

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**



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

Modalidad: proyecto

**PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA DEL COMPONENTE
HERBÁCEO DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA
LLANURA ONDULADA DEL SUR DE CÓRDOBA**

**Autor: Utello, Marco Jesús
DNI: 34.801.735**

Director: Ing. Agr. Plevich, José Omar

**Río Cuarto – Córdoba – Argentina
Abril 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**



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

Modalidad: proyecto

**PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA DEL
COMPONENTE HERBÁCEO DE SISTEMAS
SILVOPASTORILES EN LA LLANURA ONDULADA DEL
SUR DE CÓRDOBA**

**Autor: Utello, Marco Jesús
DNI: 34.801.735**

Director: Ing. Agr. Plevich, José Omar

**Río Cuarto – Córdoba – Argentina
Abril 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final: Producción primaria neta aérea del
componente herbáceo de sistemas silvopastoriles en la llanura
ondulada del sur de Córdoba**

Autor: Utello, Marco Jesús

DNI: 34.801.735

Director: Ing. Agr. Plevich, José Omar

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

Lic. MSc. Telmo Pereyra _____

Ing. Ftal. Marcela Demaestri _____

Ing. Agr. MSc. José Omar Plevich _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

Dedico:

A Dios

Porque siempre me brindo su protección.

A mis Padres

Que siempre estuvieron apoyando mis sueños.

A mi Familia

Por su constante aliento y sincero apoyo incondicional.

A mis Amigos

Quienes me siguieron en este camino brindando su compañía.

Le agradezco:

A mis padres, Nolberto y Silvia, por su esfuerzo y voluntad para que hoy esté aquí.

A mi director y amigo, José Omar Plevich, un verdadero apasionado de su profesión quien me sugirió esta línea de investigación y me guió en el transcurso de la misma.

A mis amigos: Alexis E. Natola, Ian Prack Macormic, Diego H. Zárate y a Lucrecia Celli quienes me brindaron su ayuda en las actividades de campo y laboratorio.

A mi hermana, Andrea Utello, quien me ayudó en la revisión del escrito.

A toda mi familia por acompañarme en el transcurso de esta experiencia.

Y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
CERTIFICADO DE APROBACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE FOTOGRÁFICO.....	VIII
RESUMEN.....	IX
SUMMARY.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
HIPÓTESIS.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
- Distribución espacial y temporal de la producción primaria neta aérea en la pastura (PPNAP) del sistema silvopastoril y en la pastura vecina sin árboles.....	9
- Distribución espacial y temporal del agua en el suelo del sistema silvopastoril y en la pastura vecina sin árboles.....	9
- Respuesta de la PPNA de <i>Avena sativa</i> a las interferencias o facilitaciones presentes en el sistema silvopastoril.....	9
- Estimación de la eficiencia del uso del agua (EUA) de los sistemas silvopastoriles bajo estudio y de una pastura no forestada.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	
- Producción primaria neta aérea del componente herbáceo.....	13
- Primer ciclo productivo.....	14
- Segundo ciclo productivo.....	17
- Eficiencia del uso del agua.....	20
CONCLUSIÓN.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXO.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de biomasa seca aérea de <i>Avena sativa</i> en los callejones de sistemas silvopastoriles y en un testigo sin árboles.....	13
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la marcha de las precipitaciones mensuales correspondientes a “La Aguada” para el año 2012 con respecto al promedio de los últimos 20 años. Datos proporcionados por la cátedra de Agrometeorología de la UNRC	12
Figura 2. Representación gráfica de la marcha de las temperaturas medias mensuales también para “La Aguada” con respecto al promedio de los últimos 20 años. Datos proporcionados por la cátedra de Agrometeorología de la UNRC.....	12
Figura 3. PPNA del componente herbáceo de las parcelas silvopastoriles y el testigo sin árboles. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).....	14
Figura 4. PPNA del primer ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).....	15
Figura 5. Representación gráfica de la PPNA del primer ciclo con respecto a la exposición N-S para los cuatro tratamientos.....	17
Figura 6. PPNA del segundo ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).....	18
Figura 7. Representación gráfica de la EUA del verdeo de avena de las parcelas de <i>Pinus elliottii</i> , <i>Eucalyptus viminalis</i> , <i>Quercus robur</i> y la del testigo sin árboles.....	21

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Imagen satelital del sistema silvopastoril.....	34
Fotografía 2. Sistema silvopastoril: observación antes del último pastoreo.....	34
Fotografía 3. Toma de muestras de suelo con barreno antes del último pastoreo.....	35
Fotografía 4. Estufas cargadas con muestras de material vegetal para obtención de materia seca.....	35
Fotografía 5. Procesamiento de muestras de biomasa, separando material verde de senescente.....	36
Fotografía 6. Balanza analítica pesando biomasa senescente.....	36
Fotografía 7. Procesamiento de suelo para ser llevado a microondas.....	36
Fotografía 8. Balanza analítica pesando suelo húmedo para ser llevada a microondas.....	36

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar la producción primaria neta aérea y la eficiencia del uso del agua (EUA) de un verdeo de *Avena sativa* en tres sistemas silvopastoriles. El ensayo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación Pozo del Carril, ubicado a los 32° 58' S y 64° 40' O. Los sistemas silvopastoriles fueron instalados en la primavera de 1998 mediante una plantación de tres especies forestales que determinó callejones cultivables. En marzo de 2012 se realizó la siembra de avena en dichos callejones y en un lote testigo sin árboles. Los resultados mostraron que en las parcelas integradas por *Pinus elliottii* y en *Quercus robur* la producción de avena no presentó diferencias con respecto al testigo sin árboles ($p < 0,05$), mientras que en la que estuvieron integradas por *Eucalyptus viminalis* la producción de forraje fue menor. La biomasa herbácea en la zona central de los callejones, tanto en *P. elliottii*, como en *Q. robur* fue similar o superior a la del testigo dependiendo si la disponibilidad de agua fue suficiente o menor a la demanda hídrica del cultivo, respectivamente ($p < 0,05$). La EUA mostró un patrón similar a la de la biomasa aérea. Las parcelas integradas por *E. viminalis* fueron las menos eficientes, mientras que en los sistemas con *P. elliotti* y *Q. robur*, el sector del callejón donde se encontró la mayor EUA fue la zona central y las exposiciones al norte de las hileras de árboles.

Palabras clave: *sistemas agroforestales; Avena sativa; sistemas en callejones; biomasa herbácea; eficiencia del uso del agua.*

SUMMARY

The objective was to study the net primary air production and water use efficiency (WUE) of a pasture of *Avena sativa* in three silvopastoral systems. The test was carried out in the teaching and experimentation field, Pozo del Carril, located at 32° 58' S and 64° 40' W. The silvopastoral systems have an alley structure and the trees were planted in the spring of 1998. In March 2012 oat was planted in these alleys as well as in a control field without trees. The results showed that in the plots of *Pinus elliottii* and those of *Quercus robur* the oat production did not present any differences compared to that of the control field without trees ($p < 0.05$), while in the case of *Eucalyptus viminalis* the herbage production was inferior. In the case of the *Pinus elliottii* and that of *Quercus robur*, when the demand for water was met, in the central area of the alleys the herbaceous biomass increased to control values. But when moisture conditions were insufficient, the central points of the same alleys had a higher production than that of the control ($p < 0.05$). As for the WUE, the eucalyptus plots were the least efficient. With regard to pine and oak, the area of the alley with the greatest water use efficiency was found in the central area and the area exposed on the north side of the lines of trees.

Key words: *agroforestry systems; Avena sativa; alley farming; herbaceous biomass; efficiency of water use.*

INTRODUCCIÓN

La agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de tierras que implican la combinación de árboles forestales, ya sea con la ganadería, o con los cultivos (Combe y Budowski, 1979). Los sistemas agroforestales, incluyendo a los sistemas silvopastoriles (SSP), son sistemas de uso de la tierra diversificados y multiestratificados en los cuales los cultivos arbóreos son explotados en asociación, planificada o no, con cultivos agrícolas anuales o pastos, de manera simultánea o secuencial. Los SSP asocian el componente arbóreo a las forrajeras o permiten la integración con animales y cuando incorporan también cultivos temporales, son llamados sistemas agrosilvopastoriles. Teóricamente, estos sistemas aumentan la eficiencia de la utilización de los recursos naturales por presentar una complementariedad entre las diferentes explotaciones involucradas (Montagnini, 1992).

A nivel nacional el Ministerio de Agricultura promueve la actividad forestal y dentro de esta la implementación de sistemas silvopastoriles. Entre las leñosas sugeridas se encuentran especies de los géneros *Eucalyptus*, *Pinus*, *Populus*, y *Quercus*. Muchas de las especies de estos géneros han sido sugeridas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles debido a las características morfológicas que presentan tales como: a) dominancia apical y buena poda natural o la tolerancia a podas intensas; b) baja relación diámetro de copa/tronco, con copa clara que deja pasar la luz al suelo y no intercepta la lluvia en elevadas proporciones; c) la descomposición de sus restos o exudados de raíces no provoca efectos alelopáticos sobre las especies palatables del sotobosque; y d) son eficaces bombas de nutrientes y sus sistemas radicales exploran horizontes profundos del suelo, para disminuir la competencia con el estrato herbáceo y obtener mayor productividad de los componentes arbóreo y forrajero (Rigueiro, 2000).

En Argentina, las combinaciones de leñosas perennes con pasturas y animales se presentan en formas muy diversas, lo que ha generado diferentes tipos de sistemas silvopastoriles, siendo los que más se destacan: pastoreo en plantaciones maderables, árboles y arbustos dispersos en potreros, y cortinas rompevientos (Plevich *et al.*, 2002).

Pese a la utilización de los sistemas silvopastoriles, existe muy poca información sobre producción de sus componentes. Por eso el propósito de este trabajo final es estudiar la producción primaria neta aérea del componente herbáceo, de sistemas silvopastoriles, en la llanura ondulada del sur de Córdoba y la dinámica de la variable ambiental agua que la determina.

ANTECEDENTES

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 y Leakey, 1999; Roupsard *et al.*, 1999). Este desfase temporal podría estar dado por la combinación de especies forrajeras templadas con árboles caducifolios favoreciendo 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 y llevan la dominación en el estrato herbáceo (Clavijo *et al.*, 2005).

El funcionamiento de la vegetación, es decir, el intercambio de materia y energía con el ambiente, se describe frecuentemente mediante la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Sala *et al.*, 1988, Burke *et al.*, 1994, Epstein *et al.*, 1997, Paruelo *et al.*, 1998, Knapp y Smith, 2001). La productividad primaria neta es entonces una variable integradora del funcionamiento del ecosistema y refleja la entrada de energía a la cadena alimenticia (McNaughton *et al.*, 1989).

Interacciones en sistemas silvopastoriles:

Las relaciones entre facilitación y competencia es un factor dinámico que varía con la fenología y 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, siendo esta última función de la hora del día, la época del año y la latitud en donde nos encontremos (Reynolds, 1995).

Complementariedad:

La complementariedad entre dos especies se da cuando el uso de un recurso por una especie no es a expensas de la utilización de este recurso por la otra especie (Schroth *et al.*, 2003). Por lo tanto, es necesario explorar las sinergias en la asociación árbol-pasto a través de la evaluación de diferentes especies de plantas en virtud de un determinado suelo y condiciones climáticas (Vishwanatham *et al.*, 1999).

Un ejemplo de complementariedad es la reducción de las pérdidas de nutrientes del sistema a través de la captura de nutrientes por los árboles en el subsuelo (Schroth *et al.*, 2003). Por lo tanto, la inclusión de especies arbóreas con raíces profundas asociadas a gramíneas que carecen de tejidos leñosos y no pueden desarrollar raíces pivotantes (Oliva *et al.*, 2001) es una relación de complementariedad que contribuye a un uso más eficiente de los recursos dentro del sistema.

Facilitación:

La facilitación ocurre cuando un organismo altera el ambiente de tal forma que lo hace favorable para un segundo organismo (Basurto y Hadley, 2006). Por ejemplo, la fijación y la posterior transferencia de nitrógeno en la hojarasca y el efecto de protección contra el viento que pueden ejercer los árboles, son ejemplos de relaciones de facilitación con las especies herbáceas (Pezo *et al.*, 1999). En sistemas naturales, se ha visto que los árboles o arbustos pueden llegar a tener un efecto neto facilitador sobre los pastos bajo determinadas circunstancias, especialmente en ambientes con algún tipo de estrés (por ejemplo, en sitios áridos o en años secos) (Fernández, 2003). Los árboles pueden tener un efecto neto beneficioso en el sistema por el mejoramiento de las condiciones microclimáticas, la conservación del suelo o la fijación biológica del nitrógeno (Schroth *et al.*, 2003).

Competencia:

La competencia implica una tendencia a utilizar los mismos recursos como la luz, el agua, nutrientes (Ranganathan y De Wit 1996, Callaway y Walker 1997, Pezo *et al.*, 1999, Lemaire 2001, Schroth *et al.*, 2003).

La competencia por luz, es el principal factor que determina la producción de forrajeras en sistemas silvopastoriles y por lo tanto es el más estudiado. Muchos autores para diferentes especies, fundamentalmente en regiones templadas, encuentran que el límite para la producción de forraje ronda el 70% de interceptación de la radiación (Schlichter, 1999; Fernández *et al.*, 2002). El efecto neto sobre la producción forrajera, dependerá del grado de sombreado, de las especies involucradas y de la respuesta de las especies a la variación combinada de radiación y otros factores ambientales. Así, en pastizales de Patagonia bajo bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*), en zonas con alta disponibilidad de agua en el suelo, la producción fue máxima a cielo abierto y disminuyó linealmente cuando se incrementó la cobertura arbórea, mientras que en zonas con déficit hídrico el máximo de producción se alcanzó con 50% de cobertura de ñire (Peri, 2005). Similar efecto tuvo el sombreado sobre la producción de especies del pastizal del Chaco árido creciendo bajo condiciones controladas de humedad y luz (Carranza y Ledesma, 2005). El sombreado de forestaciones con *Pinus ponderosa* en Patagonia, también produciría la alteración de la composición del pastizal natural, ante respuestas diferentes de las especies. *Festuca palllescens* reacciona ante la sombra de acuerdo a la disponibilidad de agua, disminuyendo su crecimiento en temporadas secas con sombreados superiores al 60%, mientras que recién lo hace con un sombreado superior al 90% cuando el año es húmedo (Caballé *et al.*, 2009). Entre tanto, en la misma región, *Stipa speciosa*, especie de menor valor forrajero

y dominante en pastizales abiertos, reaccionaría ante sombreado 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.

Competencia por agua

La competencia por humedad del suelo entre árboles y cultivos en sistemas agroforestales está muy relacionada con la profundidad del sistema radical. El diseño de muchos de estos sistemas se realizan considerando las diferencias en la profundidad radical del cultivo y el árbol, suponiendo que toman el agua de profundidades diferentes, minimizando así la competencia por este recurso. Sin embargo, la profundidad de raíces no está determinada solo genéticamente, sino que muchas veces es afectada por las condiciones de suelo y clima. En todo caso es casi imposible que no haya al menos una zona del suelo con presencia común de raíces de las especies que componen el sistema, lo que hace suponer que bajo condiciones limitantes, el cultivo sea el más afectado por tener un sistema radical más superficial y menos extendido y porque la eficiencia hídrica en algunos estados fenológicos, tales como la floración y el llenado del fruto, puede causar pérdidas enormes en los rendimientos (Leyton, 1981).

No solo el árbol a través del sombreado ejerce un dominio sobre la pastura sino que también esta última compite por los recursos de agua y nutrientes con la leñosa. Por ejemplo, en el norte de Grecia, *Acer pseudoplatanus* bajo competencia con pastizales, creció tres veces menos en altura y cuatro veces menos en diámetro que el testigo sin competencia, durante los 6 primeros años de cultivo (Gakis *et al.*, 2004). Esta interacción no solo se remite a la zona superficial sino también a la exploración del continente suelo por los distintos estratos, por ejemplo, se ha visto que los pinos se adaptarían a la competencia con los pastos modificando la distribución de raíces, con mayor proporción en los horizontes más profundos del suelo cuando crecen a baja densidad.

En sitios donde no ocurren estados hídricos deficitarios o se presentan excesos de agua con relación a la evapotranspiración máxima de los cultivos, las ventajas agronómicas y económicas de la siembra simultánea de árboles y cultivos parecen indiscutibles. A pesar de ello, en condiciones de suministro limitado de agua (zonas semiáridas por ejemplo), las interacciones bajo la superficie del suelo entre el árbol y el cultivo, en particular la competencia por agua, es de gran relevancia y más importante que los efectos del sombreado.

Desde este punto de vista, una consideración adicional es la selección de combinaciones de árbol-cultivo que completen al menos parte de su ciclo de crecimiento, durante el periodo cuando la humedad del suelo es suficiente para el crecimiento y desarrollo

normal. La poda de raíces de los árboles que puede reducir parcialmente la competencia por agua es otro factor importante a tomar en cuenta (Fernández *et al.*, 2008).

En los SSP ocurre una disminución de la demanda evaporativa de las plantas herbáceas del sotobosque en base a las variaciones microclimáticas y a la velocidad de los vientos. En épocas críticas, el suelo presenta un mayor contenido de humedad debajo de los árboles que en áreas expuestas directamente al sol y al viento, contribuyendo para mejorar el desempeño de las pasturas (Anderson *et al.*, 1988).

También se ha observado que, en pasturas abandonadas de la región, las plantas forrajeras remanentes y parcialmente sofocadas o cubiertas por plantas invasoras arbustivas, parecen no sufrir los efectos del período seco, permaneciendo verdes. En el levantamiento efectuado por May *et al.* (1985), se verificó que la pastura bajo vegetación de la palmera “babaçu” (*Orbignia phalerata* Mart.) retuvo mejor la humedad y produjo más que en condiciones de pleno sol.

Otros efectos microclimáticos sobre el estrato herbáceo

La arquitectura y la posición de todos los árboles forman una estructura compuesta que determinan el microclima. Los procesos de intercambio con la atmósfera dependen de esa estructura; cuando más irregular es la superficie del dosel, más intensos son los procesos debido a la turbulencia de la masa de aire que pasa sobre los árboles. Esto significa que en zonas semiáridas se deben buscar sistemas agroforestales que sean estructuralmente lo más homogéneo posibles, con el fin de reducir significativamente las pérdidas de agua por evaporación. (Ovalle y Avendaño, 1988).

Regulación del estrés térmico

La presencia de árboles en un sistema silvopastoril mitiga los extremos de temperatura a los que puede estar sometido el estrato subyacente de vegetación herbácea. Si la temperatura a nivel del estrato herbáceo que crece debajo de la copa de árboles, difiere en apenas 2 a 3 °C con respecto de la obtenida a campo abierto, su efecto sobre el crecimiento y la calidad del forraje es puramente de relevancia académica, excepto cuando la presencia de árboles previene daños por heladas (cortinas de árboles que frenan el drenaje de aire frío en zonas serranas). La amplitud térmica generalmente se reduce bajo el efecto del sombreado de los árboles por la reducción de la radiación y porque buena parte de la radiación de onda larga, emitida por el suelo, es atrapada por el dosel inferior. (Wilson y Ludlow, 1991).

Incrementos de la humedad relativa

Este incremento incide en un mayor riesgo de ataques por hongos a la vegetación herbácea que crece bajo la copa de los árboles (Reynolds, 1995). Sin embargo, es posible que los genotipos adaptados a las condiciones de sombra, hayan desarrollado mecanismos para tolerar el ataque de hongos y de insectos (Wilson y Ludlow, 1991).

Amortiguación del estrés hídrico

Cuando las leñosas y las pasturas comparten el mismo espacio, la menor temperatura en el estrato herbáceo bajo la copa de los árboles, provoca una disminución en la tasa de pérdida de agua por transpiración a través de los estomas (Baruch y Fisher, 1991). Además, se presenta una baja en la temperatura del suelo, lo cual resulta en menores pérdidas de agua por evaporación (Wilson y Wild, 1991).

Estos efectos pueden retrasar la incidencia del estrés hídrico característicos del periodo seco (Reynolds, 1995), y adelantar el inicio del crecimiento a medida que mejoran las condiciones de humedad en el suelo. Sin embargo, no evita la competencia, ni el efecto detrimental de uno sobre el otro, una vez que se presenta el estrés hídrico (Djimde *et al.*, 1989).

Protección contra el viento

Efectos similares a los atribuidos a la presencia de árboles en potreros respecto al mantenimiento del balance hídrico en pasturas, pueden presentarse cuando las leñosas forman parte de cortinas cortaviento, ya que se reconoce que el viento ejerce un “efecto secante” sobre las pasturas, al incrementar la tasa de evaporación de la misma (Djimde *et al.*, 1989). Lynch y Marshall (1969), trabando con cortavientos artificiales, encontraron que la productividad de pasturas asociadas de *Phalaris tuberosa/Trifolium repens* se duplicó cuando se dispuso de protección contra el viento.

El viento también puede afectar directamente la pastura. Russell y Grace (1978), determinaron que a medida que se incrementaba la velocidad del viento había una reducción de la tasa de expansión de hojas, el índice de área foliar y la tasa de crecimiento relativo de *Festuca arundinacea* y *Lolium perenne*. Los mismos autores señalan que esto fue consecuencia directa del estímulo mecánico del viento, pues no fueron afectados el potencial hídrico ni la tasa fotosintética de la hoja.

HIPÓTESIS

- La producción primaria neta aérea de la pastura (PPNAP), en los callejones de los sistemas silvopastoriles, se incrementa a medida que nos alejamos de la proyección vertical de las copas de los árboles obteniéndose en promedio un valor más alto que aquellas pasturas sin árboles.
- En los callejones arbolados las herbáceas inician su crecimiento en forma anticipada y lo concluyen más tarde, logrando un ciclo más largo que sus vecinos sin árboles generando mayores valores de PPNAP. No así en aquellos callejones con *E. viminalis* donde la competencia reduce o inhibe las facilitaciones logradas fuera de la proyección de las copas.
- En el centro de los callejones arbolados, fuera de la influencia de la proyección vertical de las copas, las facilitaciones y complementariedades entre componentes del sistema superan ampliamente la competencia por el recurso agua.

OBJETIVO GENERAL

Conocer la producción primaria neta aérea del componente herbáceo, de sistemas silvopastoriles, desarrollados en la llanura ondulada del sur de Córdoba y la dinámica de la variable ambiental agua que la determina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la distribución espacial y temporal de la producción primaria neta aérea de la pastura (PPNAP) con árboles en relación a una pastura vecina sin árboles.
- Estimar la distribución espacial y temporal del agua del suelo para cada sistema en estudio.
- Estimar la eficiencia del uso del agua (EUA), tanto en los sistemas silvopastoriles bajo estudio, como en la pastura no forestada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló 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 a la asociación geomorfológica Faja Eólica Ondulada Periserrana.

El ensayo se estableció sobre tierras de capacidad de uso IIIec, donde el suelo, un Hapludol típico, está sujeto a procesos de erosión hídrica en forma laminar o en manto. La condición estructural de perfil muestra un elevado grado de deterioro, el cual se manifiesta a través de la compactación subsuperficial y desagregación superficial (Bricchi *et al.*, 1991).

En este campo experimental existen ensayos de sistemas silvopastoriles que integran, entre otras, especies leñosas: *Quercus robur*, *Eucalyptus viminalis* y *Pinus elliotti*. Estos sistemas son monoespecíficos desde el punto de vista forestal. Los árboles fueron plantados en la primavera de 1998 en doble hileras con un marco de plantación de 2m×2m, separadas por callejones de 21m entre ellas. El ensayo contempló tres sistemas silvopastoriles: a) *Pinus elliottii*-*Avena sativa*; b) *Eucalyptus viminalis*-*Avena sativa* y c) *Quercus robur*-*Avena sativa*. 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 la *A. sativa* se sembró el 5 de marzo de 2012 sobre lotes que venía enmalezado por estar libre durante el verano. Para la siembra se pasó una rastra doble acción para cortar y enterrar las malezas de verano ya desarrolladas e interrumpir la germinación de las malezas otoño-invernales. La siembra se realizó con una separación entre hileras de 17,5cm y se lograron aproximadamente unas 220 plántulas/m².

Para llevar adelante los objetivos y determinar la distribución espacial y temporal de PPNAP y la variable agua que la determina, se tomaron muestras a diferentes distancias desde el fuste (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 y 17,5 m.) atravesando el callejón en dirección N-S.

La temporada de análisis se dividió en dos períodos o ciclos: el primero, contempló desde la siembra (5 de marzo) hasta el primer pastoreo, siendo este último el 5 de mayo de 2012; el segundo, fue desde el rebrote postpastoreo hasta el momento de iniciar el segundo pastoreo ocurrido el 15 de octubre del mismo año. Ambos se llevaron a cabo con vacas de cría de raza Aberdeen angus con una alta carga instantánea estableciendo la salida de los animales cuando la altura del remanente llegó a los 10 cm.

Distribución espacial y temporal de la producción primaria neta aérea en la pastura (PPNAP) del sistema silvopastoril y en la pastura vecina sin árboles.

En cada uno de los puntos propuestos, para realizar la toma de muestras en el callejón y en una pastura sin árboles, se consideraron dos momentos: uno el 5 de mayo, momento en el que entraron los animales al primer pastoreo y el otro muestreo se efectuó antes de la entrada de los animales al último pastoreo que fue el 15 de octubre. Se tomaron 0,25 m² de biomasa total (a ras del piso). Para ello se efectuaron 4 replicaciones. La biomasa total se dividió en dos categorías: 1) avena (*Avena sativa*) y 2) malezas. Además se consideró el material verde y senescente. Posteriormente se llevaron a estufa a una temperatura de 100°C hasta peso constante para obtener la materia seca de cada uno de los componentes.

Distribución espacial y temporal del agua en el suelo del sistema silvopastoril y en la pastura vecina sin árboles.

En cada uno de los puntos propuestos para realizar la toma de muestras de biomasa, se tomaron muestras de humedad mediante el método gravimétrico, obteniendo 4 replicaciones por cada horizonte del perfil de suelo y hasta 1 m de profundidad.

Posteriormente, utilizando el método propuesto por Gil y Martelotto (1993), estos valores se expresaron en agua útil para las plantas. Siguiendo los lineamientos propuestos por Martelotto *et al.* (2004) las láminas de agua útil se emplearon para obtener el balance hídrico de cada uno de los sistemas bajo estudio.

Respuesta de la PPNA de *Avena sativa* a las interferencias o facilitaciones presentes en el sistema silvopastoril.

Los datos sobre producción primaria neta aérea de la pastura (PPNA) y la dinámica del agua dentro del callejón, a diferentes distancias de los árboles y a lo largo del año, se analizaron mediante ANAVA y test de comparación de medias (DGC) cuando fue necesario (Balzarini *et al.*, 2008). En primer lugar se evaluó el efecto de la leñosa acompañante (factor principal) sobre la herbácea con respecto al testigo. Luego se introdujo un factor más al análisis: la interacción especie arbórea y distancia al fuste, lo que nos permitió observar las interferencias o facilitaciones que las leñosas (*Pinus elliotii*, *Eucalyptus viminalis* y *Quercus robur*) generan sobre la herbácea (*Avena sativa*) con respecto a la situación sin árboles.

Estimación de la eficiencia del uso del agua (EUA) de los sistemas silvopastoriles bajo estudio y de una pastura no forestada.

Para el cálculo de la eficiencia del uso del agua se tomaron los datos de biomasa para cada punto de muestreo y se dividió por la evapotranspiración real (EVTr) correspondiente a cada posición durante el ciclo considerado. Con los valores de EUA, obtenidos para cada punto, se realizó un ANAVA y un test de comparación medias (DGC) utilizando el programa Infostat (Balzarini *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temporada de crecimiento del verdeo comprendió desde el 5 de marzo al 15 de octubre de 2012 presentando ciertas particularidades en cuanto a la marcha de las temperaturas y a la cantidad y distribución de las precipitaciones. Dichas particularidades se manifestaron durante el otoño y la primavera (figura 1 y 2).

El año 2012 se caracterizó por un enero con elevadas temperaturas, tanto mínimas como máximas durante todo el mes, con escasas precipitaciones y muy aisladas, que generaron un déficit hídrico muy severo. Estas solo alcanzaron 74mm para el mes más cálido del año, siendo el promedio de los últimos veinte, 137mm para la zona, casi el doble de lo acontecido ese año. Este panorama se mantuvo durante el transcurso de la primera quincena del mes de febrero ocasionándole graves pérdidas a la región sur de Córdoba. La sequía, de enero de 2012, se caracterizó por ser muy corta ya que con las lluvias de mediados y últimos días de febrero sumaron para ese mes 183 mm, casi el doble de lo normal, siendo en promedio 98 mm para la zona, lo que permitió que a la salida del verano el perfil se encontrara recargado.

En los meses de otoño se registraron precipitaciones con una distribución favorable para la implantación de verdeos en la zona. Si bien, fueron inferiores al promedio durante los primeros meses de la temporada, la secuencia de las mismas fue uniforme permitiendo que el verdeo creciera sin restricciones hídricas. Además en el mes de mayo, se manifestaron dos precipitaciones que en total sumaron 50mm (casi el doble de lo normal para ese mes) permitiendo una importante reserva de agua en el perfil para hacer frente a la temporada más crítica desde el punto de vista hídrico, que en nuestra región se da en los meses de invierno.

Otro atributo beneficioso para el cultivo de la *A. sativa* fueron las temperaturas que se registraron durante el comienzo de la temporada, ya que es una especie que requiere temperaturas cálidas para mantener altas tasas de crecimiento. Estas se manifestaron por encima del promedio de los últimos veinte años y se extendieron entrado el otoño y al comienzo del invierno, por ejemplo la temperatura media del mes de mayo fue 3°C por encima de la media, condiciones que le permitieron al cultivo alcanzar una rápida evolución, logrando una considerable altura y una importante cantidad de biomasa para el primer corte.

Luego de la última lluvia de mayo, abundante para la época, ya no se dieron registros pluviométricos significativos hasta fines de agosto, considerándolo a este periodo como una temporada típica de invierno para la región tanto desde el punto de vista hídrico como térmico.

Cuando el verdeo comenzó a demandar agua para la elongación de sus nudos, esta se presentó en gran cantidad durante fines de agosto y todo septiembre. La temporada

primaveral también fue muy beneficiosa para el verdeo, ya que es considerada crítica por la alta tasa de crecimiento que presenta.

Durante el mes de septiembre, se registraron 218mm de lluvia acumulada, esto superó siete veces al promedio que ronda los 32 mm. En el mes siguiente se mantuvo este esquema y por lo tanto las lluvias acumuladas fueron muy superiores al promedio.

En síntesis la temporada 2012 fue considerada muy beneficiosa para la producción de verdeos y cereales de invierno para la zona.

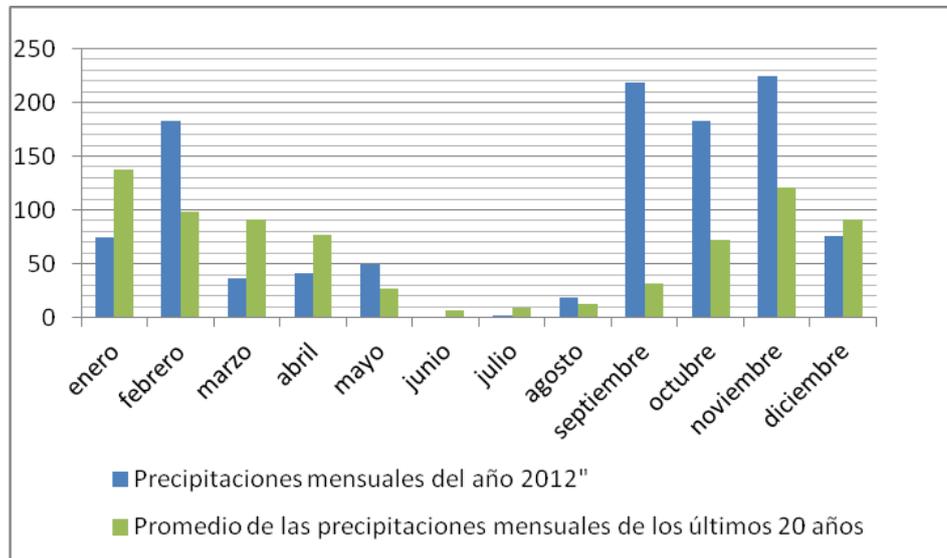


Figura 1. Representación gráfica de la marcha de las precipitaciones mensuales correspondientes a “La Aguada” para el año 2012 con respecto al promedio de los últimos 20 años. Datos proporcionados por la cátedra de Agrometeorología de la UNRC.

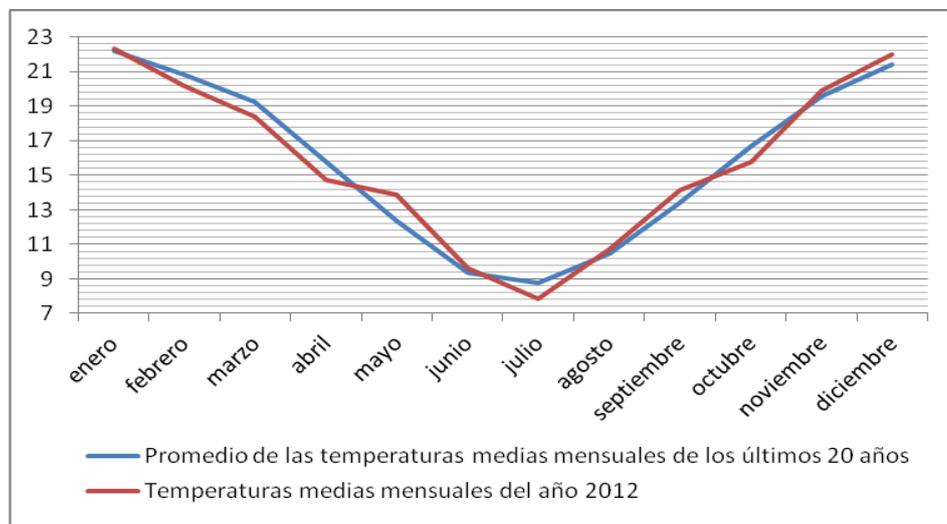


Figura 2. Representación gráfica de la marcha de las temperaturas medias mensuales también para “La Aguada” con respecto al promedio de los últimos 20 años. Datos proporcionados por la cátedra de Agrometeorología de la UNRC.

Producción primaria neta aérea del componente herbáceo.

Para este estudio se plantearon tres combinaciones de leñosas con *Avena sativa*, la cual fue evaluada en términos de producción primaria neta aérea, lo que permitió comparar como influye la presencia de cada una de estas especies leñosas en cuanto a las facilitaciones, complementariedades y competencia por los recursos.

La respuesta de la PPNA del componente herbáceo en relación a estas especies se observan en la **tabla1**.

Tabla 1. Producción de biomasa seca aérea de *Avena sativa* en los callejones de sistemas silvopastoriles y en un testigo sin árboles.

Tratamiento	PPNA (g/m ²)
<i>Q. robur</i>	688,92 b
<i>P. elliotii</i>	659,60 b
Testigo	630,60 b
<i>E. viminalis</i>	383,48 a
R ²	0,32
CV	30,59
Probabilidad	p<0,0001

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

En la **tabla 1** se observa que la producción de *A. sativa* fue significativamente inferior cuando creció acompañada por *E. viminalis*, que cuando lo hizo con *P. elliotii* y *Q. robur*, que no difieren significativamente entre sí, como tampoco con el testigo sin árboles.

Para el año en el que fue llevado adelante el ensayo, no se ha visto que los árboles pudieran llegar a tener un efecto neto facilitador sobre los verdeos como han encontrado otros investigadores en ambiente semiáridos (Fernández, 2003). Las interacciones árbol-herbácea manifestadas por la competencia y las facilitaciones tanto en los sistemas con *P. elliotii* y *Q. robur* han quedado neutralizadas al comienzo de la temporada.

En cuanto a *E. viminalis* la competencia por los recursos puede ser una de las causas de la menor producción del componente herbáceo en comparación a los demás tratamientos. Es conocida la alta tasa de crecimiento que esta especie posee y la inminente competencia que esto trae al convivir con otra en un mismo ambiente. No obstante, no solo este fenómeno podría ser el único que está en juego para la determinación de la producción sino que también se puede incorporar a la discusión, la alelopatía. Numerosos estudios alrededor del mundo citan a *Eucaliptus spp.* como especie alelopática (Ávila *et al.*, 2007) por la liberación desde sus residuos de diversas sustancias, entre ellos los terpenos. Los terpenoides

inhibidores de crecimiento más abundantes, han sido identificados en las plantas superiores, entre ellas el género *Eucaliptus spp.* (Sampietro, 2003).

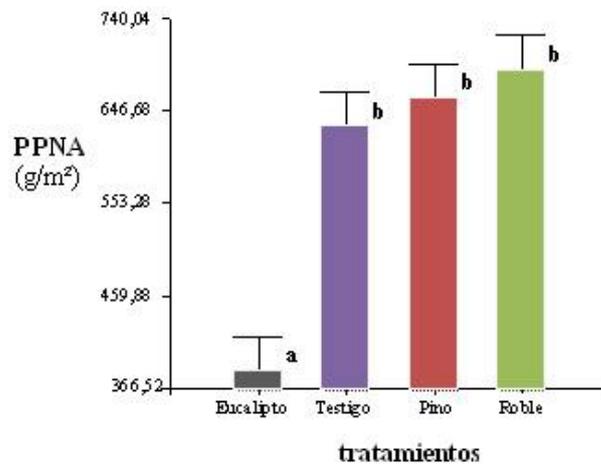


Figura 3. PPNA del componente herbáceo de las parcelas silvopastoriles y el testigo sin árboles. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$).

Hasta aquí el análisis se limita a la comparación de las distintas especies leñosas acompañantes del sistema y a la ausencia de la misma.

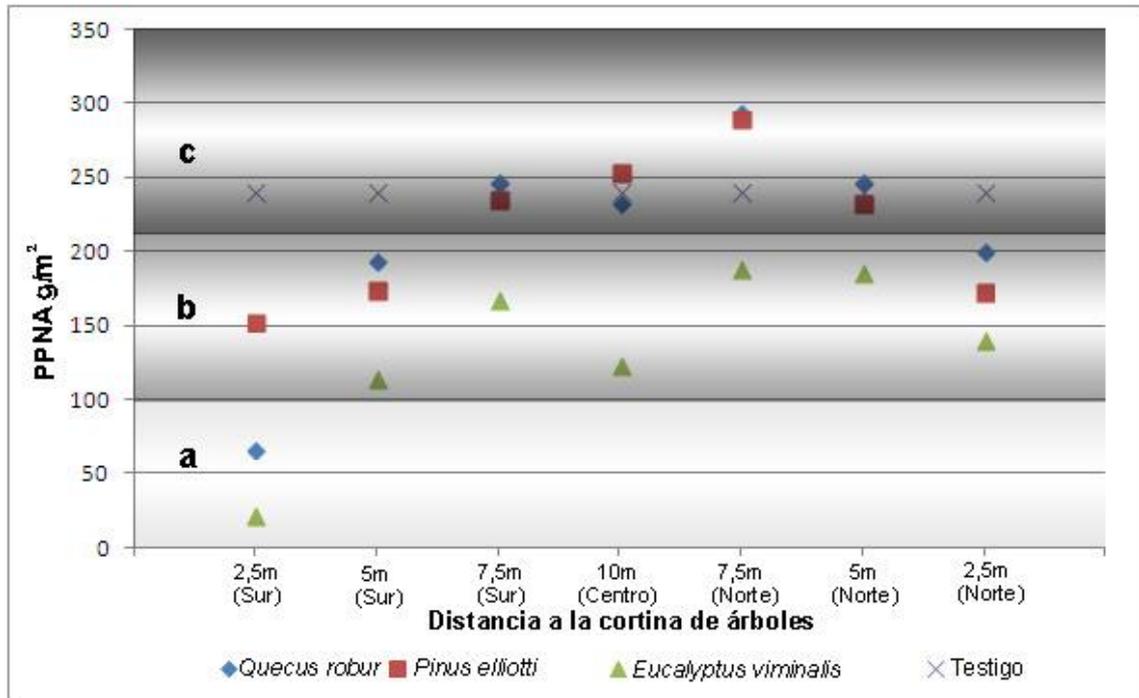
Ahora es el turno de agregar un factor más en la discusión: la distancia a los árboles dentro del callejón. Cuando analizamos este factor se puede dilucidar qué pasa con la producción de biomasa en cercanías de los árboles y así profundizar aún más en la discusión de la interacción leñosa-herbácea.

Como, a nivel de ensayo, se tomaron muestras de biomasa en dos momentos del período de crecimiento, a continuación también será analizado por separado ya que las condiciones de crecimiento varían a lo largo de la temporada.

Primer ciclo productivo

Para una mejor interpretación del test de comparación de medias, a continuación se presenta una gráfica que expone las producciones en las distintas posiciones dentro del callejón, y cada símbolo corresponde a cada especie leñosa bajo estudio, lo que permite una mejor visualización de las diferencias estadísticas encontradas para cada posición. Además se decidió colocar a la PPNA de la *A. sativa* sin árboles como una constante, a modo

interpretativo de cómo se comportaría la producción de biomasa en cada punto sin la presencia de los árboles.



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

Figura 4. PPNA del primer ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).

Letras diferentes en el gráfico indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Los valores más bajos en cuanto a la producción de biomasa de *A. sativa* se encuentra bajo la proyección de la copa de *E. viminalis* y *Q. robur*; estas dos posiciones de muestreo se localizan al sur de las cortinas, o sea están expuestas al sur. En ese momento, a fines del otoño, *E. viminalis* como es una especie perennifolia se encontraba sombreando la zona y *Q. robur* también, ya que si bien esta última es caducifolia en ese momento aún no había desprendido sus hojas. Esto trae como inconveniente una disminución de la radiación solar por el sombreado en la zona de producción de la herbácea lo que se le atribuye como factor limitante para el crecimiento, que coincide con lo encontrado por Fernández *et al.* (2002), ya que el agua no se mostró limitante para la primer temporada de crecimiento.

Las posiciones aledañas a los árboles pero expuestas al norte, para las tres especies arbóreas se encuentran significativamente por encima de las que estuvieron expuestas al sur, ya que estas recibieron iluminación durante su crecimiento, o sea que hasta aquí el experimento nos pone de manifiesto que, a similar contenido de humedad, la luz juega un papel preponderante en la producción de la herbácea.

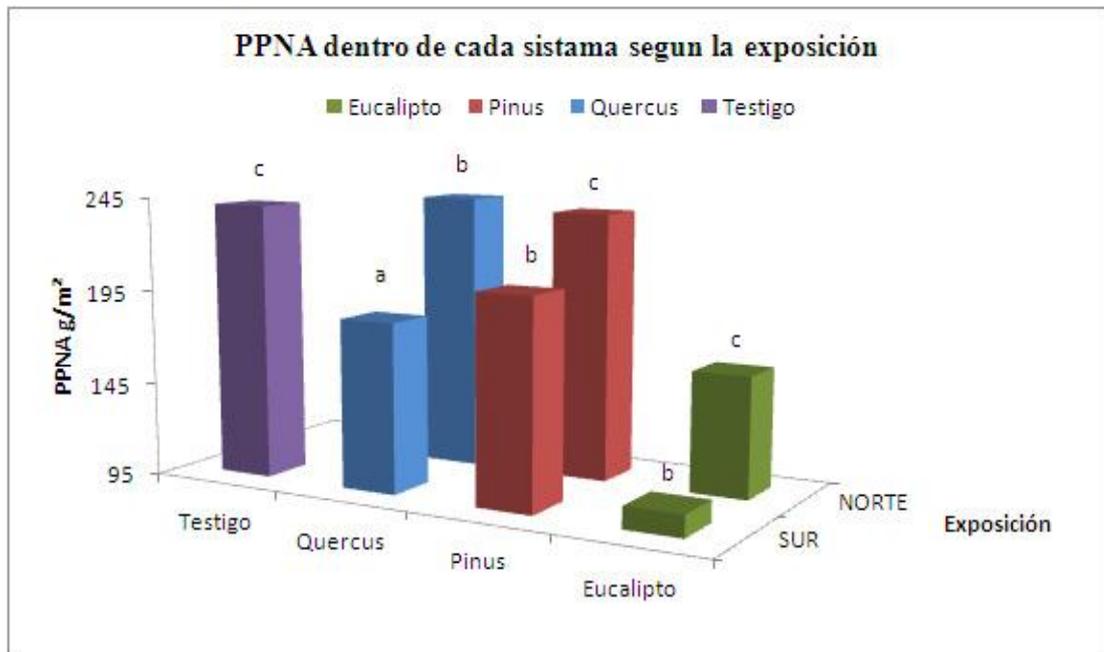
Si avanzamos en el análisis y observamos a las parcelas integradas por *E. viminalis*, en la gráfica se ve claramente que la PPNA de *A. sativa* es inferior al resto de los tratamientos, e incluso, que estuvo lejos del testigo. Esto indicaría que la competencia o eventual alelopatía que produce la leñosa, en las inmediaciones de la cortina, superan ampliamente a las posibles facilitaciones que pudieran estar generando en sectores alejados de las plantas.

Cuando comparamos los tratamientos más cercanos al fuste de los *Q. robur* y *P. elliottii*, se encuentran diferencias entre ellas en términos de influencia dentro del callejón y esto se expresa en la dinámica del crecimiento de la herbácea. Por un lado, las dos tienen el mismo alcance en términos de influencia dentro del callejón, así lo demuestra estadísticamente la producción. Por otro lado, en el sector sur de la cortina, ambas hacen caer la producción significativamente hasta los cinco metros, mientras que por el norte solo lo hacen hasta los dos metros y medio. Esto apoya aún más lo expuesto anteriormente de la influencia de la radiación solar sobre la producción. Pero en *P. elliottii*, a diferencia de *Q. robur*, la posición expuesta al sur más cercana al fuste (2,5 metros) difiere significativamente mostrándose superior; esto parece estar asociado a sus grandes diferencias morfofisiológicas. Por un lado *P. elliottii*, al ser una conífera posee un porte más erecto con excelente poda natural, siendo sus hojas aciculares que permiten mayor paso de la luz (menor coeficiente de extinción de la luz) que posibilita una distribución más uniforme a lo largo del callejón, no así los *Q. robur* donde su copa estratificada y la disposición planófila de sus hojas generan una sombra bien definida y circunscripta al área de influencia de la misma, que hace caer marcadamente la producción de la *A. sativa* que crece bajo la proyección de su copa.

Por último, para cerrar el análisis parcial vemos que en el grupo C, que junta a los tratamientos de mayor producción se encuentran los puntos de muestreo centrales de *P. elliottii* y *Q. robur*, y todas las muestras tomadas en el testigo. Esto denota que más allá de la influencia de las copas de estas dos especies, las facilitaciones que generan las cortinas (Basurto y Hadley, 2006) no pueden mejorar las condiciones de crecimiento de la herbácea en este año en particular, donde en la primera temporada las condiciones de humedad no fueron limitantes y las modificaciones microclimáticas que se esperaba de las cortinas (Djimde *et al.*, 1989) no parece tener gran influencia en la primera fase del crecimiento y pudieron haber quedado ocluidas.

Para comprender mejor lo que sucede con la radiación en la primera temporada de crecimiento se propone observar la **figura 5**. Aquí se ve una clara influencia del factor exposición en la determinación de PPNA para todos los sistemas silvopastoriles, donde la exposición sur es la menos favorable para el crecimiento del verdeo por haberse encontrado sombreada en mayor proporción que el sector norte del callejón. Debe notarse que al

comparar las gráficas, de *P. elliotii* y *Q. robur*, se manifiestan diferencias en cuanto a sus proporciones de cambio abonando los resultados obtenidos en párrafos anteriores donde la producción en *Q. robur* decae marcadamente en cercanías de la proyección de la copa que, como se dijo, sus características morfológicas contrastan con *P. elliotii*.



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

Figura 5. Representación gráfica de la PPNA del primer ciclo con respecto a la exposición N-S para los cuatro tratamientos.

Segundo ciclo productivo

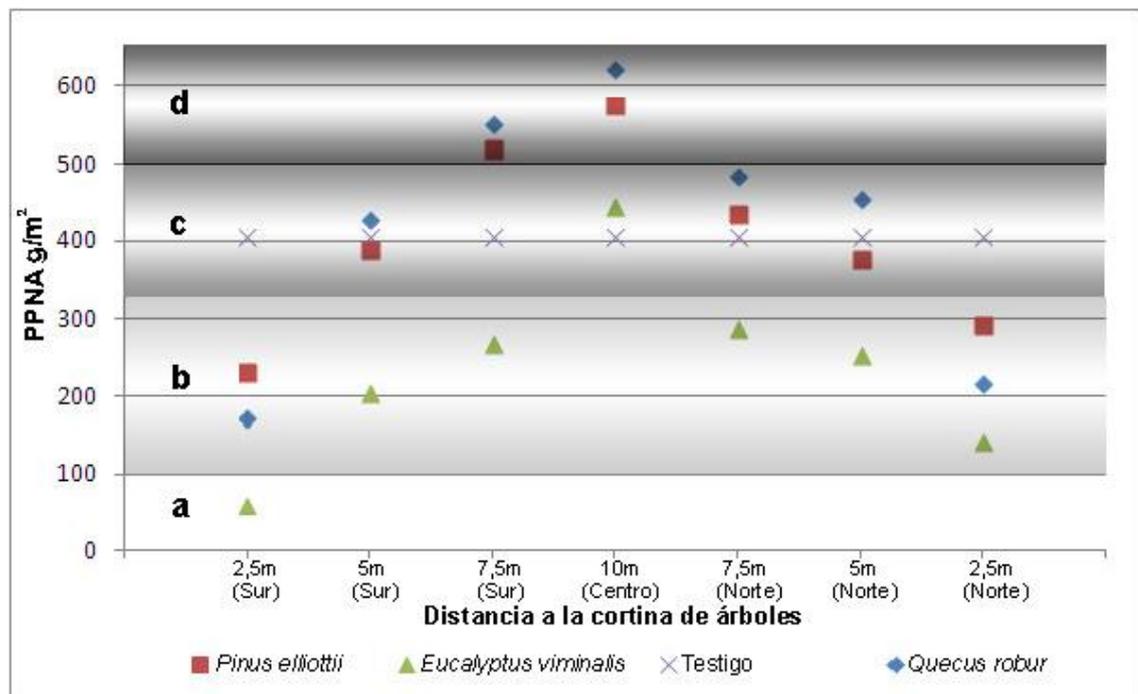
Desde el último corte y durante el transcurso del invierno, el verdeo creció a expensas del agua almacenada en el perfil, hasta que recién a fines del mes de agosto comenzaron a darse registros pluviométricos significativos. Por ende, en dicho período, fue donde más se intensificaron las demandas hídricas por parte del verdeo ya que el estrato arbóreo se encontraba latente.

Pasado el invierno, y transcurridas las primeras lluvias, surge otro período que se destaca por la superposición fenológica de la herbácea con las arbóreas, donde estas últimas comienzan a brotar, lo que genera un engrosamiento del follaje que va a sombrear inevitablemente a la herbácea. Además comienzan a secar el perfil en cercanías a la cortina por el rápido incremento de la evapotranspiración. Esto se da así por el nuevo follaje que disponen los árboles para hacer frente a la nueva temporada estival, donde sus recientes hojas poseen una menor cutícula y una mayor actividad fotosintética que genera una gran

demanda de agua. En cuanto a la herbácea, esta comienza a elongar sus nudos y entra en la fase reproductiva, por lo tanto cualquier estrés de luz, agua, etc., repercute en la producción de la misma.

Cuando miramos los resultados del análisis de la varianza para el segundo ciclo (anexo I), se puede observar que la interacción especie×distancia es altamente significativa, por lo tanto el contraste de medias se realizó en conjunto. El test nos arroja un panorama distinto al observado en el primer corte, y esto es de suponer ya que las condiciones imperantes en el transcurso de estas dos fases, fueron sustancialmente diferentes. En este caso aparecen, en el mismo, cuatro grupos.

Para una mejor interpretación del test de comparación de medias, se procede de la misma forma que para el primer corte donde se grafican la PPNA de la *A. sativa* para las distintas combinaciones silvopastoriles en función de la distancia al fuste y a la misma creciendo sin árboles



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

Figura 6. PPNA del segundo ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).

En el **figura 6**, podemos apreciar que la producción de biomasa del estrato herbáceo en las parcelas con *E. viminalis*, se mantiene significativamente por debajo de los demás tratamientos. A pesar de los resultados estadísticos, a campo, se pudo observar una gran diferencia en el comportamiento de la *A. sativa* que creció en los callejones de esta leñosa,

donde las plantas quedaron raquíticas y amarillentas por todas partes de la parcela; esto estaría asociado a un estrés particular que sufre la herbácea al crecer en asociación a esta especie.

En el análisis de la interacción en cada punto de la **figura 6** nos muestra que el tratamiento menos productivo fue el próximo a la cortina del lado sur en *E. viminalis*, esto concuerda con lo sucedido en el primer corte, pero a diferencia del anterior en este grupo no aparece la posición *Q. robur* 2,5 metros. Esto puede deberse particularmente a las diferencias morfofisiológicas de estas dos especies. En el caso de *E. viminalis*, al ser de hoja perenne, no permitió la buena iluminación durante el transcurso del invierno. Distinto ocurrió con el *Q. robur* que, hasta el primer corte, mantuvo sombreada la zona y luego a comienzos del invierno, largó sus hojas que dejaron una ventana de luz (Clavijo *et al.*, 2005) extendiéndose hasta entrada la primavera, permitiendo que los rebrotes que acontecieron al primer pastoreo percibieran mejores condiciones de radiación.

En el grupo siguiente encontramos los demás tratamientos próximos a las cortinas y a la mayoría de los tratamientos de *E. viminalis*, excepto por la posición central, donde se desprende de las restantes y se coloca junto a los demás tratamientos, como por ejemplo al testigo. Esto nos podría estar indicando que en ese lugar disminuye la alelopatía en cierta medida, ya que es la zona más distal de los árboles sin presencia de raíces.

En el grupo C encontramos las distancias intermedias de las parcelas de *P. elliotii*, *Q. robur* y el testigo. Esto pone en relieve que las relaciones de competencia, de algún modo, son contrarrestadas por las facilitaciones generadas en estas inmediaciones.

Las facilitaciones (Basurto y Hadley, 2006) y complementariedades (Vishwanatham *et al.*, 1999), que generan los SSP pueden apreciarse en la respuesta que tuvieron los tratamientos 7,5 y 10 metros, tanto en *P. elliotii* como en *Q. robur*, ya que ambos superan significativamente el resto de los tratamientos inclusive al testigo, marcando una clara ventaja de la forrajera que crece en esa posición con respecto a aquella desprovistas de estas cortinas.

Si recordamos lo expuesto en la introducción a esta discusión, el invierno se presentó como una época deficitaria en humedad lo que determinó que la zona sombreada, pero lo suficientemente lejos de las raíces de los árboles, se viera favorecida. Si bien el porcentaje de sombreadamiento no se midió en este trabajo, muchos autores y para diferentes especies fundamentalmente en regiones templadas, encuentran que el límite para la producción de forraje ronda el 70% de interceptación de la radiación (Schlichter, 1999; Fernández *et al.*, 2002). Esto permite deducir que en ese sector la disminución de la radiación no supera dicho umbral, y permite conservar el agua del suelo en una etapa crítica desde el punto de vista hídrico, esto también concuerda con lo encontrado por Peri *et al.*

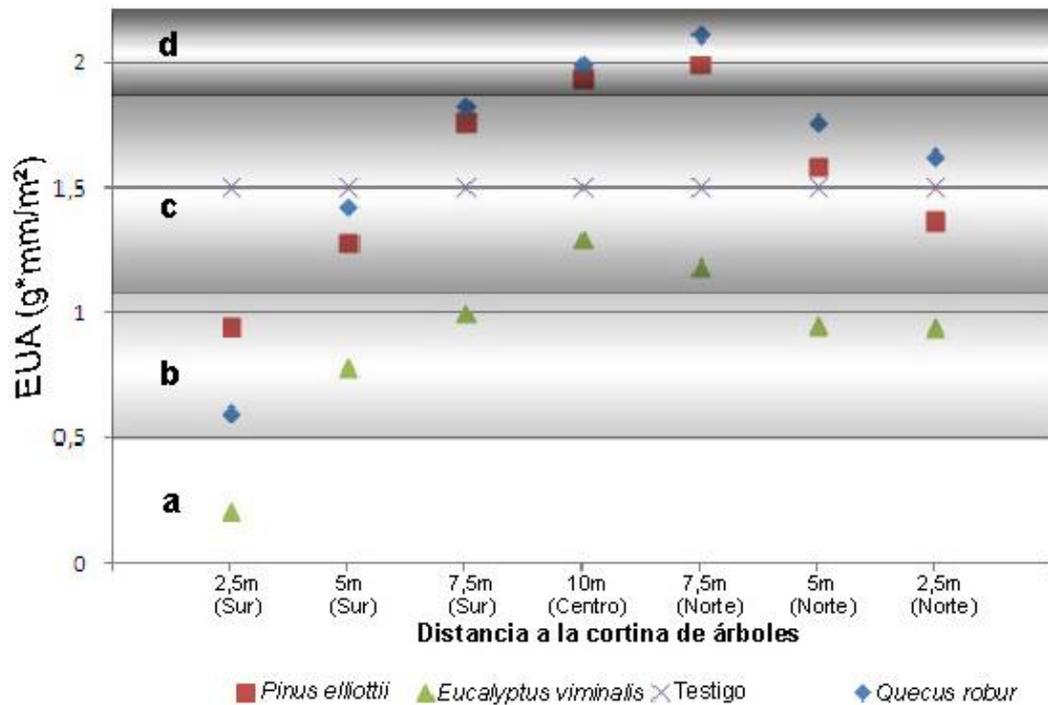
(2005) con 50% de cobertura en zonas semiáridas y también por lo encontrado por Carranza y Ledesma (2005), en el Chaco árido.

Eficiencia del uso del agua

Como se dijo al comienzo de este trabajo la región donde fue llevado a cabo el estudio presenta déficit hídrico gran parte del año, por lo tanto, el uso eficiente del agua determina el éxito de muchos de los sistemas productivos que se llevan adelante en la zona. Para este estudio, la eficiencia del uso del agua (EUA) nos sirve como variable síntesis que explica en cierto modo las innumerables interacciones entre la herbácea y las leñosas.

En este año en particular, solo la *A. sativa* que creció con *E. viminalis* mostró ser la menos eficiente en el uso del agua, no encontrándose diferencias entre *P. elliotii*, *Q. robur* y testigo.

Si prestamos atención a la **figura 7** podemos apreciar que existe una clara tendencia de los tres sistemas silvopastoriles en cuanto a la EUA, ya que el sector central y ligeramente expuesto al norte muestra mayor eficiencia. Esto se ajusta a la teoría de que estos sistemas logran generar condiciones muy favorables (Pezo *et al.*, 1999; Schroth *et al.*, 2003) para el crecimiento y productividad de los verdes en determinados puntos del sistema. Lo que nos lleva a pensar que en dicho sector las facilitaciones mejoran efectivamente las condiciones de crecimiento, permitiendo que el agua que pasa por el sistema logre producir mayor cantidad de biomasa, en ese punto, comparado a la situación sin árboles. Además en ese sector se combinan tres elementos claves como: una buena iluminación; modificaciones microclimáticas citadas por Lynch y Marshall (1969) y Djimde *et al.* (1989), que favorecen a la conservación de la humedad del perfil; y se encuentra lo suficientemente lejos de las cortinas, lo que llevan al mínimo la competencia.



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

Figura 7. Representación gráfica de la EAU del verdeo de avena de las parcelas de *Pinus eliottii*, *Eucalyptus viminalis*, *Quercus robur* y la del testigo sin árboles.

En el caso de la parcela integrada por *E. viminalis* la herbácea que se desarrolló en dicho entorno fue la menos eficiente en el uso del agua con respecto a los demás tratamientos, lo que nos estaría indicando que en este sistema la mayor proporción de la evapotranspiración (EVT) pasó directamente desde el suelo a la atmósfera y otra gran fracción de esta humedad fue tomada por a los árboles, que de hecho quedó expresado en el mayor desarrollo que alcanzó esta especie comparado con las demás leñosas. No obstante en la zona central de las parcelas integradas por *E. viminalis*, la EAU no difiere al testigo. Esto marca aún más la tendencia de una mayor producción por mm de agua útil, en dicha zona, también vista en las otras dos especies.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados encontrados y en relación a las hipótesis propuestas en este trabajo podemos concluir que la producción de la herbácea difiere según la especie leñosa acompañante en el sistema silvopastoril, mostrándose *Eucalyptus viminalis* como una especie muy competitiva y posiblemente alelopática aunque este último fenómeno no fue medido. En *P. elliotii* y en *Q. robur* la competencia producida sobre el verdeo es contrarrestada en cierto modo por las facilitaciones, lo que permite que ambas especies no difieran estadísticamente con respecto al testigo.

En cuanto a las interacciones leñosa-herbácea los resultados sugieren que cuando las condiciones de humedad no son limitantes, como sucedió en la primera temporada de crecimiento, la producción se ve limitada en primera instancia por los altos niveles de sombra, no pudiendo establecerse cuál es el umbral mínimo donde comienza a mermar la producción de la herbácea ya que para esta experiencia no se tomaron registros de radiación. Mediante datos de biomasa, se pudo ver que *Q. robur* hacen caer marcadamente la producción debajo de sus copas, y luego se incrementa marcadamente al salir de la proyección vertical de las mismas. En cambio, en *P. elliotii*, esta disminución es menos marcada, por las características morfológicas antes dichas. Por lo tanto, cuando las demandas hídricas son suplidas los datos sugieren que en la zona central de los callejones la PPNA se incrementa hasta el punto de alcanzar los valores de producción del testigo sin árboles.

Ahora bien, cuando las condiciones de humedad se tornan limitantes, como se manifestó en la segunda temporada del ensayo, los resultados nos muestran una situación contrapuesta a la anterior donde los puntos que recibieron sombra en determinados momentos, y se encontraban lo suficientemente alejados de la influencia de las raíces de la leñosa, lograron mayor producción estadísticamente significativa ($p < 0,05$) que el testigo. Esto es muy beneficioso desde el punto de vista productivo por los innumerables factores positivos que las cortinas de árboles proporcionan al bienestar de los animales que pastorean en estas áreas. Además no podemos olvidar de que al mismo tiempo que se produce biomasa para el aprovechamiento por los animales, se está produciendo biomasa forestal, que para este caso no se midió, pero la incorporación del crecimiento forestal anual al cálculo de la PPAN total, nos habría dado sin duda un valor por encima de la pastura sin árboles.

En cuanto a la EUA, en este experimento, solo las parcelas integradas por *E. viminalis* mostraron ser significativamente menos eficiente que el testigo. En *P. elliotii* y en *Q. robur* el sector del callejón, que hace su uso más eficiente, es la zona central y expuesta al norte, lo que coincide con un sector que recibe buena iluminación, se hace mínima la competencia y logra captar las facilitaciones que generan las cortinas arbóreas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, G.W., R.W. MODRE and P.J. JENKINS. 1988. The integration of pasture, livestock and widely-space pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems*, 6: 195-211 p.
- ÁVILA, L., W. MURILLO, E. DURANGO, F. TORRES, W. QUIÑONES y F. ECHEVERRI. 2007. Efectos alelopáticos diferenciales de extractos de eucalipto. *Scientia et Technica Año XIII*, No 33.
- BALZARINI, M.G., L. GONZALEZ, M. TABLADA, F. CASANOVES, J.A. Di RIENZO y C.W. ROBLEDO. 2008. *Infostat. Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- BASURTO, X. y D. HADLEY. 2006. Ecosistemas de pastizales, especies en peligro y ganadería Sostenible en tierras fronterizas de México-Estados Unidos: Conferencia Transcripciones.
- BARUCH, Z., y M. J. FISHER. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de pasturas. En: Lascano, C. E. y J. M. Spain (eds). *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de investigación. 6º reunión Comité Asesor RIEPT*. Veracruz (México). Pp 103-142.
- BRICHI, 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*.
- BURKE, I., W. LAUENROTH, W. PARTON and C. COLE. 1994. Interactions of landuse and ecosystem function: A case study in the central Great Plains. *In: Groffman, P. M. y Likens, G. E. (eds.). Integrated Regional Models: Interactions between humans and their environment*. Chapman Hall, New York. Pp. 79-95.
- CABALLÉ, G., M.E. FERNÁNDEZ, J. GYENGE, V. RUSCH, V. LANTSCHNER, J. VILLACIDE y T.M. SCHLICHTER. 2009. Plantaciones densas vs. plantaciones ralas con pino ponderosa en el NO de Patagonia: análisis de aspectos ambientales y productivos relevantes. En *actas: 1º Congreso nacional de sistemas silvopastoriles*. Posadas, 14 al 15 de mayo de 2009. Pp 156:164.
- CALLAWAY, R.M. and L. WALKER. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*. 78(7): 1958–196 p.

- CARRANZA, C.A. y M. LEDESMA. 2005. Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido. IDIA XXI Forestales. Ed INTA. Año V N° 8: 240-246 p.
- CATIE. 1998. Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Costa Rica. n° 32. Cap. I, 3 p; Cap. IV, 111-123p. Buscado en: www.books.google.com.ar
- CATIE. 1998. Modulo de enseñanza Agroforestal N° 2. Sistemas silvopastoriles. Turrialba, Costa Rica. Tema 3; 39-45 p. Buscado en: www.books.google.com.ar
- CLAVIJO, M.P., M. NORDENSTAHL, P.E. GUNDEL and E.G. JOBBAGY. 2005. Poplar Afforestation Effects on Grasslands Structure and Composition in the Flooding Pampas. *Rangeland Ecol Manage.* 58: 474-479 p.
- COMBE, J. and G. BUDOWSKI. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. *In: Workshop on Traditional Agroforestry System in Latin America.* (1979, Turrialba, C.P.) Ed. Por De Las Salas, G. Turrialba, C.R; CATIE. 17-47p.
- DJIMDE, M., F. TERRES and W. MIGONGO-BAKE. 1989. Climate, animal and Agroforestry. En: Reifsnyder, W. S. y T. O. Darnhofer (ed). *Meteorology and Agroforestry.* Nairobi, Kenya. ICRAF. Pp. 463-470.
- EPSTEIN, H., W. LAUENROTH, I. BURKE and D. COFFIN. 1997. Regional productivity patterns of C3 and C4 functional types in the US Great Plains. *Ecology* 78: 722-31p.
- FAO. 2012. Sistemas silvopastoriles en la amazonia oriental. Consultado: 09-02-2012. En:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YJ0zGLrFM84J:www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6343S/X6343S00.HTM+www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6343S/X6343S00.HTM&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ar>.
- FERNÁNDEZ, M.E., J.E. GYENGE, G. DALLA SALDA and T. SCHLICHTER. 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.
- FERNÁNDEZ, M.E. 2003. Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia argentina. (Resumen). (En línea). Consultado 10 de junio de 2012 disponible en:<http://crub1.uncoma.edu.ar/carreras/docenBiologia/aprobadas/fernandez.pdf>
- FERNÁNDEZ, M.E., J.E. GYENGE, J. LICATA, T.M. SCHLICHTER and B.J. BOND. 2008. Belowground interactions for water between trees and grasses in temperate semiarid agroforestry system. *Agroforestry Systems* 74:185-197.
- GAKIS, S., K. MANTZANAS, D. ALIFRAGIS, V.P. PAPANATASIS, A. PAPAICANNOU, D. SEILOPOULOS and P. PLATIS. 2004. Effects of

- understorey vegetation on tree establishment and growth in a silvopastoral system in northern Greece. *Agroforestry Systems* 60:149-157.
- GIL R.C. y F.E MARTELOTTO. 1993. El agua edáfica. Guía práctica para su determinación. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina
- KNAPP, A. and M. SMITH. 2001. Variation among biomass in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481-484 p.
- LEMAIRE, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. XIX international grassland congress, Sao Pablo Brazil. pp. 29-37 p.
- LEYTON, L. 1981. Crop water use: principles and some considerations for Agroforestry. *In*: P. A. Huxley, ed. *Plant Research and Agroforestry and Forest Meteorology* 52: 347-357 p.
- LYNCH, J. J. and J. K. MARSHALL. 1969. Shelter: a factor increasing pasture and sheep production. *Australian Journal of Science* 32: 22-23 p.
- MARTELOTTO, E., P. SALAS, E. LOVERA, A. SALINAS, J.P GIUBERGIA y S. LINGUA. 2004. Planilla de balance hídrico para riego. Proyecto Regional: Agricultura Sustentable y Gestión Agroambiental. INTA, EEA Manfredi, Córdoba, Argentina.
- MAY, P.H., A.B. ANDERSON, J.M.F. FRAZÃO and M.J. BALICK. 1985. Babassu palm in the agroforestry systems in Brazil's Mid-North region. *Agroforestry Systems*, 3: 275-95 p.
- McNAUGHTON, S., M. OESTERHELD, D. FRANK and K. WILLIAMS. 1989. Ecosystem - level patterns of primary productivity and herbivore in terrestrial habitats. *Nature* 341: 142-144 p.
- MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos, 2ª ed. San José, CR. Organización para Estudios Tropicales. 622 p.
- OLIVA, G., I. NOY-MEIR y A. CIBILS. 2001. Fundamentos de ecología de pastizales. Capítulo 3. En ganadería sustentable en la Patagonia Austral. Consultado el 15 de julio de 2012. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/Santacruz/info/documentos/reclnat/Libro%20TME/TME%203.pdf>
- ONG, C.K., and 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 p.
- OVALLE, C. and J. AVENDAÑO. 1988. Interactions de la strate ligneuse avec le strate herbacee dans les formations de *Acacia caven (Mol.) Hook et Am au Chili*. 2.

- Influence de liabre sur querques element du milieu: microclimat et sol. *Oecologia plantarum* 9: 113-134 p.
- PARUELO, J., E. JOBBAGY, O. SALA, W. LAUENROTH and I. BURKE. 1998. Functional and structural convergence of temperate grassland and shrubland ecosystems. *Ecological Applications* 8: 194-206 p.
- PEZO, D., M. IBRAHIM, J. BEER y A. CAMERO. 1999. Oportunidades para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en América central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 46 p.
- PERI, P. L. 2005. Sistemas Silvopastoriles en Ñirantales. IDIA XXI Forestal. Año V. N° 8: 255-259 p.
- 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. Fac. de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Argentina. 1 5p. Disponible en: www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/82-Pincemin-silvopastoril.pdf
- PLEVICH, J.O., C.O. NUÑEZ, H.R. PAGLIARICCI, A.E. OHANIAN y S.J. GONZALEZ. 2002. Sistemas silvopastoriles. Escuela de Posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- RANGANATHAN, R. and C.T. De WIT. 1996. Mixed cropping of annuals and woody perennials: an analytical approach to productivity and management. En: tree – crop interactions. 1996. Ong, C.K.; Huxley, P; eds. 386 p.
- REYNOLDS, S.G. 1995. Pasture – cattle – coconut systems. Bangkok, Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific.
- RIGUIERO, A. 2000. Sistemas silvopastoriles en la Ibera Atlántica. XL Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Bragança-A Coruña-Lugo, 7-13 mayo 2000: 649-648.
- ROUPSARD, O., A. FERHI, A. GRANIER, F. PALLO, D. DEPOMMIER, B. MALLET, H.I. JOLY and 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 p.
- RUSSELL, G. and J. GRACE. 1978. The effect of windspeed on the growth of grasses. *Journal of Applied Ecology* 16: 507-514 p.
- SALA, E., L. PARTON, A. JOYCE and K. LAUENROTH. 1988. Primary production of the central grassland region of the United States: spatial pattern and major controls. *Ecology* 69:40-45 p.
- SAMPIETRO, D.A. 2003. Cátedra de Fitoquímica. Instituto de Estudios Vegetales "Dr. Antonio R. Sampietro". Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad

Nacional de Tucumán. Ayacucho 461.CP 4000. San Miguel de Tucumán. Argentina.

- SCHLICHTER T. 1999. Desarrollo de sistemas silvopastoriles en base a plantaciones de *Pinus spp.* En: www.inta.gov.ar/bariloche/nqn/forestal/publica/10.pdf. Consultado: 15-08-2012.
- SCHROTH, G., J. LEHMANN and E. BARRIOS. 2003. Soil Nutrient Availability and Acidity. En: *Trees, Crops and Soil Fertility*. G. Schroth, G. Sinclair, F. eds. 2003. CAB International.
- VISHWANATHAN, M.K., J.S. SAMRA and A.R. SHARMA. 1999. Biomass production of trees and grasses in a silvopasture system on marginal lands of Doon Valley of north-west India. *Agroforestry systems*, v (46): 2. p 197-212.
- WILSON, J.R. and M.M. LUDLOW. 1991. The environment and potencial growth of herbage under plantations. En; Shelton, H.M. y W.W. Stur (eds). *Forages for plantation crop*. ACIAR Proceedings N° 32. Camberra, Australia. ACIAR. Pp. 10-24.
- WILSON, J.R., and D.W.M. WILD. 1991. Improvement of nitrogen nutrición and grass growth under shading. En: Shelton, H.M. y W.W. Stur (eds). *Forages for plantation crops*. ACIAR Proceedings N° 32. Pp. 77-82.
- 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 Agricultural Research* 31: 259-285 p.

ANEXO

Cuadro 1. Análisis de la varianza de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	48	0,22	0,13	36,88

Cuadro 2. Análisis de la varianza SC (tipo III) de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo.

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	103116,17	3	34372,06	16,84	<0.0001
Especie	103116,17	3	34372,06	16,84	<0.0001
Error	220399,63	108	2040,74		
Total	323515,81	111			

Cuadro 3. Test: DGC Alfa=0,05 PCLAT=24,8773 de comparación de medias de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo.

Error: 2040,7373 gl: 108

Especie	Medias	N	
<i>E. viminalis</i>	95,87	28	A
Testigo	157,65	28	B
<i>P. elliottii</i>	164,90	28	B
<i>Q. robur</i>	172,23	28	B

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

Cuadro 4. Análisis de la varianza de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
biomasa	112	0,77	0,70	19,69

Cuadro 5. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	28161,94	27	1043,03	10,70	<0,0001
Especie	11103,99	3	3701,33	37,98	<0,0001
Distancia	9256,26	6	1542,71	15,83	<0,0001
Especie*distancia	7801,69	18	433,43	4,45	<0,0001
Error	8187,21	84	97,47		
Total	36349,14	111			

Cuadro 6. Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=15,1005. Comparación de medias de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E.viminalis*, *P.elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción.

Error: 94,1207 gl: 80

Especie	Distancia	Medias	n	
<i>E. viminalis</i>	2,5	5,38	4	A
<i>Q. robur</i>	2,5	16,56	4	A
<i>E. viminalis</i>	5,0	28,57	4	B
<i>E. viminalis</i>	10,0	30,79	4	B
<i>E. viminalis</i>	17,5	34,96	4	B
<i>P. elliottii</i>	2,5	38,13	4	B
<i>E. viminalis</i>	7,5	41,87	4	B
<i>P. elliottii</i>	17,5	43,24	4	B
<i>P. elliottii</i>	5,0	43,76	4	B
<i>E. viminalis</i>	15,0	46,54	4	B
<i>E. viminalis</i>	12,5	46,91	4	B
<i>Q. robur</i>	5,0	48,37	4	B
<i>Q. robur</i>	17,5	49,80	4	B
Testigo	17,5	55,73	4	C
Testigo	12,5	55,83	4	C
Testigo	15,0	56,04	4	C
<i>Q. robur</i>	10,0	58,00	4	C
<i>P. elliottii</i>	15,0	58,43	4	C
<i>P. elliottii</i>	7,5	58,80	4	C
Testigo	7,5	60,21	4	C
Testigo	10,0	61,27	4	C
<i>Q. robur</i>	15,0	61,73	4	C
<i>Q. robur</i>	7,5	61,76	4	C
<i>P. elliottii</i>	10,0	63,42	4	C
Testigo	5,0	64,16	4	C
Testigo	2,5	67,75	4	C
<i>P. elliottii</i>	12,5	72,45	4	C
<i>Q. robur</i>	12,5	73,23	4	C

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

Cuadro 7. Verificación del supuesto de distribución normal de los errores de la biomasa para el primer ciclo de producción mediante la prueba de Shapiro-Wilks (modificado).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO_biomasa	112	0,00	8,59	0,99	0,8565

Cuadro 8. Análisis de la varianza de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	112	0,77	0,69	23,40

Cuadro 9. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al segundo ciclo de producción.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	126508,45	27	4685,50	10,17	<0,0001
Especie	39050,28	3	13016,76	28,24	<0,0001
Distancia	62630,62	6	10438,44	22,65	<0,0001
Especie*distancia	24827,55	18	1379,31	2,99	0,0004
Error	38712,35	84	460,86		
Total	165220,80	111			

Cuadro 10. Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=33,4144. Comparación de medias de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al segundo ciclo de producción.

Error: 460,8613 gl: 84

Especie	Distancia	Medias	n	
<i>E. viminalis</i>	2,5	15,18	4	A
<i>E. viminalis</i>	17,5	35,90	4	B
<i>Q. robur</i>	2,5	43,40	4	B
<i>E. viminalis</i>	5,0	51,40	4	B
<i>Q. robur</i>	17,5	54,47	4	B
<i>P. elliottii</i>	2,5	57,91	4	B
<i>E. viminalis</i>	15,0	63,30	4	B
<i>E. viminalis</i>	7,5	67,06	4	B
<i>E. viminalis</i>	12,5	72,45	4	B
<i>P. elliottii</i>	17,5	73,20	4	B
Testigo	10,0	91,34	4	C
Testigo	2,5	92,36	4	C
<i>P. elliottii</i>	15,0	94,50	4	C
<i>P. elliottii</i>	5,0	97,38	4	C
Testigo	17,5	98,23	4	C
Testigo	5,0	98,25	4	C
Testigo	7,5	102,65	4	C
<i>Q. robur</i>	5,0	107,59	4	C
<i>P. elliottii</i>	12,5	108,74	4	C
Testigo	15,0	110,77	4	C
<i>E. viminalis</i>	10,0	111,23	4	C
<i>Q. robur</i>	15,0	113,98	4	C
Testigo	12,5	117,92	4	C
<i>Q. robur</i>	12,5	121,63	4	C
<i>P. elliottii</i>	7,5	129,96	4	D
<i>Q. robur</i>	7,5	138,06	4	D
<i>P. elliottii</i>	10,0	143,81	4	D
<i>Q. robur</i>	10,0	155,77	4	D

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

Cuadro 11. Verificación del supuesto de distribución normal de los errores de la biomasa para el segundo ciclo de producción mediante la prueba de Shapiro-Wilks (modificado).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO_biomasa	112	0,00	33,71	0,97	0,1068

Cuadro 12. Análisis de la varianza de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción según la exposición y la distancia.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	128	0,43	0,40	27,58

Cuadro 13. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción según la exposición y la distancia.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17522,25	7	2503,18	12,88	<0,0001
Especie	13594,35	3	4531,45	23,32	<0,0001
Exposición	1787,05	1	1787,05	9,20	0,0030
Especie*exposición	2140,84	3	713,61	3,67	0,0142
Error	23314,90	120	194,29		
Total	40837,15	127			

Cuadro 14. Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=10,1025. Comparación de medias de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al primer ciclo de producción según la exposición y la distancia.

Error: 192,9706 gl: 116

Especie	Exposición	Medias	n	
<i>E. viminalis</i>	S	26,65	16	A
<i>E. viminalis</i>	N	39,80	16	B
<i>Q. robur</i>	S	46,17	16	B
<i>P. elliottii</i>	S	51,03	16	B
Testigo	N	57,22	16	C
<i>P. elliottii</i>	N	59,38	16	C
<i>Q. robur</i>	N	60,69	16	C
Testigo	S	63,35	16	C

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

Cuadro 15. Análisis de la varianza de la producción de biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. Elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al segundo ciclo de producción según la exposición y la distancia.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	128	0,20	0,15	39,28

Cuadro 16. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de producción de la biomasa de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. Elliottii*, *Q. robur* y testigo, correspondiente al segundo ciclo de producción según la exposición y la distancia.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	40510,62	7	5787,23	4,17	0,0004
Especie	39526,06	3	13175,35	9,49	<0,0001
Exposición	329,70	1	329,70	0,24	0,6269
Especie*exposición	654,86	3	218,29	0,16	0,9249
Error	166613,68	120	1388,45		
Total	207124,29	127			

Cuadro 17. Análisis de la varianza de la EUA de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. Elliottii*, *Q. robur* y testigo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA Kg*ha/mm	112	0,82	0,76	17,33

Cuadro 18. Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la EUA de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. Elliottii*, *Q. robur* y testigo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	219,386	27	8,125	1,386	<0,0001
Especie	90,685	3	30,228	5,156	<0,0001
Distancia	79,645	6	13,274	2,264	<0,0001
Especie*distancia	49,056	18	2,725	0,465	<0,0001
Error	49,251	84	0,586		
Total	268,638	111			

Cuadro 19. Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,37689. Comparación de medias de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo.
Error: 0,58633 gl: 84

Especie	Distancia	Medias	n	
<i>E. viminalis</i>	2,5	0,209	4	A
<i>Q. robur</i>	2,5	0,6	4	B
<i>E. viminalis</i>	5	0,784	4	B
<i>E. viminalis</i>	17,5	0,945	4	B
<i>P. elliottii</i>	2,5	0,948	4	B
<i>E. viminalis</i>	15	0,951	4	B
<i>E. viminalis</i>	7,5	0,999	4	B
<i>E. viminalis</i>	12,5	1,185	4	C
<i>P. elliottii</i>	5	1,281	4	C
<i>E. viminalis</i>	10	1,295	4	C
Testigo	12,5	1,298	4	C
Testigo	10	1,367	4	C
<i>P. elliottii</i>	17,5	1,37	4	C
<i>Q. robur</i>	5	1,426	4	C
Testigo	5	1,537	4	C
Testigo	2,5	1,549	4	C
Testigo	7,5	1,556	4	C
<i>P. elliottii</i>	15	1,589	4	C
Testigo	17,5	1,598	4	C
<i>Q. robur</i>	17,5	1,622	4	C
Testigo	15	1,644	4	C
<i>Q. robur</i>	15	1,759	4	C
<i>P. elliottii</i>	7,5	1,764	4	C
<i>Q. robur</i>	7,5	1,823	4	C
<i>P. elliottii</i>	10	1,938	4	D
<i>P. elliottii</i>	12,5	1,993	4	D
<i>Q. robur</i>	10	1,994	4	D
<i>Q. robur</i>	12,5	2,11	4	D

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

Cuadro 20. Verificación del supuesto de distribución normal de los errores de la EUA de *A. sativa* en las parcelas de *E. viminalis*, *P. elliottii*, *Q. robur* y testigo, mediante la prueba de Shapiro-Wilks (modificado).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (UnilateralD)
RDUO_EUA	112	0,00	2,11	0,99	0,8892

ÍNDICE FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Imagen satelital del sistema silvopastoril.



Fotografía 2. Sistema silvopastoril, observación antes del último pastoreo.



Fotografía 3. Toma de muestras de suelo con barreno antes del último pastoreo.



Fotografía 4. Estufa cargadas con muestras de material vegetal para obtención de materia seca.



Fotografía 5. Procesamiento de muestras de biomasa: separando material verde de senescente.



Fotografía 6. Balanza analítica pesando biomasa senescente.



Fotografía 7. Procesamiento de suelo para ser llevado a microondas.



Fotografía 8. Balanza analítica pesando suelo húmedo para ser llevada a microondas.