

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**



“Proyecto de Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

Modalidad: Trabajo Final

**DINÁMICA DE LA RADIACIÓN EN SISTEMAS
SILVOPASTORILES Y SU EFECTO SOBRE LA
PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA DEL ESTRATO
HERBÁCEO**

Alumno: Zárate, Diego Hernán
DNI: 34.024.557

Director: Ing. Agr. MSc. José Omar Plevich

Río Cuarto – Córdoba – Argentina

Noviembre 2016.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: Dinámica de la radiación en
Sistemas Silvopastoriles y su efecto sobre la producción
primaria neta aérea del estrato herbáceo.

Autor: Zárate, Diego Hernán

DNI N°: 34024557

Director: Ing. Agr. MSc. Plevich, José Omar

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

Ing. Agr. Salusso, Fabricio

Ing. Agr. Rosa, María Jose

Ing. Agr. MSc. Plevich, José Omar

Fecha de presentación: / /

Secretario Académico

a Dios,

por guiarme y estar a mi lado día a día en este camino

a Mi Familia,

por su confianza y apoyo para cumplir mis metas

a Mis Amigos,

por su compañía y ayuda incondicional

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a quienes hicieron posible la confección de este trabajo.

A un apasionado por su trabajo, mi director, por estar siempre dispuesto a darme una mano y guiarme en cada paso de este trabajo,

Al equipo de trabajo de la Cátedra de Dasonomía, Juan y Santiago por ayudarme con el trabajo de campo.

A mis amigos y compañeros de esta etapa de mi vida, Marco Jesús Utello, Alexis Natola, Ian Prack Mc' Cormick, Lucrecia Celli.

A la Cátedra de Agrometeorología por facilitarme los datos climáticos.

A Claudia Ledesma, por su ayuda para los análisis matemáticos.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	I
CERTIFICADO DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE FOTOGRÁFICO	VIII
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
HIPÓTESIS	6
OBJETIVO GENERAL	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
CONCLUSIÓN	23
BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXO	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Radiación fotosintéticamente activa media medida en la parcela testigo	12
Tabla 2.	Radiación fotosintéticamente activa acumulada para un día tipo de cada estación, según especie	19
Tabla 3.	Tabla resumen de la eficiencia en el uso de la radiación para cada sistema silvopastoril en estudio y para el testigo	21
Tabla 4.	Datos climáticos del sitio en estudio (Parte 1)	29
Tabla 5.	Datos climáticos del sitio en estudio (Parte 2)	30
Tabla 6.	Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles durante el otoño de acuerdo a la especie leñosa	31
Tabla 7.	Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles durante el invierno de acuerdo a la especie leñosa	31
Tabla 8.	Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles durante la primavera de acuerdo a la especie leñosa	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del experimento donde se observan las partes constituyentes del mismo y los diferentes sitios de muestreo	8
Figura 2. Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante el otoño	14
Figura 3. Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante el invierno	15
Figura 4. Distribución temporal de la radiación fotosintéticamente activa en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante la primavera	17
Figura 5. Producción primaria neta aérea del componente herbáceo de los sistemas silvopastoriles analizados, y del testigo sin árboles	18
Figura 6. Variación de la eficiencia de interceptación (E_i) para <i>Avena sativa</i> en los días posteriores a la siembra de la misma	20
Figura 7. Eficiencia del uso de la radiación de <i>Avena sativa</i> , para cada uno de los sistemas silvopastoriles estudiados y en el testigo sin acompañante arbóreo	32

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Imagen satelital del establecimiento donde se desarrolló la experiencia y zona donde se encontraban los ensayos	33
Fotografía 2. Sistemas silvopastoriles donde se realizaron las experimentaciones	33
Fotografía 3. Callejón silvopastoril con <i>Avena sativa</i> durante la primavera donde se ven las diferencias entre la sombra generada por <i>Eucayptus viminalis</i> y la generada por <i>Quercus robur</i>	34
Fotografía 4. Sistema silvopastoril durante el invierno donde se observan las copas desnudas de <i>Quercus robur</i>	34
Fotografía 5. Zona de muestreo de biomasa, herramientas de muestreo, y muestras	35
Fotografía 6. Secuencia del procesamiento de la biomasa	35
Fotografía 7. Medición de radiación fotosintéticamente activa y ceptómetro	35

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue describir la dinámica de la radiación en tres sistemas silvopastoriles (SSP) y evaluar el efecto de la misma sobre la producción primaria neta aérea de un verdeo de *Avena sativa*. El trabajo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación Pozo del Carril, ubicado a los 32° 58' S y 64° 40' O. Los SSP se instalaron en la primavera de 1998 siendo tres las especies forestales seleccionadas para delimitar los callejones cultivables. Las determinaciones fueron realizadas durante el ciclo de un cultivo de *Avena sativa* sembrado en marzo de 2012. Dicha herbácea fue cultivada en los callejones de los SSP y en un lote testigo sin árboles, en ambas situaciones se midió la producción total de biomasa aérea. La radiación fotosintéticamente activa incidente fue medida en días representativos de cada estación durante el ciclo del cultivo, comenzando las mediciones a las 9:00 hs y finalizando a las 18:00 hs, tomando datos para cada sitio de medición cada una hora. Los resultados indicaron que en los SSP integrados por *Eucalyptus viminalis*, la atenuación de la radiación fue mayor que en los otros SSP y el testigo; y se obtuvo una menor producción de *A. sativa*. En los sistemas integrados por *Pinus elliottii* y *Quercus robur* la atenuación de la radiación no fue tan marcada, y la producción de biomasa herbácea fue igual a la del testigo sin acompañante arbóreo ($p < 0,05$). La EUR de la herbácea demostró ser variable, siendo en los SSP integrados por las leñosas *P. elliottii* y *Q. robur*, mayor que en el testigo, debido posiblemente a adaptaciones que sufren algunas especies al encontrarse en situaciones de escasa luminosidad y a cambios favorables en las variables meteorológicas. Por su parte, este efecto no se manifestó en el SSP compuesto por *E. viminalis*, posiblemente por algún efecto de competencia que pudiera estar apareciendo como puede ser la alelopatía.

Palabras clave: *Sistemas Silvopastoriles; biomasa herbácea; Avena sativa; sistemas en callejones; eficiencia del uso de la radiación.*

SUMMARY

The aim of this paper is to describe the dynamic of radiation in three Silvopastoral Systems (SPS) and evaluate its effect on the aerial net primary production of *Avena sativa*. The study was developed in the teaching and experimentation field, Pozo del Carril, located at the 32° 58' S and 64° 40' W. The SPS were installed in the spring of 1998 being three the forest species selected to delineate the cultivable alleys. The decisions were taken during the crop cycle of *Avena sativa* planted in March of 2012. This herbaceous was cultivated in the alleys of the SPS and in a control field without trees, in both situations the total production of aerial biomass was measured. The photosynthetic active radiation incident was measured on representative days of each season during the crop cycle, beginning at 9.00 hs and finishing at 18.00 hs, taking data for each measurement site per hour. The results indicated that in the SPS integrated by *Eucalyptus viminalis*, the attenuation of the radiation was higher than in the other SPS and in the control group; and lower production of *A. sativa* was obtained. In the systems integrated by *Pinus elliottii* and *Quercus robur*, the attenuation of radiation was not outstanding and the production of herbaceous biomass was equal to the control group without arboreal companion ($p < 0,05$). The EUR of the herbaceous production was variable, being higher in the SPS integrated by the woody *P. elliottii* and *Q. robur* than in the control group, possibly due to the adaptations that suffer some species with low light exposure and favourable changes in meteorological variables. On the other side, this effect was not manifested in the SPS composed of *E. viminalis*, possibly due to an effect of competence or allelopathy.

Key words: *Silvopastoral Systems; herbaceous biomass; Avena sativa; alley farming; efficiency in the use of radiation.*

INTRODUCCIÓN

Hasta hace poco tiempo se opinaba que los árboles y los animales no podían coexistir en un mismo terreno. Hoy la agricultura moderna está demostrando que los animales y los árboles no tan solo pueden cohabitar sino que, pueden proporcionar una fuente adicional de ingresos en tierras anteriormente utilizadas para cultivos y ganadería. Las prácticas que incluyen los árboles en la ganadería se conocen con el nombre de sistemas silvopastoriles (SSP) y se define como el conjunto de técnicas que implican la combinación de árboles con cultivos forrajeros, con animales domésticos o sin ellos cuando el pastoreo es mecánico o bien se dedica a la obtención de reservas forrajeras (Petit Aldana y Suniaga Quijada, 2005).

Según Bastos da Veiga y Feio da Veiga (2001), en los sistemas silvopastoriles, se da una interacción entre el árbol y la pastura que genera competencia entre éstos por luz, agua y nutrientes. También se han encontrado relaciones del tipo alelopáticas en especies forrajeras y arbóreas (Reynolds, 1995). 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 ya que 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). Sin embargo, no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución de la radiación, 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, 1981; Sanderson *et al.*, 1997, Nordenstahl *et al.*, 2011).

Las hojas de la especie 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 tendrían ventajas en la fijación neta de carbono con respecto a las C₃, considerando que ambas están en condiciones óptimas de temperatura (García, 1997).

La caída de las hojas en diferentes especies de árboles caducifolios, determina ventanas temporales en las cuales la radiación llega con mayor intensidad a estratos bajos. En SSP que incluyen especies perennifolias como lo son las del género *Pinus*, Anderson *et al.* (1988) reportaron que la competencia por luz se puede disminuir, por las prácticas silviculturales de raleo y poda efectuadas en época apropiada. En las dehesas españolas,

compuestas principalmente por especies del género *Quercus* la aplicación de podas favorecen la producción de bellotas y de forraje (Etienne, 1996).

El propósito de este trabajo final de grado es analizar la dinámica de la radiación y su efecto sobre la producción primaria neta aérea de un verdeo de *Avena sativa* en sistemas silvopastoriles de la llanura ondulada del sur de Córdoba.

ANTECEDENTES

El silvopastoreo es un sistema de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral, y ha sido planteado con base en resultados investigativos, como una alternativa de producción sostenible que permite reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción (Mahecha, 2002).

Estos sistemas aumentan la eficiencia de la utilización de los recursos naturales por presentar complementariedad entre las diferentes explotaciones involucradas (Payne, 1985).

En el mundo, la integración de árboles con sistemas pecuarios ha sido puesta en práctica principalmente a través del pastoreo de bovinos y ovinos en el sotobosque de plantaciones forestales (Adams, 1975, Grelen, 1978, Anderson *et al.*, 1988).

El efecto ecológico más esperado de los árboles en los agroecosistemas húmedos es, sin dudas, la conservación del suelo. El sistema radicular de los árboles, generalmente denso y profundo, además de evitar el arrastre de las partículas del suelo, tiene el potencial de absorber los nutrientes en las capas más profundas del suelo (Montagnini, 1992).

El cultivo de plantas arbóreas es una de las formas más eficientes de capturar y retener el carbono atmosférico, cuya acumulación contribuye a amortiguar el efecto invernadero y mejorar el microclima, beneficiando tanto a las plantas como a los animales. Los árboles, pese al consumo del agua del suelo, impiden la reducción drástica de la humedad del suelo bajo la influencia de sus copas, al reducir la excesiva evaporación causada por los rayos solares. Además, los árboles pueden funcionar como rompevientos y proporcionar forraje para los animales (Bastos da Veiga y Feio da Veiga, 2001). Estos autores mencionan además que en los sistemas silvopastoriles, tanto la producción como la calidad de la pastura pueden ser afectadas, aunque este efecto no haya sido observado en forma consistente.

La radiación solar (sol y temperatura), la lluvia, la humedad, y el viento son los factores que tienen la mayor influencia sobre la producción de cultivos (Leonard, 1981). Mosher (1978) considera la radiación solar como recurso básico de la agricultura, la cual debe ser utilizada por las plantas a las cual les llega. La gran distribución espacial de la radiación solar en el planeta, explica la distribución de la agricultura.

Las radiaciones actúan sobre las plantas como estímulo del crecimiento y desarrollo (fototropismo, fotoperiodismo) y como fuente energética generadora de procesos fotobiológicos, para reacciones fotoquímicas como la fotosíntesis, proceso metabólico mediante el cual, la energía de la luz solar es captada y utilizada para convertir el dióxido de carbono (CO₂) y el agua (H₂O) en hidratos de carbono o azúcares (C₆H₁₂O₆) y oxígeno gaseoso (O₂) (Sadava *et al.*, 2009). En esta reacción, es solamente efectiva la radiación fotosintéticamente activa interceptada por receptores específicos (Garabatos, 1991).

La radiación también afecta la duración del periodo de luz solar diario y la variación anual, afectando la época de floración y el largo del periodo de crecimiento en algunos cultivos; y determinando la temperatura ambiental, la cual influye críticamente sobre la tasa de crecimiento del cultivo y su adaptabilidad (Leonard, 1981).

El Índice de Área Foliar (IAF) es el factor dominante en la determinación de la interceptación de la radiación solar en doseles continuos (canopeos que interceptan toda la radiación que les llega y no dejan pasar radiación al suelo) (Palmer y Jackson, 1977) hasta un valor, luego del cual, aumentos en el área foliar no producirán aumentos considerables en la interceptación (Paliwal, 2001). La inclinación también tiene una fuerte influencia en la interceptación de luz y con ello en la transmisión (Campbell, 1977; Ross, 1981). A valores altos de IAF, los doseles en los que las hojas superiores son más erectas que las hojas bajas, tienden a tener una productividad total más alta, debido a que una cantidad dada de radiación genera más fotosíntesis cuando se distribuye sobre un área foliar mayor (Pearce *et al.*; 1967, Campbell, 1977; Nobel, 1991).

Todas las longitudes de onda de luz que llegan a la superficie terrestre son importantes para los organismos vivos. Durante la evolución, los organismos han desarrollado diferentes adaptaciones para los distintos espectros (Gliessman, 2002).

El aprovechamiento de la energía radiante para la fotosíntesis sólo se produce dentro de las longitudes de onda entre 400 y 700 nm del espectro electromagnético, región espectral (visible) donde con gran fuerza actúan los pigmentos clorofílicos, únicos elementos capaces de captar y fijar la energía de la radiación solar e iniciar el conjunto de reacciones químicas y enzimáticas responsables del proceso de la fotosíntesis (Garabatos, 1991).

El balance de radiación a la hora de realizar estudios sobre la radiación sobre cubiertas vegetales se simplifica considerando que la radiación interceptada (PAR_{int}) se puede estimar a partir de la incidente por medio de la expresión: $PAR_{int} = e \cdot PAR_{inc}$
Donde “e” es la eficiencia de la interceptación. La eficiencia será 1 cuando la cubierta vegetal no permita transmitir nada de radiación al suelo y toda la radiación incidente es interceptada, y 0 cuando no hay cubierta vegetal (Almorox Alonso, 2010).

Este autor afirma que la producción final de un cultivo, expresada como materia seca total y considerando que no hay ningún otro factor limitante, será función de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (Almorox Alonso, 2010).

La radiación ha sido utilizada como variable de síntesis para estimar los niveles de producción de los cultivos. Por ejemplo LART UBA (2003) plantean un sistema de seguimiento de producción forrajera basada en la utilización de la teledetección, para obtener la radiación fotosintéticamente activa absorbida por las plantas, y relacionando estos datos con valores de eficiencia en el uso de la radiación (EUR) para estimar la producción forrajera.

Diversos estudios han mostrado una gran variabilidad en el comportamiento de especies forrajeras en función del nivel de insolación impuesto (Toledo y Torres, 1990). En Australia, Wilson *et al.* (1990) observaron que, en la primavera - verano, la acumulación de forraje de *Paspalum notatum* fue un 35% mayor bajo la sombra de una plantación de *Eucalyptus grandis* que a pleno sol. Hay indicaciones de que la producción y la calidad de gramíneas tolerantes al sombreado pueden ser mejoradas bajo la sombra de especies arbóreas fijadoras de nitrógeno (Belsky, 1992).

Las interacciones que involucran el árbol y la pastura son las más importantes. De hecho, estos componentes presentan enormes diferencias morfológicas, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular y, por estar compartiendo el mismo espacio, satisfacen sus necesidades explorando las mismas fuentes de los recursos luz, agua y nutrientes. Por esto, es importante conocer los mecanismos básicos de esta competencia, buscando maximizar la producción biológica, las principales competencias, se dan por agua, luz y nutrientes (Bastos da Veiga y Feio da Veiga, 2001). También se han encontrado relaciones del tipo alelopáticas en especies forrajeras y arbóreas, causadas por compuestos químicos, que deberían considerarse al momento de planificar un SSP (Reynolds, 1995; OTS, 1992).

La competencia por luz sólo pasa a ser de mayor relevancia cuando el suplemento de agua y nutrientes no es limitante (Connor, 1983). Sistemas multi-estrato favorecen plenamente a los árboles en la competencia por luz, quedando la producción de la vegetación herbácea sujeta a la densidad o espaciamiento del componente arbóreo y a su adaptación fisiológica a la baja intensidad de luz.

En general, se consideran a las plantas C_3 menos productivas que las C_4 . Una de las causas se encuentra en el hecho de que la fotorrespiración es muy activa en las plantas C_3 . La fotorrespiración en éstas se traduce en un consumo de oxígeno cuando están iluminadas y es muy importante en la agricultura de zonas templadas; cuando ocurren situaciones de días caluroso y sin viento la concentración del dióxido de carbono sobre la planta decrece considerablemente debido a su consumo para la fotosíntesis, disminuye la relación dióxido

carbono/oxígeno, generando una disminución en la tasa de fijación del dióxido de carbono y aumentando la fotorrespiración (Almorox Alonso, 2010).

Las plantas C₃ no son capaces de suprimir la reacción del oxígeno responsable de la pérdida de eficiencia fotosintética, siendo por lo tanto menos eficientes que especies C₄ en la conversión de la energía solar (Bifani, 1999).

Chapman y Peat (1995), mencionan que el ciclo adicional que poseen las especies C₄, funciona como un mecanismo temporal para la toma de CO₂, que es equivalente a una "bomba de CO₂" que incrementa la concentración efectiva de este gas en su lugar de reacción y por lo tanto, aumenta la tasa aparente de fotosíntesis. La importancia de esta bomba, es que, en su ausencia (especies C₃), una gran proporción (hasta un tercio) del CO₂ absorbido en la fotosíntesis se pierde inmediatamente en el proceso de la fotorrespiración.

En algunos sistemas agroforestales, el objetivo del manejo de la cobertura vegetal aérea del estrato arbóreo es reducir al máximo posible la competencia por radiación. Desde éste punto de vista, el uso de árboles caducifolios o bien aquellos con hojas bastante erectas, pequeñas y de alta eficiencia en el uso de la radiación solar, serían los ideales para maximizar el aprovechamiento de este recurso por parte del sistema (Jiménez y Vargas, 1998).

El nivel de radiación solar que alcanza el estrato herbáceo es dinámico a lo largo de la formación de los SSP. En SSP que incluyen el *Pinus*, Anderson *et al.* (1988) reportaron que esta competencia es bastante aliviada por las prácticas silviculturales de raleo y poda efectuadas en época apropiada. En el caso particular de España, las "dehesas" se han desarrollado como una silvicultura pastoral especializada con un manejo de *Quercus* spp. en los cuales mediante podas, se favorece la producción de bellotas y de forraje (Etienne, 1996).

HIPÓTESIS

- La producción primaria neta aérea (PPNA) de un verdeo otoño invernal, es mayor en SSP con especies caducifolias de árboles que con perennes, ya que las primeras generan una ventana temporal por la cual la radiación pasa en mayor proporción a estratos bajos, favoreciendo la disponibilidad de recursos requeridos por la pastura.
- El sombreado parcial generado en callejones de SSP, puede generar un refugio para verdeos otoño-invernales, que les permite soportar situaciones adversas como un estrés hídrico y mejorar otras como la fotosíntesis y la eficiencia del uso de la radiación (EUR).

OBJETIVO GENERAL

- Conocer la dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en sistemas silvopastoriles y su efecto sobre la producción primaria neta aérea de un verdeo otoño-invernal (*Avena sativa*), en la llanura ondulada del sur de Córdoba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la radiación fotosintéticamente activa para un día tipo del otoño, invierno y primavera en los diferentes SSP en estudio.
- Determinar la producción primaria neta aérea de un verdeo otoño-invernal (*Avena sativa*) en sistemas silvopastoriles y en un sistema sin árboles.
- Estimar la eficiencia en el uso de la radiación de *Avena sativa* en los sistemas silvopastoriles y en sistema sin árboles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo final se basó en el análisis de datos recolectados durante el año 2012, durante una pasantía en el programa de investigación “Producción primaria neta aérea, capacidad sustentadora animal, insectos y malezas en sistemas silvopastoriles del centro de Argentina” financiado por SECyT-UNRC. La recolección de datos se realizó en el campo de docencia y experimentación Pozo del Carril, perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto, 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, Dpto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica llanura chaco-pampeana y dentro de ella pertenece la asociación geomorfológica Faja eólica ondulada periserrana.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) bajo estudio estuvieron integrados por *Quercus robur-Avena sativa*, *Eucalyptus viminalis-Avena sativa* y *Pinus elliottii-Avena sativa*. Estos sistemas son monoespecíficos desde el punto de vista forestal, los árboles fueron plantados en la primavera de 1998 en doble hilera con un marco de plantación a 2 x 2 m, separadas por callejones de 21 m entre ellas, orientados los mismos, en curvas de nivel. Para contar con un testigo el cultivo *Avena sativa* también se implantó en un potrero vecino sin árboles. Tanto en los sistemas silvopastoriles como en el testigo, *A. sativa* se sembró el 5 de Marzo de 2012 sobre lotes con gran presencia de malezas, ya que los mismos, estuvieron desocupados durante el verano. Previo a la siembra, se realizó una labor con rastra doble acción, para cortar y enterrar las malezas de verano ya desarrolladas e interrumpir la germinación de las otoño-invernales. La siembra se realizó con una separación entre hileras de 17,5 cm y se lograron aproximadamente 220 plántulas/m².

Diseño del experimento

El experimento se planteó en un diseño en bloque completamente aleatorizados. Cada bloque contaba con tres sistemas silvopastoriles y un testigo lo suficientemente alejado de los árboles para evitar su efecto. En las parcelas de 50 m² los puntos de muestreo se encontraban a 2,5; 5; 7,5 y 10 m al sur y al norte de las hileras para poder considerar la variabilidad en el ancho del callejón. El método estadístico aplicado es el de análisis de varianza, además de la prueba de comparación de medias desarrollada por DI RIENZO, GUZMÁN y CASANOVES (DI RIENZO *et al.* 2008). Se asumió una probabilidad de error del 5%. Se contó con tres repeticiones.

El modelo del diseño fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad \text{para } i = 1, \dots, 4 \text{ y } j = 1, \dots, 3$$

Siendo: μ el efecto medio global; α_i el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del tratamiento; β_j el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del bloque; ϵ_{ij} el término de error.

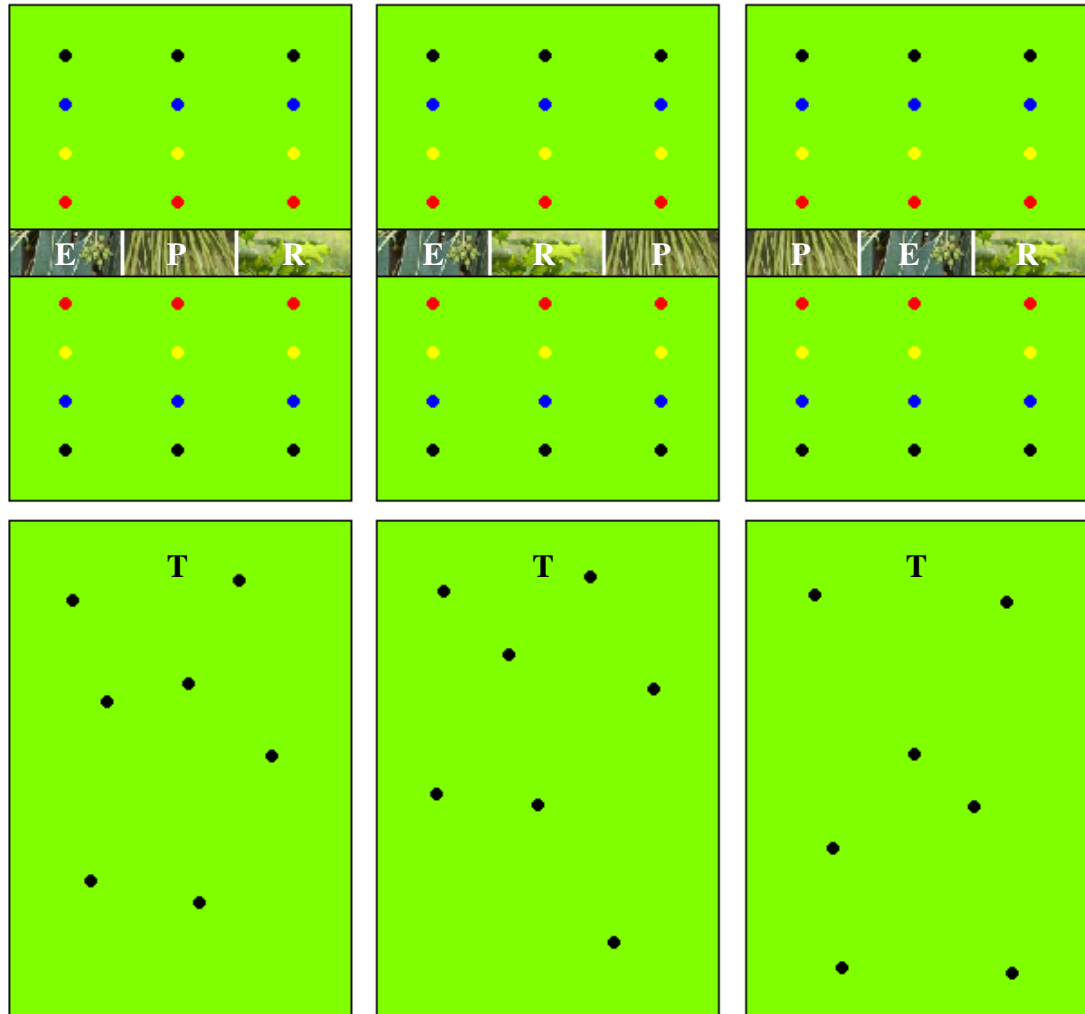


Figura 1: Diseño del experimento: se observan los 3 bloques. En el centro se encuentran las cortinas forestales de *E. viminalis* (E), *P. elliotti* (P) y *Q. robur* (R) y con verde el espacio ocupado por *A. sativa*. Los puntos de colores corresponden a los diferentes sitios de muestreo (rojo 2,5 m, amarillo 5 m, azul 7,5 m y negro 10 m). En el testigo (T) se realizaron igual número de muestreos que en los SSP en forma totalmente aleatorizada.

Las etapas desarrolladas para la recolección de datos fueron las siguientes:

Determinación de la radiación fotosintéticamente activa para un día tipo del otoño, invierno y primavera en los diferentes SSP en estudio.

Las mediciones de radiación fotosintéticamente activa (RFA) se efectuaron tomando puntos de muestreo a diferentes distancias desde el fuste del árbol (2,5; 5; 7,5 y 10 m.) al sur y al norte de la cortina de los árboles atravesando el callejón de los sistemas silvopastoriles y la misma cantidad de muestreos fueron tomados en un sector del potrero donde no había árboles. La muestra estuvo representada por el valor medio obtenido de todos los puntos de muestreo. Todos los tratamientos tuvieron 3 repeticiones. Las mediciones se efectuaron con una barra medidora de flujo de fotones (Ceptómetro) LI-COR. Los datos fueron tomados en el otoño (13/05), el invierno (26/08) y la primavera (21/10) del año 2012, realizando mediciones en un día de cada estación. Se realizaron mediciones en otras fechas pero se seleccionaron las mencionadas anteriormente ya que no sufrieron interferencias por nubosidad. Los datos se tomaron cada 1 hora, comenzando los registros a las 9 hs y finalizando a las 18 hs.

Determinación de la producción primaria neta aérea de *Avena sativa* en sistemas silvopastoriles y en un sistema sin árboles.

Para determinar la producción primaria neta aérea de *Avena sativa* en los callejones de los sistemas silvopastoriles, se muestreo una superficie de 0,25 m² a diferentes distancias desde el fuste del árbol, 2,5; 5; 7,5 y 10 m. (centro del callejón) al sur y al norte de la cortina de los árboles atravesando el callejón de los sistemas silvopastoriles y la misma cantidad de unidades de muestreo en el testigo sin árboles. En cada sitio se cortó la biomasa a ras del suelo, posteriormente en laboratorio, se llevó a estufa hasta peso constante para de ese modo determinar la materia seca en cada sitio de muestreo.

La muestra estuvo representada por el valor medio obtenido en todas las unidades de muestreo. Todos los tratamientos tuvieron 3 repeticiones. Las mediciones se efectuaron para los dos ciclos de crecimiento de la *Avena sativa* (Primer ciclo: Marzo-Junio; Segundo ciclo: Junio-Octubre) obteniendo de este modo la Producción Primaria Neta Aérea Total de *Avena sativa*.

Estimación de la eficiencia en el uso de la radiación de *Avena sativa* en los sistemas silvopastoriles y en un sistema sin árboles.

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).

A continuación se describe tal adaptación:

$$EUR = \frac{B}{Rinc * Ei * n}$$

Donde EUR= Eficiencia del uso de la radiación (gramos de biomasa producido por moles interceptados, g/mol); B= Biomasa del cultivo (g/m²); n= Duración del periodo de crecimiento (días); Rinc= RFA incidente diaria (mol/m²); y Ei= Eficiencia de Intercepción de la Radiación diaria.

Para calcular la Rinc del día tipo de cada estación (otoño, invierno y primavera) en cada sistema analizado, se cumplieron las siguientes etapas: 1) Obtención de la Rinc horaria (9-18 hs); 2) El ajuste de una función de la radiación a lo largo del día tipo; 3) La integral de la función para obtener la radiación diaria.

Los valores de eficiencia de intercepción de la radiación (Ei), varían según la evolución en el crecimiento y desarrollo del cultivo, y fueron estimados a partir de Lucero Blangetti (2015). El producto entre las Rinc y Ei diarias, da como resultado la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (RFAint) para cada día de su ciclo de crecimiento.

$$RFAint = Rinc * Ei$$

Donde RFAint = Radiación interceptada diaria (mol/m²); Rinc= RFA incidente diaria (mol/m²); y Ei= Eficiencia de Intercepción de la Radiación diaria.

Para calcular el total de la radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo del cultivo (RFA_t) se realizó la sumatoria de las RFAint periódicas (períodos de n días donde Rinc y Ei se mantuvieron constantes) calculadas desde la siembra al momento de primer pastoreo (marzo-junio) y desde el rebrote al momento de segundo pastoreo. Este procedimiento se realizó tanto para la *Avena sativa* implantada en los callejones de los SSP, como para la que se encontraba en la situación testigo.

$$RFA_t = \sum Rinc_{c1} * Ei_{c1} * n_{c1} + Rinc_{c2} * Ei_{c2} * n_{c2}$$

Donde RFA_t = Radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo del cultivo (mol/m²); Rinc_{c1} y Rinc_{c2}= RFA incidente diaria (mol/m²) para el primer y segundo ciclo de crecimiento respectivamente; Eic₁ y Eic₂ = Eficiencia de Intercepción de la Radiación

diaria para el primer y segundo ciclo de crecimiento respectivamente; y $nc1$ y $nc2$ = Período (días) donde R_{inc} y E_i se mantuvieron constantes para el primer y segundo ciclo

Luego, a través del cociente entre la Producción primaria neta aérea total (PPNAt) = Biomasa de *Avena sativa* obtenida en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante los dos (2) ciclos del cultivo se obtuvo la EUR.

$$EUR = \frac{PPNA_t}{RFA_t}$$

Con los resultados obtenidos se realizó el análisis estadístico según lo propuesto en el apartado diseño del experimento. Con los resultados se confeccionaron tablas que nos permitieron visualizar la EUR en los diferentes sistemas analizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones de radiación realizadas durante la estación de crecimiento de la herbácea, arrojaron datos que permitieron observar que los menores valores registrados fueron los que se obtuvieron durante el invierno, y los mayores valores fueron los de las estaciones de otoño y primavera, muy similares entre ellos. Esto se esperaba que ocurriera, ya que cuando la tierra realiza el movimiento de traslación a lo largo del año, se desplaza sobre el plano de su órbita y dado que su eje de rotación está inclinado $23^{\circ}27'$ respecto a ese plano, los rayos inciden sobre su superficie con diferente ángulo. En nuestro hemisferio, durante el invierno nos encontramos más alejados del sol por lo que los rayos solo inciden ligeramente. Para el otoño y primavera, la distancia de los polos al sol es similar y los rayos inciden de manera también similar en ambos hemisferios, pero de forma más perpendicular respecto al invierno (Escolástico León *et al.*, 2013). En la Tabla 1 se muestran los datos de radiación fotosintéticamente activa (RFA) media, medidos en la parcela testigo para las 3 épocas mencionadas. Esta situación sin árboles refleja la máxima RFA incidente que se puede obtener en el lugar del estudio, ya que no hay ningún factor que interfiera en las mediciones.

Tabla 1. Radiación fotosintética activa media medida en la parcela testigo.

Hora	RFA media ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		
	Otoño	Invierno	Primavera
09:00	398.52	295.43	533.00
10:00	660.10	477.67	695.87
11:00	934.40	617.14	856.80
12:00	1077.38	719.05	929.87
13:00	1166.71	743.05	952.93
14:00	1055.76	709.52	854.00
15:00	867.57	615.52	809.07
16:00	612.81	480.48	439.40
17:00	398.50	297.57	172.20
18:00	49.67	96.81	107.87

En los callejones silvopastoriles, la sombra producida por las leñosas, hace que en muchas situaciones, la RFA medida difiera de la cuantificada en el testigo.

Estas diferencias encontradas entre los sistemas, depende de la leñosa que integra el SSP, de la hora del día, y de la estación en que se realiza la medición. Esta última, tiene relación con el ángulo de inclinación con el que impactan los rayos solares sobre la

superficie de la tierra y del acimut solar, que cambia de acuerdo al momento del año (Bellón, 1988).

Distribución de la radiación fotosintéticamente activa para un día tipo de cada estación (otoño, invierno y primavera) en los diferentes SSP en estudio.

Otoño

En el Anexo 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis de la varianza y en la Figura 2 la dinámica de la RFA en los sistemas silvopastoriles de acuerdo al momento del día, durante el otoño.

Los resultados indican que los sistemas integrados por *Quercus robur* (Roble) y *Pinus elliottii* (Pino) permitieron un mayor ingreso de RFA en los horarios de: 12:00 a 15:00 y 13:00 a 15:00 respectivamente. La disminución de la RFA con respecto al testigo para esos rangos horarios fue de alrededor del 17% en *Q. robur* y 16% en *P. elliottii*. Este último, a las 12:00 tiene la misma RFA que *Q. robur* a las 16:00, lo que significa una disminución de la RFA cercana al 42% debido al sombreadamiento. Tal como se observa en la Figura 2, a partir de las 16:00 en el callejón de *Q. robur*, no se aprecia interferencia de la leñosa en la penetración de la RFA dentro de los callejones. En los sistemas cuya leñosa es *P. elliottii*, tampoco se observan grandes sombreadamientos después de las 16:00. La explicación de este fenómeno se basa en que luego de las 16:00, el ángulo acimutal aumenta lo suficiente como para que los rayos solares lleguen desde el oeste, lo que coincide con la dirección de los callejones (Collet, 2010). De esta manera, la trayectoria de los rayos solares en ese momento de la tarde es paralela a las hileras de árboles por lo que el sombreadamiento es mínimo.

Los sistemas integrados por *Eucalyptus viminalis* (Eucalipto) muestran un comportamiento diferente al del resto de las especies. La mayor RFA registrada para estos sistemas, fue encontrada en el horario de 14:00 a 16:00, y fue un 46% menor a la máxima RFA encontrada en los sistemas de *Quercus robur* y *Pinus elliottii*. Con respecto a la situación testigo, el máximo valor de RFA registrado en *E. viminalis* fue un 45% menor que el valor medio registrado en el mismo horario. Esto se explica por el gran porte de estos árboles, que proyectan sombra sobre el callejón durante todo el día (Figura 2).

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por otros autores que trabajaron también con plantaciones que poseían más de una especie arbórea. En un estudio donde se midió el porcentaje de la RFA que llegaba al sotobosque de diferentes conformaciones boscosas de la península Ibérica, Valladares (2006) encontró que las diferencias en la penetración de RFA eran explicadas principalmente a partir de especies que componían el bosque. Por otro lado, incluso en plantaciones de una misma especie, las diferencias de tamaño entre los árboles pueden generar diferencias en el sombreadamiento producido sobre el sotobosque. En ese sentido, Bergez *et al.*, (1997) encontraron que en plantaciones mono-

específicas con iguales densidades había un mayor sombreado en las parcelas con mejores condiciones de sitio, donde se habían desarrollado árboles de mayor altura.

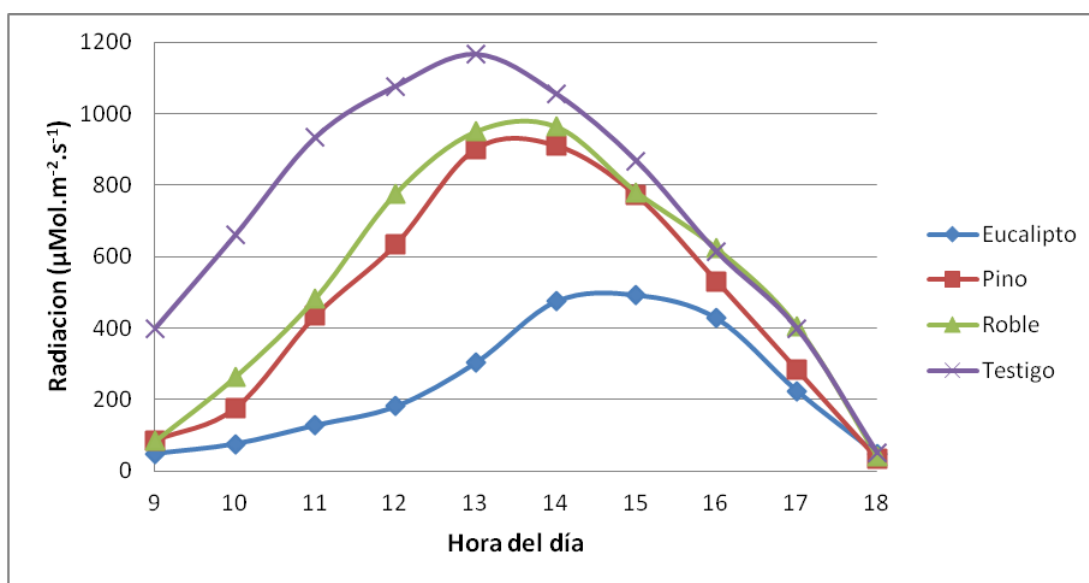


Figura 2. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante el otoño.

Para las tres especies leñosas, el momento del día donde produjeron las mayores interferencias por sombreado fue por la mañana (Figura 2) lo que genera un retraso en los máximos valores de RFA registrados. En ese sentido, los valores de RFA medidos en los sistemas de *Q. robur* a las 11:00 fueron iguales a los medidos a las 17:00, siendo que la RFA potencial del testigo en ese mismo momento fue de 934 y 328 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respectivamente. Esto indica que hubo un fuerte sombreado en los momentos donde los rayos solares incidían desde el cuadrante Nordeste (NE-SO) y, por el momento del día, el ángulo de inclinación de los mismos con respecto a la superficie, era 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).

Otro ejemplo de lo anterior es lo que sucede a las 9:00 en los sistemas de *E. viminalis*, donde la RFA encontrada fue de 43 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, mientras que en el testigo en ese mismo momento era de 398 $\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Tabla 1 y Anexo 2), concordando con Pachas *et al.* (2008), quienes trabajando con *Eucalyptus grandis* concluyeron que, dada la alta tasa de crecimiento y profundidad de la copa que esta especie presenta, la RFA que llega al estrato herbáceo sufre severas reducciones.

Invierno

A continuación se describirá la distribución temporal de la RFA encontrada durante la época invernal, se exponen resultados en el Anexo 3 y en la Figura 3. El valor máximo de RFA medido en el testigo para el invierno es un 36% menor al registrado durante el otoño.

Los resultados también indican, que los sistemas integrados por *Q. robur* (Roble) y *P. elliottii* (Pino) permitieron un mayor ingreso de RFA en los horarios de 12:00 a 15:00. La disminución de la RFA con respecto al testigo para esos rangos horarios fue de alrededor del 12%. *Q. robur* fue nuevamente la leñosa que permitió una mayor penetración de la RFA durante todo el día (Figura 3).

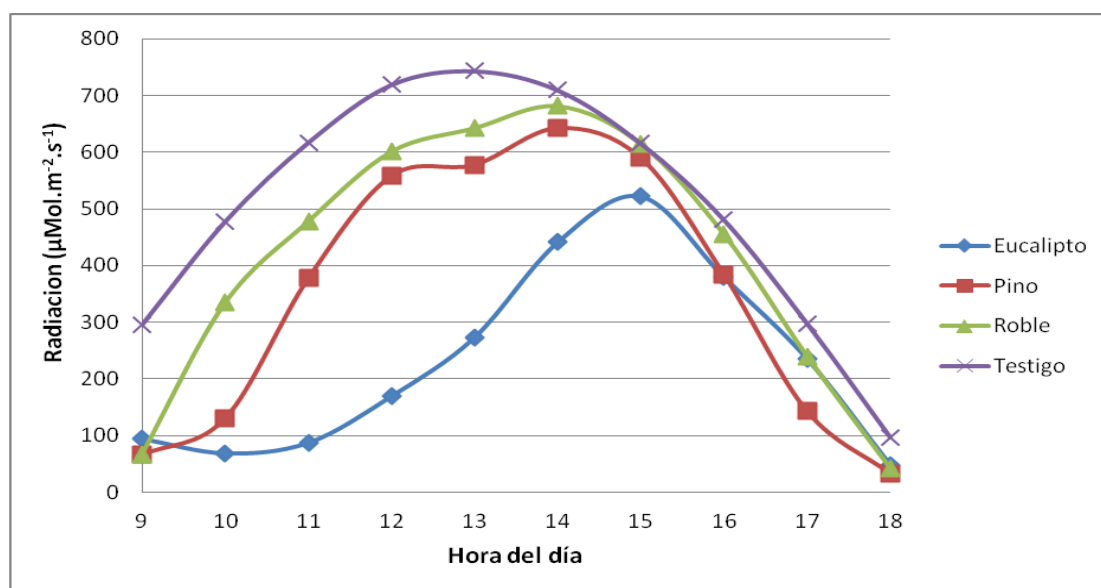


Figura 3. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante el invierno.

Si hacemos una comparación entre *Q. robur* y *P. elliottii*, a diferencia del otoño, para cada hora en análisis, la radiación que llegó al callejón de *Q. robur*, fue estadísticamente superior a la que llegó al callejón de *P. elliottii*. Esto se debe tanto al menor porte de los árboles de la especie como a la caducidad de sus hojas, generando en esta época, una ventana temporal en la que mayor cantidad de radiación pasa a través de las copas (Clavijo *et al.*, 2005). En ese sentido, en un estudio donde se evaluó la cantidad de luz que llegaba al sotobosque en sistemas silvopastoriles con *Populus nigra*, 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%. Pentón Fernández (2000), trabajando con la especie caducifolia *Albizia lebbek* menciona similares comportamientos de la radiación.

Al igual que en el otoño, por la tarde el sombreado es menor que por la mañana y que en el mediodía, obteniéndose también un retraso en los máximos registros de RFA. A partir de las 15:00 en los sistemas con *Q. robur* y *P. elliotii*, no se aprecia interferencia de la leñosa en la penetración de la RFA dentro de los callejones (Figura 3).

En el caso de *E. viminalis* (Eucalipto), en este momento del día (entre las 14:00 y las 15:00) se registra la mayor RFA. Sin embargo, este valor representa en promedio un 28% menos que la media para el mismo horario en el testigo sin árboles.

Nuevamente los sistemas integrados por *E. viminalis* muestran un comportamiento diferente al del resto de las especies. El sombreado generado por estos árboles es elevado en las horas cercanas al mediodía, registrándose disminuciones en la RFA superiores al 70% para el periodo que va desde las 11:00 a las 13:00. El menor ángulo de inclinación de los rayos solares con respecto a la superficie que se da en los días de invierno combinado con el gran porte de los árboles de *E. viminalis* generan sombras de gran longitud, que pueden abarcar todo el callejón.

Por último, observando la Figura 3, se muestra nuevamente que para las tres especies leñosas, el momento del día donde produjeron la mayor interferencia por sombreado fue durante la mañana. En ese sentido, los valores de RFA medidos en los sistemas de *Q. robur* a las 9:00 fueron iguales a los medidos a las 18:00, siendo que la RFA potencial del testigo en ese mismo momento fue de 295 y 96 $\mu\text{Mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente (Tabla 1 y Anexo 3). Esta diferencia entre la RFA que llega al callejón por la mañana con respecto a la que incide por la tarde responde a los mismos motivos que en la situación del otoño.

Primavera

La situación existente en la primavera, se describe a continuación a partir del Anexo 4 y la Figura 4.

Como se observa en la Tabla 1, los valores de RFA medidos en el testigo para la primavera son similares a los del otoño.

En la primavera, al igual que en el otoño y el invierno, los sistemas integrados por *Q. robur* (Robe) y *P. elliotii* (Pino) permitieron un mayor ingreso de RFA en los horarios de 12:00 a 15:00 y 12:00 a 14:00 respectivamente. La disminución de la RFA con respecto al testigo para esos rangos horarios fue de alrededor del 5% para *Q. robur* y 8% para *P. elliotii* (Anexo 4). Comienza a desvanecerse el efecto observado en el invierno, y los brotes de hojas que se hacen presentes en *Q. robur*, hacen que no se observen grandes diferencias entre éste y *P. elliotii* en cuanto a la penetración de la RFA durante todo el día (Figura 4). Además, la curva de *E. viminalis* (Eucalipto) presenta mayor similitud con la del testigo que en las situaciones anteriores. Cuando se analiza la disminución de la RFA con respecto a la situación testigo, en las tres especies leñosas se observan porcentajes menores que en invierno y otoño (Tabla 4).

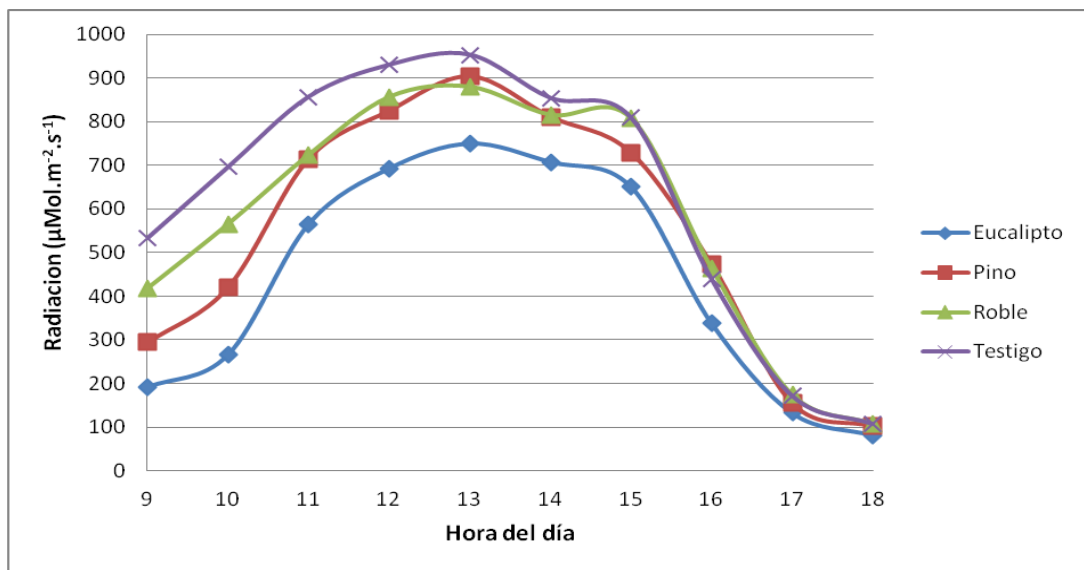


Figura 4. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles durante la primavera.

En primavera, el recorrido del sol por la línea del horizonte es diferente al recorrido que traza en el otoño o en el invierno. En primer lugar, los días son más largos en la primavera, y por lo tanto, el ángulo acimutal es mayor a 90° tanto a la salida del sol como en el ocaso. Esto genera que el sol salga en el Sureste (SE) y se esconda en el Suroeste (SO). Si tenemos en cuenta que nuestro sistema está orientado de Este a Oeste, en primavera y en verano el sistema recibe rayos solares paralelos a las hileras de árboles durante un mayor tiempo que en otoño e invierno. La segunda diferencia en el recorrido del sol sobre la línea del horizonte es que el ángulo de inclinación de los rayos sobre la superficie es mayor en verano y primavera que en invierno y otoño, llegando a su máximo valor en el solsticio de verano. Esto genera que la longitud de las sombras sea menor, y que por lo tanto, el callejón sea sombreado en un porcentaje menor de su superficie que durante el otoño o el invierno (Bellón, 1988).

Al igual que en el otoño y el invierno, por la tarde el sombreado es menor que por la mañana y que en el mediodía, pero de forma mucho menos marcada. Esto hace que los máximos registros de RFA no sufran un retraso marcado. A partir de las 14:00 en los sistemas con *Q. robur* y *P. elliotii*, no se aprecia interferencia de la leñosa en la penetración de la RFA dentro de los callejones (Figura 4). En el caso del *E. viminalis*, en este momento del día (entre las 12:00 y las 15:00) se registra la mayor RFA. Este valor representa en promedio un 19% menos que la media para el mismo horario en el testigo sin árboles, lo que indica un menor sombreado que en el otoño y el invierno (45 y 28% respectivamente).

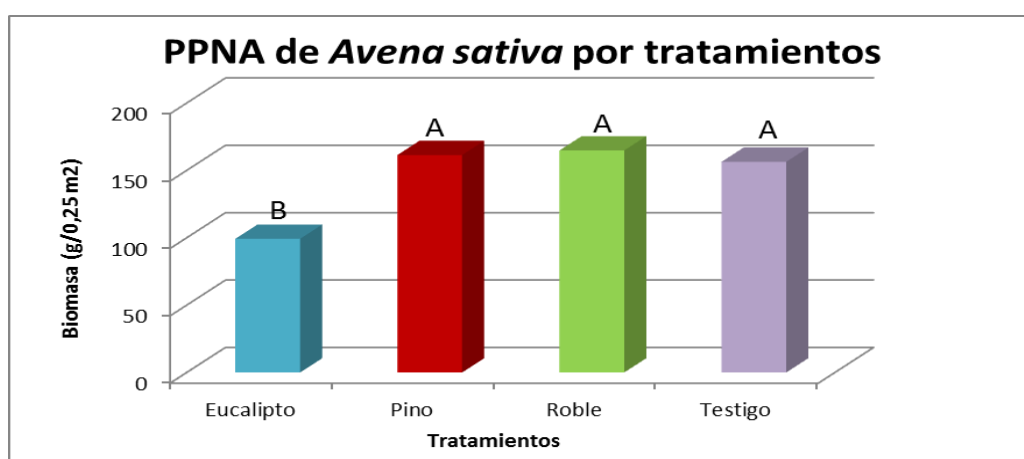
Los sistemas integrados por *E. viminalis* muestran una mayor similitud en la distribución de la RFA con el resto de las especies y el testigo que en las situaciones de otoño e invierno. Sin embargo, el sombreado por parte de los árboles de *E. viminalis* sigue siendo elevado en las horas de la mañana, registrándose disminuciones cercanas al 50% en la RFA para las 9:00 y 10:00 de la mañana. Este hecho se evidencia al observar que la RFA medida en *E. viminalis* a las 9:00 es igual a la de las 17:00, siendo que en el testigo los valores hallados para esos momentos del día fueron de 533 y 172 $\mu\text{Mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente.

Por último, al igual que en el otoño y en el invierno, el momento del día donde los árboles produjeron una mayor interferencia por sombreado fue por la mañana (Figura 4). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los porcentajes de disminución de la RFA fueron inferiores (Anexo 4).

Galiana *et al.* (2001), encontraron que la iluminación relativa (% de RFA que llega al sotobosque) en un bosque de *Pinus halepensis* con diferentes tratamientos de raleo es superior en el verano y la primavera a la encontrada durante el invierno y el otoño. Estos resultados reafirman el hecho de que el mayor ángulo de inclinación del sol en primavera y en verano genera sombras de menor longitud y permiten una mejor penetración de la RFA.

Producción primaria neta aérea (PPNA) de *Avena sativa* en sistemas silvopastoriles y en un sistema sin árboles.

Como de observa en la Figura 5, los valores medios de PPNA del estrato herbáceo, no difirieron significativamente entre los encontrados en el Testigo y en los sistemas silvopastoriles que incluían *Pinus elliottii* (Pino) y *Quercus robur* (Roble).



Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 5. PPNA del componente herbáceo de los sistemas silvopastoriles analizados, y del testigo sin árboles.

Esto pudo haberse debido a que la menor cantidad de RFA_t recibida por el cultivo de *Avena sativa* en estos sistemas, fue compensada por algún efecto de facilitación y tal como lo interpreta Andrade Castañeda (1999), posiblemente a una mayor eficiencia en el uso del agua.

Por otra parte, los niveles de competencia por los recursos parecen haber superado a las facilitaciones en el sistema integrado por *Eucalyptus viminalis* (Eucaipto), ya que difirió significativamente en la PPNA de *Avena sativa*, obteniéndose en esta situación los valores más bajos. Este comportamiento también fue observado por Pachas *et al.* (2008), quienes encontraron que el testigo siempre producía más que los sistemas silvopastoriles con diferentes densidades de *Eucalyptus*, donde las elevadas tasas de crecimiento, el follaje persistente y el tamaño y profundidad de la copa que estos árboles poseen, generaban menor disponibilidad de luz (Fassola *et al.*, 2005) y por lo tanto, alta competencia por este recurso. Stepler *et al.* (1987) mencionan que cultivos de árboles como *Eucalyptus*, podrían ser inadecuados para la agrosilvicultura, simplemente porque su follaje y las raíces producen toxinas alelopáticas que impiden el normal desarrollo de otras especies. Este efecto alelopático de *Eucalyptus* fue demostrado también por Coppini (2015), quien analizó que tanto el estrato de suelo como las hojas de *Eucalyptus viminalis*, tuvieron un efecto depresor en el crecimiento de biomasa aérea y radicular de *Avena sativa*.

La alta producción de *Avena sativa* dentro de los callejones de los sistemas compuestos por *Q. robur* y *P. elliotii*, posiblemente se deba a la inexistencia de alelopatía de estas especies, como así también, a la caducidad de las hojas y bajo porte de *Q. robur*; y a la permeabilidad de la copa que posee *P. elliotii*, permitiendo de este modo un mayor ingreso de radiación que se reflejará en una mayor PPNA de la herbácea.

Eficiencia en el uso de la radiación de *Avena sativa* en los sistemas silvopastoriles y en sistema sin árboles.

Tal como se indicó en la descripción de la dinámica de la radiación, en la Tabla 2 expuesta a continuación, se puede ver claramente la similitud entre el otoño y la primavera para los valores diarios acumulados de RFA, y la menor acumulación durante los días de invierno.

Tabla 2. Radiación fotosintéticamente activa acumulada para un día tipo de cada estación, según especie (valores expresados en mol/m²)

Especie	Otoño	Invierno	Primavera
<i>E. viminalis</i>	15,3	8,3	15,3
<i>P. elliotii</i>	19,3	12,4	19,3
<i>Q. robur</i>	20,6	14,7	20,6
Testigo	24,1	18,2	24,1

También se evidencia la menor acumulación de radiación para las parcelas integradas por *E. viminalis*, seguramente dado por el nivel de radiación disponible bajo el dosel arbóreo (Pachas *et al.*, 2008), fuertemente restringido para esta situación.

Luego se determinó la radiación interceptada para cada situación anteriormente analizada pero para todo el ciclo de *Avena sativa*, se utilizaron valores de Eficiencia de interceptación (Ei) y los días que la herbácea creció en cada estación. De este modo se obtuvieron valores de RFA acumulados durante todo el período en que creció el verdeo. Estos datos se detallan en la Figura 6.

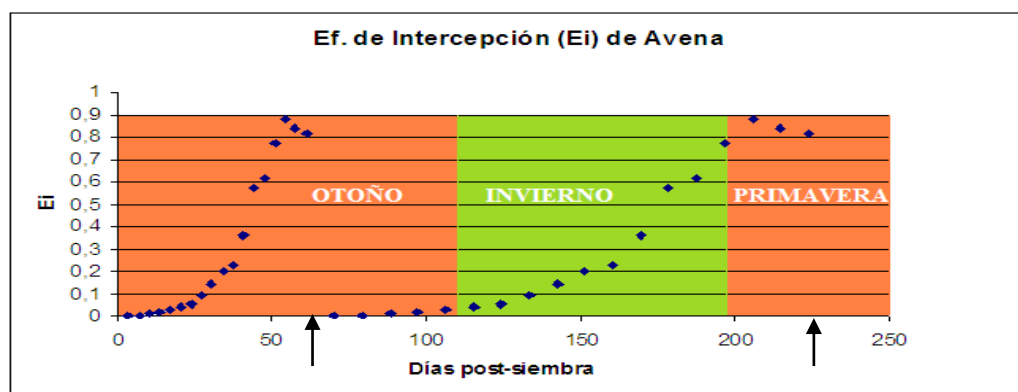


Figura 6. Variación de la Ei para *Avena sativa* en los días posteriores a la siembra de la misma. Con colores se muestran las diferentes épocas (el verano no se consideró por la cantidad de días afectados y por la escasa Ei en esos días), y con flechas los momentos de pastoreo.

Es interesante remarcar, las diferentes duraciones que se observan entre el primer y el segundo ciclo de crecimiento de *Avena sativa*. Se aprecia una mayor longitud del segundo ciclo en el que creció la herbácea, esto podría explicarse porque en este momento, *Avena sativa*, que posee una temperatura base de crecimiento de 4°C y óptimos que se encuentran entre 19 y 26°C (Ciren Corfo, 1989), ve más limitado su crecimiento por bajas temperaturas que por radiación. Lo anterior puede comprobarse al revisar los datos meteorológicos para esta etapa, suministrados por la Cátedra de Agrometeorología (ver Anexo 1).

Por último, con los valores de RFA acumulados para todo el ciclo de crecimiento de la herbácea y los de biomasa, se procedió a calcular la eficiencia del uso de la radiación (EUR) para cada sistema silvopastoril (SSP) y el testigo sin acompañante arbóreo utilizando la metodología planteada en los Materiales y Métodos.

Tal como se puede observar en la tabla siguiente y en el Anexo 5, se identificaron dos grupos de tratamientos, en los cuales la herbácea aprovechó la radiación de diferente manera para producir biomasa, dando de este modo, valores de EUR estadísticamente diferentes.

Tabla 3. Tabla resumen de la EUR para cada SSP en estudio y para el Testigo.

Especie	Biomasa (g/m ²)	Radiación acum. (mol/m ²)	EUR (g MS/mol RFA)
<i>E. viminalis</i>	396,77	905,43	0,43 ^b
<i>P. elliottii</i>	645,48	1186,42	0,54 ^a
<i>Q. robur</i>	659,04	1309,98	0,49 ^a
Testigo	625,24	1535,85	0,42 ^b
p=0,0009			

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes (p>0,05)

En el grupo donde se encontraron los mayores valores de EUR, se encontraron el tratamiento de *P. elliottii* y de *Q. robur* y en el grupo de menores valores, el tratamiento de *E. viminalis* y el Testigo.

Para el grupo de los mayores valores de EUR, la radiación incidente sufrió reducciones respecto al testigo, que fueron desde un 14,71% hasta un 22,75% (para los callejones de *Q. robur* y *P. elliottii* respectivamente). Se esperaría que la sombra de los árboles en los callejones silvopastoriles, resulte en una reducción de la tasa de producción de biomasa del estrato herbáceo, en comparación con el testigo sin acompañante arbóreo (Giraldo y Vélez, 1993). Sin embargo, se han reportado valores de materia seca del verdeo comparables o aún aumentos en la disponibilidad del forraje cuando los pastos están asociados con árboles (Scholes y Archer, 1997; Cruz *et al.*, 1999; Mahecha *et al.*, 1999); para nuestro caso un 3,24% más para el callejón de *P. elliottii*, y un 5,41% más para el de *Q. robur*. Wilson, (1990) encontró que estos aumentos en la mayoría de los casos se han obtenido en condiciones de sombreado moderado (30-40%). Los comportamientos de las variables radiación y biomasa anteriormente explicados, hacen que se presenten elevados valores de EUR.

Por su parte, en el callejón de *E. viminalis* se observa una reducción de la radiación incidente respecto al Testigo, de un 41,05%, pero también una reducción de la producción de biomasa por parte de la herbácea, de un 36,54%, reducciones similares para ambos factores por lo que la EUR es similar a la del Testigo y menores a las que se dan en el callejón de *P. elliottii* y *Q. robur*. La disminución de la PPNA del estrato herbáceo tal como se citó anteriormente, se debe en gran medida a la disminución de la luz que llega al estrato herbáceo, pero también seguramente se deba a efectos alelopáticos generados por la raíces de *E. viminalis* que impiden el normal crecimiento de la herbácea.

Este aumento de EUR en ambientes sombreados, como lo son los callejones silvopastoriles, se explica por los cambios morfológicos que experimentan las plantas afectadas por el sombreado para compensar la baja fotosíntesis, entre los que se puede mencionar el incremento en el área foliar específica (Wong y Wilson, 1980; Shelton *et al.*,

1987). Por su parte, Moreno Hurtado (1998) cita tres mecanismos posibles de adaptación de las especies a la sombra: reducir la tasa respiratoria disminuyendo el punto de compensación lumínico, incrementar el área foliar y aumentar la tasa fotosintética por unidad de energía radiante. Sea cual sea/n la/s adaptación/es que para nuestra situación se presente/n, nos permite/n explicar los resultados anteriormente descritos y también explicar claramente el hecho de que la EUR observada en el Testigo, se encuentre en el grupo de menores valores. Hernández y Guenni (2008), trabajando con *Samanea saman* y con las herbáceas *Urochloa arrecta* y *Urochloa mutica* también observaron que la eficiencia de uso de la radiación (EUR) de este último estrato se incrementó con la sombra y que esos incrementos en la EUR pudieran contribuir significativamente a mejorar el grado de ajuste a la sombra en las especies mencionadas. La EUR de *Avena sativa* creciendo en compañía de *E. viminalis*, posiblemente no presente este comportamiento, por las competencias existentes por recursos y efectos alelopáticos que deprimen la PPNA del estrato herbáceo y de este modo, hacen caer la EUR.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las hipótesis planteadas, podemos concluir que la PPNA de la herbácea es diferente según la especie leñosa acompañante del sistema, siendo la situación más desfavorable, la que está integrada por *Eucalyptus viminalis*, situación muy afectada por sombreado, independientemente del momento del día y del año que nos encontremos; y además por posibles efectos alelopáticos que se citan al utilizar esta especie leñosa.

Al analizar el callejón silvopastoril de *Quercus robur*, y *Pinus elliottii* podemos observar que las PPNA de los estratos herbáceos son superiores a las del sistema compuesto por *E. viminalis*. Esto nos hace pensar en que, no hay una clara ventaja de la caducifolia sobre las que no lo son, por poseer una ventana temporal sin follaje que dejan pasar la luz. Esto podría deberse a que en la época que se da dicha ventana, *Avena sativa* posiblemente limite su crecimiento por bajas temperaturas o estrés hídrico (cuyo estudio no forma parte de este trabajo), y la radiación pasa a tener un papel secundario en la producción de biomasa por parte de la herbácea. *P. elliottii*, al poseer una buena poda natural y una copa permeable, hace que no se limite el crecimiento de la herbácea que se encuentra bajo su dosel, y ésta logre producciones iguales a las que se dan en el callejón de *Q. robur*.

Sumado a lo anterior, las PPNA del estrato herbáceo obtenidas en dichos SSP (*Q. robur* y *P. elliottii*), fueron iguales a las obtenidas en el testigo sin acompañante arbóreo. Esto se explica, por la existencia de diversos efectos de facilitación que se citan en SSP, y que cuando predominan sobre las competencias, pueden expresarse de este modo.

Al analizar la interacción entre radiación y producción de biomasa de la herbácea, observamos que en situaciones sometidas al sombreado, la herbácea aprovecha mejor la radiación obteniendo de este modo una mayor EUR. Estas elevaciones en la EUR dentro del callejón, permiten que aún con elevadas reducciones de la radiación en los sistemas silvopastoriles, se observen producciones iguales o superiores a las del testigo. Esto se explica, por mecanismos que las herbáceas ponen en marcha para hacer frente a la escasa radiación que están recibiendo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, S. N. 1975. Sheep and cattle grazing in forests: A review. **J. of Applied Ecology**, 12: 143-52.
- ALMOROX ALONSO, J. 2010. Efecto de la radiación sobre las plantas. En: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/EFECTO-DE-LA-RADIACION-SOBRE-LAS-PLANTAS.pdf> Consultado: 20-02-23
- ANDERSON, G. W.; R. W. MODRE y P. J. JENKINS. 1988. The integration of pasture, livestock and widely-space pine in South West Western Australia. **Agroforestry Systems**, 6: 195-211.
- 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.
- BASTOS DA VEIGA, J. y D. FEIO DA VEIGA. 2001. Sistemas Silvopastoriles en la Amazonia Oriental. Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria.
- BIFANI, P. 1999. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Cuarta Edición Revisada. Iepala Editorial. Madrid. España. P.385-386.
- BELLÓN, C. A. 1988. Asoleamiento. Dpto de Ingeniería Rural. Cátedra de Planificación de Espacios Verdes. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- BELSKY, A. J. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. **Tropical Grassland**, 26:12-20.
- BERGEZ, J. E.; A. J. I. DALZIEL; C. DULLER; W. R. EASON; G. HOPPE y R. H. LAVENDER. 1997. Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis. *Agrofor. Syst.* 37, 227–240.
- CAMPBELL, G. S. 1977. An introduction to Environmental Biophysics. New York, Springer. P. 159.
- 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.
- CHAPMAN, G.P. y W.E. PEAT. 1995. **Introducción a las Gramíneas (Incluyendo bambúes y cerarles)**. Editorial Accribia, S.A. Zaragoza. Cap.6. p.63
- CIREN CORFO. 1989. Cereales, cultivos industriales y flores. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación CIREN N° 86, Santiago, Chile.

- 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 p.
- COLLET, L. 2010. Diseño Bioclimático solar. Apunte sobre Asoleamiento. Universidad Católica de Córdoba.
- CONNOR, D.J. 1983. Plants stress factors and their influence on production of agroforestry plant associations. In: P.A. Huxley (ed.). **Plant Research and Agroforestry.** ICRAF, Nairobi. p. 401-24.
- COPPINI, E. O. 2015. Estudio del efecto alelopático de *Eucalyptus viminalis* sobre la producción de biomasa aérea y de raíces en *Avena sativa*. Proyecto final de grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- CRUZ P.; J. SIERA; J. R. WILSON; M. DULORNME y R. TOURNEBIZE. 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. *Ann. Arid Zone*, 38(3&4): 335-361.
- DI RIENZO, J.; R. MACCHIAVELLI y F. CASANOVES. 2008. Modelos mixtos en InfoStat.
- ESCOLÁSTICO LEÓN, C.; M. del P. CAPILDO MIRANDA; R. M . CLARAMUNT VALLESPÍ y T. CLARAMUNT VALLESPÍ. 2013 *Ecología I: Introducción, organismos y poblaciones.* Universidad nacional de educación a distancia. Madrid, España. Pág.:51-52
- ETIENNE, M. 1996. Western European Silvopastoral Systems. INRA. Paris. P. 276.
- FASSOLA, H. E.; A. N. PACHAS y S. M. LACORTE. 2005. Estimación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y niveles de sombra bajo dosel de *Pinus taeda* en la provincia de misiones y ne de corrientes. En 3° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina.
- GALIANA, F.; R. P. BADÍA y E. CAMARERO. 2001. Estimación de la radiación solar incidente en pinares de *Pinus halepensis* sometidos a tratamientos sevícolas de cortas finales.
- GARABATOS, M. 1991. **Temas de Agrometeorología.** 1ra Edición en Español. Impresiones Amawald S.A. Buenos Aires, Argentina. Tomo 2. Cap.2. p.68-69,71-73.
- GARCÍA, M.D. 1997. Diferencias fisiológicas entre las especies con metabolismo C3 y C4. Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- GIRALDO L. y G. VÉLEZ. 1993. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. *Industrias & Producción Agropecuaria.* Azoodea, Medellín, 1(3): 27-31.

- GLIESSMAN, S.R. 2002. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Edición en español. Impresión: Litocat, Turrialba, Costa Rica. Cap.2. p.34
- GRELEN, H. E. 1978. Forest grazing in the South. J. of Range Management, 31:244-49.
- HERNÁNDEZ M. J. y O. GUENNI. 2008. Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). Zootecnia Trop. v.26 n.4. Maracay. Venezuela
- HORNE, P. y G. BLAIR. 1991. Forage Tree Legumes. IV. Productivity of Leucaena/grass mixture. Australian Journal of Agricultural Research 42:1231-1250.
- JIMÉNEZ, F. y A. VARGAS. 1998. Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba. Costa Rica. Cap. 4. p. 121.
- LART UBA. 2003. Sistema de seguimiento forrajero - Fundamentos del sistema: eficiencia en el uso de la radiación y teledetección. En: <http://larfile.agro.uba.ar/lab-sw/sw/gui/Fundamentos.html> Consultado: 22-02-13
- LEONARD, D. 1981. Cultivos Tradicionales. En: http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/hlthes/pc/m0035s/es/M0035S05.HTM. Consultado: 20-02-2013
- 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.
- MAHECHA L.; M. ROSALES y C. MOLINA. 1999. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* - *Cynodon plectostachyus* - *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. En Sánchez M. y M. Rosales (Eds.) Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Serie FAO Producción y Salud Animal, No. 143. Roma, Italia. pp. 407-420.
- MAHECHA, L. 2002. El Silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol.15. N°2.
- MONTAGNINI, F. 1992. **Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los tropicos**, 2ª ed. San Jose, CR. Organización para Estudios Tropicales. 622 p.
- 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.

- MOSHER, A.T. 1978. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Curso de capacitación sobre planificación y administración de empresas campesinas. Anolaima, Colombia.
- NOBEL, P. S. 1991. *Physiochemical and Environmental Plant Physiology*. New York, Academic Press. P. 635.
- NORDENSTAHL, M.; P.E. GUNDEL; M.P. CLAVIJO y E.G. JOBBÁGV. 2011. Forage production in natural and afforested grasslands of the Pampas: ecological complementarity and management opportunities. *Agroforestry Systems*, DOI 10.1007/s10457-011-9383-6.
- OTS. 1992. *Sistemas Agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. Montagnini, F. (ed). San José, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales (OTS).
- PACHAS, N. A.; L. COLCOMBET; M. CORREA y H. H. HENNING. 2008. Producción forrajera de *Axonopus catarinensis* Valls bajo diferentes densidades de *Eucalyptus grandis* en Sistemas Silvopastoriles. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, Argentina.
- PALIWAL, H.R. 2001. El maíz en los trópicos. *Fisiología y Producción*. Cap. Fisiología del maíz tropical. P. 21.
- PALMER, J. W. y JACKSON, J.E. 1977. Seasonal light interception and canopy development in hedgerow and bed system apple orchards. *Journal of Applied Ecology*. Cap. 14. p. 539-349.
- PAYNE, W. J. A. 1985. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. ***Forest Ecology and Management***, 12:1-36.
- PEARCE, R. B.; R. H. BROWN y R. E. BLASER. 1967. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. *Crop Science*. Cap. 7. p. 321-324.
- PENTÓN FERNÁNDEZ, G. 2000. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.
- PETIT ALDANA, J. y SUNIAGA QUIJADA, J. 2005. Manual de ganadería doble propósito. Sistema Silvopastoril. En: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/95-sistemas_silvopastoriles.pdf Consultado: 12-03-12.
- PINCEMIN, J. M.; S. J. MONLEZUN; H. ZUNINO; P. S. CORNAGLIA y E. BORODOWSKI. 2007. *Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos*. AAPA ALPA Cusco Perú.
- REYNOLDS, S. G. 1995. *Pasture – cattle – coconut Systems*. Bangkok, Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific.

- ROSS, J. 1981. The radiation regime and architecture of plants stands. The Hague, W. Junk. p. 391.
- SADAVA, D.; G. HELLER; G. ORIANIS; W. PURVES y D. HILLS. 2009. Vida: La ciencia de la Biología. 8va Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires. Argentina. Cap. 2. p. 162.
- SANDERSON, M. A.; D. W. STAIR y M. A. HUSSEY. 1997. Physiological and morphological responses of perennial forages to stresses. *Advances in Agronomy* 58:171-224.
- SCHOLES R. J. y S. R. ARCHER. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 28: 517-544.
- SHELTON, H. M.; L.R. HUMPHREYS y C. BATELLO. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: Performance and prospects. *Tropical Grassland* 21:159-168.
- STEPPLER, H. A. y P. K. RAMACHANDRAN NAIR. 1987. Agroforestry a Decade of Development. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya. Pág.: 37.
- TIESZEN, L.L. 1981. Photosynthetic systems: implications for agroforestry. En: Huxley, P.A. (Ed.). *Plant Research and Agroforestry. Proceedings of a Consultation Meeting held in Nairobi, Kenya.* ICRAF. Pp 323-346.
- TOLEDO, J.M. y F. TORRES. 1990. Agroforestry land-use systems. In: *Proceedings of a Special Section on Agroforestry Land-use Systems in International Agronomy.* American Society of Agronomy Meeting. Nov. 28-29. 1988. Anaheim, CA. A special publication of Nitrogen Fixing Tree Association. Hawaii. 112p.
- VALLADARES, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología* 20, 11–30.
- WILSON, J. R.; K. HILL; D. M. CAMERON y H. M. SHELTON. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, 24. p.24-28.
- WILSON J. R. 1990. The eleventh hypothesis: Shade. *Agroforestry Today*, 2: 14-15.
- WONG, C. C. y J. R. WILSON. 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 Agriculture Research*. 31: 269-285.

ANEXO

Anexo 1.

Tabla 4. Datos climáticos del sitio en estudio (Parte 1).

FECHA	T. Máx.	T. Mín.	T. Med.	Rad. Sol.	FECHA	T. Máx.	T. Mín.	T. Med.	Rad. Sol.
05/03/2012	30,72	18,13	22,37	12,22	01/05/2012	22,94	5,57	13,36	15,37
06/03/2012	27,15	17,52	21,07	20,43	02/05/2012	24,49	5,53	14,36	16,63
07/03/2012	30,89	19,09	23,37	19,81	03/05/2012	25,52	7,56	15,86	16,15
08/03/2012	30,24	18,98	23,65	19,81	04/05/2012	26,42	9,29	17,33	13,55
09/03/2012	31,89	20,25	25,33	20,46	05/05/2012	27,56	13,43	19,05	12,94
10/03/2012	32	22,15	25,64	25,63	06/05/2012	25,04	13	18,39	13,46
11/03/2012	34,52	22,65	27,71	18,01	07/05/2012	27,33	12,98	18,92	11,83
12/03/2012	25,47	19,6	21,7	24,29	08/05/2012	26,65	13,99	19,61	9,03
13/03/2012	26,72	16,37	19,85	14,31	09/05/2012	23,89		17,66	12,15
15/03/2012	26,68	12,41	18,88	25,2	10/05/2012	19,51	6,59	13,23	15,84
16/03/2012	28,38	14,93	20,68	25,51	11/05/2012	20,12	7,08	12,84	10,25
17/03/2012	30,03	14,6	21,59	25,21	12/05/2012	18,36	1,17	9,34	13,65
18/03/2012	33,2	16,04	23,85	24,51	13/05/2012	21,53	8,39	13,09	11,69
19/03/2012	36,11	17,03	25,23	21,23	14/05/2012	22,82	3,12	12,96	14,89
20/03/2012	21,86	15,27	17,83	9,11	15/05/2012	23,58	7,81	14,75	15,17
21/03/2012	25,66	14,93	18,89	15,07	16/05/2012	25,17	7,54	15,86	14,63
22/03/2012	24,01	11,88	16,94	19,79	17/05/2012	26,51	14,17	18,85	10,45
23/03/2012	25,73	10,07	16,1	17,36	18/05/2012	16,42	3,45	11,94	12,39
24/03/2012	29,33	12,32	19,53	22,2	19/05/2012	18,15	4,25	10,97	14,23
25/03/2012	18,62	11,95	15,15	1,68	20/05/2012	13,9	9,87	11,84	3,49
26/03/2012	23,71	7,19	14,58	18,34	21/05/2012	14,88	8,51	10,74	7,28
27/03/2012	19,56	3,97	10,66	24,54	22/05/2012	12,24	9,96	10,92	2,93
28/03/2012	31,67	4,89	16,79	24,19	23/05/2012	18,73	5,76	11,39	13,99
29/03/2012	29,2	11,32	18,8	22,16	24/05/2012	20,24	4,98	11,85	13,69
30/03/2012	31,83	12,14	20,84	22,99	25/05/2012	17,07	11,41	14	4,28
31/03/2012	32,53	14,88	22,74	22,11	26/05/2012	19,55	11,31	14,27	5,31
01/04/2012	32,2	15,77	22,62	13,27	27/05/2012	22,71	11,32	16,64	11,45
02/04/2012	21,32	14,57	18,07	7,28	28/05/2012	24,4	10,19	15,83	9,72
03/04/2012	30,38	14,86	21,18	21,05	29/05/2012	24,05	7,9	15,22	10,73
04/04/2012	33,16	12,52	22,47	20,63	30/05/2012	22,5	5,66	12,24	13,5
05/04/2012	20,31	8,56	14,05	21,98	31/05/2012	22,7	4,11	12,28	12,52
06/04/2012	29,24	7,17	17,75	21,35	01/06/2012	23,7	5,74	14,48	12,23
07/04/2012	34,68	12,51	22,27	21,45	02/06/2012	21,52	5,19	13,04	13,22
08/04/2012	27,23	12,28	17,63	12,28	03/06/2012	16,1	4,72	9,66	10,51
09/04/2012	28,79	12,12	19,59	17,56	04/06/2012	11,91	2,44	6,91	13,52
10/04/2012	25,27	14,23	18,18	17,3	05/06/2012	18,72	-0,9	7,45	13,55
11/04/2012	28,12	15,82	19,83	14,81	06/06/2012	7,28	-3,3	2,7	14,11
12/04/2012	30,34	15,04	21,91	18,93	07/06/2012	13,9	-6,75	3,01	14,23
13/04/2012	19,55	15,91	18,21	1,85	08/06/2012	15,39	-4,04	4,89	13,07
14/04/2012	22,78	11,32	16,74	13,44	09/06/2012	17,15	-0,46	6,77	10,37
15/04/2012	26,13	9,57	17,47	19,8	10/06/2012	19,43	-1,01	8,22	12,99
16/04/2012	27,51	12,95	19,2	15,39	11/06/2012	21,51	5,58	12,19	11,27
17/04/2012	25,85	11,63	18,57	18,58	12/06/2012	20,9	5,73	12,41	11,21
18/04/2012	29,07	15,59	21,16	15,72	13/06/2012	23,91	8,32	14,64	11,82
19/04/2012	24,32	14,87	17,85	10,24	14/06/2012	17,56	5,62	10,8	9,36
20/04/2012	29,83	13,75	20,47	18,01	15/06/2012	14,11	3,38	8,41	9,6
21/04/2012	19,13	11,2	14,96	13,72	16/06/2012	7,53	3,07	5,74	4,02
22/04/2012	19,44	9,34	13,93	12,21	17/06/2012	11,91	5,05	6,95	7,59
23/04/2012	15,92	9,78	13,02	6,68	18/06/2012	17,78	-1,36	7,27	12,43
24/04/2012	17,94	10,86	12,86	7,95	19/06/2012	18,87	-0,1	8,52	12,55
25/04/2012	15,54	10,1	12,47	5,81	20/06/2012	21,81	1,2	10,68	10,84
26/04/2012	12,71	4,97	8,6	11,25	21/06/2012	16,76	4,14	10,99	12,9
27/04/2012	12,04	6,13	8,19	5,01	22/06/2012	22,72	1,67	11,28	12,52
28/04/2012	13,86	3,78	8,59	7,43	23/06/2012	20,77	2,5	11,18	12,2
29/04/2012	19,54	0,45	8,99	16,69	24/06/2012	18,21	2,59	9,91	12,73
30/04/2012	23,06	3,76	12,83	17,17	25/06/2012	18,36	-2,67	6,72	12,96

Tabla 5. Datos climáticos del sitio en estudio (Parte 2).

FECHA	T.Máx.	T. Mín.	T. Med.	Rad. Sol.	FECHA	T.Máx.	T. Mín.	T. Med.	Rad. Sol.
26/06/2012	21,58	4,4	12,04	12,63	21/08/2012	23,11	3,24	13,2	15,66
27/06/2012	24,86	4,71	13,75	11,73	22/08/2012	28,05	9,77	17,02	16,27
28/06/2012	17,78	8,08	12,85	6,09	23/08/2012	13,04	7,86	10,08	4,1
29/06/2012	21,8	5,22	12,53	11,63	24/08/2012	14,19	1,15	8,04	19,6
30/06/2012	18,58	7,55	12,62	9,72	25/08/2012	15,27	-2,78	6,45	17,93
01/07/2012	23,17	8,95	14,37	9,91	26/08/2012	15,26	1,15	7,77	19,2
02/07/2012	13,7	3,73	6,48	2,74	27/08/2012	15,7	0,78	6,85	18,44
03/07/2012	12,28	-1,63	5,53	12,85	28/08/2012	17,24	1,23	8,59	19,12
04/07/2012	17,18	-0,46	7,64	11,96	29/08/2012	23,16	3,74	12,43	18,3
05/07/2012	9,73	2,83	5,85	7,14	30/08/2012	24,12	5,44	13,38	16,98
06/07/2012	15,45	0,85	6,57	11,45	31/08/2012	29,16	7,82	17,29	15,76
07/07/2012	18,7	-2,03	7,34	13,09	01/09/2012	30,58	10,55	20,05	18,95
08/07/2012	18,16	-0,11	7,89	13,16	02/09/2012	27,79	11,64	19,12	15,8
09/07/2012	19,03	-3,43	6,83	12,71	03/09/2012	21,52	10,38	15,1	14,09
10/07/2012	9,79	-2,47	4,18	13,51	04/09/2012	15,7	10,77	12,01	4,74
11/07/2012	21,59	-3,94	6,48	10,61	05/09/2012	12,64	8,86	10,79	3,51
12/07/2012	19,46	4,26	11,02	12,96	06/09/2012	9,04	8,35	8,67	1,6
13/07/2012	18,36	4,6	11,21	13,19	07/09/2012	19,86	8,71	12,84	16,11
14/07/2012	11,77	-1,33	4,86	10,88	08/09/2012	21,4	8,69	14,55	18,76
15/07/2012	5,44	0,88	3,77	2,96	09/09/2012	13,86	6,3	10,5	5,24
16/07/2012	15,89	-0,45	5,93	13,6	10/09/2012	21,53	7,86	13,75	21,57
17/07/2012	19,99	-1,92	8,36	13,85	11/09/2012	24,54	8,98	16,23	18,15
18/07/2012	26,17	1,11	11,68	14,17	12/09/2012	26,81	8,9	17,7	21,5
19/07/2012	24,05	2,91	11,99	12,31	13/09/2012	26,97	13,88	19,41	21,76
20/07/2012	23,67	5,22	11,66	11,42	14/09/2012	29,24	14,33	20,92	21,98
21/07/2012	19,07	4,3	11,46	14,24	15/09/2012	30,39	13,99	20,1	18,33
22/07/2012	18,47	2,16	10,1	14,27	16/09/2012	27,83	13,64	18,87	18,47
23/07/2012	21,9	1,11	10,93	13,46	17/09/2012	14,07	10,77	12,28	4,21
24/07/2012	13,59	0,15	7,35	15,38	18/09/2012	12,48	8,07	10,09	3,78
25/07/2012	18,37	-1,41	7,93	15,29	19/09/2012	16,86	5,56	10,56	24,11
26/07/2012	14,38	-0,98	7,03	15,77	20/09/2012	20,36	7,02	11,93	17,57
27/07/2012	17,31	-2,66	6,6	15,69	21/09/2012	19,81	3,9	11,29	24,41
28/07/2012	21,71	-2,76	9,07	15,03	22/09/2012	23,98	4,09	14,64	23,58
29/07/2012	12,96	-0,94	6,27	16,88	23/09/2012	27,46	11,48	17,87	21,37
30/07/2012	13,66	-1,76	5,3	16,2	24/09/2012	15,99	5,97	12,42	15,34
31/07/2012	14,64	1,12	7,06	11,29	25/09/2012	16,33	-0,36	8,16	26,46
01/08/2012	18,05	-3,27	8,08	15,8	26/09/2012	19,46	0,99	10,05	26,07
02/08/2012	19,52	5,09	10,87	10,82	27/09/2012	19,8	4,99	12,22	23,79
03/08/2012	15,97	8,04	10,59	11,97	28/09/2012	25,71	9,32	15,95	22,03
04/08/2012	14,61	4,25	9,29	9,21	29/09/2012	29,06	8,26	18,43	24,07
05/08/2012	18,99	3,8	10,41	11,12	30/09/2012	29,14	11,89	17,48	15,84
06/08/2012	11,61	9,24	10,09	2,73	01/10/2012	18,16	12,03	15,69	3,28
07/08/2012	13,99	7,14	9,52	8,76	02/10/2012	18,88	7,27	12,86	13,98
08/08/2012	17,11	7,81	11,84	10,36	03/10/2012	23,38	4,34	14,01	27,13
09/08/2012	27,82	5,45	16,81	15,55	04/10/2012	26,65	10,4	17,8	24,59
10/08/2012	24,79	8,65	15,85	15,36	05/10/2012	30,02	12,2	17,97	19,79
11/08/2012	16,05	7,13	11,6	13,47	06/10/2012	15,09	10,41	12,8	6,91
12/08/2012	19,93	-0,05	10,09	18,09	07/10/2012	20,03	13,52	15,04	6,69
13/08/2012	18,72	3,86	10,95	13,7	08/10/2012	17,84	10,55	13,22	13,68
14/08/2012	16,72	4,58	10,36	7,55	09/10/2012	20,49	11,31	14,25	9,27
15/08/2012	15,74	7,51	11,77	5,19	10/10/2012	18,44	7,43	11,22	21,68
16/08/2012	18,03	13,13	15,04	3,25	11/10/2012	21,9	6,21	13,57	28,06
17/08/2012	15,34	8,51	12,26	2,35	12/10/2012	25,08	9,84	16,58	28,31
18/08/2012	17,31	7,25	11,08	16,16	13/10/2012	27,26	12,4	19,17	27,77
19/08/2012	20,63	6,92	13,07	16,58	14/10/2012	30,95	14,57	22,52	26,81
20/08/2012	19,28	6,03	12	15	15/10/2012	19,83	12,04	14,3	18,32

Anexo 2:

Tabla 6. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles durante el otoño de acuerdo a la especie leñosa.

Especie	Hora	RFA media ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		RFA media Testigo ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Disminución RFA (%)
<i>Q. robur</i>	12:00 a 15:00	864.99	A	1041.86	16.98
<i>P. elliottii</i>	13:00 a 15:00			1030.01	16.02
<i>Q. robur</i>	16:00	628.72	B	628.72	0.00
<i>P. elliottii</i>	12:00			1077.38	41.64
<i>Q. robur</i>	11:00 y 17:00	464.50	C	666.45	30.30
<i>P. elliottii</i>	11:00 y 16:00			773.60	39.96
<i>E. viminalis</i>	14:00 a 16:00			845.38	45.05
<i>Q. robur</i>	10:00	223.01	D	660.10	66.22
<i>P. elliottii</i>	10:00 y 17:00			529.30	57.87
<i>E. viminalis</i>	11:00 a 13:00 y 17:00			894.25	75.06
<i>Q. robur</i>	09:00	82.09	E	398.52	79.40
<i>P. elliottii</i>	09:00			398.52	79.40
<i>E. viminalis</i>	10:00			660.10	87.56
<i>Q. robur</i>	18:00	43.12	F	49.67	13.18
<i>P. elliottii</i>	18:00			49.67	13.18
<i>E. viminalis</i>	9:00 y 18:00			224.09	80.76

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

Anexo 3:

Tabla 7. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles durante el invierno de acuerdo a la especie leñosa.

Especie	Hora	RFA media ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		RFA media Testigo ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Disminución RFA (%)
<i>Q. robur</i>	12:00 a 15:00	613.39	A	696.79	11.97
<i>P. elliottii</i>	12:00 a 15:00			696.79	11.97
<i>Q. robur</i>	11:00 y 16:00	474.21	B	548.81	13.59
<i>E. viminalis</i>	14:00 a 15:00			662.52	28.42
<i>Q. robur</i>	10:00	368.94	C	477.67	22.76
<i>P. elliottii</i>	11:00 y 16:00			548.81	32.77
<i>E. viminalis</i>	16:00			480.48	23.21
<i>Q. robur</i>	17:00	249.53	D	297.57	16.15
<i>E. viminalis</i>	13:00 y 17:00			520.31	52.04
<i>P. elliottii</i>	10:00	148.06	E	477.67	69.00
<i>E. viminalis</i>	12:00			719.05	79.41
<i>Q. robur</i>	9:00 y 18:00	63.59	F	196.12	67.58
<i>P. elliottii</i>	9:00 y 18:00			196.12	67.58
<i>E. viminalis</i>	9:00 a 11:00 y 18:00			371.76	82.90

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

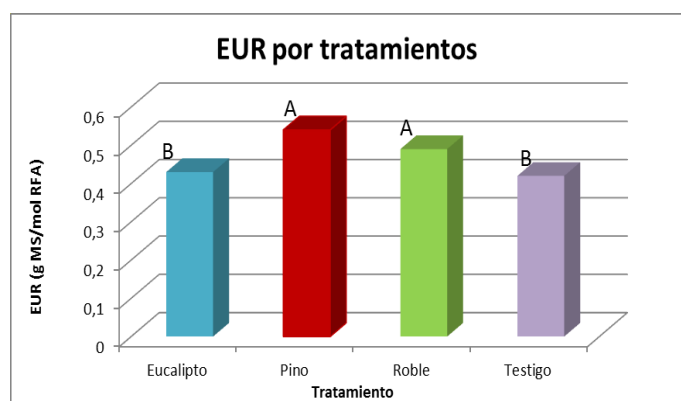
Anexo 4.

Tabla 8. Distribución temporal de la RFA en los sistemas silvopastoriles durante la primavera de acuerdo a la especie leñosa.

Especie	Hora	RFA media ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		RFA media Testigo ($\mu\text{Mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Disminución RFA (%)
<i>Q. robur</i>	12:00 a 15:00	842.51	A	886.47	4.96
<i>P. elliottii</i>	12:00 a 14:00			912.27	7.65
<i>Q. robur</i>	11:00	709.59	B	856.80	17.18
<i>P. elliottii</i>	11:00 y 15:00			832.93	14.81
<i>E. viminalis</i>	12:00 a 15:00			886.47	19.95
<i>Q. robur</i>	9:00 a 10:00 y 16:00	484.55	C	556.09	12.86
<i>P. elliottii</i>	10:00 y 16:00			567.63	14.64
<i>E. viminalis</i>	11:00			856.80	43.45
<i>P. elliottii</i>	09:00	366.84	D	533.00	31.17
<i>E. viminalis</i>	10:00 y 16:00			567.63	35.37
<i>Q. robur</i>	17:00	163.75	E	172.20	4.91
<i>P. elliottii</i>	17:00			172.20	4.91
<i>E. viminalis</i>	9:00 y 17:00			352.60	53.56
<i>Q. robur</i>	18:00	97.21	F	107.87	9.88
<i>P. elliottii</i>	18:00			107.87	9.88
<i>E. viminalis</i>	18:00			107.87	9.88

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Anexo 5.



Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 7. Eficiencia del uso de la radiación (EUR) de *Avena sativa* en g MS/mol RFA interceptado, para cada uno de los sistemas silvopastoriles estudiados y en el testigo sin acompañante arbóreo.

Anexo 6.



Fotografía 1. Imagen satelital del establecimiento donde se desarrolló la experiencia (verde) y zona donde se encontraban los ensayos (amarillo).



Fotografía 2. Detalle de los Sistemas Silvopastoriles donde se realizaron las experimentaciones.



Fotografía 3. Callejón silvopastoril con *Avena sativa* durante la primavera. Nótese la magnitud de la sombra generada por *Eucalyptus viminalis* (rojo) en comparación de la escasa sombra generada por *Quercus robur* (amarillo).



Fotografía 4. Sistema silvopastoril durante el invierno. Nótese las copas desnudas de *Quercus robur* (amarillo).



Fotografía 5. Zona de muestreo de biomasa (Izq.), herramientas de muestreo (Arriba Der.), y muestras embolsadas (Abajo Izq.).



Fotografía 6. Secuencia del procesamiento de la biomasa.



Fotografía 7. Medición de radiación fotosintéticamente activa (Izq.) y ceptómetro (Der.).