Nobility' and 'Premier II' and bare soil in central Chile. Two soil sampling of the three cultivars and bare soil at three depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm) were performed in spring 2011 and autumn 2012. In each plot, soil organic carbon (SOC), soil inorganic carbon (SIC) and total soil carbon (TC) content were determined. In parallel, the organic carbon content (OC) of the aerial biomass in these times of sampling was determined. Furthermore, net photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance of each cultivar were measured six times between the two seasons. The results indicate no significant differences in cultivars SOC and SIC storage in any section of the soil profile in both seasons. Instead, it was found that the total carbon content of the soil (TC) was significantly higher in the three cultivars compared to bare soil, section 10-20 cm during the autumn season. No significant differences in the OC content of the biomass between different cultivars were found. However, the OC storage amount of the entire system (soil and biomass) was higher for cv. 'Nobility' and 'Premier II', in the autumn of 2012. As for the photosynthetic parameters was determined that during the month of May, the cultivar 'Premier II' showed the highest average. As for the photosynthetic parameters was determined that during the months of February, May and June the cultivar 'Premier II' showed differences for transpiration, stomatal conductance and net photosynthesis. 'Derby Xtreme' evidenced differences in parameters as stomatal conductance and net photosynthesis during May. 'Nobility' by itself, just reach significant means during the month of February. Regarding the relationship between C storage and photosynthesis, no correlation was found between de SOC storage nor OC in the aerial part with net photosynthesis for any of the three cultivars under study.

Key words: Turfgrass, CO₂, carbon sequestration, soil.

INTRODUCCIÓN

Los céspedes han sido utilizados por el hombre para mejorar su medio ambiente por más de diez siglos. Los beneficios medioambientales de los céspedes y su capacidad de mejorar la calidad de vida han sido documentados a través de la investigación cuantitativa (Beard et al., 1994). Los céspedes cubren mayor superficie urbana que los árboles y contribuyen al secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y a la absorción de agentes contaminantes provenientes de vehículos, tales como óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, y evitan la dispersión de material particulado (Watschke, 1990). Asimismo, las superficies de céspedes son capaces de: i) modificar la temperatura: la temperatura sobre una superficies de céspedes en un soleado día de verano puede ser de 10 a 14 °C menos que sobre concreto o asfalto; ii) atenuar el ruido: los céspedes de laderas adenañas a autopistas reducen el ruido de 8 a 10 decibeles por efecto de la absorción, desviación, reflexión o refracción del sonido; iii) disminuir incidencia de alergias: el césped reduce el polvo y polen de plantas que pueden causar serias consecuencias de salud; iv) reducir encandilamiento por la luz reflejada; v) reducir la escorrentía en zonas urbanas y suburbanas, ayudando a reducir las inundaciones, vi) retardar el fuego: una zona de amortiguamiento de césped alrededor de estructuras ayuda a retardar la propagación de incendios; y, finalmente vii) mejorar el suelo y fijar el CO_2 atmosférico, contribuyendo al secuestro de carbono (Beard et al., 1994).

Según datos de la Naciones Unidas (2014), actualmente el 89% del total de la población de Chile es urbana y se espera que este porcentaje aumente al 93% para el año 2050. En este contexto, los céspedes al mismo tiempo de mejorar el espacio público juegan un rol medioambiental importante en las zonas urbanas densamente pobladas como Santiago de Chile.

Según Cifuentes et al. (2000), la actividad humana es responsable de la creciente concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI), como el CO_2 . En este sentido, el CO_2 capturado por los céspedes mediante el proceso de fotosíntesis es almacenado en el suelo, como carbono orgánico e inorgánico, y la suma corresponde al total del carbono presente en este sistema (Nelson y Sommers, 1996). El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, ya que su asociación a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico (Martínez et al., 2008). Además, mejora las propiedades físicas, la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo.

El COS es un componente importante del ciclo global del carbono, ocupando un 69,8 % del carbono orgánico (CO) de la biósfera y su reservorio depende del uso y manejo del suelo (Martínez et al., 2008).

El carbono es el principal elemento presente en la materia orgánica de los suelos, comprendiendo entre el 48 y el 58% del peso total de éste (Nelson y Sommers, 1996). En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo es el balance entre la incorporación al suelo del material fresco y la salida de CO_2 a la atmósfera, o bien por procesos de erosión y lixiviación (Martínez et al., 2008). Por muchos años el factor de Van Bemmelen,

equivalente a 1,724 se utilizó basándose en la suposición de que la materia orgánica contiene un 58% de CO (Nelson y Sommers, 1996; Martínez et al., 2008), sin embargo en la actualidad, se conoce que la proporción de COS varía y que es más apropiado determinarlo según el suelo específico en lugar de convertir el contenido de materia orgánica mediante el uso de un factor de corrección aproximado (Nelson y Sommers, 1996).

Según Townsend-Small y Czimczik (2010), las praderas sin intervención pueden secuestrar cantidades significativas de COS a largo plazo, mientras que la tasa de secuestro de CO₂ en céspedes ornamentales promediaría 0,14 kg C m⁻² año⁻¹, concentrándose en los primeros veinte centímetros de suelo aproximadamente 1,2 kg C m⁻². Los autores concluyen que la capacidad de secuestro de carbono en céspedes depende de los manejos recibidos por el mismo y el tiempo que transcurre desde su establecimiento. De forma similar Gutleben et al. (2010), documenta que el uso y manejo del césped en ciudades no necesariamente mitigaría las emisiones de CO₂, debido a que por ejemplo, los céspedes de alta mantención como canchas de golf tienen una alta huella de carbono promediando 11.299,3 kg equivalentes de CO₂ ha⁻¹ año⁻¹. Distinto ocurriría en céspedes de baja mantención, los cuales podrían emitir aproximadamente 1.024,7 kg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹. Por otra parte, Quian y Follet (2002), encontraron que la tasa total de COS está en un rango de 0,9 a 1,0 t C ha⁻¹ año⁻¹ alcanzando un máximo entre los treinta y cincuenta años desde que se establecen los céspedes.

Adicionalmente, Zan et al. (2001) describen cómo los cultivos de gramíneas perennes pueden tener el potencial de incrementar sustancialmente los niveles de carbono en el suelo en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Actualmente, existen numerosas investigaciones relacionadas a la captura de carbono en suelos de uso agrícola, sin embargo los estudios respecto a la valorización del potencial de secuestro de carbono en sistemas de céspedes de corta data son limitados, siendo común el uso de datos referenciales que son aplicados a modelos que simulan una progresión en el tiempo (Quian et al., 2010).

La especie *Lolium perenne* L. posee metabolismo C₃ Schnyder (2005) y es comúnmente utilizada como césped en superficies deportivas. Según Christians (2004), esta especie de la familia Poaceae, es de temporadas frías y se puede comportar como anual, perenne de corta vida o perenne dependiendo de las condiciones ambientales. En climas templados se usa como césped de cubierta permanente y en climas subtropicales para sobre siembra de otoño-invierno en especies de temporadas cálidas. *L. perenne* es intolerante a condiciones extremas como frío, calor, sombra y sequías. Aunque se adapta a un amplio rango de condiciones de suelo, crece mejor en suelos neutros ligeramente ácidos, con fertilidad media a alta. Es usado como pasto colonizador dado que germina más rápidamente que otros céspedes, lo que genera un efecto cosmético inmediato de cubrimiento y verdor. Además es una especie preferida para realizar patrones de corte en canchas profesionales de fútbol dado que el envés de su lámina posee un atractivo brillo. A menudo *L. perenne* L. es usado como sobresiembra en praderas de *Poa pratensis* L. dado el beneficio mutuo entre

ambas especies las que conjugan cobertura y verdor durante la temporada de juego en superficies de alto tráfico como campos deportivos.

L. perenne posee una nervadura principal en su lámina y es brillante en el envés. La lígula es de largo medio y posee aurículas cortas. Su mayor ventaja es la rápida germinación (5-7 días) y el vigor de sus plántulas. Esto permite un establecimiento más rápido que otros céspedes de temporada fría. Algunos cultivares de *L. perenne* establecen relaciones simbióticas con hongos endófitos del género *Acremonium* (Christians, 2004), las que pueden contribuir al incremento de carbono orgánico en la zona radical.

La importancia de cuantificar el secuestro de carbono en este tipo de cubierta vegetal, bajo las condiciones climáticas y geográficas de la zona central de Chile, radica en que se generarán datos que no están disponibles en la actualidad. De esta manera, se podrá contribuir a cuantificar la captura de carbono ($t\ ha^{-1}$) agregando valor a superficies de céspedes deportivas y urbanas, contribuyendo así a mitigar la contaminación generada por las ciudades.

Hipótesis

Existen diferencias en el almacenaje de carbono estacional en el suelo y en la parte aérea entre distintos cultivares de ballica perenne (*Lolium perenne* L.), lo que estaría relacionado con el comportamiento fotosintético de los cultivares en estudio.

Objetivo General

Evaluar estacionalmente el almacenaje de carbono total y orgánico para tres cultivares de ballica perenne, así como su actividad fotosintética, para determinar posibles relaciones entre ambas variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El ensayo se efectuó durante los años 2011 y 2012, en la estación experimental de la Pontificia Universidad Católica de Chile, calle El Principal (33° 40' latitud Sur, 70° 36' longitud Oeste, 654 msnm), ubicada en la comuna de Pirque, provincia Cordillera, Región Metropolitana. Esta zona posee 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 (Santibáñez y Uribe, 1990).

La serie de suelo presente en el lugar de ensayo es Estero Seco, miembro de la familia franca gruesa, mixta, térmica de los Ultic Haploxeroll (Mollisol), de origen aluvial, profundos, en posición de terrazas planas, con o sin microrelieve, derivados de sedimentos mezclados con una porción notoria de vidrio volcánico muy fino en todo el perfil, con una clase textural superficial franca y color pardo oscuro en matiz 10 YR; de textura superficial fina y color pardo oscuro en el matiz 7.5 YR en profundidad; substrato de arena gruesa, suelo con permeabilidad moderada y bien drenados (CIREN, 1996).

Según un análisis de suelo y agua realizado por AGROLAB en marzo de 2010 (Anexos IV y V), el suelo posee un pH alcalino (8,0), con una conductividad eléctrica de 2,3 dS m⁻¹ (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⁻¹, respectivamente. La textura del suelo es de un 33% arena, 41% limo y 26% arcilla. El agua de riego proviene de pozo, y presentó un pH de 7,39 y una conductividad eléctrica de 1,4 dS m⁻¹.

Las evaluaciones de contenido de carbono orgánico y carbono inorgánico se realizaron en el Laboratorio de Fisiología del Estrés Vegetal, del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en avenida Santa Rosa N° 11315, comuna de La Pintana, Región Metropolitana, Chile.

Material vegetal

Se utilizaron tres cultivares de ballica perenne (*Lolium perenne* L.): 'Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II', los cuales son propiedad de DLF International Seeds y comercializados en Chile por la empresa Anasac Ambiental.

El cultivar 'Derby Xtreme' es ornamental de color verde oscuro, hoja de textura fina y excelente densidad otoñal. Presenta resistencia al desgaste, siendo una buena alternativa para campos deportivos y otras áreas de alto tráfico. Por otro lado, ha demostrado alta resistencia a roya (*Puccinia* sp.), tizón foliar (*Pyricularia grisea*) y parche café (*Rhizoctonia solani*). Puede ser usado también como mezcla de sobre siembra invernal en

“greens”, “tees” y “fairways”, donde son requeridas sus cualidades de rápida transición debido a su alta velocidad de establecimiento. (Anexo I, Figura 12).

‘Nobility’ se caracteriza por su resistencia a enfermedades y hábito de crecimiento lento, en áreas donde se requiere un césped de calidad y de textura fina, como por ejemplo en “tees” y “fairways” de golf. Excelente para campos atléticos y campos de golf. Posee un atractivo color verde oscuro, textura muy fina y lámina angosta. La retención de color en invierno es excelente durante el período de heladas. Posee excelente respuesta al corte debido a la suavidad del tejido foliar. Muestra buena resistencia al daño por marchitez y posee excelente recuperación a sequías. (Anexo II, Figura 13).

‘Premier II’ es un césped versátil de excelente color verde oscuro, de rápido verdor primaveral y lámina muy fina. Forma un césped muy denso y muestra gran adaptabilidad a una amplia gama de condiciones del suelo. Muy bien calificado en cuanto a calidad del césped, resistencia a enfermedades, densidad, color y calidad al corte bajo. (Anexo III, Figura 14).

Implementación y diseño de los tratamientos

Los cultivares fueron sembrados el día 7 de abril de 2010 utilizando la dosis común para esta especie en Chile, la cual es de 500 kg ha^{-1} . Las parcelas presentaban un sistema de riego en aspersión, el cual condicionó el diseño experimental del ensayo.

Manejos agronómicos

En el sitio del ensayo, previamente existió un cultivo de alfalfa sembrada en el año 2008 y fertilizada al establecimiento con superfosfato triple en una dosis de 150 kg ha^{-1} , muriato de potasio a una dosis de 150 kg ha^{-1} y una enmienda de fertiyeso a 200 kg ha^{-1} . Posteriormente, no se realizó una fertilización de mantención al cultivo.

El cultivo anterior fue erradicado con herbicida 2,4-D ($0,375 \text{ L ha}^{-1}$) y glifosato (6 L ha^{-1}) aplicados conjuntamente con un surfactante ($0,2 \text{ L}$ de Silwet[®] 408 en 1 L de solución) el 9 de marzo de 2010. Al no lograrse un control total, el día 19 de marzo de 2010 se repitió la aplicación de los herbicidas 2,4D ($0,7 \text{ L ha}^{-1}$) y glifosato (6 L ha^{-1}) más el surfactante ($0,25 \text{ L}$ de Citroliv en 1 L de solución).

El testigo se mantuvo limpio gracias a la aplicación mensual del herbicida preemergente pendimethalin a una dosis de 2 L ha^{-1} y en el caso que la aparición de malezas fuera masiva se aplicó glifosato. La mantención de cada parcela simuló manejos hechos en una superficie de césped urbano: se cortó a una altura de 3 cm , se regó para evitar marchitez, se controlaron malezas y se realizaron verticortes y aireación según el requerimiento de la parcela.

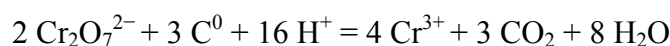
Diseño experimental

Se estableció un diseño en bloque completamente aleatorizado (DBCA) con cuatro tratamientos correspondientes a los tres cultivares de ballica perenne, más un suelo sin cubierta vegetal, correspondiente al testigo. Cada tratamiento posee tres bloques, siendo el riego por aspersión el factor de bloqueo. Cada bloque, se evaluó a tres profundidades del perfil de suelo: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. Cada unidad experimental (parcela) correspondió a una superficie de 2,4 m de largo y 0,9 m de ancho.

Mediciones

Carbono orgánico (CO) en suelo y planta

Para calcular el contenido de carbono orgánico del suelo y planta, se utilizó el procedimiento de Mebius modificado, descrito por Nelson y Sommers (1996), basado en el principio de que la materia orgánica puede ser oxidada al tratarse con una mezcla caliente de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido clorhídrico (H_2SO_4) según la siguiente ecuación:



Luego de la reacción, el exceso de dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) fue tratado con sulfato ferroso de amonio hexahidratado o sal de Mohr ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$). Es aquí donde el $Cr_2O_7^{2-}$ no reducido durante la reacción con el suelo o con la parte aérea, resulta equivalente al contenido de CO presente en la muestra (Nelson y Sommers, 1996).

Se pesó 1 g de suelo o 0,01 g de césped en una balanza semi-micro analítica (DENVER PI-214), y se agregó dentro de un balón de vidrio, adicionándose una solución de 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ más 15 mL de H_2SO_4 . Se consideró un balón testigo, con las mismas soluciones pero sin suelo. Ambas muestras se dispusieron en mantos de calor a su máxima capacidad, conectados a un sistema de tubos de enfriamiento y se contaron 30 minutos desde que la primera muestra alcanzara los 150 °C. Paralelamente, dentro de dos matraces Erlenmeyer se agregaron las mismas cantidades de las soluciones nombradas sin la aplicación de calor. Transcurridos los 30 minutos el sistema fue apagado y dejado enfriar por 15 minutos agregando a cada muestra (calentadas y testigos) 35 mL de agua destilada y 300 mL de solución indicadora ($C_{13}H_{11}NO_2$). Finalmente el contenido de cada balón y matraces se titularon utilizando un titulador electrónico TitroLine[®] easy, con una solución de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ disuelto en H_2SO_4 concentrado y agua destilada hasta que ocurriese un viraje de color marrón a verde esmeralda.

Para el cálculo del % CO, necesario para obtener valores de C en $t\ ha^{-1}$, se siguió paso a paso la metodología descrita por Nelson y Sommers (1996), en donde en primera instancia se requiere conocer (A) valor de corrección de la titulación a partir del gasto de

$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (mL) al titular los contenidos de los balones hervidos con y sin suelo y matraces no hervidos sin suelo, dónde BB (*boiled blank*): balón hervido y sin suelo, UB (*unboiled blank*): matrás no hervido y sin suelo, *sample*: balón hervido con suelo.

$$A = (\text{mL}_{\text{BB}} - \text{mL}_{\text{sample}}) * \left[\frac{\text{mL}_{\text{UB}} - \text{mL}_{\text{BB}}}{\text{mL}_{\text{UB}}} \right] + (\text{mL}_{\text{BB}} - \text{mL}_{\text{sample}})$$

Posteriormente fue necesario calcular el valor de Normalidad del $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para incluirlo al cálculo del % CO, donde se utilizó el promedio del contenido de las soluciones de los dos matraces no hervidos y sin suelo:

$$N \text{ de } \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \frac{0,5 * 10}{\text{Prom}_{\text{UB}}}$$

Finalmente el % CO fue calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{CO} = \frac{A * [N \text{ de } \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] * 0,03 * 100}{\text{suelo seco (g)}}$$

Suelo

Para adquirir la muestra de suelo, se utilizaron cilindros de policloruro de vinilo (PVC) de 50 cm de largo y 40 mm de diámetro; estos se insertaron en el suelo tomándose muestras de tres profundidades distintas: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. Se pesó su materia fresca en terreno a través de una balanza electrónica y posteriormente se seccionó el tubo en las tres dimensiones correspondientes a las tres profundidades anteriormente mencionadas, con la ayuda de una sierra metálica. Las muestras se transportaron en bolsas plásticas herméticas almacenándose a -20°C para luego ser sometidas a secado por una estufa a 70°C hasta llegar a peso constante. Posteriormente se molieron las muestras de las tres profundidades usando un molino eléctrico en laboratorio; luego de la molienda cada muestra pasó a través de un tamiz metálico de 2 mm y se extrajo 1 g para la determinación de carbono orgánico mediante la metodología ya descrita.

La densidad aparente (ρ_b) de cada unidad experimental y profundidad del suelo, se calculó usando el método del cilindro (López-Bellido, 2010). Con este valor, 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):

$$t \text{ C ha}^{-1} = \frac{[\% \text{CO} * \rho_b \text{ (t m}^{-3}\text{)} * \text{Profundidad de suelo (m)} * 104 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}]}{100}$$

El muestreo de suelo se realizó en dos temporadas: primavera de 2011 y otoño de 2012.

Planta

Se tomaron muestras de la parte aérea de los tres cultivares de *L. perenne*, con un corte de 3 cm desde la base del césped. Estas fueron transportadas al laboratorio dentro de sobres de papel al interior de una nevera con unidades refrigerantes para conservar su contenido de agua y posteriormente medir su materia fresca.

Las partes aéreas se obtuvieron del terreno muestreando con la ayuda de un cuadrado de PVC de área 0,0324 m², cortados con tijeras convencionales. Posteriormente, se secaron en una estufa a 70 °C hasta llegar a peso constante y se midió el peso de la materia seca. Luego, se trituró la materia seca a través de un molino eléctrico (Moulinex®) para luego ser tamizado con un tamiz metálico de 2 mm y se pesó 0,01 g de materia seca para ser digerida con la misma metodología descrita para las muestras de suelo. Los valores de carbono orgánico fueron expresados en t CO ha⁻¹.

Carbono inorgánico en suelo (CIS)

Adicionalmente, sólo para las muestras de suelo, se midió el contenido de carbono inorgánico por medio de la metodología descrita por Bundy y Bremner (1972). Para esta metodología se acondicionó una cámara hermética compuesta por un frasco de vidrio el cual fue sellado por un tapón de goma por el cual se introdujo un capilar de vidrio en el cual se insertó una aguja de acero inoxidable de 10 cm sujeta a su vez por un tapón de menor tamaño.

Se pesó un gramo de suelo y se introdujo dentro de la cámara de vidrio, a la cual también se le agregó junto al suelo 10 µL de N-octanyl con el fin de adsorber impurezas orgánicas que pudieran distorsionar la medición. Antes de ser tapado se ató al capilar un vaso precipitado de 10 mL con 5 mL de KOH 2 M con la ayuda de un elástico. La cámara fue completamente cerrada y a través de la aguja se extrajo 50 mL de aire con la ayuda de una jeringa de vidrio, sin dejar entrar aire. Luego, se inyectó con una jeringa quirúrgica 20 mL de HCl 2 M, sellando con parafilm la aguja y agitando levemente. Al transcurrir de 16 a 24 horas de digestión (mínimo 12 horas, máximo 48 horas), la cámara fue destapada y los 5 mL de KOH del vaso precipitado vertidos en un frasco precipitado de 100 mL junto con 45 mL de agua destilada para completar 50 mL de solución. Se agregó a esta solución 300 µL de fenoftaleína y se agitó con un agitador magnético Thermoline® Nuova™. Paralelamente se tituló con una solución de HCl 1 M, hasta lograr un viraje de color rosa intenso a rosa pálido. Luego se agregó una solución de HCl 0,1 M hasta lograr un viraje de color rosa pálido a transparente. Posteriormente, se agregaron 800 µL de verde de bromocresol, alcanzando un color azul brillante. Sin dejar de agitar, se tituló con solución de HCl 0,1 M hasta virar a un color amarillo brillante. Los cálculos que llevan a la determinación del contenido de CI en la muestra de suelo propuesta por los mismos autores son:

$$CI \text{ (mg)} = (S - C) * 1,2$$

Dónde S: ml de solución 0,1 M de HCl requeridos para llegar desde el punto final de fenoftaleína al punto final de verde de bromocresol, C: ml de solución 0,1 M de HCl requeridos para la titulación descrita anteriormente pero con una muestra sin suelo.

La toma de muestras se realizó de igual forma que la metodología de CO y fue realizada en las mismas dos temporadas.

Carbono total en suelo (CT)

Consiste en la suma de CO + CI obtenidos a través de la metodología descrita previamente, en $t\ ha^{-1}$. De este modo, se obtuvo una estimación del carbono total del suelo con y sin cubierta vegetal.

Fotosíntesis

Con la finalidad de asociar la capacidad de secuestro de carbono de los tres cultivos en estudio con su comportamiento fotosintético estacional, se midió la tasa fotosintética, la transpiración y la conductancia estomática. Para esto se utilizó un analizador de gases infrarrojo portátil (IRGA- PPSystems®, CIRAS-2), al cual se le modificó el área de intercambio gaseoso, confeccionando para ello una superficie acrílica con un orificio redondo de 0,5 mm donde se ubicó la lámina foliar de césped.

Adicionalmente se midió la radiación fotosintéticamente activa (*PAR*) con un foto radiómetro Delta® Ohm, HD 9021 cada vez que se realizaron las mediciones.

Las mediciones se realizaron en 12 fechas distintas durante enero de 2011 y septiembre de 2012, durante días soleados, sin la presencia de nubosidad que pudiese alterar las mediciones.

Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante análisis de varianza aplicando la prueba de comparación múltiple LSD de Fisher ($p \leq 0,05$), utilizando el software estadístico InfoStat.

Los factores analizados fueron:

- 1) Temporada: existencia de diferencias estacionales en secuestro de CO₂.
- 2) Cultivar: se analizó la respuesta de almacenaje de carbono en las cuatro coberturas presentes.
- 3) CO, CI y CT (CO + CI) existentes a distintas profundidades de suelo.

Las variables respuesta medidas fueron el contenido de CO, CI y CT del suelo y CO de la biomasa aérea y los parámetros fotosintéticos de los tres cultivares (transpiración, conductancia estomática y fotosíntesis neta).

Además, con el fin de encontrar una vinculación entre la tasa fotosintética y el almacenaje de carbono, se realizó un análisis multivariado de componentes principales entre COS y CO de la parte aérea del periodo comprendido entre la primavera 2011 y otoño 2012 y la fotosíntesis neta de los tres cultivares en estudio. Posteriormente a partir de este mismo análisis, las variables COS, CO parte aérea y fotosíntesis neta fueron correlacionadas unas con otras, utilizando el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono orgánico en el suelo

Los valores de almacenaje de CO, medidos estacionalmente en cada sección de perfil de suelo y calculados en unidades de $t\ CO\ ha^{-1}$, se presentan en la Figura 1. En el almacenaje de CO no hubo diferencias significativas entre los tres cultivares estudiados ($\alpha \geq 0,05$) ni en el suelo desnudo para cada una de las tres secciones de profundidad de suelo analizadas, durante la temporada de primavera 2011 y otoño 2012.

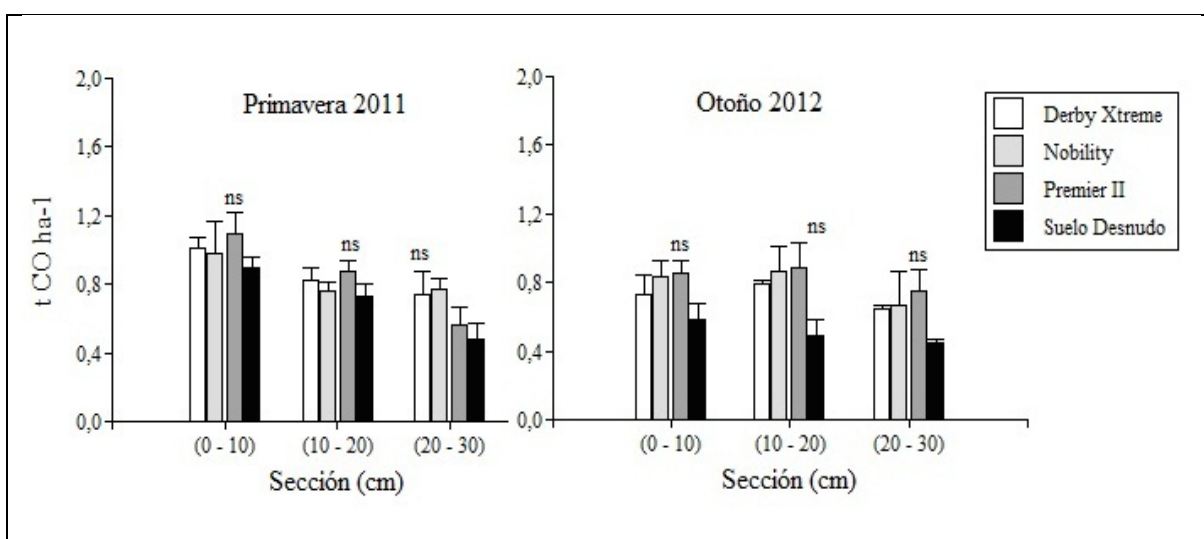


Figura 1. Medias de CO ($t\ CO\ ha^{-1}$) almacenado en tres secciones de profundidad de suelo distintas, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Medias unidas por una letra común no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican Error Estándar (EE).

En cuanto al CO del perfil del suelo, contabilizando el contenido entre los 0-30 cm de profundidad, tampoco se observaron diferencias significativas entre los cultivares, así como tampoco entre estos y el suelo desnudo ($p \geq 0,05$) (Figura 2).

Los valores de CO medidos estacionalmente en el suelo bajo los tres cultivares de *L. perenne* y suelo desnudo mostraron valores que fluctuaron entre 2,0 a 2,6 $t\ C\ ha^{-1}$ durante la primavera y 0,9 a 2,4 $t\ C\ ha^{-1}$ en el otoño, promediando anualmente entre 3,0 a 4,9 $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ (Apéndice VIII, Cuadro 3).

El secuestro de carbono es el proceso de remoción de CO₂ de la atmósfera y su posterior almacenaje variará dependiendo de la edad del depósito. Si bien los procesos de captura de C se regulan en última instancia a nivel molecular, las prácticas de manejo, el clima y la concentración de CO₂ en la atmósfera pueden afectar en gran medida la forma en que los ecosistemas terrestres secuestran C (Jones y Donnelly, 2004). Además, se ha descrito que el uso de suelo es un importante factor que determina el contenido de COS, mientras que la influencia de otras variables como el tipo de residuo, estructura, textura y mineralogía del suelo son variables de menor importancia (Hontoria et al., 2004). Estos autores también reconocen que la mínima labranza, el uso de cubiertas sobre el terreno, el control de la erosión y la fertilización son prácticas que aumentan el contenido de carbono en el suelo.

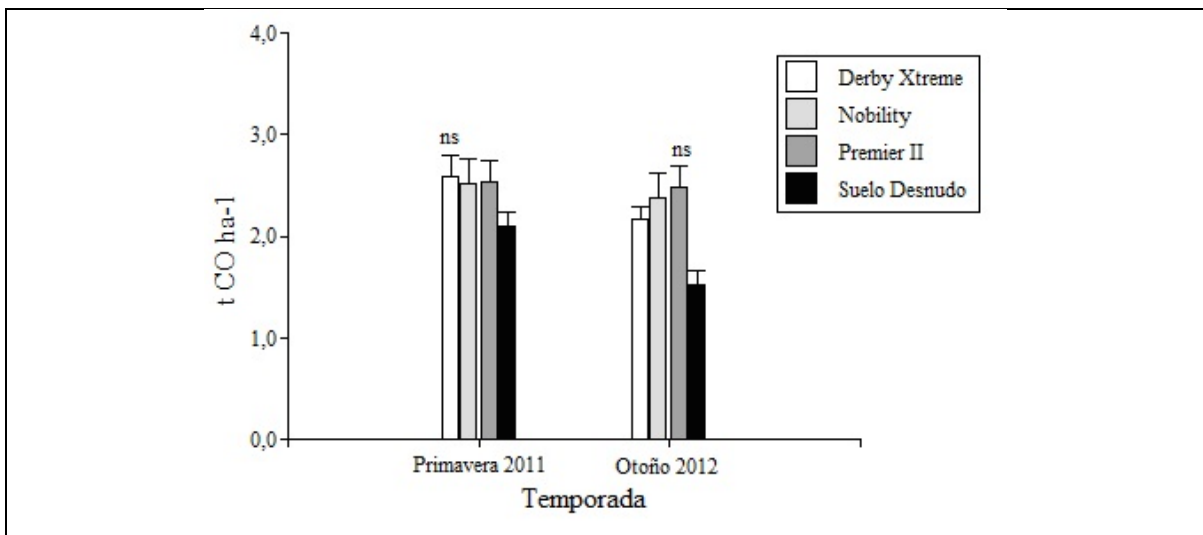


Figura 2. Medias de CO (t CO ha⁻¹) almacenado en el perfil de suelo de 0 – 30 cm, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Medias unidas por una letra común dentro de cada temporada no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

En el caso de este estudio, la ausencia de diferencia estadística entre tratamientos tanto entre distintas profundidades (Figura 1) como en las temporadas (Figura 2) se puede deber a la influencia en mayor o menor medida de algunos de los factores anteriormente nombrados. Por ejemplo, en cuanto a la edad de establecimiento, Gebhart et al. (1994), observaron un aumento significativo de COS de 0 a 40 cm, al quinto año de establecer una cobertura de césped perenne sucesora a cultivos. Algo similar ocurre con las observaciones reportadas por Corre et al. (1999) quienes encontraron diferencias significativas respecto al almacenaje de COS al comparar distintas cubiertas vegetales, incluyendo pastos de estación fría, en praderas establecidas por más de 17 años. Además, estos autores señalan una tendencia a la disminución de COS a medida que aumenta la profundidades del suelo. Con

respecto a lo anterior y en el caso del presente estudio, al tratarse de una cubierta de césped muy joven (2 años) y con observaciones realizadas sólo en dos estaciones, su comparación resulta compleja y podría explicar la ausencia de diferencias significativas entre los suelos con y sin cubiertas. Respecto a la ausencia de diferencias entre profundidades de suelo, la edad de establecimiento también influiría, si se considera que en este estudio el contenido de COS se midió de 0 a 30 cm de profundidad de suelo, mientras que los autores citados realizaron sus mediciones hasta 1 m de profundidad.

Por otro lado, en cuanto a la conversión de suelo agrícola a uno con cobertura cespitosa como sucede en el sitio experimental de este estudio, adquieren especial importancia en el almacenaje de COS los manejos posteriores al establecimiento de un césped, como la adición de agua y fertilizante, pero sobre todo la ausencia de perturbaciones en el suelo (Pouyat et al., 2009). En este sentido, Lorenz y Lal (2005), indican que los pastizales poseen una mayor asignación de COS en comparación a un cultivo, debido a su prolongado período vegetativo. Esto ocurriría producto de los continuos cortes antes o después de la aparición de semillas, tal como ocurre en las parcelas experimentales, manteniéndose inalteradas las raíces en el suelo y continuando su crecimiento y desarrollo (Kuzyakov, 2001). Siguiendo esta línea en cuánto a manejos y para darle contexto el presente estudio, es necesario exponer los resultados de van Ginkel et al., (1997) quienes midieron el aporte COS de 0 a 20 cm bajo una cubierta de *L. perenne* cv. 'Barlet', fertilizada con N, reportando un balance neto de CO₂ ambiental de 1,662 t C ha⁻¹, valor que está dentro del rango encontrado en este estudio.

Carbono orgánico de la biomasa aérea

Los resultados obtenidos de biomasa aérea en los tres cultivares de ballica perenne se muestran en la Figura 3. El almacenaje de CO en la biomasa aérea fue igual para todos los cultivares estudiados en las dos temporadas.

Los valores de CO medidos estacionalmente en la biomasa aérea de los tres cultivares de *L. perenne* mostraron valores que fluctuaron entre 0,103 a 0,45 t CO ha⁻¹ durante la primavera y 0,217 a 0,523 t CO ha⁻¹ en el otoño.

Las cubiertas cespitosas cumplen funciones estéticas y medioambientales en zonas urbanas, pudiendo almacenar carbono a diferentes capacidades, según las características de cada especie. Deru et al. (2012) plantean que la elección de variedades de pasto específicas podría ser un instrumento eficaz de manejo para mejorar la profundidad y densidad de enraizamiento, por lo cual los sistemas radicales podrían contribuir sustancialmente a un uso más eficiente de los nutrientes y el agua, impactando directamente en la parte aérea además de controlar la erosión y contribuir al secuestro de carbono.

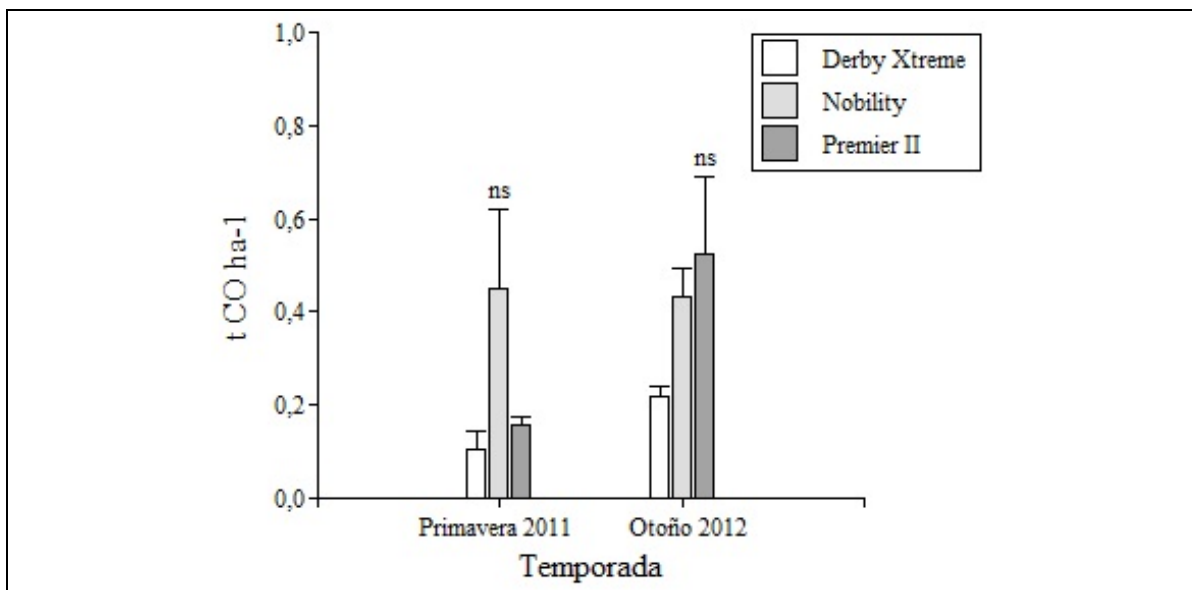


Figura 3. Medias de CO (t CO ha⁻¹) almacenado en la biomasa aérea de los cultivares de *L. perenne* ‘Derby Xtreme’, ‘Nobility’ y ‘Premier II’, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012. Medias unidas por una letra común dentro de cada temporada no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

Al igual que otros autores anteriormente citados, Kong et al. (2014), sugieren que las labores de mantenimiento juegan un papel clave en el balance y huella de carbono en zonas verdes urbanas y en sus resultados determinaron que el almacenamiento de C para la biomasa sobre el suelo de céspedes fue de 0,5 a 2,1 t C ha⁻¹. Otros datos de rendimiento de corte recogidos por Bandaranayake et al. (2003) simularían una capacidad de secuestro de 0,83 t C ha⁻¹ año⁻¹. Estos valores difieren de los obtenidos en este estudio, en donde la ausencia de diferencias entre cultivares se deba a que probablemente los manejos a los que fueron sometidos fueron similares, principalmente corte, realizándose seis durante la temporada de primavera 2011 y cuatro en el otoño 2012.

Por lo tanto, al estar los tres cultivares en estudio sometidos a los mismos manejos de mantención, en similares condiciones de campo y por el mismo periodo de tiempo, el cual es muy corto (solo 2 años) podría dificultar la comprobación de diferencias entre ellos. Además, el hecho de que los tres cultivares presentaran el mismo almacenaje promedio de C probablemente se deba a la similitud genética diploide que existe entre los cultivares ($2n = 14$) (Christians, 2004).

Carbono orgánico del sistema suelo-biomasa aérea

La suma del COS y del carbono capturado por la biomasa aérea de las coberturas vegetales, dan cuenta del almacenaje de carbono orgánico del sistema planta-suelo. Los valores promedio de suma de carbono orgánico suelo-planta se muestran en la Figura 4.

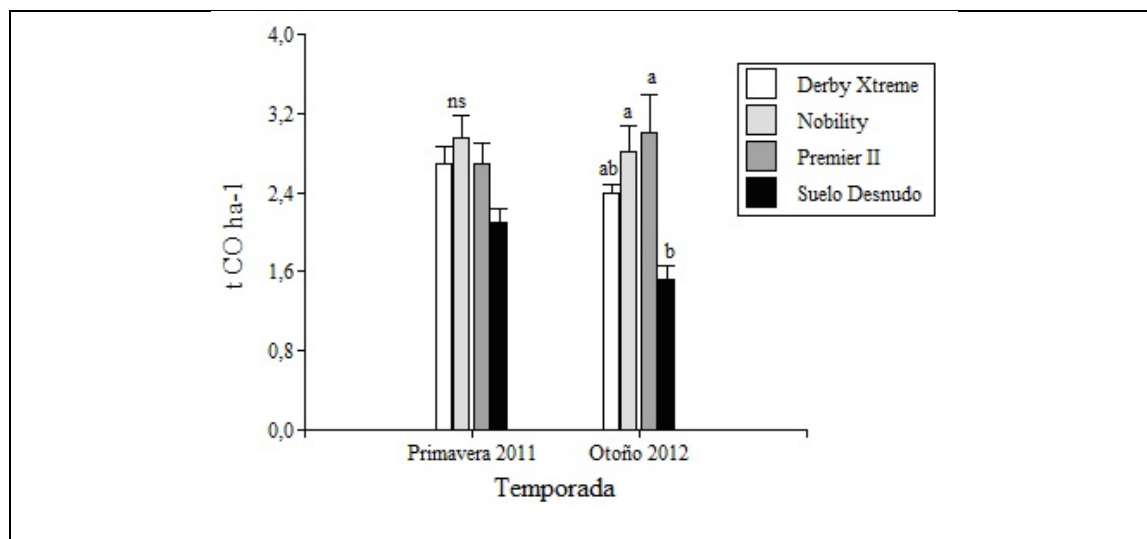


Figura 4. Medias de CO ($t\ CO\ ha^{-1}$) almacenado en el sistema suelo y en la biomasa aérea de los tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo (con aporte nulo de CO), en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012. Medias unidas por una letra común dentro de cada temporada no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

Se observó que durante la temporada otoño 2012, los cultivares estudiados presentaron contenidos de carbono orgánico significativamente más altos que el suelo desnudo. Distinto a lo observado en la temporada previa, de primavera 2011, en que los cultivares y el suelo desnudo fueron iguales en contenido de CO (Figura 4).

En el caso de este estudio, se puede inferir que su semejanza genética podría resultar en comportamientos subterráneos y aéreos similares entre ellos si se considera que comparten las mismas condiciones de campo. Al respecto, Deru et al. (2014), estudiaron la variación de masa de raíces de 16 variedades de *L. perenne* de 0-24 cm de profundidad en condiciones de campo, las cuales diferían en ploidía, productividad y cobertura vegetal. Sus resultados arrojaron que variedades diploides mostraron una materia seca de raíces significativamente mayor en los segmentos de perfil comprendidos entre 0-8 y 8-16 cm en comparación a las variedades triploides. Complementariamente, Deru et al. (2010), señalan que los factores genéticos que influyen en la morfología y crecimiento de las raíces de un césped tales como la capacidad de enraizamiento y la densidad radical, están sujetos a

influencias ambientales y agronómicas como el clima, la edad del pastizal, el tipo de suelo y su densidad aparente así como de características biológicas y químicas del suelo.

Al comparar los resultados del presente estudio con los de Cougnon et al. (2013), se pueden establecer similitudes y diferencias entre ellos en cuánto a los resultados obtenidos. Estos autores midieron en primavera y otoño la biomasa de raíces de dos variedades de raigrás perenne diploide ('Plenty' y 'Bergala') muestreados hasta 70 y 90 cm de profundidad respectivamente pero en una serie de ensayos de rendimiento en suelos, localizaciones y manejos distintos. Los autores, hallaron que las variedades mostraron mayor biomasa de raíces en otoño, la cual se concentró sobre los 40 cm de profundidad y la cual se podría traducir a una mayor entrada de COS, comparable a lo observado en este ensayo (Figura 4). Ambos estudios, coinciden en que las diferencias se producen en otoño y a una profundidad de suelo relativamente similar. Además, se debe considerar que si bien los cultivares coinciden en ploidía, las mediciones fueron realizadas en lugares, suelos y manejos distintos, factores que podrían haber influenciado sus resultados obtenidos.

Por su parte, Crush et al. (2009), determinaron el peso seco (PS) de raíces y brotes en líneas silvestres y mejoradas de *L. perenne*, encontrando diferencias entre PS de raíces vs. brotes en líneas mejoradas. Los autores, afirmaron que en un sistema cespitoso el aumento de la producción en PS de raíces no necesariamente compromete la productividad aérea (PS de brotes). La falta de efecto de la productividad en materia seca de raíces no excluye la posibilidad de que, en condiciones de estrés (limitación de agua o de nutrientes), un sistema radical más desarrollado pueda proporcionar una mayor estabilidad de producción de biomasa aérea. Las observaciones realizadas por Crush et al. (2009) podrían respaldar los resultados del presente estudio ya que los cultivares utilizados son producto de selección y en condiciones de campo no estuvieron limitados por agua y nutrientes, traduciéndose en ausencia de diferencias entre tratamientos.

En este estudio, la proporción de COS supera ampliamente a la producción de CO de la biomasa aérea, esto principalmente por que la distribución de fotosintatos es diferente en los distintos órganos de la planta (Figura 4 representa la suma de los resultados de las Figuras 2 y 3). Según van Ginkel et al., (1997) entre un 20 a 50% de los fotosintatos asimilados son transportados al suelo, siendo este proceso crucial para que el suelo actúe como sumidero de CO₂ atmosférico. Los mismos autores encontraron mayor producción de materia seca radical de *L. perenne* respecto de la producción de materia seca de brotes, como posible respuesta a la captura de nutrientes mediante la extensión de la biomasa de raíces finas y la estimulación de los procesos de descomposición de estas. Además, dichos autores plantean que los fotosintatos asimilados son translocados desde brotes a raíces y posteriormente liberados en el suelo, ya sea como exudados o residuo.

Carbono inorgánico del suelo

En cuanto al almacenaje de carbono inorgánico en el suelo, no se encontraron diferencias entre cultivares, ni entre estos y el suelo desnudo en ninguna de las tres secciones de profundidad de suelo estudiadas, durante ambas temporadas (Figura 5).

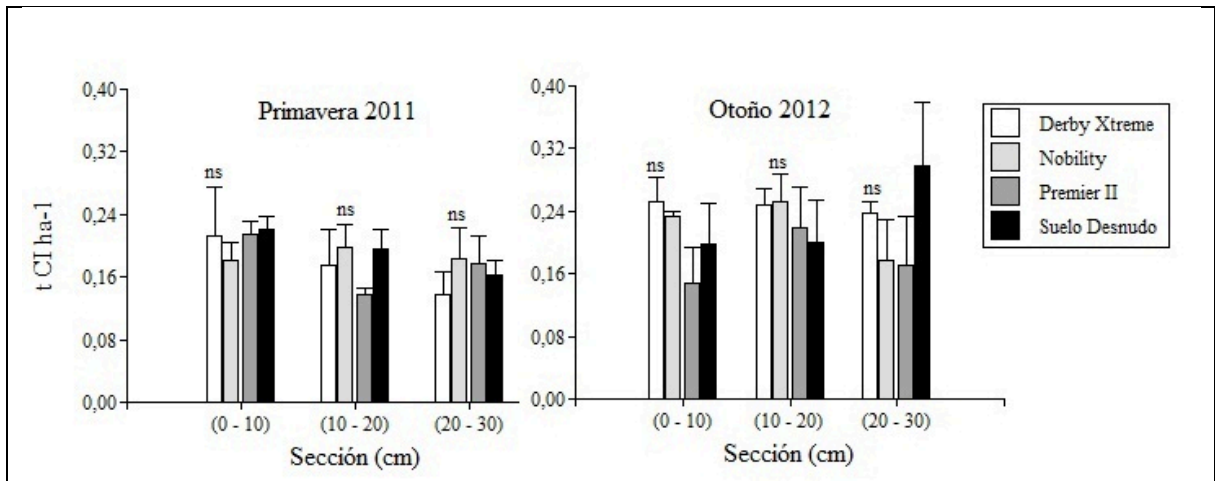


Figura 5. Medias de CI ($t \text{ CI ha}^{-1}$) almacenado en tres secciones de profundidad de suelo distintas, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Medias unidas por una letra común no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

De igual forma, no se encontró diferencias significativas en el almacenaje de carbono inorgánico en el perfil del suelo entre los tres cultivares y el suelo desnudo en ninguna de las dos temporadas evaluadas (Figura 6).

Los valores de CI medidos estacionalmente en el suelo bajo los tres cultivares de *L. perenne* y suelo desnudo mostraron valores que fluctuaron entre 0,52 a 0,58 $t \text{ CI ha}^{-1}$ durante la primavera y 0,54 a 0,74 $t \text{ CI ha}^{-1}$ en el otoño, promediando anualmente entre 1,0 a 1,2 $t \text{ C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Según Lal et al. (2002), la importancia del CI radica en que es almacenado de manera más estable, como ocurre con el carbonato de calcio (CaCO_3). Las concentraciones de CIS varían entre profundidades y distintas regiones climáticas. Complementariamente, Wilding (1999), plantea que la acumulación de carbonatos ocurre cuando estos se disuelven, lixivian y luego reforman, considerándose la remoción de CIS hacia aguas subterráneas un mecanismo de mayor complejidad en el ciclo del C, equivalente a una tasa de secuestro de entre 0,25 a 1,0 $t \text{ C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, valor cercano al encontrado en este trabajo.

En el caso del presente estudio, las concentraciones de CIS no muestran diferencias entre tratamientos a nivel de profundidad de suelo ni entre temporadas. Esto presumiblemente se puede deber a que el agua de riego es de pozo y de naturaleza calcáreas (540 mg L^{-1} de CaCO_3) según informe de análisis de aguas llevados a cabo por AGROLAB el cual además advierte de su alto riesgo de uso (Figura 15 en Anexo IV).

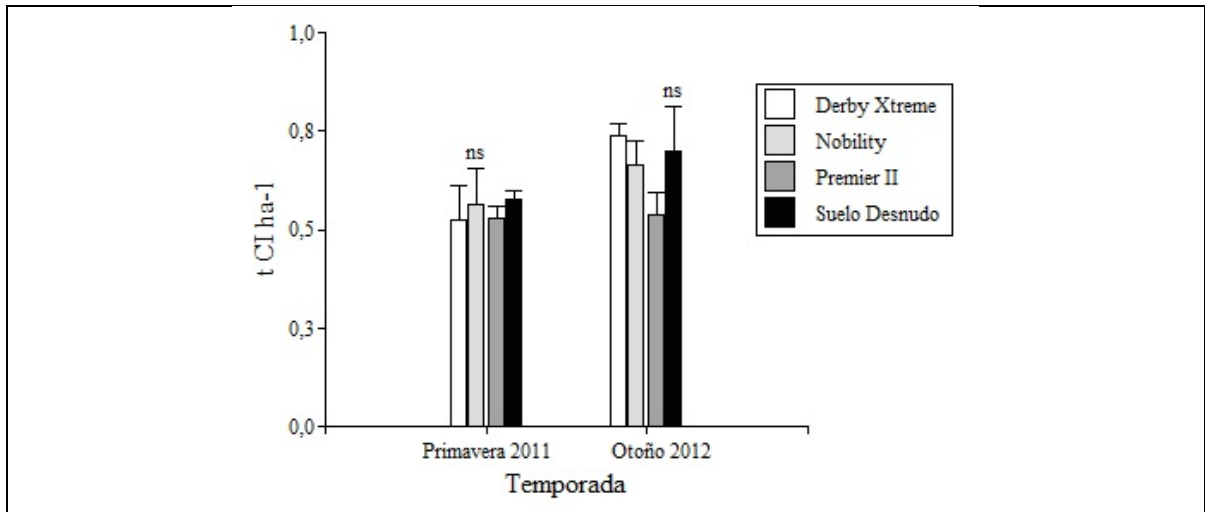


Figura 6. Medias de CI (t CI ha^{-1}) almacenado en el perfil de suelo de 0 – 30 cm, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Medias unidas por una letra común dentro de cada temporada no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

Luzio et al. (2010), atribuyen la presencia de CaCO_3 a la incorporación de las aguas de riego, especialmente en suelos regados con aguas del río Maipo. Esto da señales sobre el origen de los carbonatos presentes en este estudio y se podría inferir que, al momento de utilizar estas aguas para regadío, las sales carbonatadas se distribuyeron a través del perfil de suelo, elevando homogéneamente los contenidos de carbonatos, aportando una entrada en el contenido de CI, sin contribuir a la diferencia entre tratamientos. Adicionalmente, Nordt et al. (2000), también plantea que en suelos regados, la lixiviación de bicarbonatos a napas subterráneas es un mecanismo importante de secuestro de CIS. Además, la disolución de carbonatos expuestos en el suelo (por efecto de la lluvia ácida, aplicación de fertilizantes nitrogenados o por biodisolución) pueden ser un sumidero de CI si los carbonatos se lixivian al sistema suelo.

Por otra parte, Sánchez et al. (2004), indican que para estimar el contenido de carbono inorgánico en el suelo, es necesario considerar que existe una parte de los carbonatos calculados que es heredado por el material parental. Sin embargo, en esta investigación no se evidenciaría un aporte de carbonatos por parte del material parental, ya que el contenido

de CIS en la sección más profunda no presenta diferencias significativas respecto a las secciones superiores (0–10 cm y 10–20 cm) en ambas temporadas. Además, los mismo autores indican que para conocer el origen del carbono inorgánico de un suelo, es fundamental la realización de experimentos con isótopos radiactivos que revelen el origen del C, lo cual no fue considerado en este estudio.

Con el fin de aportar más información a este escrito, es necesario señalar que existen estudios que dan cuenta de los efectos y de la interacción de carbonatos adicionados con fines experimentales en coberturas cespitosas, en lugares de alta pluviometría en el sur de Chile, lo cual generaría un efecto de los carbonatos en la química de suelos. Pruebas realizadas por Campillo y Sadzawka (1992), concluyen que carbonatos añadidos artificialmente, en concentraciones de $1,6 \text{ t CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ($\sim 0,19 \text{ t CI ha}^{-1}$, valor inferior al presentes en este estudio), incrementan el P absorbido por una pradera de *L. perenne*, así como también el pH, el Ca intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Algo similar es lo que plantean Alfaro et al. (1998), quienes incorporaron $2,6 \text{ t CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ($\sim 0,312 \text{ t CI ha}^{-1}$) a una pradera de *L. perenne* cv. Nui, generando un descenso en los niveles de Al intercambiable y un aumento en el contenido de Ca disponible.

Carbono total en el suelo

Los niveles de carbono total (CT) en las tres profundidades del perfil de suelo se muestran en la Figura 7. En las tres secciones del perfil de suelo, el almacenaje de CT no presenta diferencias estadísticas durante la temporada de primavera 2011 ($p > 0,05$) variando los contenidos de CT entre $0,638$ y $1,311 \text{ t CT ha}^{-1}$. De manera distinta, durante el otoño 2012 se observó que en la sección de 10 a 20 cm, los cultivos en estudio presentan mayor almacenaje de CT en comparación al suelo desnudo. Esto puede deberse a que la acumulación de CO aportado por el sistema cespitoso, el cual concentra la mayor parte de sus raíces en esta sección Christians (2004), presenta un activo crecimiento durante esta temporada por las temperaturas favorables a esta especie de césped con metabolismo fotosintético C_3 . Al sumar el aporte de CI presente en esta sección el cual interactúa con el contenido de CO se hace significativa la diferencia estadística.

El contenido de CT almacenado en el perfil de suelo (0-30 cm) bajo los cultivos y las parcelas con suelo desnudo durante las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012 se muestran en la Figura 8, evidenciando ausencia de diferencias significativas.

Pese a que CT corresponde a la suma de los contenidos de CO y CI, el estudio de Kong et al. (2014), asume que el CT es igual al contenido de COS para las muestras de suelo con pH entre 6,5 y 6,9, pH inferior al de los suelos de este estudio (Anexo V). Además los autores realizaron un muestreo de suelo de 0-15 cm de profundidad y determinaron que las concentraciones de CT almacenado en el suelo bajo céspedes varió de $2,51$ a $27,36 \text{ t CT ha}^{-1}$. Adicionalmente, documentaron que en la profundidad de 0-5 cm las concentraciones de CT mostraron diferentes patrones para céspedes jóvenes (≤ 30 años de edad) y céspedes de

edad (42-55 años). Para ambos casos, el CT fue mayor en aquellos céspedes establecidos por mayor tiempo. Como ya se ha mencionado anteriormente, el tiempo de establecimiento de este estudio es de 2 años, periodo evidentemente menor si le lo compara con lo reportado por Kong et al. (2014).

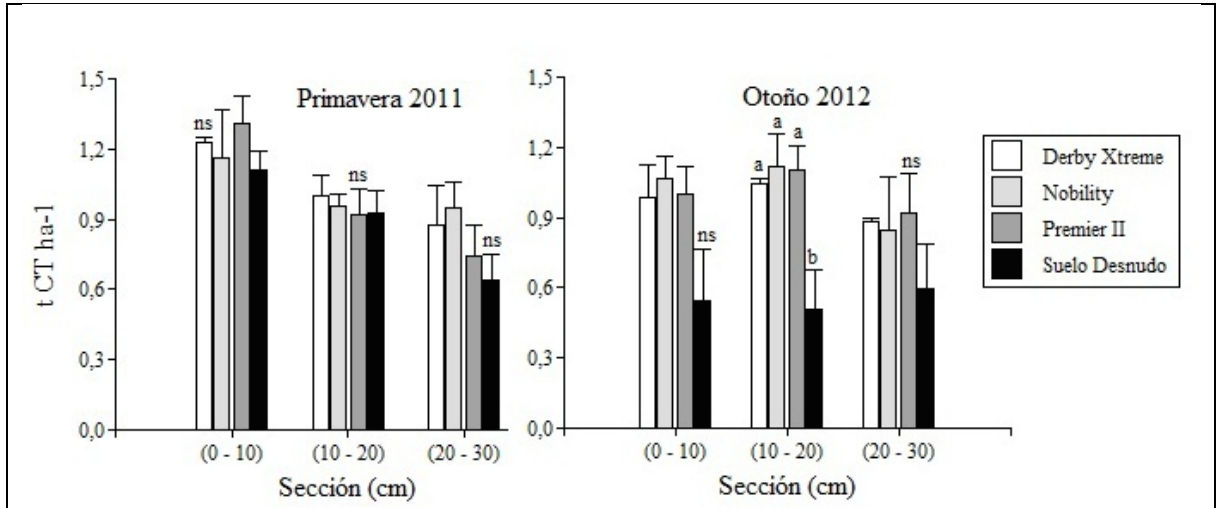


Figura 7. Medias de CT (suma de CO + CI en $t\ CT\ ha^{-1}$) almacenado en tres secciones de profundidad de suelo distintas, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0,05$), para cada profundidad de suelo. Barras indican EE.

Tal como lo señala Sánchez et al. (2004), la dinámica de las sustancias orgánicas se ven enormemente afectadas por el contenido de carbonatos del suelo. Los investigadores señalan que la interacción química que se produce entre sustancias inorgánicas y orgánicas estabiliza a estas últimas, convirtiéndolas en sustratos más inaccesibles para la oxidación microbiana y más resistentes a la mineralización química. Por esta razón y tal como ocurre en este estudio, la acumulación de carbonatos incrementaría el almacenaje de carbono en formas orgánicas, favoreciendo de esta manera la capacidad de amortiguación del efecto invernadero por parte de estas áreas.

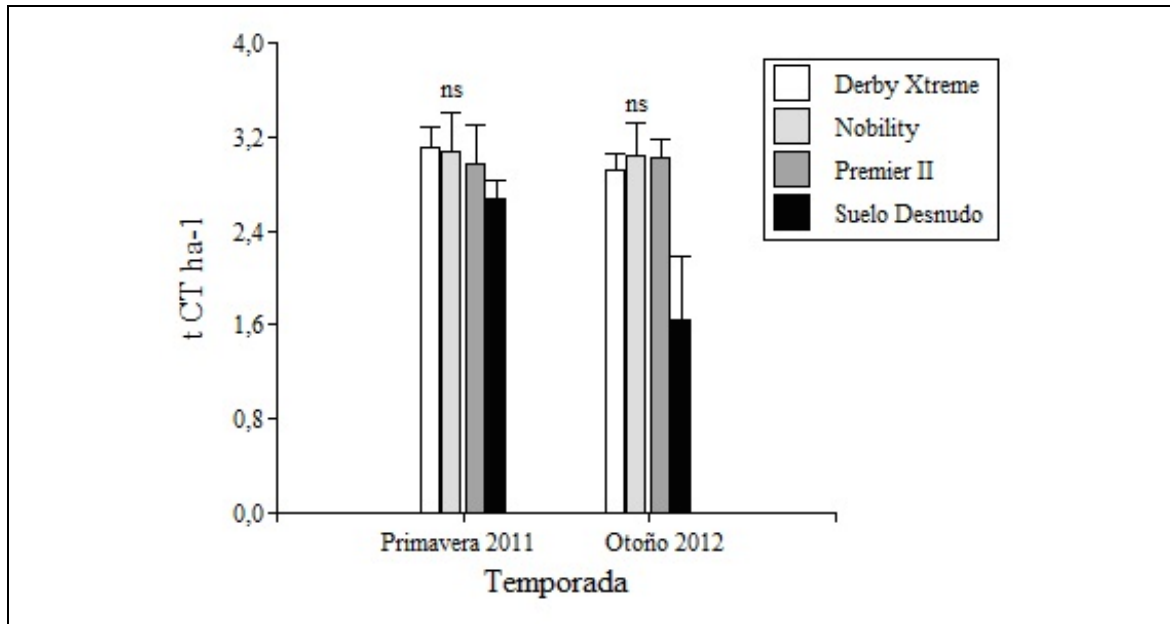


Figura 8. Medias de CT (suma de CO + CI en t CT ha⁻¹) almacenado en el perfil de suelo de 0 – 30 cm, en las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012, bajo tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') y un suelo desnudo. Medias unidas por una letra común dentro de cada temporada no muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \geq 0,05$). Barras indican EE.

Parámetros Fotosintéticos

Transpiración

La evolución de la transpiración fue medida en seis puntos durante el espacio temporal comprendido entre las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012 en los cultivares 'Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II', se muestran en la Figura 9.

El seguimiento estacional de la transpiración mostró que durante el mes de febrero de 2012, las medias de los cultivares 'Nobility' y 'Premier II' fueron superiores estadísticamente (9,25 y 8,86 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ respectivamente). También se observaron diferencias en la transpiración durante el mes de mayo de 2012, siendo nuevamente 'Premier II' el cultivar que obtuvo la mayor media (10,71 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) (Figura 9).

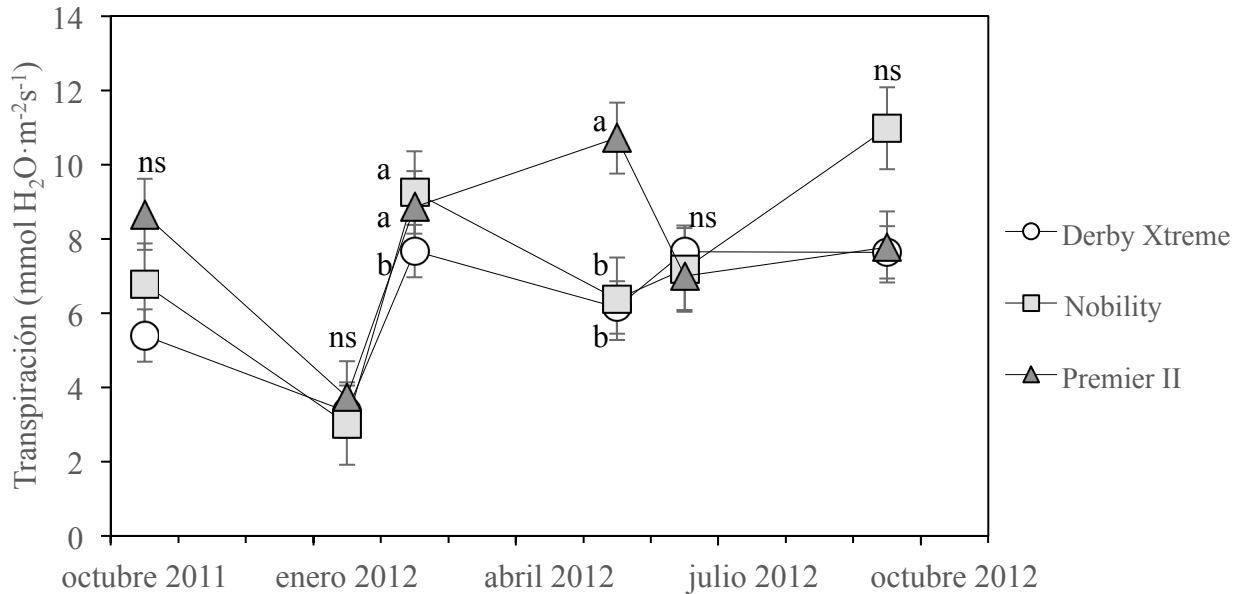


Figura 9. Tasas de transpiración promedio ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de los tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II'), durante el espacio temporal comprendido entre las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias unidas por una letras distintas en sentido vertical, comparadas dentro de cada medición, muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0,05$). Barras indican Desviación Estandar (DE).

Según explica Restrepo et al. (2007), el proceso de transpiración está influenciado por el déficit de presión de vapor (DPV), el que a su vez está determinado por la temperatura. Al incrementarse la temperatura, un mismo volumen de aire es capaz de retener mayor vapor de agua, lo que aumentaría la capacidad de desecación de las cubiertas vegetales. Esto podría haber ocurrido en mayor medida con el cultivar 'Derby Xtreme' ($7,67 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en comparación a 'Nobility' y 'Premier II' durante febrero 2012, donde se registraron temperaturas medias de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y máximas superiores a los $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figuras 17 y 18, en Apéndices). De tal manera, la capacidad de 'Derby Xtreme' de contrarrestar la pérdida de agua en ambientes cálidos se podría deber a una respuesta adaptativa de las capas superiores de cobertura señalada por Nijs et al. (1997), donde la temperatura de las hojas y la tasa de transpiración son mayores, lo cual disminuiría la conductancia estomática y con ello la transpiración.

Está descrito además que *L. perenne* generaría otras respuestas adaptativas a factores externos que le permitirían evadir la pérdida de agua de sus hojas. Restrepo et al. (2007), plantea que además del cierre estomático, la lámina foliar sufriría un doblés de la cara adaxial, fenómeno que fue observado en campo durante los muestreos, y que hace sentido ya que la mayoría de los estomas se ubican longitudinalmente a lo largo de las ranuras de esta superficie (Ferris et al., 1996). Otra respuesta adaptativa aportada por Taiz y Zeiger

(2002), sería la producción de una cutícula más gruesa que reduciría la pérdida de agua de la epidermis junto con disminuir la permeabilidad de CO₂, no interfiriendo en la fotosíntesis de la hoja debido a que las células epidérmicas sub cuticulares son no fotosintéticas. Estas modificaciones las podría haber sufrido el cultivar ‘Derby Xtreme’ durante enero 2012.

La tasa de transpiración en el mes de mayo 2012 también respondería a las temperaturas ocurridas en ese momento, con mínimas de 10 °C, llegando a promediar 15 °C (Figuras 17 y 18, en Apéndices I y II, respectivamente). Durante este mes, ‘Derby Xtreme’ y ‘Nobility’ obtuvieron las menores medias estadísticas (6,15 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ y 6,38 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente) lo que indica una mayor capacidad de estos cultivares para regular la pérdida de agua con respecto a ‘Premier II’. Siendo *L. perenne*, una especie de metabolismo C₃, de climas fríos-templados, la mayoría de los genotipos están adaptados temperaturas frías con valores óptimos de crecimiento cercanos a los 20 °C (Nijs et al., 1997), los cuales coinciden con las temperaturas ocurridas en mayo de 2012.

Dadas estas condiciones, en donde el suministro de agua es suficiente y la radiación solar incidente sobre la canopia propicia la actividad fotosintética, ocurriría una mayor apertura de los poros estomáticos de ‘Premier II’, lo cual favorecería la pérdida de agua por transpiración.

Conductancia estomática

La fluctuación de los promedios de conductancia estomática (g_s) censada en seis puntos durante el espacio temporal comprendido entre las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012 en los cultivares ‘Derby Xtreme’, ‘Nobility’ y ‘Premier II’, se muestran en la Figura 10.

El seguimiento estacional de la conductancia estomática reveló que durante el mes otoñal de mayo 2012 las medias correspondientes a los cultivares ‘Premier II’ y ‘Derby Xtreme’, obtuvieron valores superiores (414,67 y 354,33 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ respectivamente) en relación al cultivar ‘Nobility’ (150,67 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Estas medias coinciden de alguna forma con el comportamiento transpiratorio ocurrido durante el mismo mes, en donde ‘Premier II’ obtiene la mayor media de transpiración y conductancia estomática, ocurriendo lo mismo en el caso de ‘Nobility’ pero con menor media (Figura 9). Esto manifiesta la estrecha relación entre ambos parámetros, ya que la conductancia estomática en ambos cultivares está íntimamente ligada a la tasa de transpiración. Siendo ‘Premier II’ y ‘Derby Xtreme’ los cultivares con mayor conductancia estomática. Esta regulación sería una eventual respuesta a la pérdida de agua para maximizar sus ganancias de carbono según Nijs y Impens (1997), dadas las condiciones de temperatura favorables que ya han sido citadas.

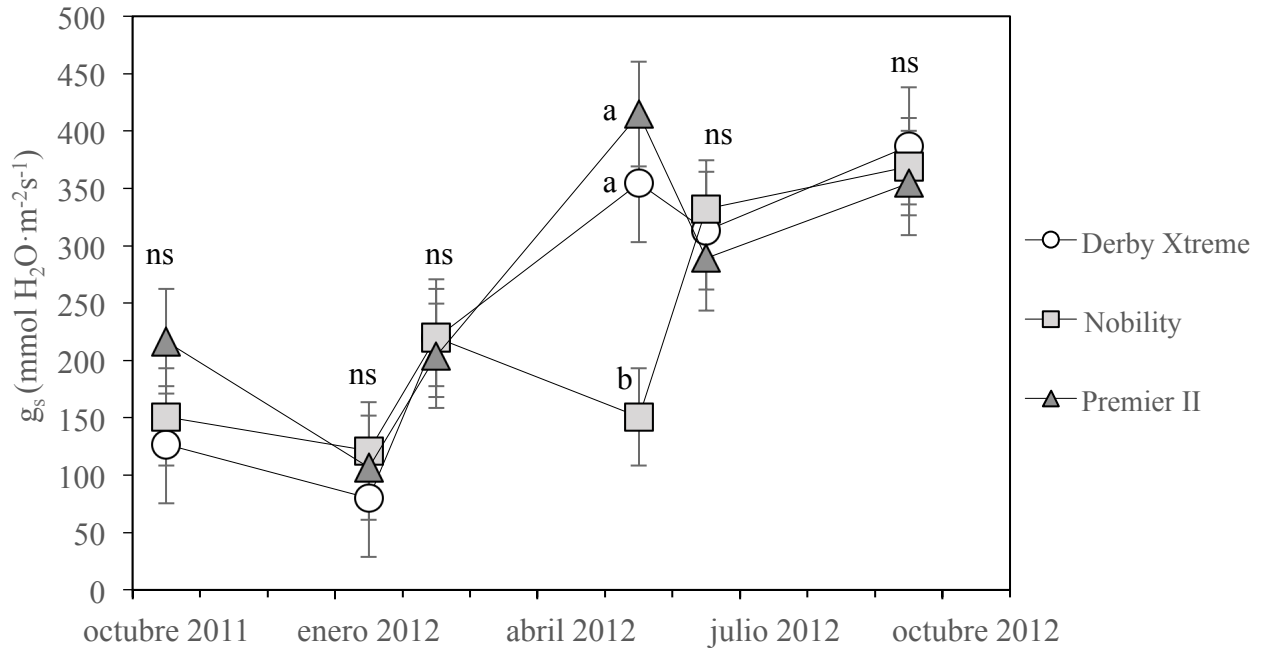


Figura 10. Conductancia estomática promedio ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de los tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') durante el espacio temporal comprendido entre las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias unidas por una letras distintas en sentido vertical, comparadas dentro de cada medición, muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0,05$). Barras indican DE.

Según el planteamiento de Ocheltree et al. (2013), a medida que el DPV disminuye, como se podría esperar durante mayo debido a la disminución de la temperatura y a la baja demanda de la atmósfera, la conductancia estomática tendería a incrementarse. Además, al mantenerse los estomas abiertos, aumentaría la tasa de difusión de CO_2 en la hoja, y con ello la concentración interna de CO_2 , resultando un aumento en la eficiencia de fijación de C durante este periodo.

La diferencia en la conductancia estomática de 'Premier II' y 'Derby Xtreme' respecto a 'Nobility' estaría relacionada a potenciales osmóticos de los organelos presentes de la células de guarda de los estomas, los cuales modificarían su estructura. Tal como lo señalan Tominaga et al. (2004), la variación en el volumen de cloroplastos y vacuolas puede diferir

entre cultivares según su tolerancia al frío y a regulaciones genéticas. Los autores, explican que los cloroplastos en distintos cultivares de *L. perenne*, aumentarían su volumen producto de la acumulación de almidón, mientras que las vacuolas disminuirían su volumen al perder agua, lo cual ocurriría a bajas temperaturas (no letales) como las ocurridas en mayo 2012.

Según detallan Tominaga et al, (2004), al abrirse los estomas el almidón presente en las células de guarda disminuye, ya que al tener alto peso molecular y ser insoluble en agua, no participa en los potenciales osmóticos celulares, en cambio si es hidrolizado a azúcares solubles (sacarosa) el potencial osmótico de la célula de guarda aumenta. Al contrario, si el almidón es sintetizado, la concentración de azúcares disminuye, cerrándose los estomas. Además Taiz y Zeiger, (2002) aportan que la apertura estomática se asocia principalmente a la captura de K^+ y el cierre a la disminución del contenido de sacarosa. Estos solutos osmóticamente activos podrían ser provisto por la vía metabólica que produce sacarosa por fijación de carbono fotosintético en los cloroplastos de las células de guarda de los cultivares estudiados.

Fotosíntesis neta

La variación de la fotosíntesis neta medida en seis puntos durante el espacio temporal comprendido entre las estaciones de primavera 2011 y otoño 2012 en los cultivares ‘Derby Xtreme’, ‘Nobility’ y ‘Premier II’, se muestran en la Figura 11.

El monitoreo estacional de la fotosíntesis neta, evidenció que durante los meses de mayo y junio de 2012 se obtuvieron diferencias significativas entre cultivares. En mayo, ‘Premier II’ y ‘Derby Xtreme’, alcanzaron valores superiores ($9,5$ y $8,37 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente) en relación al cultivar ‘Nobility’ ($5,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Posteriormente, en el mes de junio, cada cultivar fue diferente estadísticamente uno de otro, siendo ‘Premier II’ el que continuó liderando en promedio ($7,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), superando a ‘Nobility’ ($6,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y obteniendo ‘Derby Xtreme’ el menor promedio ($4,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

De acuerdo a Dirks et al. (2002), la variación estacional de la tasa fotosintética en praderas cespitosas resulta de los cambios ambientales y de la capacidad fotosintética del césped en si mismo. A la vez confirma, tal como en este estudio, que la fotosíntesis neta es menor durante otoño que en verano (enero 2011). En esta misma línea, Dąbrowski et al. (2015), argumentan que la radiación solar es un factor importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, determinando no solo parámetros fisiológicos, sino que también variaciones morfológicas de las hojas.

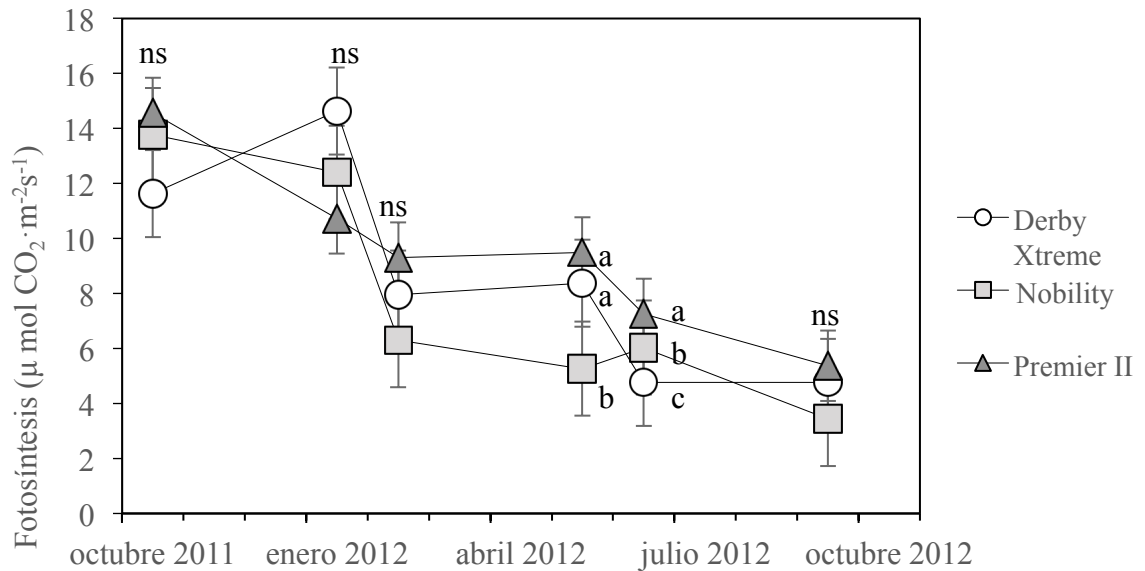


Figura 11. Tasa fotosintética promedio ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de los tres cultivares de *L. perenne* ('Derby Xtreme', 'Nobility' y 'Premier II') durante el espacio temporal comprendido entre las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012. Medias unidas por una letras distintas en sentido vertical, comparadas dentro de cada medición, muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de cobertura según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0,05$). Barras indican DE.

La reducción de radiación ocurrida desde fines de verano a otoño (Figura 21 en Apéndice V), según Dirks et al. (2002), hace que las características morfológicas adaptativas de la canopia (reducción del grosor de la lámina, del número de células del mesófilo y de la densidad estomática, entre otros) se desencadenen y disminuya la capacidad fotosintética. Conociendo estos antecedentes, es probable que los cultivares 'Nobility' y 'Derby Xtreme' puedan haber sufrido estas modificaciones adaptativas durante esta época. Por otra parte las altas medias de fotosíntesis neta registrada durante enero 2011 sucedidas por la abrupta caída de estas durante febrero 2011, dan cuenta de una variación en el comportamiento fotosintético que afecta de manera simultanea a los tres cultivares.

La alta asimilación de CO_2 por parte de los cultivares, fue observada durante periodos de alta radiación, pero esta también depende de las temperaturas y el viento (Dąbrowski et al., 2015). Las condiciones abióticas anteriormente señaladas podrían haber afectado la sensibilidad propia de estos cultivares C_3 durante el mes de enero. Las especies expuestas a estas condiciones, con frecuencia sufren de estrés oxidativo, producto de un desequilibrio entre el transporte de electrones y la reducción de CO_2 , influenciado en gran medida por el espesor de la lámina Soliman et al. (2012) produciéndose daño fisiológico durante el transcurso del verano.

Las temperaturas elevadas inhiben la fotosíntesis neta, ya que se reduce la actividad de la ribulosa 1-5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO), aumentando la fuga de iones de la membrana tilacoidal. Esta caída de RuBisCO se observa en la tasa de asimilación de CO_2 , que reduce el crecimiento y rendimiento del cultivo. Al inhibirse la fotosíntesis producto de las altas temperaturas, también se pueden generar formas tóxicas de oxígeno, como lo es el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) el cual altera las reacciones fotoquímicas y bioquímicas en la planta y es una de las principales causas de mortalidad por estrés abiótico (Soliman et al., 2012). El efecto de la peroxidación de lípidos de la bicapa de la membrana tilacoidal, generada por el H_2O_2 producto del calor también provocaría una disminución en la eficiencia del fotosistema II (PSII), generándose fotoinhibición (Soliman, 2012 y Farfan-Vignolo, 2012).

Respecto a esto, Taiz y Zeiger (2002), señalan que si bien los sistemas fotosintéticos están diseñados para absorber grandes cantidades de energía lumínica, a nivel molecular el exceso de energía de un fotón puede resultar dañino, al producirse especies tóxicas como lo es el H_2O_2 . Frente a este escenario en donde el centro reactivo del PSII (específicamente de la proteína D_1 de este complejo) es sobre estimulado por exceso de luz, se desencadenan un set de procesos moleculares que buscan proteger el fotosistema mediante fotoinhibición. Este proceso puede ser reversible, pero al prolongarse, ocurre daño a nivel de membrana tilacoidal, mermando la capacidad fotosintética. Este fenómeno podría explicar la abrupta caída en la tasa fotosintética medida en febrero.

Por otra parte, los meses de mayo y junio en donde ocurren diferencias estadísticas entre cultivares, dan cuenta de una mejor tolerancia al frío por parte de 'Premier II', lo cual podrá estar relacionado a ventajas adaptativas por partes de este cultivar. A menudo, plantas que crecen en regiones templadas, expuestas a bajas temperaturas pueden aclimatarse al frío, en un proceso asociado a cambios estructurales, fisiológicos y bioquímicos, lo que alteraría la expresión de conjuntos específicos de genes (Bocian et al., 2011). Los mismos autores señalan que, al determinar tolerancia al frío, han identificado proteínas específicas involucradas en el proceso fisiológico de aclimatación para *L. perenne*. Este es el caso de la enzima RuBisCO, la cual se degrada a distintas intensidades durante la aclimatación al frío, pero que en el caso de plantas tolerantes, su actividad es mayor, lo cual podría ocurrir en 'Premier II'. Adicionalmente estos autores plantean que aquellas plantas tolerantes al frío también tienden a aumentar la tasa en el metabolismo de carbono, mecanismo que les permitiría protegerse de la fotoinhibición.

Carbono orgánico almacenado y su relación con la fotosíntesis

La correlación entre las variables Fotosíntesis Neta (Pn), Carbono Orgánico del Suelo (COS) y Carbono Orgánico de la Parte Aérea (COPa) se muestran en la Figura 12.

Variable (1)	Variable (2)	ρ	p-valor
Pn	Pn	1,00	<0,0001
Pn	COS	-0,01	0,9889
Pn	COPa	-0,06	0,8827
COS	Pn	-0,01	0,9889
COS	COS	1,00	<0,0001
COS	COPa	0,21	0,5874
COPa	Pn	-0,06	0,8827
COPa	COS	0,21	0,5874
COPa	COPa	1,00	<0,0001

Figura 12: Valores de los Coeficientes de Correlación de Pearson (ρ) y p-valor obtenidos en el Análisis de Componentes Principales utilizando las variables contenido de Carbono Orgánico del Suelo (COS), el contenido de Carbono Orgánico de la parte aérea (COPa) y la Fotosíntesis Neta de los tres cultivares de las especies *Lolium perenne* L.

Los valores de los coeficientes de correlación lineal de Pearson señalados en la figura 12, indican que no existe asociación lineal entre las variables Pn y COS ($\rho = -0,01$) Pn y COPa ($\rho = -0,06$) y que entre las variables COS y COPa ($\rho = 0,21$) existe una asociación lineal baja. El análisis de componentes principales se puede apreciar mediante un gráfico de biplot disponible en la Figura 13 del Apéndice XX.

Tal como lo señala Hill et al. (2007), el mayor aporte de C al suelo proviene desde la atmósfera, gestionado por la fotosíntesis. Sin embargo también se producen pérdidas relacionadas a la respiración del suelo como respuesta natural al ciclo del C. A través de técnicas de marcación isotópica de ^{14}C , estos autores diferenciaron al C fijado de manera reciente con el ya presente en el suelo y lo rastrearon a través del sistema planta-suelo, su partición en las raíces, la posterior transferencia de este al suelo y su pérdida. El estudio de estos autores concluye que las hojas exportan el 75% del ^{14}C fijado al resto de la planta, siendo la raíz el órgano vegetal que recibe una fracción menor de C que no es especificada en porcentaje, se generaron más pérdidas en forma de $^{14}\text{CO}_2$ del que se retuvo en las raíces y suelo. Además se supuso como biomasa microbiana al ^{14}C que no se encontrara en las

raíces ni en la solución suelo. Por último los autores estimaron entre 30 y 90% de la fijación total correspondió a la fracción de ^{14}C exportado desde la hoja.

Otros estudios de flujo de C en la rizósfera de *L. perenne* indican que la planta destina alrededor del 48% del total de ^{14}C asimilado bajo la superficie del suelo, siendo las raíces el sumidero principal de C. Esta proporción representó $0,74 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras que $0,19 \text{ t C ha}^{-1}$ se encontraron como ^{14}C residual en el suelo y los microorganismos (Domanski et al., 2001). Asimismo, señala que la entrada de C al suelo por parte de *L. perenne* se estima alrededor de $7,44 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ aproximadamente.

Según lo planteado por Zagal et al. (1994) quienes también utilizaron la marcación con ^{14}C , *L. perenne* transfiere entre un 32 a 42% de C asimilado bajo la superficie del suelo, siendo solo la décima parte de esta dirigida al suelo y el resto a las raíces, las cuales al ser lavadas registraron entre 1 a 6,8% de C radioactivo asimilado. Según esta ecuación y utilizando la misma metodología de ^{14}C , según Kuzyakov et al. (1999), *L. perenne* transfirió al suelo aproximadamente $50 \text{ a } 65 \text{ g C m}^{-2}$ durante tres meses.

Si bien en este análisis no se consideró la variable temporada, dada la ausencia de diferencia estadística en almacenaje de CO_2 , es importante considerar lo que la literatura sugiere. En este sentido Nijs et al. (1996), hace referencia a la variación en la sensibilidad a la temperatura y la intensidad lumínica, factores que limitan la fotosíntesis en época de invierno y con ello la capacidad de asimilación de C.

CONCLUSIONES

De la comparación estacional de almacenaje de CT y CO en tres cultivares de *Lolium perenne* L. y su relación con la fotosíntesis, se desprenden las siguientes conclusiones:

Los resultados indican que la captura de CO y su almacenaje en suelo, en el corto plazo desde el establecimiento de ballica es más bien débil, no mostrando diferencias significativas entre las temporadas ni entre profundidades de suelo.

La capacidad de este sistema vegetal C₃, de capturar carbono a nivel de rizósfera, depende fuertemente de la actividad fotosintética del mismo y secundariamente de la partición del carbono fijado entre la parte aérea y la radical. Se aprecian diferencias significativas en la suma de almacenaje de COS y CO de la parte aérea, durante la temporada de otoño 2012, siendo los cultivares 'Nobility' y 'Premier II', aquellos con las medias de carbono más altas.

Por otra parte es posible concluir que en las condiciones de clima y suelo del presente estudio y no obstante tratándose de un sistema cespitoso con riegos provenientes de aguas carbonatadas, el CIS no aumenta significativamente en el perfil de suelo ni a lo largo de las temporadas consecutivas.

En el presente estudio, se aprecia que las diferencias en la actividad fotosintética, entre cultivares 'Premier II' y 'Derby Xtreme', ocurre en épocas frías (mayo 2012), es decir con niveles de asimilación de carbono más bien bajos en relación a su potencial. Muy probablemente esta situación, determinó que no se advirtieran grandes diferencias en el carbono orgánico fijado entre los cultivares estudiados a lo largo de dos temporadas. Eso si y aunque restringidamente si existen diferencias en el CT en suelo de 10 – 20 cm de profundidad durante otoño 2012, en todos los cultivares respecto del suelo desnudo.

Por último, no se encontró asociación lineal entre las variables Pn y COS ni tampoco entre las variables Pn y COPa sin embargo hubo asociación lineal baja entre las variables COS y COPa.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M., N. Teuber, J.C. Dumont y F. Medone. 1998, julio – septiembre. Efecto del carbonato de calcio en el establecimiento y producción de gramíneas y leguminosas forrajeras en Chiloé. *Agricultura Técnica*, 58 (3): 173-180.
- Bandaranayake, W., Y. L. Qian, W. J. Parton, D. S. Ojima and R. F. Follett. 2003, may. Estimation of Soil Organic Carbon Changes in Turfgrass Systems Using the CENTURY Model. *Agronomy Journal*, 95 (3): 558-563.
- Beard, J. and R.L. Green. 1994, may - june. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*, 23 (3): 40-42.
- Bocian, A., A. Kosmala, M. Rapacz, B. Jurczyk, Ł. Marczak and Z. Zwierzykowski. 2011, july. Differences in leaf proteome response to cold acclimation between *Lolium perenne* plants with distinct levels of frost tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 168 (11): 1271-1279.
- Bundy, L. and J. Bremner. 1972, march. A simple titrimetric method for determination of inorganic carbon in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 36 (2): 273-275.
- Campillo, R y A. Sadzawka. 1992, octubre - diciembre. Influencia del carbonato de calcio y dosis de fósforo sobre una pradera permanente. Evolución de parámetros productivos y químicos del suelo. *Agricultura Técnica*, Chile 52 (4): 381-387
- Christians, N. 2004. Fundamentals of turfgrass management. 2nd ed. Editorial John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. United State. 359: 52-53.
- Cifuentes, L., E. Sauma, H. Jorquera, and F. Soto. 2000. Preliminary estimation of the potential ancillary benefits for Chile. (chapter II, 236-261). In: Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation. Washington D.C., U.S.A. Organization for Economic Co-Operation and Development.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio agrológico Región Metropolitana. Santiago, Chile. 425p.
- Corre, M. D., R. R. Schnabel and J. A. Shaffer. 1999, october. 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.
- Cougnon, M., J. Deru, N. van Eekeren, J. Baert and D. Reheul. 2013, june. Root depth and biomass of tall fescue vs. perennial ryegrass. The Role of Grasslands in a Green Future, Threats and Perspectives in Less Favoured Areas. *Grassland Science in Europe*, 18: 285-287.

Crush, J. R., S. N. Nichols, H. S. Easton, L. Ouyang and D. E. Hume. 2009, april. Comparisons between wild populations and bred perennial ryegrasses for root growth and root/shoot partitioning. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52 (2): 161-169.

Dąbrowski, P., B. Pawluskiewicz, A. H. Baczevska, P. Oglęcki and H. Kalaji. 2015, september. Chlorophyll *a* fluorescence of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) varieties under long term exposure to shade. *Zemdirbyste – Agriculture*, 102 (3): 305-312.

Deru, J., N. van Eekeren, and H. De Boer. 2010. Rooting of grassland: a literature review on nutrient uptake in relation to rooting depth and density, and on potential measures to stimulate deep and dense rooting of grass (in Dutch, English summary). Louis Bolk Institute, Drie-bergen-Rijsenburg, 63p.

Deru, J., N. van Eekeren and H. De Boer. 2012, june. Rooting density of three grass species and eight *Lolium perenne* cultivars. *Grassland Science in Europe*, 17: 604-606.

Deru, J., H. Schilder, J. R. van der Schoot and N. van Eekeren. 2014, may. Genetic differences in root mass of *Lolium perenne* varieties under field conditions. *Euphytica*, 199 (1-2): 223-232.

Dirks, B. O. M., M. van Oijen, A. H. C. M. Schapendonk, J. Goudriaan and J. Wolf. 2002, september. Temperature sensitivity of photosynthesis in *Lolium perenne* swards: A comparison of two methods for deriving photosynthetic parameters from *in vivo* measurements. *Photosynthetica*, 40 (3): 405-413.

Domanski, G., Y. Kuzyakov, S.V. Siniakina and K. Stahr. 2001, august. Carbon flows in the rhizosphere of ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164 (4): 381-387.

Farfan-Vignolo, E. R. and H. Asard. 2012, june. Effect of elevated CO₂ and temperature on the oxidative stress response to drought in *Lolium perenne* L. and *Medicago sativa* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 59: 55-62.

Ferris, R., I. Nijs, T. Behaeghe and I. Impens. 1996, august. Elevated CO₂ and Temperature have Different Effects on Leaf Anatomy of perennial ryegrass in spring and summer. *Annals of Botany*, 48 (4): 489-497.

Gebhart D.L., H.B. Johnson, H.S. Mayeuz and H.W. Polley. 1994, september - october. The CRP increases in soil organic carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49 (5): 488-492.

Gutleben, C., D. Provendier, J. Streit, P. Bécid and J.M. Lecourt. 2010. Carbon footprint of turfgrass maintenance: First results and identification of leavers. European Turfgrass Society. Loire Valley. Angers, France. 87-89.

- Hill, P. W., C. Marshall, G. G. Williams, H. Blum, H. Harmens, D. L. Jones and J. F. Farrar. 2007, march. The fate of photosynthetically-fixed carbon in *Lolium perenne* grassland as modified by elevated CO₂ and sward management. *New Phytologist*, 173 (4): 766-777.
- Hontoria, C., J. C. Rodríguez-Murillo y A. Saa. 2004. Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España peninsular. *Edafología*, 11 (2): 149-157.
- Jones, M.B. and A. Donnelly. 2004, december. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist*, 164 (3): 423-439.
- Kong, L., Z. Shi, L. M. Chu. 2014, march. Carbon emission and sequestration of urban turfgrass systems in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 473: 132-138.
- Kuzyakov, Y., A. Kretschmar and K. Stahr. 1999, june. Contribution of *Lolium perenne* rhizodeposition to carbon turnover of pasture soil. *Plant and Soil*, 213 (1-2): 127-136.
- Kuzyakov, Y., H. Ehrensberger and K. Stahr. 2001, january. Carbon partitioning and below-ground translocation by *Lolium perenne*. *Soil Biology & Biochemistry*, 33 (1): 61-74.
- Lal, R., J. M. Kimble, R.F. Follett and C.C. Cole. 1998. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 128p.
- Lal, R. 2002. The Potential of Soils of the Tropics to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. *Advances in Agronomy*, 76: 1-30.
- Lal, R. 2002. Soil conservation and restoration to sequester carbón and mitigate the greenhouse effect. In: Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millennium. J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (eds.), Geoforma, Ediciones, Logroño, España. 37-51.
- López-Bellido, R., R. Lal, K. Danneberger and J. Street. 2010, january. Plant growth regulator and nitrogen fertilizer effects on soil organic sequestration in creeping bentgrass fairway turf. *Plant and Soil*, 332 (1): 247-255.
- Lorenz, K, and R. Lal. 2005. The Depth Distribution of Soil Organic Carbon in Relation to Land Use and Management and the Potential of Carbon Sequestration in Subsoil Horizons. *Advances in Agronomy*, 88: 35-66.
- Luzio, W. 2010. Suelos de Chile. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 364p.
- Martínez, E., J. P. Fuentes y E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8 (1): 68-96.

Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of soils analysis, Part 2, 2^{da} ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9: 961-1010. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.

Nijs, I and I. Impens. 1996, july. Effects of elevated CO₂ concentration and climate-warming on photosynthesis during winter in *Lolium perenne*. *Journal of Experimental Botany*, 47 (300): 915-924.

Nijs, I., R. Ferris, H. Blum, G. Hendrev and I. Impens. 1997, august. Stomatal regulation in a changing climate: a field study using Free Air Temperature Increase (FATI) and Free Air CO₂ Enrichment (FACE). *Plant, Cell & Environment*, 20 (8): 1041-1050.

Nordt, L. C., L. P. Wilding and L. R. Drees, (2000). Pedogenic carbonate transformations in leaching soil systems: Implications for the global carbon cycle. In: "Global Climate Change and Pedogenic Carbonates" (R. Lal, J. M. Kimble, H. Eswaran and B. A. Stewart, (eds.) CRC/Lewis, Boca Raton, FL. 43-64.

Ocheltree, T. W., J. B. Nippert and P. V. V. 2013, june. Stomatal responses to changes in vapor pressure deficit reflect tissue-specific differences in hydraulic conductance. *Plant, Cell and Environment*, 37 (1): 132-139.

Pouyat, R., D. Yesilonis and N. Golubiewski. 2009, march. A Comparison of Soil Organic Carbon Stock between Residential Turfgrass and native soil. *Urban Ecosystems*, 12 (1): 45-62.

Quian, Y. and R. Follet. 2002, july - august. Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long-Term Soil Testing Data. *Agronomy Journal*, 94 (4): 930-935.

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

Restrepo, J. S. Y A. F. Escobar. 2007. Evaluación de algunos parámetros fisiológicos del raygrass Bestfor (*Lolium perenne*), bajo condiciones de estrés hídrico. Informe final para optar al título de Medico Veterinario y Zootecnista, Universidad CES, Medellín, Colombia. 48p.

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

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

Schnyder, H. and F. A. Lattanzi. 2005, november. Partitioning Respiration of C₃-C₄ Mixed Communities Using the Natural Abundance C¹³ Approach – Testing Assumptions in a Controlled Environment. *Plant Biology*, 7 (6): 592-600.

Soliman, W. S., M. Fujimori, K. Tase and S. Sugiyama. 2012, may. Heat tolerance and suppression of oxidative stress: Comparative analysis of 25 cultivars of the C₃ grass *Lolium perenne*. *Environmental and Experimental Botany*, 78: 10-17.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002, august. *Plant Physiology*, 3rd Edition. 690 p.

Tominaga, Y., A. Kanazawa and Y. Shimamoto. 2004, april. Changes in the structural properties of chloroplasts and mitochondria in response to low temperature in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Japanese Society of Grassland Science*, 50 (1): 31 - 39.

Townsend-Small, A. and C. Czimczik. 2010, january. Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophysical Research Letters*, 37 (2): 1-5.

UN (United Nations), 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 32p.

van Ginkel, J. H., A. Gorissen and J. A. van Veen. 1997, january. Carbon and nitrogen allocation in *Lolium perenne* in response to elevated atmospheric CO₂ with emphasis on soil carbon dynamics. *Plant and Soil*, 188 (2): 299-308.

Watschke, T. L. 1990, february. The Environmental benefits of turfgrass and their impact on the greenhouse effect. *Golf Course Management*, 58 (2): 150-154.

Wilding, L. P. 1999. Comments on Manuscript by Lal, R., Hassan, H. M., and Dumanski, J., in Rosenberg, N. J., Izaurralde, R. C., and Malone, E. L. (eds.), Carbon Sequestration in Soils Science, Monitoring and Beyond, Battelle Press, Columbus, OH. 146-149.

Zagal, E. 1994, march. Carbon distribution and nitrogen partitioning in a soil-plant system with barley (*Hordeum vulgare* L.), ryegrass (*Lolium perenne*) and rape (*Brassica napus* L.) grown in a ¹⁴CO₂-atmosphere. *Plant and Soil*, 166 (1): 63-74.

Zan, C. S.; J. Fyles, P. Girouard and R. A. Samson. 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 *Lolium perenne* L. cv. Derby Xtreme

TECH SHEET


FINE BLADED


HEAT TOLERANT


LESS FERTILIZER


WEAR TOLERANT


DISEASE RESISTANT

QUICK FACTS

DERBY XTREME: Featured as the primary sports turf at the 2010 World Cup in South Africa, Derby Xtreme is a proven standout for high end sports fields and home lawns. Developed for increased density and rust resistance, this beautiful dark green turf is very sturdy and stands up extremely well in high traffic areas. It also has a strong resistance to gray leaf spot and other leaf spot diseases.



ADAPTATION

DERBY XTREME was developed for permanent polyspecies turfgrass blends and mixtures containing improved perennial ryegrass; Kentucky bluegrass; chewings, slender creeping and strong creeping red fescue; colonial bentgrass and turf type tall fescue. Derby Xtreme can also be used in winter overseeding blends and mixtures on greens, tees and fairways where rapid transitional qualities are desired.



Perennial Ryegrass

- DARK GREEN COLOR
- SUPERB TURF DENSITY
- STRONG WEAR TOLERANCE
- EXCELLENT TURF QUALITY
- HIGH DISEASE RESISTANCE

TRIAL DATA

2005 NTEP Trial
High Maintenance

DERBY XTREME	6.8
MACH 1	6.5
BUENA VISTA	6.3
PALMER IV	6.2
MANHATTAN V	6.1

Scale 1-9; 9=ideal

2005 NTEP Trial
% Cover after Traffic

DERBY XTREME	80.0
PICK RBI	73.3
PALMER IV	70.0
PIZZAZZ	66.7
PARAGON	66.7

Scale 1-100%

SEEDING RATE

7-10 lbs per 1,000 sq ft

Growth Habit	Estab. Rate Days	Mowing Frequency	Traffic Tol. (Birkman)	Nitrogen Required	Shade Tolerance	Cold Tolerance	Drought Tolerance	Endophyte Enhanced	Salinity Tolerance
Bunch	Fast 7-10	2x week	Very Good	Med- High	Good	Good	Average	Yes >40%	Good



SEEDS & SCIENCE

Rev. 2-1-13

PO Box 229 - Halsey, OR 97348
 tel: 541.369.2251
 fax: 541.369.2640
 toll free: 800.445.2251
 www.dfls.com
 info@intlseed.com

Figura 12. Ficha técnica del cultivar Derby Xtreme, DLF International Seeds.

ANEXO II

Ficha técnica especie *Lolium perenne* L. cv. Nobility

TECH SHEET

Nobility

Nobility is a newer perennial ryegrass selected for excellent turf quality, disease resistance, and slow-growth habit. It is recommended for use in turf areas where high quality and fine texture is desired. It is great for athletic fields, golf courses, and lawns.

Nobility has an attractive dark green color, very fine texture and narrow blade width. Winter color retention is excellent under frost, and seedling vigor is among the best. Nobility has excellent mow-ability due to its soft blade tissue. It shows good resistance to wilt damage and has excellent drought recovery. Nobility has an endophyte level above 90%.

Notable Characteristics:

- Dark Green Color
- Excellent Winter Vigor
- Drought/Disease Resistant
- Fine, Narrow-Bladed Leaves
- Ideal for Golf Courses & Lawns


Establishment & Management:
Nobility germinates and establishes quickly. A seeding rate of 5-7 lbs per 1000 sq. ft. is recommended for perennial northern use. For overseeding golf greens in the south, a rate of 30-40 lbs per 1000 sq ft is recommended. For tees, fairways, and other turf areas, the recommended rate is 5-15 lbs per 1000 sq. ft.

For most uses, a mowing height of 1/2-2 1/2 inches is best. For fine turf, Nobility should be fertilized with a complete fertilizer that supplies 4-6 lbs of actual Nitrogen per 1000 sq ft. For infrequently mowed areas such as orchards and vineyards, Nobility should be mixed with fine fescue.

Turf Performance Data - 1998 Scores	
COLOR	RATING
Genetic Color	Fair
Winter Color	Very Good
QUALITY	
Overall Turf Quality	Fair
Mowing Quality	Very Good
TRAFFIC	
Wear Tolerance	Very Good
TEXTURE/DENSITY	
Leaf Texture	Fair
Spring Density	Very Good
Summer Density	Excellent
Fall Density	Very Good
Winter Density	Excellent
ESTABLISH/GREEN-UP	
Spring Green-up	Very Good
Seedling Vigor	Very Good
Winter Kill	Excellent
Drought Tol.- wilting	Very Good
Thatch Measurements	Excellent
Fall Color	Excellent
Summer Color	Good
GROUND COVER	
Spring	Excellent
Summer	Excellent
Fall	Excellent
DISEASE RESISTANCE	
Leaf Rust	Very Good
Leaf Spot	Very Good
Brown Patch	Excellent
Dollar Spot	Very Good
Typhala Blight	Excellent
Pink Snow Mold	Excellent
Fusarium Patch	Excellent
Pythium Blight	Fair
Red Thread	Very Good
% Red Thread	Excellent

The NTEP uses a rating system and statistical analysis to score grasses. For ease of use we have categorized this data into Excellent, Very Good, Good, and Fair ratings. For complete details visit www.ntep.org.

PO Box 318
32727 Hwy. 99E
Tangent, OR 97389
Telephone: 541/928-1651
Toll Free: 800/547-3230
Fax: 541/928-2430
www.ampacseed.com




(rev 7/02)

Figura 13. Ficha técnica del cultivar Nobility, AMPAC Seed Company.

ANEXO III

Ficha técnica especie *Lolium perenne* L. cv. Premier II



PREMIER II

perennial ryegrass


Lolium perenne

PLANT CHARACTERISTICS

Premier II turf-type perennial ryegrass is a versatile grass with excellent dark green color, very quick spring greenup and a very fine leaf blade. It forms a very dense turf and displays great adaptability to a wide range of soil conditions. Premier II consistently rates high for turf quality, disease resistance, density, color, and low mowing quality.

SEEDING AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS

- ▶ **SEEDING RATE:**
 - ▶ Fairways: Seed 300 to 400 lbs. per acre
 - ▶ Greens: 30 to 35 lbs. per 1,000 sq. ft.
 - ▶ Tees and Aprons: Overseed at about 15 to 20 lbs. per 1,000 sq. ft.
 - ▶ Winter Overseeding: 400 to 800 lbs. per acre or 10 to 20 lbs. per 1,000 sq. ft.
 - ▶ Lawns and other areas: 5 to 15 lbs. per 1,000 sq. ft.
- ▶ **GERMINATION & ESTABLISHMENT:** Keep seedbed moist to enhance germination. Under ideal conditions, germination should begin within 3 to 7 days and be complete within 15 days. The stand will be well established in 21 days.
- ▶ **FERTILIZATION:** For optimum results apply 0.50 to 0.75 lbs. of N/1,000 sq. ft. per application during the growing season. Requires 3 to 6 lbs. N/1,000 sq. ft. per year. The fertilization rate will vary depending on the growing season and the usage of the grass.
- ▶ **MOWING:** Performs best at 1 to 2 inches. Will tolerate mowing to ½ inch under high maintenance conditions. Do not remove more than 1/3 of total plant height with each mowing.
- ▶ **WATERING:** After establishment, a deep watering program is recommended to improve root depth. Irrigate according to turfgrass needs for your geographical area.



Great in Grass®
800.547.4101 phone
541.926.9435 fax
www.barusa.com

TRIAL DATA

TURF QUALITY - FAIRWAYS

GRAND SLAM	6.0
PREMIER II	5.6
BRIGHTSTAR II	5.6
PALMER III	5.5
MANHATTAN 3	5.4
BUCCANEER	5.2
LSD (0.05)	0.3

TURF QUALITY - HOME LAWNS

MACH 1	6.3
PREMIER II	5.7
JET	5.7
MAJESTY	5.6
PENNANT II	5.4
PALMER III	5.1
LSD (0.05)	0.3

LEAF TEXTURE

PINNACLE II	6.9
PREMIER II	6.4
BRIGHTSTAR II	6.3
PENNANT II	6.3
PHANTOM	6.0
BUCCANEER	5.6
LSD (0.05)	0.3

SUMMER DENSITY

PENTIUM	7.3
PREMIER II	7.0
EKACTA	6.9
MANHATTAN 3	6.8
MAJESTY	6.7
PALMER III	6.6
LSD (0.05)	0.4

WINTER COLOR

PARAGON	6.3
PREMIER II	5.3
MACH 1	5.3
PALMER III	4.7
BRIGHTSTAR II	4.3
MAJESTY	4.0
LSD (0.05)	1.3

BROWN PATCH (WARM TEMPERATURE)

PIZZAZZ	8.3
PREMIER II	6.3
APPLAUD	5.7
JET	5.7
PHANTOM	4.3
PALMER III	3.3
PENNANT II	2.3
LSD (0.05)	2.2

Comparisons between commercially available varieties from 1999 NTEP, Progress Report 2001. Tables contain a select number of entries.

Distributed by:

TECH SPECS

Figura 14. Ficha técnica del cultivar Premier II, BARENBRUG Great in Grass.

ANEXO IV

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	dS/m	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 ₃)	mg/l	540		< 140 > 320
Cationes y aniones (meq/l)				
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 ₄)	meq/l	5,9		
Bicarbonato (HCO ₃)	meq/l	4,5		< 1,5 > 8,5
Cationes y aniones (mg/l)				
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 ₄)	mg/l	283	250	
Bicarbonato (HCO ₃)	mg/l	275		< 90 > 500
Otras determinaciones				
N-Amoniacal (NH ₄)	mg/l	2,4		
N-Nítrico (NO ₃)	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 15. Información de análisis de agua efectuada por el Laboratorio AGROLAB.

ANEXO V

Informe de resultados análisis de suelo Laboratorio AGROLAB


		LABORATORIO AGRICOLA ANALISIS DE SUELO - FOLIAR - AGUA	
INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 74.088			
ANALISIS SUELO			
Productora : Anasac Ambiental S.A.	Empresa : Anasac		
Predio :	Remite : Ignacio Humeres		
Provincia : Cordillera	Fecha muestreo : 09-03-2010	F.ingreso : 12-03-2010	
Comuna : Pirque	Fecha análisis : 12-03-2010	F.informe : 22-03-2010	
Localidad : Pirque			
Pag. 1/1			
Identificación Cuartel :	Pirque		
Profundidad muestreo(cm) :			
Nº de Laboratorio :	118496		
Fertilidad			
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
Textura			
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 16. Información de análisis de suelo efectuada por el Laboratorio AGROLAB.

APÉNDICE I

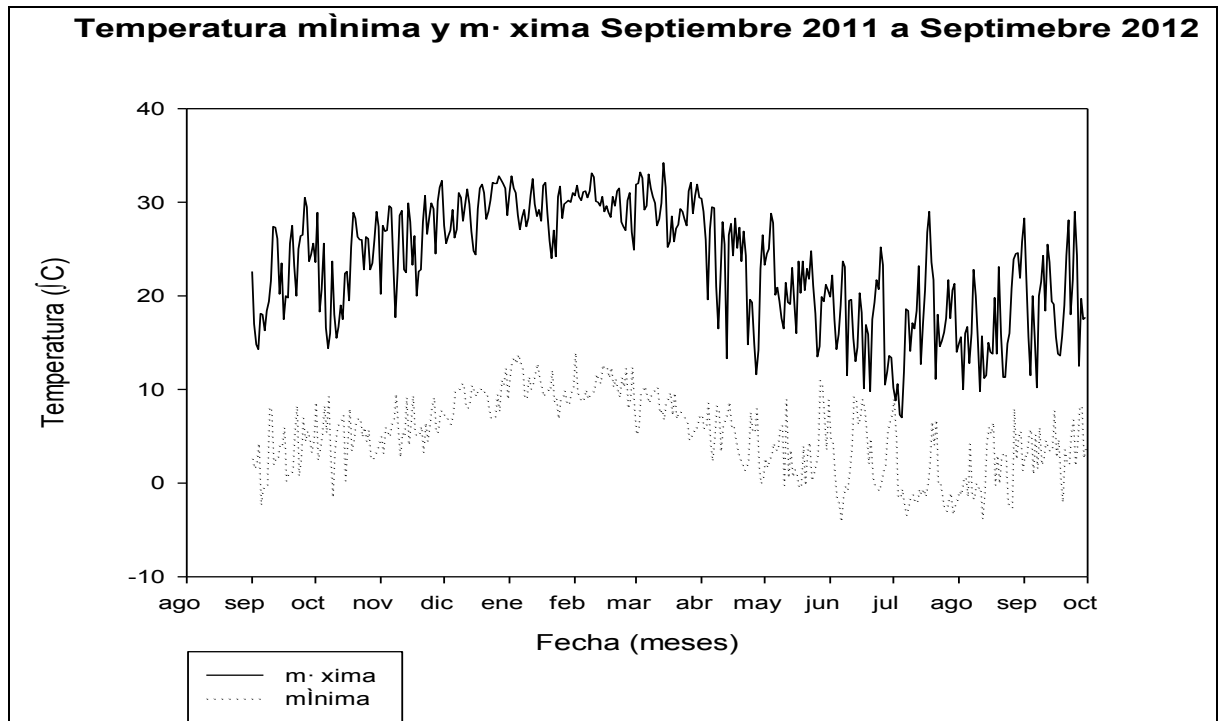
Temperaturas máximas y mínimas registradas en el lugar del ensayo durante la temporada Septiembre 2011 y Septiembre 2012

Figura 17. 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.

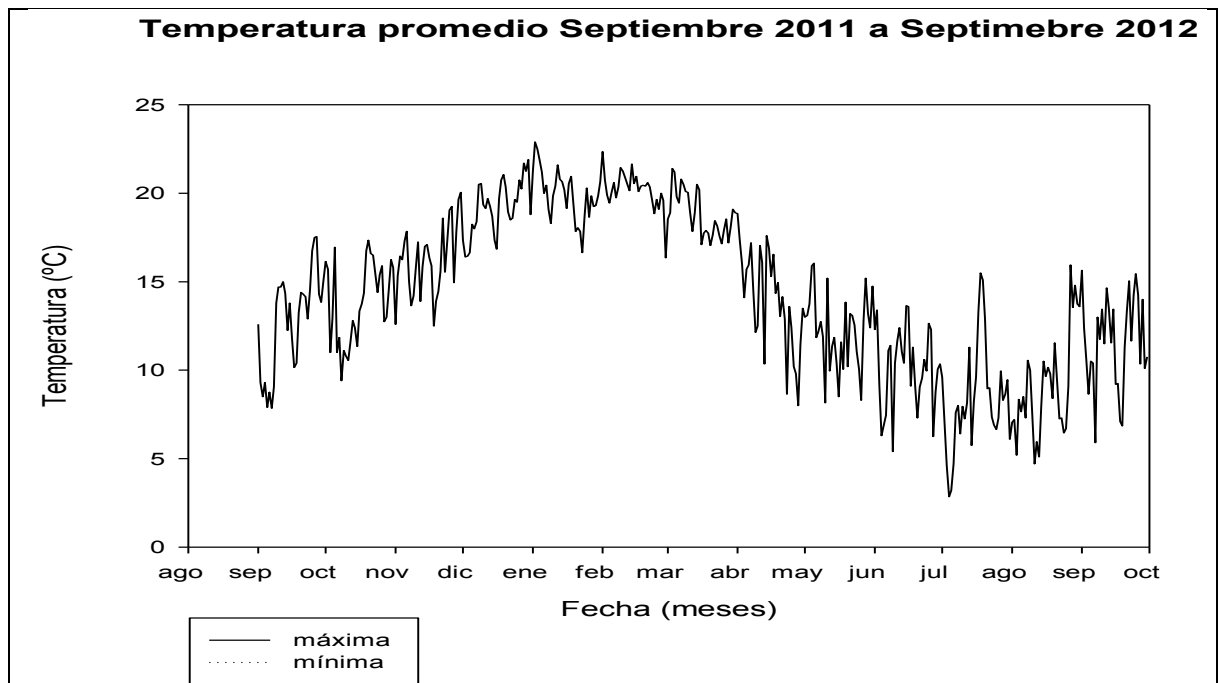


Figura 18. Temperatura atmosférica promedio registrada durante septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque.

APÉNDICE III

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

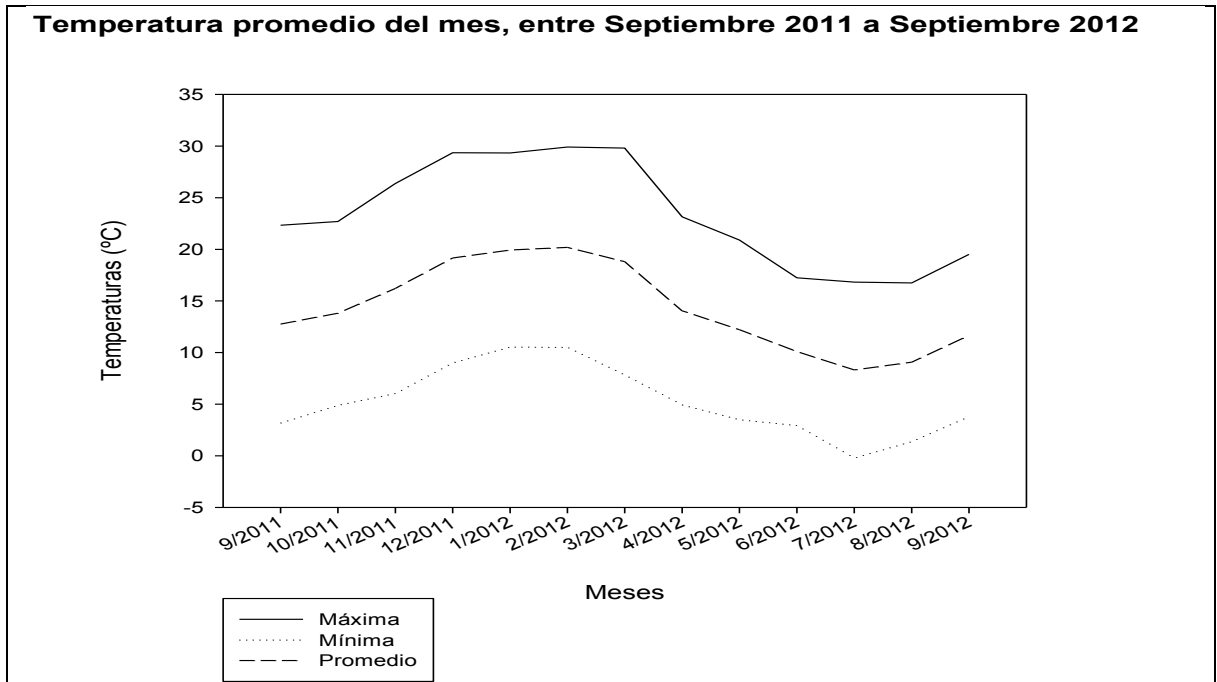


Figura 19. Temperatura atmosférica promedio mensual registrada durante septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque.

APÉNDICE IV

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

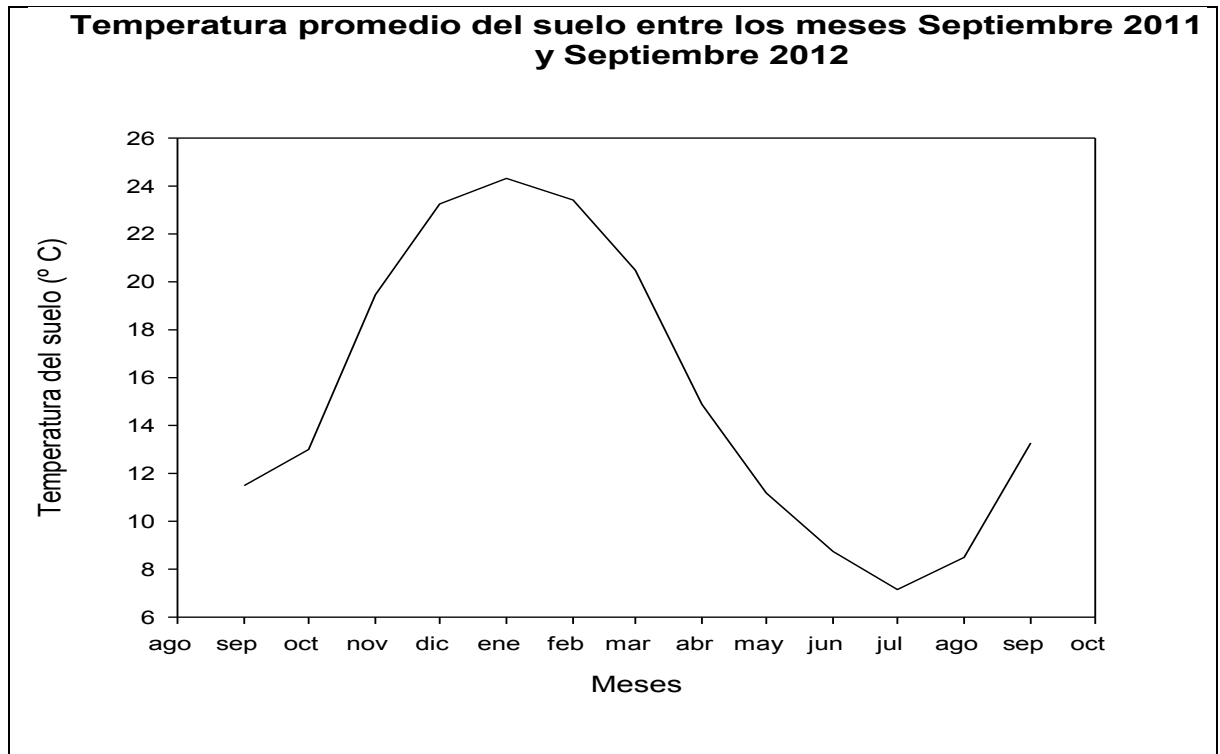


Figura 20. Temperatura promedio del suelo registrada durante septiembre 2011 y septiembre 2012, en la localidad de Pirque.

APÉNDICE V

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

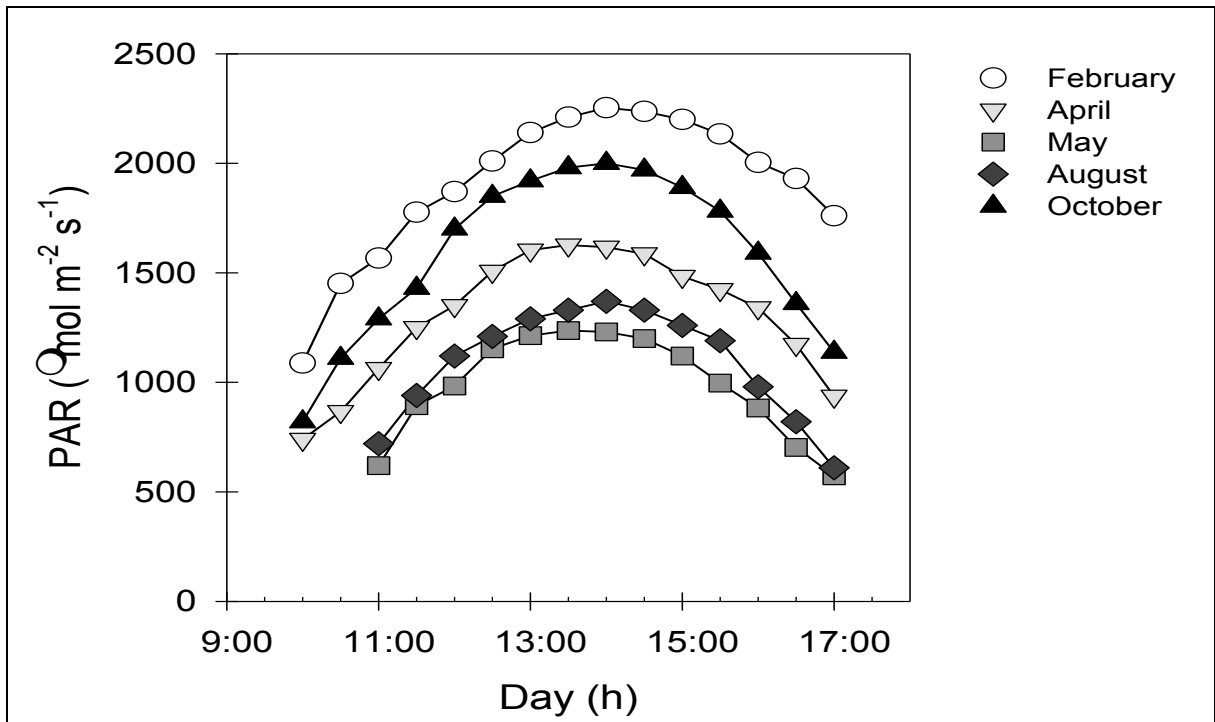


Figura 21. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) censada durante distintos meses del año en la localidad de Pirque.

APÉNDICE VI

Promedios de CO en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.

Cuadro 1. Medias de CO en tres profundidades de suelo, durante la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 30			
	t CO ha ⁻¹					
Derby Xtreme	1,015 ± 0,105	a	0,826 ± 0,120	a	0,739 ± 0,240	a
Nobility	0,982 ± 0,317	a	0,759 ± 0,100	a	0,766 ± 0,124	a
Premier II	1,096 ± 0,210	a	0,878 ± 0,108	a	0,564 ± 0,182	a
Suelo Desnudo	0,892 ± 0,109	a	0,729 ± 0,132	a	0,475 ± 0,169	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE VII

Promedios de CO en las tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.

Cuadro 2. Medias de CO en tres profundidades de suelo, durante la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 30			
	t CO ha ⁻¹					
Derby Xtreme	0,731 ± 0,198	a	0,796 ± 0,026	a	0,647 ± 0,032	a
Nobility	0,835 ± 0,153	a	0,869 ± 0,240	a	0,668 ± 0,346	a
Premier II	0,850 ± 0,137	a	0,884 ± 0,260	a	0,746 ± 0,220	a
Suelo Desnudo	0,584 ± 0,160	a	0,488 ± 0,158	a	0,447 ± 0,029	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE VIII

Promedios de COS durante las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Cuadro 3. Medias de COS, durante las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t CO ha ⁻¹	
Derby Xtreme	2,581 ± 0,377 a	2,174 ± 0,189 a
Nobility	2,508 ± 0,444 a	2,372 ± 0,422 a
Premier II	2,442 ± 0,511 a	2,479 ± 0,377 a
Suelo Desnudo	2,096 ± 0,232 a	0,949 ± 0,740 a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

APÉNDICE IX

Promedios de CO en la biomasa aérea de los tres cultivares de *Lolium perenne* L. durante las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012.

Cuadro 4. Medias de CO en biomasa aérea en tres cultivares de *L. perenne* L. durante la temporada primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t CO ha ⁻¹	
Derby Xtreme	0,103 ± 0,075 a	0,217 ± 0,037 a
Nobility	0,450 ± 0,298 a	0,434 ± 0,101 a
Premier II	0,158 ± 0,030 a	0,523 ± 0,289 a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

APÉNDICE X

Promedios de CO el perfil de suelo más la biomasa aérea de los tres cultivares de *Lolium perenne* L. durante las temporadas de primavera 2011 y otoño 2012.

Cuadro 5. Medias de CO del suelo y de la biomasa aérea de tres cultivares de *L. perenne* L. durante la temporada primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada		t CO ha ⁻¹	
	Primavera 2011	Otoño 2012		
Derby Xtreme	2,683 ± 0,306	a	2,390 ± 0,156	ab
Nobility	2,958 ± 0,373	a	2,805 ± 0,474	a
Premier II	2,695 ± 0,367	a	3,002 ± 0,662	a
Suelo Desnudo	2,096 ± 0,232	a	1,519 ± 0,256	b

Medias unidas por letras diferentes en sentido vertical presentan diferencias significativas según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE XI

Promedios de CI en tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.

Cuadro 6. Medias de CI en tres profundidades del suelo, durante la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm)			t CI ha ⁻¹	
	0 - 10	10 - 20	20 - 30		
Derby Xtreme	0,213 ± 0,106	a	0,175 ± 0,080	0,137 ± 0,053	a
Nobility	0,181 ± 0,040	a	0,198 ± 0,050	0,184 ± 0,067	a
Premier II	0,215 ± 0,027	a	0,138 ± 0,015	0,177 ± 0,060	a
Suelo Desnudo	0,220 ± 0,032	a	0,196 ± 0,045	0,163 ± 0,033	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE XII

Promedios de CI en tres profundidades del suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.

Cuadro 7. Medias de CI en tres profundidades del suelo, durante la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm)			t CI ha ⁻¹	
	0 - 10	10 - 20	20 - 30		
Derby Xtreme	0,253 ± 0,054	a	0,248 ± 0,037	0,238 ± 0,023	a
Nobility	0,232 ± 0,013	a	0,252 ± 0,060	0,178 ± 0,091	a
Premier II	0,149 ± 0,077	a	0,219 ± 0,088	0,170 ± 0,111	a
Suelo Desnudo	0,199 ± 0,088	a	0,201 ± 0,094	0,298 ± 0,141	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

APÉNDICE XIII

Promedios de CIS durante las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Cuadro 8. Medias de CIS, en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada		t CI ha ⁻¹	
	Primavera 2011	Otoño 2012		
Derby Xtreme	0,525 ± 0,148	a	0,739 ± 0,053	a
Nobility	0,564 ± 0,156	a	0,662 ± 0,107	a
Premier II	0,530 ± 0,051	a	0,538 ± 0,094	a
Suelo Desnudo	0,579 ± 0,030	a	0,697 ± 0,198	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

APÉNDICE XIV

Promedios de CT en las tres profundidades de suelo analizadas durante la temporada de primavera 2011.

Cuadro 9. Medias de CT en tres profundidades del suelo, durante la temporada primavera 2011.

Tratamiento	Profundidad (cm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 30			
	t CT ha ⁻¹					
Derby Xtreme	1,228 ± 0,033	a	1,002 ± 0,153	a	0,876 ± 0,293	a
Nobility	1,163 ± 0,356	a	0,958 ± 0,086	a	0,950 ± 0,189	a
Premier II	1,311 ± 0,196	a	0,920 ± 0,194	a	0,741 ± 0,230	a
Suelo desnudo	1,112 ± 0,141	a	0,924 ± 0,175	a	0,638 ± 0,200	a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE XV

Promedios de CT en las tres profundidades de suelo analizadas durante la temporada de otoño 2012.

Cuadro 10. Medias de CT en tres profundidades del suelo, durante la temporada otoño 2012.

Tratamiento	Profundidad (cm)					
	0 - 10	10 - 20	20 - 30			
	t CT ha ⁻¹					
Derby Xtreme	0,982 ± 0,242	a	1,043 ± 0,470	a	0,885 ± 0,021	a
Nobility	1,068 ± 0,166	a	1,121 ± 0,182	a	0,845 ± 0,389	a
Premier II	0,998 ± 0,212	a	1,103 ± 0,242	a	0,916 ± 0,293	a
Suelo Desnudo	0,547 ± 0,376	a	0,507 ± 0,037	b	0,592 ± 0,340	a

Medias unidas por letras diferentes en sentido vertical presentan diferencias significativas según la prueba LSD de Fisher (p<0,05).

APÉNDICE XVI

Promedios de CT en suelo entre las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Cuadro 11. Medias de CT en las temporadas primavera 2011 y otoño 2012.

Tratamiento	Temporada	
	Primavera 2011	Otoño 2012
	t CT ha ⁻¹	
Derby Xtreme	3,105 ± 0,308 a	2,913 ± 0,243 a
Nobility	3,071 ± 0,585 a	3,034 ± 0,480 a
Premier II	2,972 ± 0,560 a	3,017 ± 0,283 a
Suelo Desnudo	2,674 ± 0,263 a	1,646 ± 0,937 a

Medias unidas por letras iguales en sentido vertical son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).