



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado  
para Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”  
Modalidad: Proyecto

**CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN Y  
PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORRAJERA EN UN  
SISTEMA SILVOPASTORIL**

**FORAY, Jéssica Belén**  
**D.N.I.: 32.080.937**

**Director:** Ing. Agr. M.Sc. Plevich José O.

**Co-Director:** Ing. Agr. Fiandino Santiago I.

**Río Cuarto – Córdoba**

**Diciembre 2016**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Caracterización de la radiación y producción de biomasa forrajera en un sistema silvopastoril”

Autor: Foray, Jéscica Belén  
DNI: 32.080.937

Director: Ing.Agr. M.Sc. Plevich José O.  
Co-Director: Ing. Agr. Fiandino Santiago I.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. Salusso Fabricio \_\_\_\_\_

Ing. Agr. Bonvillani M. Julieta \_\_\_\_\_

Ing. Agr. José Omar Plevich \_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Secretario Académico

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres Juan José y Elizabeth, a mis hermanos y abuela Dominga, por el apoyo y cariño que me brindaron durante este camino de formación académica.

También quiero dedicar este trabajo a mis abuelos, Hugo, Bartolo y Esther, que ya no están aquí conmigo, pero siempre están presentes en mi corazón en cada momento importante de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias mi adorada Santa Rita de Casia, por acompañarme en todo momento.

Gracias a toda mi familia, por su amor incondicional.

Gracias a mis amistades, las de la vida y a aquellas que me dio esta maravillosa carrera, por su compañía principalmente en los momentos más difíciles.

Agradezco muy especialmente a mi director José Plevich y co-director Santiago Fiandino, por el tiempo y dedicación que me brindaron para poder realizar este trabajo final, mostrando siempre buena predisposición ante las permanentes consultas realizadas, gracias por compartir su sabiduría conmigo.

Gracias a la Universidad Nacional de Río Cuarto y sus docentes, por la formación brindada.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE IMAGENES</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
-Objetivo general	<b>4</b>
-Objetivos específicos	<b>4</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>5</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>11</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>26</b>
<b>ANEXO TABLAS</b>	<b>29</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Radiación media medida en la parcela testigo, en los distintos horarios del día y para las estaciones Otoño, Invierno y Primavera.	<b>29</b>
<b>Tabla 2:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas horas del día y según las exposiciones Norte y Sur.	<b>29</b>
<b>Tabla 3:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas horas del día.	<b>30</b>
<b>Tabla 4:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas horas del día.	<b>30</b>
<b>Tabla 5:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas posiciones.	<b>31</b>
<b>Tabla 6:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas posiciones.	<b>31</b>

**Tabla 7:** Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas 32  
posiciones.

**Tabla 8:** EUR (gMS/mol RFA interceptada), según las exposiciones Norte y Sur y según 32  
las posiciones CC y LC para los meses de mayo y noviembre.

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema del diseño de parcelas divididas.	7
<b>Figura 2:</b> Variación de la $E_i$ para <i>Bromus catharticus</i> en los días posteriores a la siembra.	9
<b>Figura 3:</b> Producción de biomasa media para cada sistema considerando la media entre 11 los dos cortes realizados.	
<b>Figura 4:</b> Distribución anual de precipitaciones para el año 2011, en el paraje La 12 Aguada.	
<b>Figura 5:</b> Dinámica de la producción de Biomasa aérea de <i>Bromus catharticus</i> , media, 13 dentro del sistema silvopastoril y en la situación testigo para los meses de mayo y noviembre.	
<b>Figura 6:</b> Dinámica de la producción de Biomasa aérea de <i>Bromus catharticus</i> , media, 14 dentro del sistema silvopastoril para las exposiciones Norte y Sur y para las posiciones cerca de copa (CC) y lejos de copa (LC).	
<b>Figura 7:</b> Dinámica de la RFA media medida en la parcela testigo, para los distintos 16 horarios del día y para las estaciones de Otoño, Invierno y Primavera.	
<b>Figura 8:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas 17 horas del día y según las exposiciones Norte y Sur.	
<b>Figura 9:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas 18 horas del día, en el SSP y en el testigo.	
<b>Figura 10:</b> Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas 19 horas del día, en el SSP y en el testigo	
<b>Figura 11:</b> Dinámica de la distribución espacial de la RFA para el mes de abril (A), junio 20 (B) y noviembre (C) según las distintas posiciones dentro del callejón.	
<b>Figura 12:</b> Dinámica de la EUR en la situación testigo, para los meses de mayo y 22 noviembre	
<b>Figura 13:</b> Dinámica de la EUR para las distintas posiciones dentro del callejón, para los 23 meses de mayo y noviembre.	

## INDICE DE IMÁGENES

**Imagen 1:** Imagen satelital del establecimiento Pozo del Carril, donde se ha delimitado el área destinada a los ensayos de sistemas silvopastoriles. 6

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar los niveles de radiación solar y la producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus* en un sistema silvopastoril (SSP). El ensayo se desarrolló durante la temporada de otoño-invierno-primavera del año 2011, utilizando como componente leñoso a la especie forestal *Quercus robur*, y como especie forrajera cebadilla. Dentro del SSP se establecieron dos parcelas principales (exposición Norte y Sur) y subparcelas (hasta 5 metros desde el fuste de los árboles y de 5 a 10 metros desde el fuste). También se consideró un testigo, sin árboles. Dentro de las subparcelas se tomaron muestras de biomasa aérea de cebadilla en el mes de mayo y noviembre y en cada uno de estos puntos, en los meses de abril, junio y noviembre se determinaron los niveles de Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). Con los datos de RFA y de biomasa se calculó la Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR) de la herbácea. El SSP recibió mayor porcentaje de RFA en primavera. La exposición Norte fue la que más RFA recibió, mientras que, las posiciones más cercanas al fuste de los árboles en la exposición Sur fueron las más sombreadas. La producción de biomasa de cebadilla dentro del SSP fue superior en mayo con 2463,2 KgMS/ha, en este mismo mes, el testigo y el SSP tuvieron la misma producción. En noviembre, en cambio, la producción de biomasa fue superior dentro del SSP con 1086,8 KgMS/ha, mientras que en el testigo la biomasa fue de 618,4 KgMS/ha. La EUR de cebadilla en el testigo fue mayor durante el primer pastoreo. Dentro del SSP, las posiciones que estuvieron expuestas a menor grado de sombreadamiento son las que tuvieron menor EUR, tanto en primero y segundo pastoreo. Esto indica que la RFA no puede explicar completamente la producción de materia seca de cebadilla.

Palabras claves: Sistema Silvopastoril, Radiación, Biomasa, Eficiencia en el Uso de la Radiación.



## SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the levels of solar radiation and biomass production of *Bromus catharticus* in a Silvopastoral System (SPS). The assay was developed during the autumn-winter-spring of 2011, using component woody forest species *Quercus robur*, and as a forage species rescuegrass. Within the SPS two main plots (North and South exposure) and subplots were established (up to 5 meters from the shaft of the trees and 5 to 10 meters from the shaft). A witness, treeless was also considered. Among the subplots air samples were taken rescuegrass biomass in may and november and in each of these points, in the months of april, june and november levels Photosynthetically Active Radiation (PAR) were determined. With data from PAR and biomass Efficiency was calculated in the Use of Radiation (EUR) of the herb. The SPS perceived higher percentage of PAR in spring. Northern exposure was the most PAR received, while those closest to the shaft of the trees in the South were the most exposure shaded positions. Biomass production within the SPS rescuegrass was higher in may 2463.2 KgDM/Ha, in this month, the witness and the SPS had the same biomass production. In november, however, biomass production was higher in the SPS with 1086.8 KgDM/Ha, while in the witness biomass was 618.4 KgDM/Ha. The EUR rescuegrass in the witness was higher during the first grazing. Within the SPS, positions that were exposed to low degree of shading, are those that were less EUR, both first and second grazing. This indicates that PAR can not fully explain the production of dry matter rescuegrass.

Key words: Silvopastoral System, Radiation, Biomass, Efficiency in the Use of Radiation.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Silvopastoriles combinan árboles, ganado doméstico y forrajeras (Von Maydell, 1985). Shelton *et al.*, (1987) sostienen que el principal factor limitante para el crecimiento de pasturas en sistemas silvopastoriles es el nivel de sombra ejercido por los árboles y arbustos. Si bien en la mayoría de las situaciones la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol (Horne y Blair, 1991) no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución.

El sombreado también puede provocar cambios morfológicos y fenológicos en las especies forrajeras, los cuales funcionan como mecanismos de adaptación a la baja incidencia de radiación solar. En términos generales, el sombreado tiene un efecto más marcado sobre la tasa de crecimiento de las plantas forrajeras con ciclo fotosintético tipo C4 (gramíneas tropicales) que las tipo C3 (gramíneas de zona templada y leguminosas) (Tieszen, 1983; Sanderson *et al.*, 1997).

Las hojas de las especies C4 no muestran saturación ni aún con luz solar plena y pueden tener tasas fotosintéticas máximas de más del doble que las hojas de las especies C3 (a temperaturas óptimas para cada una de ellas). Sin embargo, el intercambio neto de carbono de la especie C3 es levemente superior con bajas irradiancias y el punto de compensación lumínica no difiere entre ambas especies, ya que el mismo varía principalmente con la tasa de respiración en oscuridad. Por lo tanto, en ambientes con baja irradiancia (debajo de un canopy, zonas con mucha nubosidad, piso de un bosque, etc.) las especies C4 no tendrán ventajas en la fijación neta de carbono con respecto a las C3, considerando que ambas están en condiciones óptimas de temperatura (García, 1997).

Tieszen (1983) especula que plantas C4, por su mejor desempeño fotosintético a pleno sol, serían las más indicadas para el estrato superior, mientras que plantas C3, fisiológicamente adaptadas a las condiciones de poca radiación, deberían preferencialmente componer el estrato inferior.

El grado de sombreado ejercido por las leñosas varía con la morfología de la planta (ej. características de la copa y altura), la edad, la densidad y distribución espacial de los árboles respecto al estrato herbáceo, fertilidad del suelo y la inclinación de los rayos solares (Reynolds, 1995), siendo esta última función de la hora del día y de la época del año.

Entre las leñosas y las herbáceas las interacciones que se producen pueden ser directas, a partir de la competencia por el uso de los principales recursos: luz, agua y nutrientes, o indirectas a través de la facilitación, cuando la leñosa modifica las condiciones micro-ambientales afectando la utilización de recursos de la herbácea (Callaway y Walker, 1997). La respuesta de cada elemento del sistema ante una práctica de manejo aplicada en una situación ambiental dada, dependerá del balance de las múltiples interacciones que se producen a la vez. Así, es de particular relevancia el balance entre la competencia y la facilitación que ocurre entre los componentes (Holmgren *et al.*, 1997; Callaway y Walker, 1997; Bertness y Callaway, 1994; Pugnaire y Luque, 2001). Las interacciones de facilitación predominan a medida que se incrementa el estrés causado por factores abióticos, de los cuales la aridez es la condición más ampliamente estudiada.

La complementariedad en el uso de los recursos entre el estrato herbáceo y el componente leñoso en este tipo de sistemas es la llave de su éxito y puede verse favorecido mediante la elección de especies forestales y forrajeras que posean una fenología complementaria (Ong and Leakey, 1999; Roupsard *et al.*, 1999). En ese sentido, la combinación de especies forrajeras templadas con árboles caducifolios favorece a las especies C3, debido a que estas expresan su mayor crecimiento desde el otoño hasta primavera tardía, momento en el cual los árboles se encuentran sin hojas, llevando a la dominancia de éstas en el estrato herbáceo (Clavijo *et al.*, 2005).

La luz que atraviesa el canopeo de los Robles (*Quercus robur*) experimenta cambios en su intensidad como resultado de la reflectancia, absorbancia y transmitancia (Fang *et al.*, 1997). Esta variación de intensidad determina cambios en la arquitectura y productividad del estrato herbáceo subyacente. Estas variables están también modificadas por el espectro de radiación determinado por la relación rojo/rojo lejano (Deregibus *et al.*, 1985). En estos sistemas, conocer la radiación disponible para las plantas o los niveles de sombra generada por los árboles, así como las respuestas morfológicas, fisiológicas y productivas bajo diferentes condiciones lumínicas de las especies forrajeras que mejor se adapten a estas condiciones, es importante para diseñar sistemas silvopastoriles.

En este contexto, el propósito de este trabajo final de grado es evaluar la influencia de la intensidad de la radiación incidente sobre la producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus*, en un sistemas silvopastoril *Quercus robur* - *Bromus catharticus*.

## **HIPÓTESIS**

El desfase temporal entre el crecimiento activo de *Quercus robur* (crecimiento primavero estival) y de *Bromus catharticus* (crecimiento otoño invernal) permite que la herbácea cuente con la cantidad de Radiación Fotosintéticamente Activa necesaria para expresar la producción de biomasa que le otorgan los factores de crecimiento (agua y nutrientes) del sitio bajo estudio, logrando la combinación óptima para un sistema silvopastoril.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Determinar los niveles de radiación solar y la producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus* “Cebadilla criolla” en un sistema silvopastoril.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Determinar la producción de biomasa forrajera estacional de *Bromus catharticus* a diferentes distancias del fuste de los árboles en callejones de un sistema silvopastoril.
- ❖ Realizar un relevamiento cuantitativo de la Radiación Fotosintéticamente Activa a diferentes distancias del fuste de los árboles en el callejón de un sistema silvopastoril para el período otoño –invierno –primavera.
- ❖ Analizar la Eficiencia del Uso de Radiación de *Bromus catharticus*, creciendo en sistemas silvopastoriles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del ensayo.

El ensayo se llevó adelante en el campo de docencia y experimentación Pozo del Carril, ubicado a los 32° 58' LS y 64° 40' LO, a 550 m.s.n.m, y a 3 Km aproximadamente del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica llanura chacopampeana y dentro de ella se encuentra la asociación geomorfológica faja eólica ondulada periserrana (Cantero *et al.*, 1998).

El ensayo se desarrolló sobre tierras de capacidad de uso IIIec, donde los suelos Hapludoles típicos están sujetos a procesos de erosión hídrica en forma laminar o en manto. La condición estructural del perfil muestra un elevado grado de deterioro, el cual se manifiesta a través de la compactación subsuperficial y desagregación superficial (Bricchi *et al.*, 1991).

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80% de las lluvias concentradas en el periodo octubre-abril) y con una precipitación media anual de 850 mm. El balance hídrico presenta un déficit entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvias. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El sistema silvopastoril bajo estudio (Imagen 1) fue establecido en el año 1998, utilizando como componente leñoso a la especie forestal *Quercus robur* "Roble". Este sistema fue diseñado para el pastoreo en callejones, en consecuencia, se ubicó a la leñosa en cortinas paralelas constituidas por dos hileras de árboles dispuestos en un marco de plantación de 2 x 2 m. Estas cortinas fueron distanciadas por callejones de 21 m, en donde, año a año, se sembraron diferentes especies forrajeras: *Medicago sativa* (1999-2001), *Avena sativa* (2001), *x Triticosecale* (2002), *Avena sativa* (2003), *Triticum aestivum* (2004-2005), barbecho (2006), *Bromus catharticus* (2007), *Medicago sativa- Bromus catharticus* (2008-2009), *Bromus catharticus* (2010). A fines de marzo de 2011 se resembró *Bromus catharticus*.

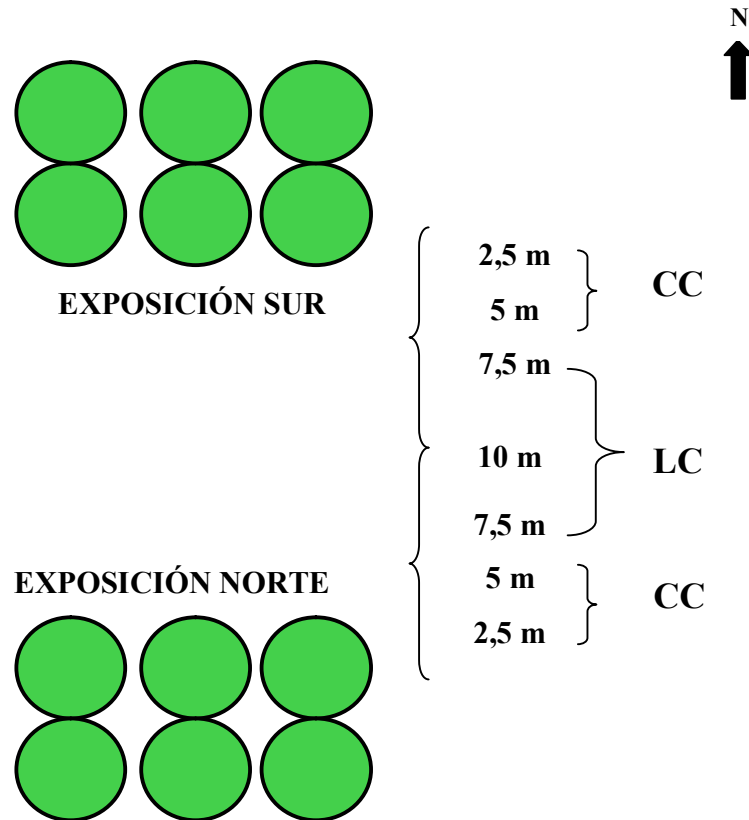


**Imagen 1:** Imagen satelital del establecimiento Pozo del Carril (verde), donde se ha delimitado el área destinada a los ensayos de sistemas silvopastoriles (amarillo).

### **Determinación de la producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus* a diferentes distancias desde el fuste de los árboles.**

Para la determinación de la producción de biomasa aérea se estableció un diseño de parcelas divididas (Fig. 1). Para ello, dentro del sistema silvopastoril se establecieron parcelas principales, dividiendo el callejón en dos partes: 1) al norte de las filas de árboles (Exposición N) y 2) al sur de las mismas (Exposición S). Dentro de las parcelas principales se establecieron dos subparcelas en relación a la distancia entre el punto de muestreo y el fuste de los árboles: 1) hasta 5 metros desde el fuste (cercana a la copa o CC) y 2) de 5 a 10 metros desde el fuste (lejana a la copa o LC). También se consideró un testigo, en un sector sin árboles. Dentro de cada subparcela se tomaron dos muestras de biomasa aérea de cebadilla, cortando al ras del suelo el total de la biomasa circunscrita en un área de muestreo de 1 m<sup>2</sup> de superficie. El experimento, conto con cuatro repeticiones, los cortes de biomasa fueron realizados en los meses de mayo y noviembre. Luego del primer corte se realizo un pastoreo de las 10 has que comprende el SSP con el rodeo de cría del establecimiento con el fin de remover la biomasa producida; el tiempo de ocupación del lote por los animales fue de 20 días aproximadamente. El tamaño de la parcela principal fue de 210 m<sup>2</sup> y el de las subparcelas de 52 m<sup>2</sup>. Los datos fueron tratados

estadísticamente mediante un análisis de varianza y las diferencias significativas entre los tratamientos fueron determinadas mediante el test de DGC (INFOSTAT, 2010).



**Figura 1:** Esquema del diseño de parcelas divididas: parcelas principales, exposición norte y sur y subparcelas, cercana a copa (CC) y lejana a copa (LC).

**Relevamiento cuantitativo de la Radiación Fotosintéticamente Activa a diferentes distancias desde el fuste de los árboles.**

Para analizar los niveles de Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) incidente sobre la canopia de la cebadilla, al igual que en la toma de datos de biomasa se estableció un diseño de parcelas divididas, pero en este caso debido a la alta variabilidad de la radiación la cantidad de subparcelas fue mayor. Las parcelas principales correspondieron a las exposiciones norte y sur (N y S) y las subparcelas a cuatro distancias desde el fuste: 2,5; 5; 7,5 y 10 m. De todas las mediciones realizadas para la temporada de análisis (otoño, invierno y primavera del 2011) solo se pudieron utilizar las correspondientes al 17 de abril, el 19 de junio y el 20 de noviembre, que fueron los días que se encontró radiación plena, sin interferencias de nubes. La Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) instantánea ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) por el estrato herbáceo



se midió desde las 10 h hasta las 18 h mediante un ceptómetro LI-COR (Radiation Sensor), tomando una medición por hora por encima del canopeo de la herbácea. De la misma manera en que se analizaron los datos de biomasa aérea de cebadilla, la cantidad de Radiación Fotosintéticamente Activa que llegó diariamente a cada parcela principal (exposición) y a cada subparcela (distancia desde el fuste) fue analizada a través de un análisis de varianza, y las diferencias entre los tratamientos fueron determinadas mediante el test de DGC (INFOSTAT, 2010).

### **Análisis de la Eficiencia en el Uso de Radiación de *Bromus catharticus* dentro del sistema silvopastoril.**

La determinación de la eficiencia del uso de la radiación (EUR) se realizó mediante una adaptación de la ecuación propuesta por Cárcova *et al.* (2003) descripta a continuación:

$$EUR = \frac{B}{R_{inc} * E_i * n}$$

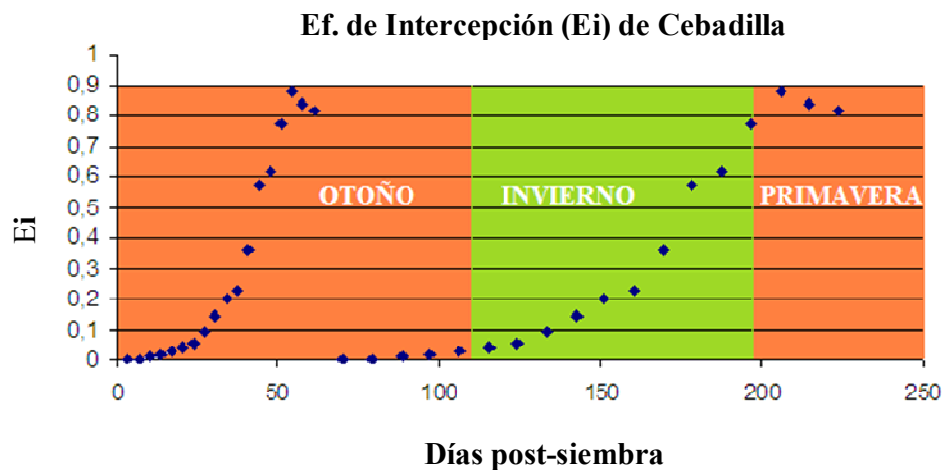
Donde B= Biomasa del cultivo (g/m<sup>2</sup>); n= Duración del periodo de crecimiento (días); R<sub>inc</sub>= RFA incidente diaria (mol/m<sup>2</sup>); E<sub>i</sub>= Eficiencia de Intercepción de la Radiación diaria; EUR= Eficiencia del uso de la radiación (gramos de biomasa producido por moles interceptados, g/mol).

La EUR fue calculada para las distintas combinaciones de exposición (N y S) y distanciamiento desde el fuste de los arboles (2,5; 5; 7,5 y 10 m). La combinación entre los factores exposición y distanciamiento dentro de cada subparcela fue denominada posición, a las cuales nombramos como: Cercana a Copa (CC) que corresponde a las distancias 2,5 y 5 m desde el fuste de los árboles y Lejana a Copa (LC) que corresponde a las distancias 7,5 y 10 m desde el fuste de los árboles. Quedando de esta forma cuatro posiciones; CC Sur, CC Norte, LC Sur y LC Norte.

La R<sub>inc</sub> fue calculada transformando las mediciones instantáneas de RFA (μMol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) a valores medios horarios; que luego fueron sumados para obtener la acumulación diaria. Dado que se eligieron tres momentos (días) para la toma de datos de radiación (17 de abril, 19 de junio y 20 de noviembre) las R<sub>inc</sub> calculadas en cada uno de ellos fueron consideradas las del día tipo (representativo) de la estación en la que se realizaron las mediciones y, por lo tanto, utilizadas como valores medios diarios del total de los días de la estación. Es por ello que, el 17 de abril fue

considerado el día tipo del otoño, el 19 de junio el del invierno y el 20 de noviembre el de la primavera.

Los valores de eficiencia de intercepción de la radiación ( $E_i$ ), para el ciclo de crecimiento de cebadilla fueron tomados de Lucero Blangetti, (2015), (ya que estos datos no fueron determinados en este trabajo final de grado) quien consideró 18 cuartiles con diferentes valores de  $E_i$  para todo el ciclo de crecimiento de este cultivo (Figura 2).



**Figura 2:** Variación de la  $E_i$  para *Bromus catharticus* en los días posteriores a la siembra 2015.

El producto entre las  $R_{inc}$  y  $E_i$  diarias da como resultado la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo ( $RFA_{int}$ ) para cada día de su ciclo de crecimiento. Para calcular el total de la radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el período de crecimiento del cultivo, se realizó la sumatoria de las  $RFA_{int}$  diarias calculadas.

$$RFA_{int} = R_{inc} * E_i$$

Donde  $RFA_{int}$ = Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $R_{inc}$ = Radiación Incidente ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $E_i$ =Eficiencia de Intercepción (adimensional).

Dado que el pastoreo de la cebadilla produjo una disminución en el área foliar del cultivo, y por ende, en su capacidad para captar la radiación (disminución de la  $E_i$ ), se realizó el cálculo y la sumatoria de la  $RFA_{int}$  diaria de manera diferencial para los períodos desde la siembra al primer pastoreo, y desde el primer pastoreo al segundo pastoreo. Este procedimiento

se realizó tanto para la cebadilla implantada en los callejones, como para la que se encontraba en la situación testigo.

$$\sum_n RFA_{int} = R_{inc} * E_i * n$$

Donde  $RFA_{int}$ = Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $R_{inc}$ = Radiación Incidente ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $E_i$ =Eficiencia de Intercepción (adimensional);  $n$ =Duración del periodo de crecimiento (Días).

La sumatoria del total de las  $RFA_{int}$  equivale al producto entre  $R_{inc}$ ,  $E_i$  y  $n$ , por lo que, a través del cociente entre la biomasa aérea recolectada en cada posición y la sumatoria del total de las  $RFA_{int}$  se obtuvo la EUR para los dos períodos de crecimiento de la cebadilla (emergencia-primer pastoreo y rebrote-segundo pastoreo).

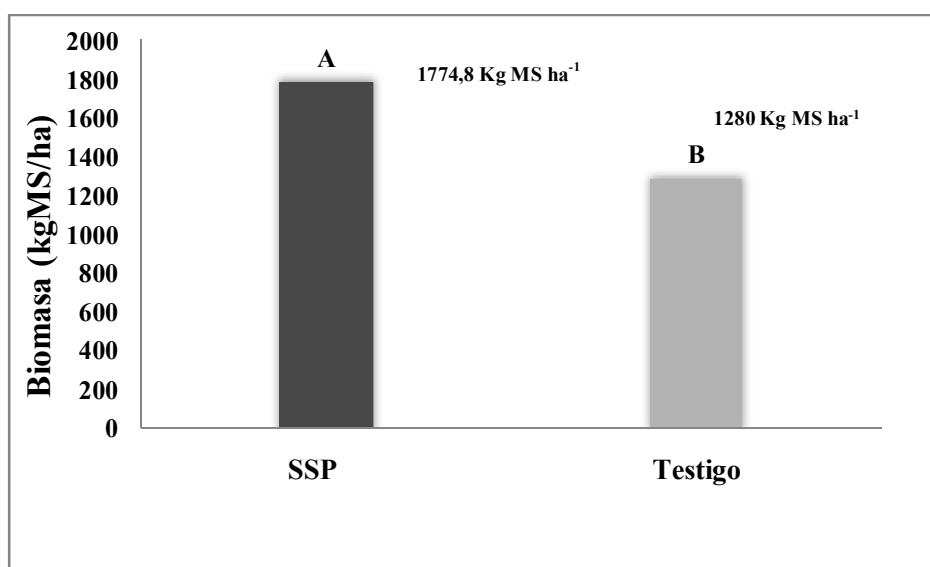
$$EUR = \frac{B}{\sum_n RFA_{int}}$$

Donde EUR= Eficiencia en el Uso de la Radiación ( $\text{gMS/molRFA}_{int}$ );  $B$ = Biomasa ( $\text{gMS/m}^2$ );  $RFA_{int}$ = Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $n$ = Duración del periodo de crecimiento (Días).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus* a diferentes distancias desde el fuste de los árboles.

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis de la varianza, realizado para identificar diferencias estadísticas en la biomasa aérea de *Bromus catharticus* entre los sistemas.

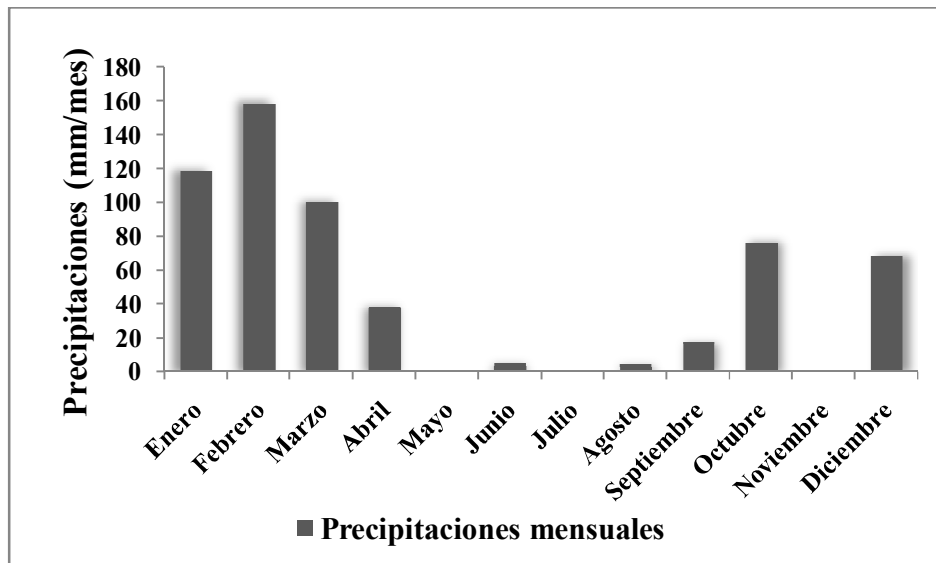


**Figura 3:** Producción de biomasa para cada sistema considerando la media entre los dos cortes realizados (siembra-primer pastoreo; primer pastoreo-segundo pastoreo).

En promedio los tratamientos del SSP produjeron un 28% más de biomasa de cebadilla que la situación testigo, posiblemente debido a los efectos de facilitación entre los componentes del sistema silvopastoril (*Bromus catharticus* y *Quercus robur*) que superaron a los de competencia y permitieron una mejor economía del agua que en la situación testigo, destacando que el año bajo estudio (2011), fue un año de escasas precipitaciones.

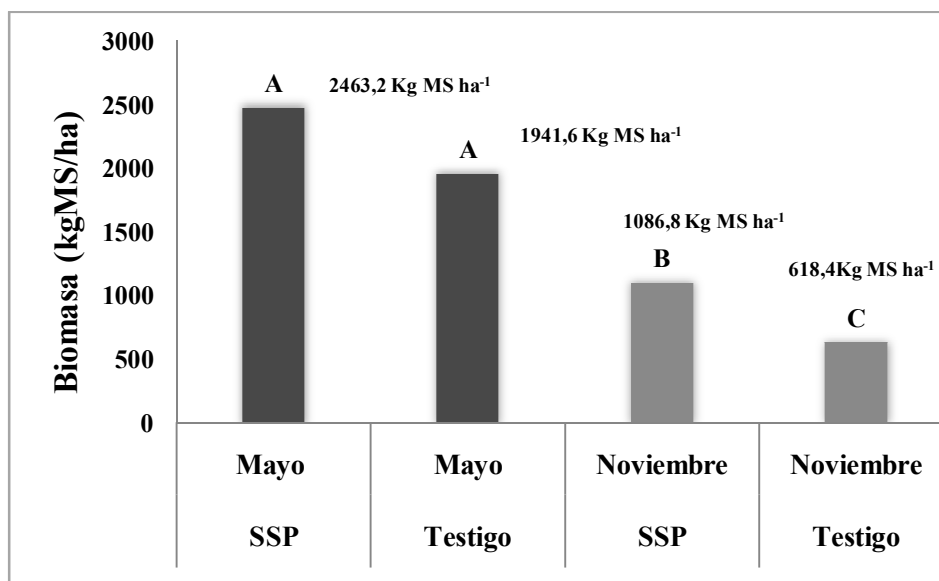
La distribución anual de precipitaciones para este año (figura 4) indica que, la mayor acumulación de agua de lluvia se produjo en el verano, disminuyendo notablemente en el otoño e invierno, donde prácticamente no se registraron precipitaciones. En la primavera, las precipitaciones fueron también escasas, y aunque se acumularon 76 milímetros en el mes de octubre, no fueron suficientes para estimular el crecimiento de la herbácea, ya que desde

implantación de la misma (25 de marzo) hasta último corte (10 de noviembre), se acumularon solamente 217 mm.



**Figura 4:** Distribución anual de precipitaciones para el año 2011, en el paraje La Aguada.

En la figura 5, se observa que en la época favorable (mayo), tanto el SSP como el testigo no tuvieron diferencias en la producción de biomasa aérea de *Bromus catharticus*, mientras que en la época más restrictiva (noviembre) la producción de biomasa fue notablemente superior en el SSP. De esta forma queda claro que la facilitación tiene más peso cuando la restricción por agua se acrecienta en el sistema.



**Figura 5:** Dinámica de la producción de Biomasa aérea de *Bromus catharticus*, media, dentro del sistema silvopastoril y en la situación testigo para los meses de mayo y noviembre.

Holmgren *et al.*, (1997) argumentan que la limitación de luz es mayor que la limitación de humedad en ambientes húmedos, negando así los posibles efectos favorables de un ligero aumento en la humedad bajo el dosel de plantas. Por el contrario, la limitación de la humedad es más importante en los ambientes secos que la limitación de la luz, por lo tanto, los descensos en la luz del sotobosque se ven compensados proporcionalmente por altos incrementos en la humedad del suelo.

Los cambios en la facilitación y la competencia en los gradientes de humedad y la luz pueden estar conectados con la hipótesis de que las plantas no pueden adaptarse de forma simultánea a la sombra y a la tolerancia a la sequía (Huston y Smith, 1987; Huston, 1994). Sin embargo, muchos investigadores han observado que algunas especies de plantas crecen mejor a la sombra de otras en hábitats secos que en los hábitats húmedos.

En respuesta a esta aparente contradicción, Holmgren *et al.*, (1997) desarrollaron un modelo que describe la interacción entre la competencia y la facilitación sobre la base de la respuesta de las plantas al agua y la luz y los efectos del dosel de plantas sobre la luz y la humedad en el sistema. Este modelo contribuye considerablemente a la comprensión del equilibrio de las interacciones positivas y negativas en algunos sistemas, y explica algunos de los resultados experimentales que se acaban de describir.

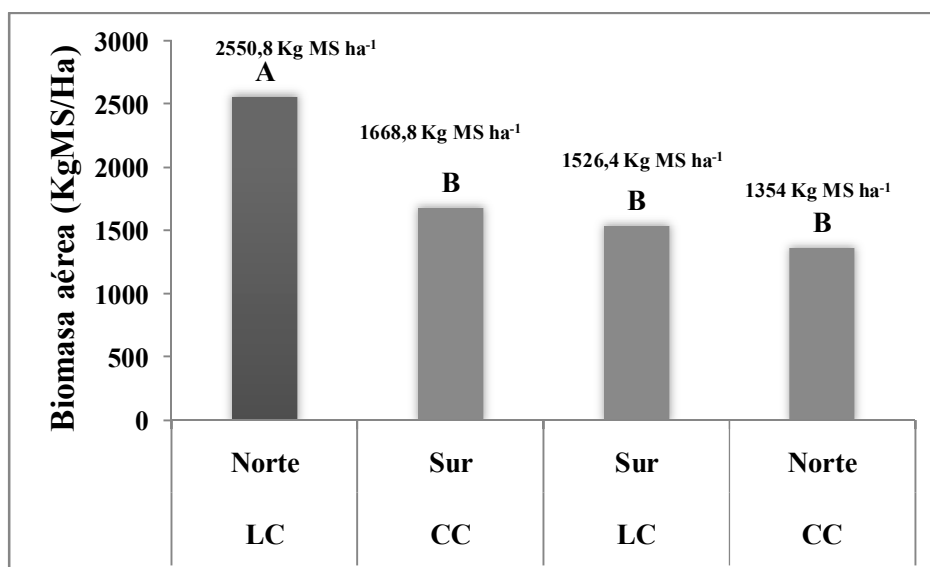
Otros estudios que han examinado la variación de la productividad entre distintos sitios y entre distintos años también sugieren que los efectos competitivos son más fuertes en condiciones húmedas y frescas, mientras que los efectos de facilitación son más evidentes en los

años secos y cálidos (Callaway y Walker, 1997). Por ejemplo *Festuca pallezens* en la Patagonia reacciona ante la sombra de *Pinus ponderosa* de acuerdo a la disponibilidad de agua, disminuyendo su crecimiento en temporadas secas con sombreamientos superiores al 60%, mientras que recién lo hace con un sombreamiento superior al 90% cuando el año es húmedo (Caballé, 2009).

En ambos casos, cuando cae la producción lo hace siguiendo pendientes similares, lo cual llevaría a pensar que luz y agua tienen efectos aditivos para esa especie. Entre tanto, en la misma región, *Stipa speciosa*, especie de menor valor forrajero y dominante en pastizales abiertos, reacciona ante el sombreamiento disminuyendo linealmente su crecimiento, tanto en años secos como húmedos (Fernández *et al*, 2002). Para esta especie, claramente el primer factor limitante es la luz.

Como se observa en la figura 3 y 5 y como dijimos anteriormente, el sistema silvopastoril produjo más biomasa que la situación testigo.

Podemos atribuir entonces, que esta mayor producción de biomasa aérea de Cebadilla dentro del SSP se debió a los efectos de facilitación con el estrato arbóreo de Roble, donde por las condiciones limitantes de agua, los descensos de RFA se vieron compensados por incrementos en la humedad del suelo, generando así los componentes del SSP una interacción positiva entre sí.



**Figura 6:** Dinámica de la producción de Biomasa aérea de *Bromus catharticus*, media, dentro del sistema silvopastoril para las exposiciones Norte y Sur y para las posiciones cerca de copa (CC) y lejos de copa (LC).

Como se observa en la figura 6, dentro del SSP las variables posición y exposición interactuaron entre sí, y se encontró que la posición lejos de copa (LC) en la exposición Norte produjo un 50% más de biomasa aérea de Cebadilla que las demás combinaciones (CC Norte y Sur; LC Sur). El promedio anual de producción de biomasa en esta posición fue incluso superior al mejor registro encontrado en el testigo sin árboles para el mes de mayo (Fig. 5).

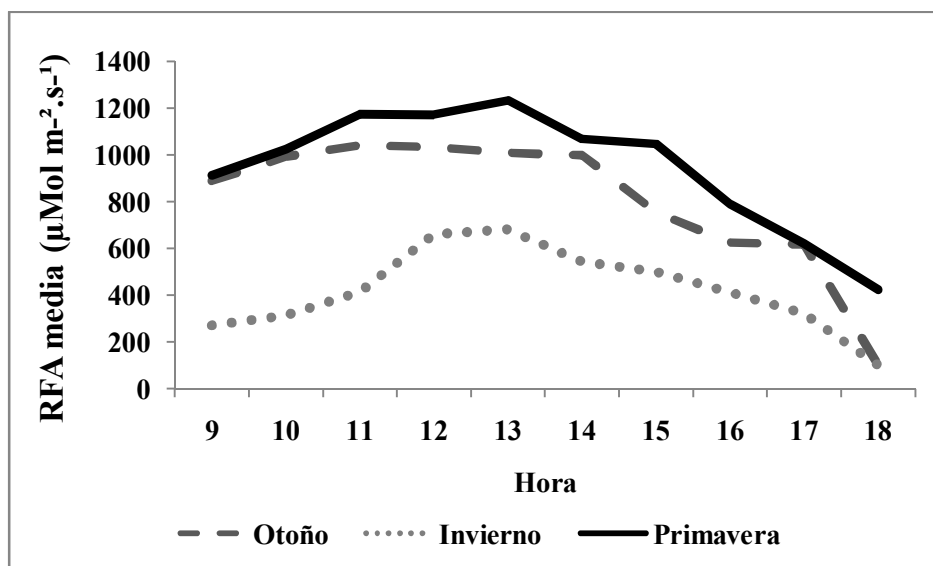
La posición alejada de la copa de los árboles (LC) es la más favorecida dentro del SSP, ya que en ella la competencia (entre la leñosa y la herbácea) por los recursos RFA y agua es menor, y se evidencian los procesos de facilitación. Cuando relacionamos la posición con la exposición, se observa que la menor producción de biomasa aérea de cebadilla en la exposición Sur está relacionada con la menor RFA que llega al estrato herbáceo, debido a la orientación Este a Oeste de los callejones en el sistema. Dicha orientación produce que, en los horarios cercanos al mediodía, los rayos solares incidan de manera perpendicular a las hileras de árboles, disminuyendo el ingreso de radiación por detrás de las mismas.

Por otro lado, en las posiciones CC, además de la mayor competencia por luz (debido a la cercanía de los árboles), se intensifican los efectos de la competencia por agua entre los componentes del sistema.

### **Radiación Fotosintéticamente Activa a diferentes distancias desde el fuste de los árboles en el callejón del Sistema Silvopastoril para el periodo otoño-invierno-primaveral.**

La radiación medida para cada estación en la parcela testigo (sin árboles) se presenta en la tabla 1 del Anexo.





**Figura 7:** Dinámica de la RFA media medida en la parcela testigo, para los distintos horarios del día y para las estaciones de Otoño, Invierno y Primavera.

La situación testigo (Fig. 7) refleja la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) máxima disponible, dado que no había ningún factor que interfiriera con las mediciones.

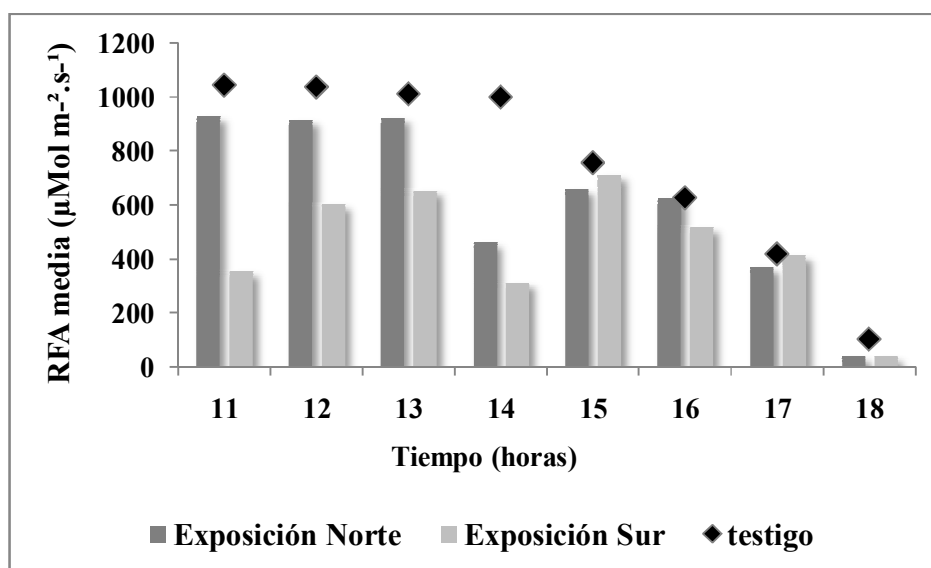
La Radiación Fotosintéticamente Activa es mayor en primavera que en otoño e invierno (Fig. 7), siendo similar el comportamiento en la dinámica de la RFA entre la primavera y el otoño. La explicación de este fenómeno se basa en el hecho de que los días son más largos en la primavera y el ángulo de inclinación de los rayos sobre la superficie es mayor que en invierno y otoño.

El ángulo de inclinación con el que impactan los rayos solares sobre la superficie de la tierra, como el acimut solar cambian de acuerdo al momento del año (Bellón, 1998)

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la varianza, realizado para identificar diferencias en la RFA en los meses de abril, junio y noviembre, podemos observar que la distribución temporal de la RFA dentro del SSP es distinta en cada mes. Los valores de la dinámica de la distribución temporal de la RFA dentro de los callejones de los SSP fueron contrastados con la RFA media encontrada en la situación testigo, de manera de poder calcular la disminución en la RFA causada por el sombreado del Roble.

En la tabla 2 del anexo se presentan los resultados obtenidos del análisis de la varianza realizado para identificar diferencias en la RFA en el mes de abril de acuerdo al momento del día y la exposición.

En el mes de Abril, hora y exposición son variables que interactúan juntas, no teniendo efecto por si solas. Como podemos ver en la figura 8, la exposición norte recibió mayor ingreso de RFA entre las 11 y 14 horas que la exposición sur, (se presentan horarios desde las 11 horas, ya que hubo nubosidad hasta este horario). Este hecho puede ser explicado por la menor RFA que reciben en promedio las posiciones 2,5 Sur y 5 Sur (Fig. 11 A), particularmente por la mañana, cuando el ángulo acimutal del sol hace que los rayos incidan de manera perpendicular a la cortina (Collet, 2010). Luego de las 15 horas, el ángulo acimutal aumenta lo suficiente como para que los rayos solares lleguen desde el oeste, coincidiendo su trayectoria con la dirección de las cortinas. Como resultado de esto, las diferencias entre exposiciones desaparecen, y la RFA que llega al callejón es muy similar a la situación testigo.

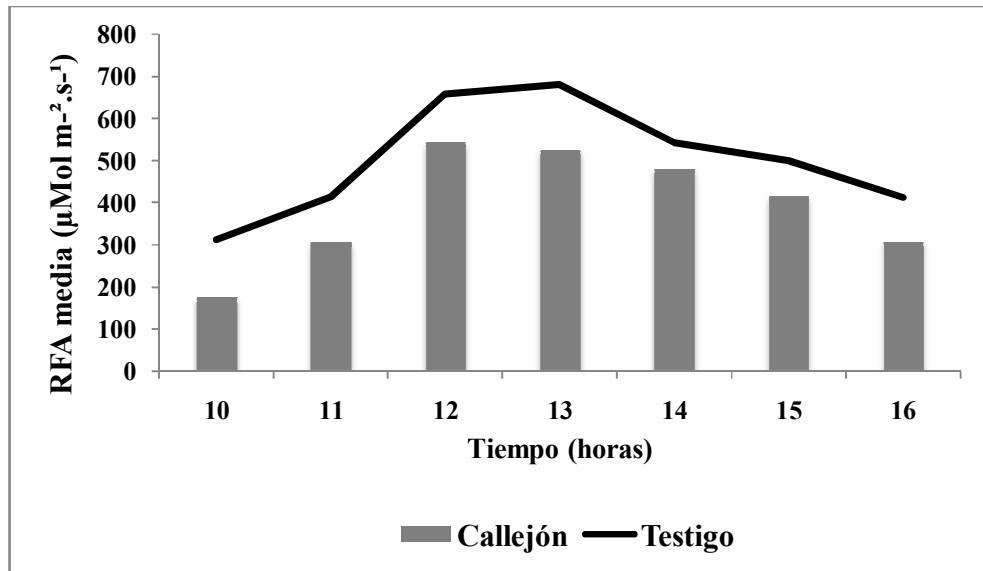


**Figura 8:** Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas horas del día y según las exposiciones Norte y Sur.

Tanto en Junio como en Noviembre, la distribución temporal de la RFA no se diferencia entre las exposiciones y la hora tiene por si sola su efecto (Tablas 3 y 4 del anexo).

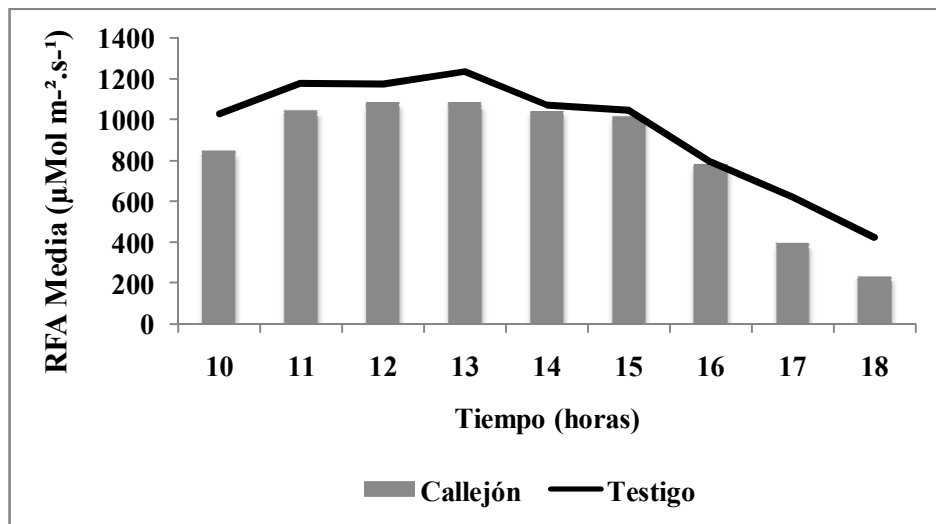
Durante el invierno, este hecho podría ser explicado por la caída de las hojas de los árboles en junio, que permite una mayor penetración de la luz en todo el callejón, y en particular, en la exposición Sur (Fig. 11 B). Es por ello que la disminución en los valores de RFA con respecto al testigo para el momento de mayor RFA (mediodía) fue en promedio de un 20,14 % (543  $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en el callejón; 680  $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en el testigo). Teniendo en cuenta que en abril la disminución de la RFA en la exposición Sur (para el mismo horario) fue cercana al 50%, queda claro que la caída de las hojas en el invierno mejora la penetración de la RFA. En ese sentido, en un estudio donde se evaluó la cantidad de luz que llegaba al sotobosque en sistemas

silvopastoriles con *Populus nigra* como especie leñosa, Pincemin *et al.*, (2007) encontraron que, en el invierno (momento en que los álamos se encontraban sin hojas), el porcentaje de la RFA que llegaba al sotobosque era de un 50 %, mientras que, en el verano, la RFA llegaba a disminuir hasta valores cercanos al 7 %.



**Figura 9:** Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas horas del día, en el SSP y en el testigo.

Para el mes de noviembre, el hecho de que la distribución de la RFA haya sido similar en ambas exposiciones puede ser explicado por el mayor ángulo de inclinación de los rayos solares en esa época del año. Esto genera que la longitud de las sombras proyectadas por la cortina (especialmente en la exposición sur) sea menor que en el otoño y el invierno, lo que hace que penetre una mayor RFA al callejón. Como resultado, la disminución de la RFA con respecto a la situación testigo fue menor que en otoño e invierno (Fig. 10). Por ejemplo, la máxima RFA (12 horas; 1077  $\mu\text{Mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) fue un 12,72 % inferior a la medida para el testigo en el mismo horario (1234  $\mu\text{Mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). El hecho de que el ángulo de inclinación de los rayos solares sea mayor en la primavera está fuertemente relacionado a que los días son más largos. Esto significa, que el ángulo acimutal es mayor a 90° tanto a la salida del sol como en el ocaso, y por lo tanto, el sol aparece en el Sureste (SE) y se esconde en el Suroeste (SO). Al estar el sistema orientado de Este a Oeste, en primavera y en verano el sistema recibe rayos paralelos a las hileras de los árboles durante un mayor tiempo que en otoño e invierno (Bellón, 1988).



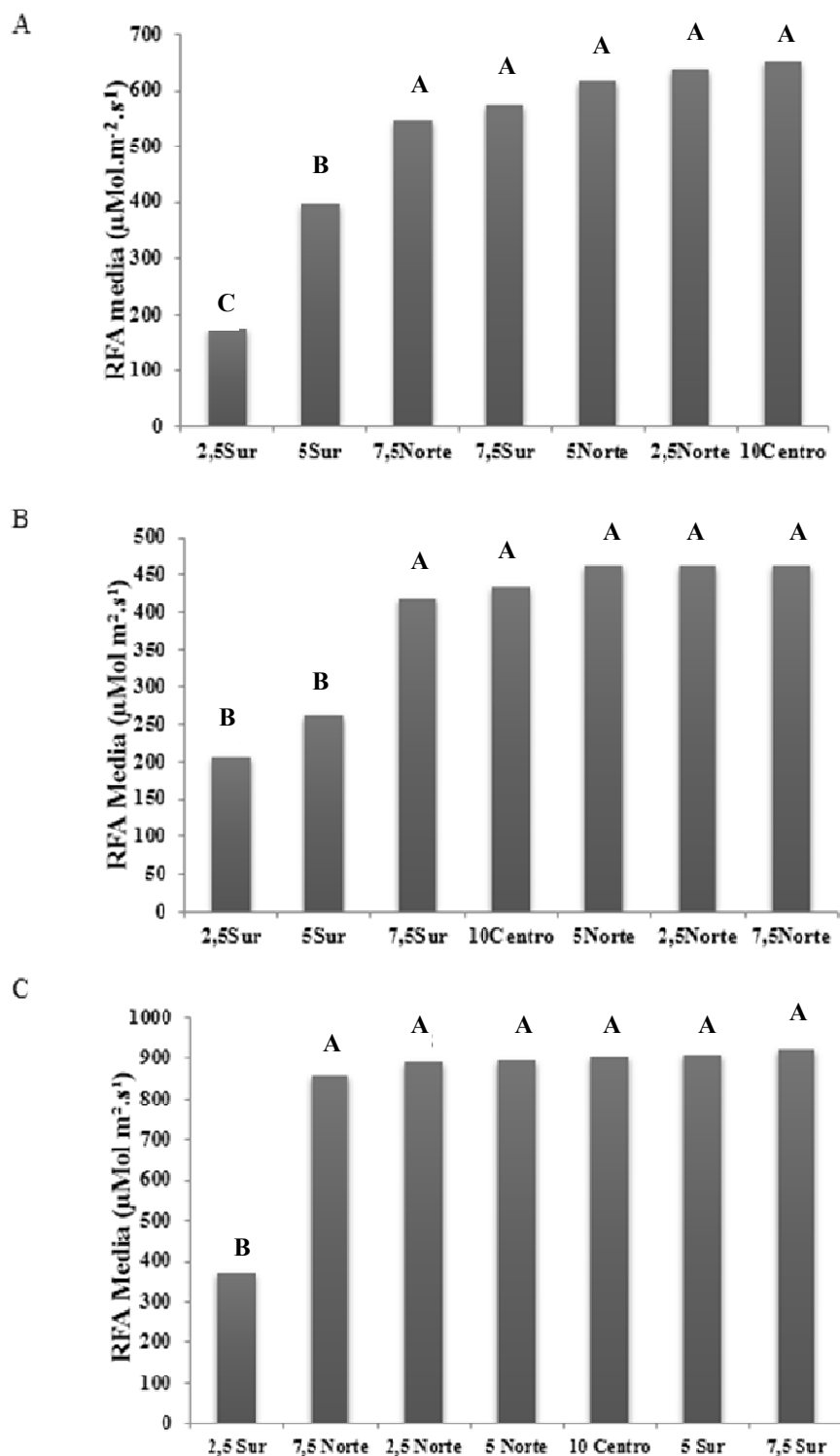
**Figura 10:** Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas horas del día, en el SSP y en el testigo.

Si bien la distribución temporal de la RFA presenta un comportamiento particular de acuerdo a la época del año, hay una tendencia general que indica que la penetración de la luz es menor durante la mañana que durante la tarde independientemente de la estación. Por la mañana el mayor sombreado se debe a que los rayos solares tienen una trayectoria Nordeste-Suroeste (NE-SO) y el ángulo de inclinación de los mismos con respecto a la superficie es aún pequeño. Cuando los rayos solares tienen esta dirección, los árboles actúan como una barrera perpendicular impidiendo que los mismos lleguen directamente al callejón. Además, la baja inclinación de los rayos con respecto a la superficie genera que se proyecten sombras de mayor largo, quedando cubierta una mayor proporción del callejón (Bellón, 1988).

Es por ello que, durante el invierno (por ejemplo), la RFA dentro del callejón a las 10 horas es un 44 % inferior a la medida en la situación testigo en el mismo horario, mientras que a las 15 horas esta diferencia es menor al 20%.

La distancia al fuste de los árboles y la exposición, según los resultados del análisis estadístico, son factores que interactúan juntos y que determinan en gran medida la distribución de la RFA sobre el callejón, tanto en los meses de abril, junio y noviembre. A esta interacción entre distancia y exposición la llamaremos posición.

En la figura 11 se aprecia la dinámica de la distribución temporal de la RFA para el mes de abril, junio y noviembre según las distintas posiciones.



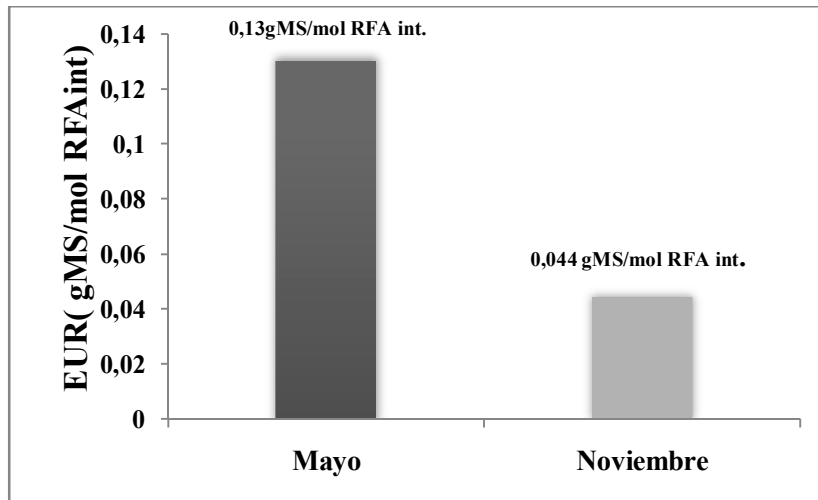
**Figura 11:** Dinámica de la distribución espacial de la RFA para el mes de abril (A), junio (B) y noviembre (C) según las distintas posiciones dentro del callejón.

Para las tres estaciones (otoño, invierno y primavera) se encontraron disminuciones de RFA en las distancias más cercanas al fuste de los árboles (2,5 y 5 metros) de la exposición Sur. Sin embargo, el efecto fue más marcado durante el otoño y el invierno que en la primavera, dado que el efecto del sombreado en las primeras dos estaciones afectó 5 metros del callejón (exposición Sur), mientras que en la primavera solo afectó los primeros 2,5 metros (exposición Sur). En otoño, la posición 2,5 Sur (S) recibió (Fig. 11, A) un 73 % menos de RFA que las posiciones centrales y la exposición Norte (7,5 S; 10; 7,5 N; 5 N y 2,5 N), mientras que la posición 5 S recibió un 33% menos. En invierno no hubo diferencias dentro de los primeros 5 metros desde el fuste de los árboles en la exposición Sur. Las posiciones 2,5 S y 5 S recibieron un 55,66 % menos de RFA que las posiciones centrales y la exposición Norte. En primavera, en cambio, solo se encontró menor penetración de RFA en la posición 2,5 S, la cual recibió un 65% menos de radiación que el resto de las posiciones.

La menor RFA en la exposición Sur se debe a que el sistema se encuentra orientado de Este a Oeste y recibe rayos solares perpendiculares a las cortinas de árboles durante la mayor parte del día. En el hemisferio sur, la mayor parte del día, los rayos solares provienen del norte con diferente inclinación de acuerdo a la hora y la época del año. Es por ello que la cortina proyecta en primera instancia su sombra sobre la exposición Sur, llegando a extenderse a la exposición Norte en los momentos del día donde el sol se encuentra “bajo” (cerca de la línea del horizonte). En ese sentido, al ser menor el ángulo de inclinación de los rayos solares sobre la superficie en otoño e invierno que en primavera, es lógico encontrar que la distancia sombreada sea menor en esta última estación (Bellón, 1988), dado que la longitud de las sombras es inversamente proporcional al ángulo de inclinación de los rayos solares.

### Análisis de la Eficiencia del Uso de Radiación de *Bromus catharticus*, creciendo en Sistemas Silvopastoriles.

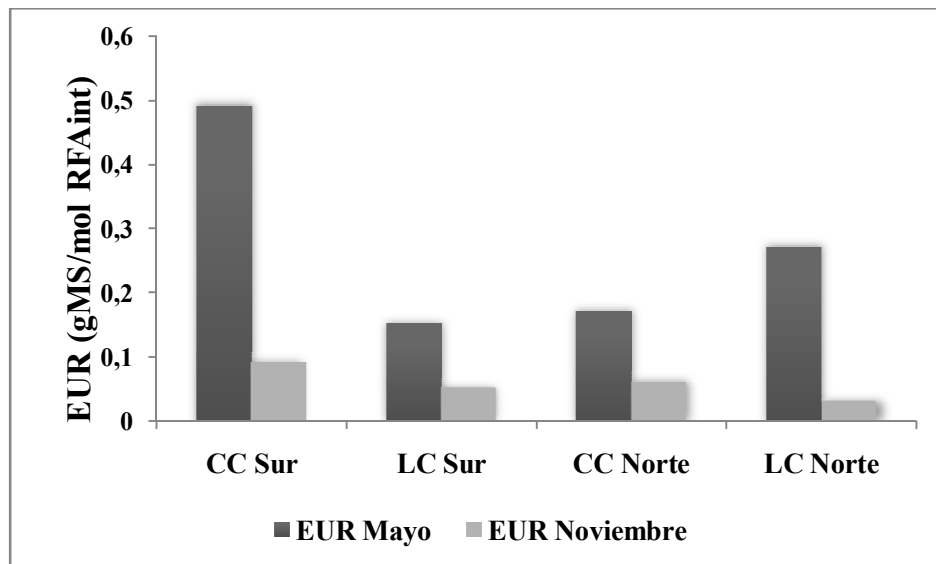
Con los datos de producción de biomasa forrajera estacional de *Bromus catharticus* y con el relevamiento cuantitativo de RFA a diferentes distancias desde el fuste de los árboles en el callejón del sistema silvopastoril, se procedió a calcular la Eficiencia del Uso de Radiación (EUR) de *Bromus catharticus* creciendo bajo la influencia de *Quercus robur*.



**Figura 12:** Dinámica de la EUR en la situación testigo, para los meses de mayo y noviembre.

Como se observa en la figura 12, en el mes de mayo la EUR en la situación testigo fue un 66 % superior a la del mes de noviembre. A pesar de la mayor RFA interceptada en este mes, la EUR fue mayor en el equinoccio de otoño. Esto puede explicarse por las escasas precipitaciones registradas en el año en que se realizó el ensayo, y particularmente, durante la estación primaveral, lo cual limitó severamente la producción de materia seca de *Bromus catharticus* en el segundo periodo de pastoreo. Al contrario, en el primer periodo de pastoreo (otoño) el perfil se encontraba con más agua, por las lluvias registradas (figura 4), es por ello que la producción de materia seca fue mayor en este periodo, a pesar de haber interceptado menos radiación.

En la tabla 8 del anexo se ordenan las combinaciones de los resultados de EUR dentro del callejón, según las exposiciones Norte y Sur y las posiciones Cerca de Copa (CC) que corresponde a las distancias 2,5 y 5 m desde el fuste de los árboles y Lejos de Copa (LC) que corresponde a las distancias 7,5 y 10 m desde el fuste de los árboles.



**Figura 13:** Dinámica de la EUR para las distintas posiciones dentro del callejón, para los meses de mayo y noviembre.

Las posiciones donde hubo una mayor penetración de luz (CC y LC Norte; LC Sur) son las que presentaron menor EUR, mientras que la posición CC Sur (expuesta a mayor grado de sombreado en otoño, invierno y primavera), fue la que presentó una mayor EUR tanto en el mes de mayo como el mes de noviembre. Al igual que en la situación testigo, en todas las posiciones la EUR fue mayor en mayo que en noviembre.

Los resultados coinciden con lo que describió Andrade Castañeda (1999) al trabajar con *Brachiaria bryzantha*, *B. decumbens* y *Panicum máximum* creciendo en compañía de *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta*, donde observó que las posiciones donde la herbácea estaba expuesta al sol directo, manifestaban una menor EUR que los tratamientos sometidos al sombreado. Este aumento de EUR en ambientes sombreados se explica por los cambios morfológicos de la planta para compensar la baja fotosíntesis, tales como el incremento en el área foliar específica (Wong y Wilson, 1980; Shelton *et al.*, 1987). Por ejemplo Moreno Hurtado (1998), describe los mecanismos posibles de adaptación de la especie a la menor RFA que intercepta. Como por ejemplo; la reducción de la tasa respiratoria disminuyendo el punto de



compensación lumínico, incremento del área foliar y aumento de la tasa fotosintética por unidad de energía radiante.

Podemos asumir de esta forma, que la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) no puede explicar completamente la producción de materia seca de cebadilla, debido a los cambios morfológicos en las plantas, que las hace más eficientes en el Uso de la Radiación y al efecto del agua. Siendo radiación y agua los principales factores que regulan o limitan la producción de materia seca (Holmgren *et al.*, 1997).

## CONCLUSIONES

- Pese a la disminución de la RFA, *Bromus catharticus* produjo mayor cantidad de biomasa aérea en los sistemas silvopastoriles que en la situación sin árboles.
- La dinámica de la RFA en los sistemas silvopastoriles se caracterizó por presentar una menor atenuación durante la tarde y dependiendo de la época del año luego de las 14 ó 15 hs fue semejante a la encontrada en el testigo.
- La superficie de los callejones silvopastoriles que se encontraron en las exposiciones (N o S) respecto a las hileras de árboles mostraron diferencias en la producción de biomasa, evidenciando una tendencia a encontrar valores más altos en la exposición N.
- La superficie de los callejones silvopastoriles que se encontraron a diferentes distancias (CC y LC) de las hileras de árboles mostraron diferencias en la producción de biomasa, manifestando una tendencia a encontrar valores más altos en las posiciones alejadas de los árboles. Durante el otoño y el invierno a distancias mayores a 7,5 m y durante la primavera a distancias mayores a 2,5 m.
- La EUR de la cebadilla en el ciclo de otoño fue superior que en el ciclo primaveral, esta mayor EUR explicada por una mayor biomasa con menor RFA, podría deberse a una mejor conservación del agua debido a la influencia de la sombra de la leñosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE CASTAÑEDA, H. J. 1999. Dinámica productiva de Sistemas Silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis de Maestría en Ciencias. Dirección de la escuela de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pags.: 36-37, 49-50.
- BELLÓN, C. A. 1988. Asoleamiento. Dpto de Ingeniería Rural. Cátedra de Planificación de Espacios Verdes. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- BERTNESS, M. D., y CALLAWAY, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(5), 191-193.
- BRICCHI, E., A. CANTERO, y E. BONADEO. 1991. Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranza en el sur oeste de Córdoba. *Actas XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Bariloche*. 107 p.
- CABALLÉ, G., DEZZOTTI, A., SBRANCIA, R., STECHER, G., REISIG, C., BONVISSUTO, G. & SCHLICHTER, T. 2009. 52. Estudio de caso: Interacción entre el pastizal natural, la plantación de pino y el ganado caprino en el sistema silvopastoril experimental de Mallín Verde (Neuquén).
- CALLAWAY, R. M., y WALKER, L. R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1958-1965.
- CANTERO, A., M. CANTÚ, J. M. CISNEROS, J. J. CANTERO, M. BLARASIN, A. DEGIOANNI, J. GONZALEZ, V. BECERRA, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIOVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA y E. CARLOS. 1998. *Las Tierras y Aguas del Sur de Córdoba*. Propuesta para un manejo sustentable. Ed. UNRC, 110 p.
- CÁRCOVA, J.; L. ABELEDO y M. LOPEZ. 2003. Análisis de la generación del Rendimiento: Crecimiento, Partición y Componentes. En; Producción de Granos. Ed. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. SATORRE, E. H.; R. L. BENCH A.; G. A. SLAFER; E. B. DE LA FUENTE; D. J. MIRALLES; M. E. OTEGUI y R. SAVIN. Cáp. 6. p: 75-98.
- CLAVIJO, M. P., M. NORDENSTAHL, P. E. GUNDEL y E. G. JOBBAGY. 2005. Poplar Afforestation Effects on Grasslands Structure and Composition in the Flooding Pampas. *Rangeland Ecol. Manage.* 58: 474-479.
- COLLET, L. 2010. Diseño Bioclimático solar. Apunte sobre Asoleamiento. Universidad Católica de Córdoba.

- DEGIOANNI, A. 1998. Organización Territorial de la Producción Agraria en la Región de Río Cuarto. Tesis Doctoral. Universidad Alcala de Henares. España. Pág. 380.
- DEREGIBUS, V. A., R. A. SANCHEZ., J. J. CASAL y M. J. TRILICA. 1985. Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. *Journal of Applied Ecology*. 22: 199-206.
- FANG, S. Z., S. X LU., X. Z XU. y X. YU. 1997. A case study on agroforestry management systems: effects of new poplar-crop interplanting patterns on biomass productivity, crop quality and economic benefits. Forest and Tree Resources. *Proceedings of the XI World Forestry Congress, Antalya*, p: 71-78.
- FERNÁNDEZ, M. E.; GYENGE, J. E.; DALLA SALDA, G. AND SCHLICHTER, T. 2002. Silvopastoral systems in NW Patagonia: I. Growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. *Agroforestry Systems*. 55:27-35.
- GARCÍA, M.D. 1997. Diferencias fisiológicas entre las especies con metabolismo C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- HOLMGREN, M, SCHEFFER, M & HUSTON, M. 1997 The interplay of facilitation and competition in plant Communities. *Ecology* 78 (7). 1966-1975.
- HORNE, P. y G. BLAIR. 1991. Forage tree legumes: Productivity of leucaena/grass mixtures. *Australian J. Agric. Res.* 42:12-31.
- HUSTON, M. A. 1994. Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. *Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes*.
- HUSTON, M., & SMITH, T. 1987. Plant succession: life history and competition. *American Naturalist*, 168-198.
- INFOSTAT 2010. InfoStat, versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.
- LUCERO BLANGETTI, M. F. 2015. Caracterización del crecimiento y producción de biomasa de Cebadilla criolla (*Bromus catharticus* (Vahl) en la región de Río Cuarto. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina. Pág.23.
- MORENO HURTADO, F. 1998. Adaptación de once especies arbóreas de los bosques altoandinos a condiciones contrastantes de luz. Trabajo de Investigación. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Págs.: 6-7.

- ONG, C. K. y R. R. B. LEAKEY. 1999. Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with treegrass interactions in tropical savannas. *Agroforestry Systems* 45: 109-129.
- PINCEMIN, J.M., MONLEZUN, S.J., ZUNINO, H., CORNAGLIA, P.S., and BORODOWSKI, E. (2007). Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos. AAPA ALPA Cusco Perú
- PUGNAIRE F. I. y M. T. LUQUE. 2001. Changes in plant interactions along a gradient of environmental stresses. *Oikos*, 93:42-49
- REYNOLDS, S. G. 1995. Pasture-cattle-coconut systems. Bangkok, Thailand. *FAO, Regional Office for Asia and the Pacific*.
- ROUPSARD, O., A. FERHI, A. GRANIER., F. PALLO., D. DEPOMMIER., B. MALLET., H. I. JOLY y E. DREYER. 1999. Reverse phenology and dry season water uptake by *Faidherbia Albida* (Det). A. Chev. In an agroforestry parkland of Sudanese West Africa. *Functional Ecology*. 13: 460-472.
- SANDERSON, M. A., D. W. STAIR y M. A. HUSSEY. 1997. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. *Advances in Agronomy* 59:171-224.
- SHELTON, H. M., L. R. HUMPHREYS y C. BATELLO. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospect. *Tropical Grasslands* 21: 159-168.
- TIESZEN, L. L. 1983. Photosynthetic systems: *implications for agroforestry*. *In Huxley, P.A. (ed). Plant research and agroforestry*. Proceedings of a Consultation Meeting held in Nairobi, April 8-15, 1981. Nairobi, Kenya. ICRAF. P: 323-346.
- VON MAYDELL, H. J. 1985. The contribution of agroforestry to world forestry development. *Agroforestry Systems* 3: 83-90. AAPA – ALPA – Cusco, Perú, 2007. Sitio Argentino de Producción Animal.
- WONG, C. C.; WILSON, J. R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research* 31: 269-285.

## ANEXO TABLAS

**Tabla 1:** Radiación media medida en la parcela testigo, en los distintos horarios del día y para las estaciones Otoño, Invierno y Primavera.

Hora	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )		
	Otoño	Invierno	Primavera
9	890	270	913
10	995	312	1027
11	1042	414	1175
12	1035	658	1173
13	1010	680	1234
14	998	542	1068
15	755	499	1046
16	625	412	791
17	618	320	620
18	103	100	423

**Tabla 2:** Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas horas del día y según las exposiciones Norte y Sur.

Hora	Exposición	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
18	Sur	35,75	A
18	Norte	35,75	
16	Sur	516,25	B
14	Norte	459,25	
17	Sur	411,50	
17	Norte	367,50	
11	Sur	352,25	
14	Sur	310,25	C
15	Sur	710	
15	Norte	657,25	
13	Sur	651,75	
16	Norte	623	
12	Sur	601,50	D
11	Norte	925,75	
13	Norte	921,50	
12	Norte	912,25	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 3:** Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas horas del día.

Hora	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
10:00	174,50	A
11:00	305,63	B
16:00	307,63	
15:00	414,88	C
14:00	480,63	D
13:00	525,75	
12:00	543	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 4:** Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas horas del día.

Hora	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
18:00	233,63	A
17:00	393,88	
16:00	779	B
10:00	842,50	
15:00	1012	C
14:00	1037,75	
11:00	1040,88	
13:00	1076,25	
12:00	1077	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 5:** Distribución temporal de la RFA para el mes de abril, según las distintas posiciones.

Posición	Distancia	Exposición	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
2,5Sur	2,5	Sur	173,25	A
5Sur	5	Sur	397	B
7,5Norte	7,5	Norte	544,88	C
7,5Sur	7,5	Sur	572,50	
5Norte	5	Norte	617,63	
2,5Norte	2,5	Norte	636,75	
10Centro	10	Centro	651,88	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 6:** Distribución temporal de la RFA para el mes de junio según las distintas posiciones.

Posición	Distancia	Exposición	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
2,5Sur	2,5	Sur	205,29	A
5Sur	5	Sur	262,57	
7,5Sur	7,5	Sur	419,71	B
10Centro	10	Centro	434,86	
5Norte	5	Norte	462,43	
2,5Norte	2,5	Norte	462,43	
7,5Norte	7,5	Norte	463	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )



**Tabla 7:** Distribución temporal de la RFA para el mes de noviembre según las distintas posiciones.

Posición	Distancia	Exposición	RFA media ( $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	
2,5 Sur	2,5	Sur	373,4	A
7,5 Norte	7,5	Norte	854,8	B
2,5 Norte	2,5	Norte	888,5	
5 Norte	5	Norte	895,8	
10 Centro	10	Centro	904,1	
5 Sur	5	Sur	906,6	
7,5 Sur	7,5	Sur	920	

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 8:** EUR (gMS/mol RFA interceptada), según las exposiciones Norte y Sur y según las posiciones Cerca de Copa (CC) y Lejos de Copa (LC) para los meses de mayo y noviembre.

	EUR gMS/mol RFA interceptada	
	Mayo	Noviembre
CC Sur	0,49	0,09
LC Sur	0,15	0,05
CC Norte	0,17	0,06
LC Norte	0,27	0,03