



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



“Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniera Agrónoma”

Modelo: Proyecto

**DISTRIBUCION ESPACIAL Y TEMPORAL DEL AGUA DEL SUELO Y SU EFECTO
SOBRE EL RENDIMIENTO DE BIOMASA AÉREA DEL ESTRATO HERBÁCEO EN
UN SISTEMA SILVOPASTORIL**

**Estudiante: Celli, Lucrecia de Lourdes
DNI: 30.030.234
Director: Ing. Agr. Mg. Omar Plevich**

**Río Cuarto – Córdoba
Octubre 2017**

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final:

“Distribución espacial y temporal del agua del suelo y su efecto sobre el rendimiento de biomasa aérea del estrato herbáceo en un sistema silvopastoril”

Autora: Celli, Lucrecia de Lourdes
DNI: 30.030.234

Director: Ing. Agr. Magister Plevich, José Omar

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

Ing. Agr. Dr. Degioanni, Américo _____

Ing. Ftal. MSc. Demaestri Marcela _____

Ing. Agr. Mg. Plevich, José Omar _____

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

Secretario Académico

*Tienes que poner una base de "No me olvides",
igual que si sembraras sobre la tierra arada.
Después dispondrás de algunas lágrimas,
pero no cualquier lágrima,
por ejemplo: la de un niño con hambre,
o la de una mujer que llora por sus hijos,
o la de un hombre que llora por su dignidad.
Agregaras como parte del milagro
la trayectoria que siguió el pájaro en su vuelo,
pero después que el pájaro se disolvió en el olvido,
así como el despertar en la aurora
del canto en las catedrales del zorzal en sus ramas.
Traerás algún recuerdo de momentos felices,
como si estuvieras mirando a todos en la mesa,
también recuerdos de glorias en luchas que no cesan
y en ellas volverás a decir:
"El pueblo unido jamás será vencido"
en certificación de tu memoria.
Hurga también en tu cerebro,
debe haber una paz como cuando mirabas
los pájaros del cañadón
o como cuando te dieron amor y tu lo diste.
Pero todo tiene que tener magia, el milagro,
como despertarse cada día y ver la luz
y dar los buenos días como cantando un himno.
Por último,
tienes que poner también la historia de los abuelos de la tierra;
y, aunque tiembles, el futuro de tus hijos,
los hijos de tus hijos, y de sus hijos,
con ellos no harás un amasijo,
sino amorosamente pondrás ramos de flores
junto a los no me olvides que sembraste en buena tierra.
Y mientras vas nombrando la gente que amas,
a los pueblos que amas, como todos los libre,
colocarás ese ramo de magia en el florero
que tienes armado dentro de tu vida,
para poder así espantar a la muerte.
Hamlet Lima Quintana*

Dedicado

*A mis abuelos: Alberto, Pablo, Mercedes, Lucía;
A mis padres: Jorge y Liliana;
A mi hermana Belén;
Y a todas las personas que me acompañaron en este hermoso camino*

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía y por darme el valor para seguir adelante.

A cada una de las personas que de un modo u otro han contribuido y contribuyen desde diferentes lugares al sostenimiento y desarrollo de la Universidad como ámbito público para la formación de profesionales.

A mi director de tesis, Ing. Agr. Mg. Omar Plevich, por darme la oportunidad de trabajar con él, por el tiempo dedicado a lo largo de este trabajo y porque además del valioso conocimiento supo transmitirme una vocación.

A mis correctores de tesis: Ing. Agro. Dr. Américo Degioanni por las correcciones realizadas y por el tiempo dedicado en las consultas; y a la Ing. Ftal. MSc. Marcela Demaestri, por la atenta lectura y sugerencias entorno a este trabajo.

A todos los demás docentes, colegas y al resto de la comunidad universitaria que estuvieron presentes durante mi formación profesional.

Al Parque Nacional Los Alerces, por haberme abierto sus puertas más de una vez, y a cada una de las personas que trabajan en el, por haberme brindado su amistad y sus conocimientos.

Por último, y no por ello menos importante, agradecer a mi familia y amigos que me acompañaron siempre en esta etapa de mi vida.

A TODOS ELLOS... MUCHAS GRACIAS!

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS.....	V
INDICE DE TABLA.....	VI
TABLA DE IMÁGENES.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	10
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
Determinación de la distribución espacial y temporal del rendimiento de biomasa aérea de la pastura con árboles en relación a un potrero sin árboles.....	17
Estimación de la eficiencia de uso del agua de <i>Bromus unioloides</i> en los sistemas silvopastoriles bajo estudio y en un potrero sin árboles.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
Distribución espacial y temporal del agua en el suelo en sistemas silvopastoriles y en el potrero sin árboles.....	20
Contenido hídrico del suelo para el Inicio del Ciclo del ensayo.....	20
Contenido hídrico del suelo al final del Ciclo del ensayo.....	25
Determinación de la distribución espacial y temporal del rendimiento de biomasa aérea de la pastura con árboles en relación a una pastura vecina sin árboles.....	26
Eficiencia en el uso del agua de <i>Bromus unioloides</i>	28
CONCLUSIONES.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXO.....	36

INDICE DE TABLA

Tabla 1- Contenido hídrico del suelo en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles.	20
Tabla 2 – Contenido hídrico dentro de los sistemas silvopastoriles teniendo en cuenta la exposición.....	22
Tabla 3 – Contenido hídrico inicial dentro de los sistemas silvopastoriles teniendo en cuenta la distancia desde el árbol hacia el callejón.	24
Tabla 4 – Contenido hídrico en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles correspondiente al final del ciclo del cultivo.	25
Tabla 5 – Rendimiento de Biomasa Aérea del ciclo del cultivo entre los sistemas silvopastoriles y el potrero sin árboles.	26
Tabla 6 - Eficiencia en el uso del agua en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles.	29

TABLA DE IMÁGENES

Figura 1: Área del Sistema Silvopastoril donde se realizó el estudio- Imagen extraído de Google Earth	15
Figura 2: Diseño experimental parcelas divididas con estructura de parcelas en bloques con cuatro repeticiones.....	19
Figura 3: Distribución de las precipitaciones mensuales para el año 2011, en el paraje La Aguada.	22

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la distribución espacial y temporal del agua del suelo y su efecto sobre el rendimiento de biomasa aérea del estrato herbáceo en dos sistemas silvopastoriles en callejones, uno integrado con pinos y otro con robles, con cuatro repeticiones para cada uno de ellos. 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 bajo estudio fueron instalados en la primavera de 1998 plantando una doble hilera de árboles a 2x2 m y separándolas por callejones de 21 m. En los callejones en marzo de 2010 se realizó la siembra de *Bromus unioloides* y también se sembró en un lote testigo sin árboles. Durante el ciclo 2011 se analizó la respuesta de la regeneración natural de las plantas que lograron producir semillas el ciclo anterior. El rendimiento de biomasa aérea de la regeneración natural de *Bromus unioloides* fue significativamente diferente entre los sistemas: *Pinus elliottii* (69,10 gr/m² ± 32,56), *Quercus robur* (36,24 gr/m² ± 20,58) y el Potrero sin árboles (14,11 gr/m² ± 11,42), (p<0,05). La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) mostró un patrón similar a la de la biomasa aérea, en *Pinus elliottii* (0,72 gr/m².mm ± 0,29), *Quercus robur* (0,43 gr/m².mm ± 0,23) y el Potrero sin árboles (0,20 gr/m².mm ± 0,15) (p<0,05).

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

SUMMARY

The objective of this work was to determine the spatial and temporal distribution of soil water and its effect on the aerial biomass yield of the herbaceous stratum in two silvopastoral systems in alleys, one integrated with pines and one with oaks, with four replicates for each of them. The experiment was carried out in the field of teaching and experimentation Pozo del Carril, located at 32°58'S and 64°40'W. The silvopastoral systems under study were installed in the spring of 1998 by planting a double row of trees at 2 x 2 and separating them by alleys of 21 m. In the alleys in March 2010 the *Bromus unioloides* were planted and also planted in a tree-free batch. During the 2011 cycle the response of the natural regeneration of the plants that succeeded in producing seeds in the previous cycle was analyzed. The aerial biomass yield of the natural regeneration of *Bromus unioloides* was significantly different among the systems: *Pinus elliottii* (69,10 g/m² ± 32,56), *Quercus robur* (36,24 g/m² ± 20,58) and Potrero without trees (14,11 g/m² ± 11,42), (p <0.05). The Efficiency in water use (USA) showed a pattern similar to that of aerial biomass, in *Pinus elliottii* (0,72 gr/m².mm ± 0,29), *Quercus robur* (0,43 gr/m².mm ± 0,23) , 20 gr/m².mm ± 0,15) (p <0.05).

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

INTRODUCCIÓN

La agricultura ha tenido profundas contribuciones en la producción de alimentos y fibras, pero también ha contribuido a la degradación de los recursos naturales renovables debido a la deforestación (Upadhyay *et al.*, 2006), incremento de la erosión de suelo (Altieri y Pengue, 2006), aumento de la contaminación del agua con residuos (Koo y O'Connell, 2006), aumento de las emisiones de gases efectos invernaderos (Upadhyay *et al.*, 2006), pérdida creciente de biodiversidad (Giupponi *et al.*, 2006).

En Argentina, la producción agrícola ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a la especialización e intensificación de los sistemas de cultivos, basado en la soja transgénica y el doble cultivo trigo-soja, extensión de la frontera agrícola, y aumento de la productividad vinculado a bioingeniería, agroquímicos y mayor utilización de fertilizantes (Trigo y Cap., 2003). Sin embargo, los problemas ambientales y degradación de los recursos naturales reconocidos a nivel internacional han empezado a evidenciarse, como ocurre con la contaminación de agua por residuos agropecuarios (Rabinovich y Torres, 2004), en tanto otros se han intensificado, por ejemplo, deforestación y pérdidas de biodiversidad (SAyDS, 2007).

Al sur oeste de la provincia de Córdoba, existen alrededor de 700.000 ha de tierras sujetas a severos procesos de erosión hídrica, debido a la interacción del relieve ondulado, precipitaciones de alta intensidad, suelos de moderado desarrollo con predominio de arenas muy finas y limos y sistemas de producción agrícola-ganadero basados en el laboreo permanente (Cantero *et al.*, 1998).

De acuerdo a Giayetto *et al.* (1992), este deterioro genera impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias en profundidad y provoca severos confinamientos superficiales del sistema radicular y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Ambos aspectos, determinan la ocurrencia de déficit hídricos al incrementarse las pérdidas de agua por escorrentías superficiales y limitar su captación desde horizontes profundos. Frente a esta situación, gran parte del agua de precipitación no logra ingresar al suelo, escurre, erosiona suelos productivos y la infraestructura vial, produciendo sedimentación localizada en los sectores de bajos y en la salida de las cuencas, afectando la productividad de las tierras.

Para resolver estos problemas se han desarrollado diferentes alternativas de sistemas de cultivos, tecnología, y prácticas de manejo de los recursos naturales enmarcados en el paradigma de la agricultura sostenible, por ejemplo, agricultura de la conservación, agricultura orgánica, agroecología y la agroforestería entre otras.

La agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas y tecnologías del uso de la tierra donde los perennes leñosos (árboles, arbustos, palmas, etc.) son usados deliberadamente en las

mismas unidades de manejo de la tierra junto con cultivos agrícolas y/o animales, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal donde existen interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes (Krishnamurthy y Avila, 1999)

Una opción dentro de la agroforestería, son los sistemas silvopastoriles, que involucran la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos), e interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), todos ellos bajo un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim, 1996).

Las combinaciones de leñosas perennes con pasturas y animales se presentan en formas muy diversas, lo que ha generado diferentes tipos de sistemas silvopastoriles. Muchos de ellos, forman parte de la cultura productiva en diferentes regiones de la Argentina, siendo los que más se destacan a) Pastoreo en plantaciones maderables b) árboles y arbustos dispersos en potreros y c) cortinas rompevientos (Plevich *et al.*, 2002).

El paradigma de estos sistemas plantea la incorporación de las leñosas perennes (árboles y arbustos) como medio para contribuir a contrarrestar impactos ambientales negativos propios de los sistemas tradicionales, favorecer la restauración ecológica de las pasturas degradadas, establecer mecanismos para diversificar las empresas agropecuarias, generando productos e ingresos adicionales, reduciendo la dependencia de insumos externos e intensificando el uso del recurso suelo, sin reducir el potencial productivo a largo plazo (Pezo e Ibrahim;1999).

Estos autores afirman que cuando las leñosas perennes y las especies herbáceas comparten el mismo terreno, pueden presentarse entre ellas relaciones de interferencia y de facilitación. Las manifestaciones de interferencia se expresan como competencia por radiación, agua y nutrientes, así como las posibles relaciones alelopáticas entre componentes. En cambio, la fijación y transferencia de nutrientes y el efecto de protección contra el viento que pueden ejercer las leñosas perennes, son ejemplos de relaciones de facilitación.

En relación a la competición por agua es más probable que esta ocurra cuando dos o más especies desarrollan un sistema radicular especializado que explora los mismos estratos de suelo por este recurso (Van Noordwijk *et al.*, 1996).

Investigadores en zonas templadas, tropicales húmedas y tropicales semiáridas, han reportado observaciones de grandes concentraciones de raíces de árboles entre la superficie y los 30 cm del suelo, zona explorada por el sistema radicular de los cultivos (Itimu, 1997; Lehmann *et al.*, 1998; Imo and Timmer 2000; Jose *et al.*, 2000b).

Por ejemplo, (Jose *et al.*, 2000b) estudiando dos sistemas en callejones (alleycropping) templados en base a maíz y nogal negro encontraron ocupado más fuertemente por raíces el espacio

de suelo entre la superficie y los 30 cm provocando esto una reducción del rendimiento de maíz en 35 % y 33% en nogal respectivamente.

Aunque es difícil separar la competencia en el suelo por agua y nutrientes, está ampliamente reconocido que el rendimiento a cosecha en los sistemas agrosilvícolas en las regiones semiáridas y subhúmedas está más limitada por la competencia de agua.

Cuando consideramos sistemas en callejones (alleycropping) en regiones templadas, no está claro acerca de cuál es el vector competitivo que limitará la productividad, aunque la competencia por agua ha sido informada como limitante de la productividad del sistema.

Gillespie *et al.* (2000) observó reducciones significativas en el rendimiento de maíz creciendo en callejones entre filas de nogal negro cuando las comparo con el maíz que crecía en estos callejones con fosas con polietileno que actuaban como barrera a las raíces separando interacciones interespecíficas en el suelo. En los tratamientos con barreras separadoras, el rendimiento de las plantas de maíz, creciendo en las adyacencias de las filas de árboles fue semejante al crecimiento en el centro del callejón a pesar de estar sombreada por las filas de árboles, identificándose una severa competencia por agua en el sistema sin barreras.

En otro sistema en callejones (alleycropping) de zona templada integrado por arce plateado y maíz, Miller y Pallardy (2001) también encontraron competencia por agua reduciendo el rendimiento del cultivo desde 22 a 27 %. La presencia de una barrera a la raíz, aumento la disponibilidad del agua del suelo en el callejón cultivado, resultados semejantes también fueron reportados en otros ensayos de zonas templadas (José *et al.* 2000a; Hou *et al.* 2003). Estos autores además, observaron altos potenciales de agua en hoja en maíces creciendo en la interfaz árbol cultivo con barrera en las raíces comparadas con plantas sin barrera.

En un ensayo similar usando barrera a las de raíces, Ssekabembe *et al.* (1994) mostró que el agua del suelo fue superior en el callejón dentro del tratamiento con barreras que el tratamiento sin barreras donde la acacia blanca (*Robinia pseudoacacia*) cerca de las filas de árboles agotó el agua del suelo.

La competencia por agua también fue el determinante principal de la productividad de algodón en un sistema en callejones de pecan – algodón (Wanvestraut *et al.*, 2004). El rendimiento de fibras de algodón fue 26 % menor en el tratamiento sin barreras comparado al obtenido con barreras de fosas (Trincheras). Las plantas con el tratamiento con barreras comenzaron el crecimiento estacional más temprano y además expresaron una altura final 26 % mayor al final de la estación de crecimiento. El desarrollo del área foliar fue notable lo que condujo a una diferencia de 47,3% al final de la estación del crecimiento.

Es importante notar, sin embargo, que las interacciones competitivas que involucran el agua se vuelven más intensas en la medida que el agua del suelo se agota (Miller y Pallardy, 2001). De acuerdo a esto, se podría esperar que la competencia que limita la productividad este estrechamente relacionada en última instancia con el patrón de precipitación de un área dada, especialmente en ausencia de riego.

El propósito de este trabajo final de grado es determinar la distribución espacial y temporal del agua del suelo y su efecto sobre el rendimiento de biomasa aérea de *Bromus unioloides* en un sistema silvopastoril.

HIPÓTESIS

- El agua en el suelo se incrementa en los callejones de los sistemas silvopastoriles en la medida que nos alejamos de la proyección vertical de las copas de los árboles obteniéndose en promedio un valor más alto que en aquellas pasturas sin árboles.
- En los potreros sin árboles disminuye el uso consultivo del agua y la eficiencia en el uso del agua.
- Las silvopasturas con especies leñosas caducifolias por su crecimiento estacional compiten en menor grado que las perennifolias por agua, por lo que aumenta el rendimiento y la eficiencia del uso de agua del estrato herbáceo.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la distribución espacial y temporal del agua del suelo y su efecto sobre el rendimiento de biomasa aérea del estrato herbáceo en un sistema silvopastoril.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la distribución espacial del agua del suelo
- Determinar la distribución espacial del rendimiento de biomasa aérea de la pastura con árboles en relación a una pastura vecina sin árboles.
- Estimar la eficiencia de uso del agua de *Bromus unioloides* en los sistemas silvopastoriles bajo estudio y en un potrero sin árboles.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrollo 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, Departamento 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.



Figura 1: Área del Sistema Silvopastoril donde se realizó el estudio- Imagen extraído de Google Earth

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

El relieve es normal, suavemente ondulado, con pendientes de longitud largas y gradientes promedios de 1,5 % (Degioanni, 1998).

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

Para llevar a cabo el estudio se establecieron parcelas con cuatro replicaciones en dos sistemas silvopastoriles, uno implantado con *Quercus robur* y el otro con *Pinus elliottii*. Estos sistemas son monoespecíficos desde el punto de vista forestal, los árboles fueron plantados en la primavera de 1998, en doble hilera y en un marco de plantación de 2 x 2 m dejando callejones de 21 m entre ellos. En marzo de 2010 se realizó la siembra de *Bromus unioloides* en dichos callejones y en un lote testigo sin árboles. Durante el año 2011 se analizó la respuesta de la regeneración natural de las plantas que lograron producir semillas el ciclo anterior. Para la determinación de Biomasa, como para las muestras de suelo, se tomaron una al inicio del ensayo y otra al final del mismo, estas muestras de biomasa coinciden con las fechas en la que se tomaron las muestras de suelo para determinar humedad, como así también coinciden en el mismo punto de muestreo de biomasa, los cuales serán detallados a continuación.

Diseño del experimento

Para analizar el comportamiento de las variables bajo estudio (Agua, Biomasa y EUA) en los tres sistemas (SSP *Pinus elliottii*, SSP *Quercus robur* y Potrero sin árboles) se estableció un diseño en bloques completamente aleatorizado, mientras que para analizar la variación de aquellas variables dentro de los sistemas silvopastoriles se utilizó un diseño de experimentos de parcelas divididas con estructura de parcelas en bloques con cuatro repeticiones (Figura 2). Cada bloque fue dividido en dos parcelas principales: 1) Roble y 2) Pino. Las parcelas principales fueron divididas en dos subparcelas: Exposición Norte y exposición Sur. Las subparcelas fueron divididas en cuatro subparcelas (Distancias desde el fuste: 2,5; 5; 7 y 10 m respectivamente). Los datos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (InfoStat 2004).

Determinación de la distribución espacial y temporal del agua del suelo en cada sistema en estudio.

En cada uno de los puntos propuestos para realizar la toma de muestras de biomasa, se realizaron dos muestreos para la determinación de humedad mediante el método gravimétrico, uno al inicio del estudio y otro al final, según cada horizonte del perfil de suelo que se detalla en el Anexo 1 y hasta los 60 cm de profundidad, con 4 replicaciones (Bloques).

Posteriormente, utilizando el método propuesto por Gil y Martelotto (1993), estos valores se expresaron en contenido hídrico (agua útil) disponible para las plantas.

- a) Cálculo del agua útil total, a partir de las diferencias entre el contenido de agua a capacidad de campo y el punto de marchites permanente, multiplicado por la densidad aparente (DAP) y el espesor de cada horizonte, para finalmente realizar la sumatoria de las láminas parciales

hasta los 60 cm de profundidad. Las constantes hídricas y la DAP fueron tomadas del estudio realizado por en el mismo ensayo (Guiñazu, 2006).

- b) Cálculo de la lámina de agua disponible, a partir de la multiplicación del contenido de agua gravimétrico por la DAP y el espesor de cada horizonte, para posteriormente realizar la sumatoria de láminas hasta los 60 cm de profundidad y,
- c) Determinación del contenido de agua útil disponible a partir de la relación entre agua útil total y la lámina de agua disponible hasta los 60 cm de profundidad, expresando los resultados en mm.

Las láminas de agua útil del suelo, junto con las precipitaciones, fueron utilizadas para estimar el uso consuntivo del agua (Baigorria y Cazorla, 2010).

$$UC = (LAIc + PPc) - LAFc$$

UC: Uso consuntivo (mm)

LAIc: Lámina de agua acumulada en el suelo al inicio del período de muestreo.

PPc: Precipitación acumulada en el período del ensayo.

LAFc: Lámina de agua acumulada en el suelo al final del período de muestreo.

Determinación de la distribución espacial y temporal del rendimiento de biomasa aérea de la pastura con árboles en relación a un potrero sin árboles.

En cada uno de los puntos propuestos para realizar la toma de muestras de agua en el callejón del sistema silvopastoril y en la pastura vecina sin árboles se tomaron muestras de biomasa aérea total (a ras del piso) en dos momentos: otoño y primavera. Ambas muestras se tomaron en el mismo lugar en ambas fechas. El tamaño de la muestra fue de 0,25 m² y se efectuaron 4 replicaciones (Bloques) por cada posición muestreada. Las muestras de biomasa total fueron llevadas a estufa a una temperatura de 100 °C hasta peso constante para obtener el dato de materia seca.

Estimación de la eficiencia de uso del agua de *Bromus unioloides* en los sistemas silvopastoriles bajo estudio y en un potrero sin árboles.

La biomasa producida por unidad de agua consumida expresa la eficiencia con la cual un órgano o un cultivo fijan carbono en relación con el agua que pierde, y se define como eficiencia en el uso del agua (EUA) (Dardanelli *et al.*, 2010).

$$E.U.A = \frac{Rto.BA}{UC}$$

Donde:

EUA: Eficiencia en el uso del agua ($gr/m^2 \cdot mm$)

RTO. BA: Rendimiento de Biomasa Aérea (gr/m^2)

UC: Uso consuntivo (mm)

Para comprender el efecto de las diferentes sistemas silvopastoriles sobre la Eficiencia en el Uso del agua, se relacionó la biomasa producida entre los muestreos de la humedad en el suelo (diferencia entre la biomasa del último corte menos la del primer corte) con el uso consuntivo para las siete posiciones (2,5m S; 5m S; 7,5m S; 10 m; 2,5m N; 5m N; 7,5m N) establecidas en los sistemas silvopastoriles y siete posiciones en el Potrero sin árboles.

ROBLE	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	ROBLE	BLOQUE 1
PINO	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	PINO	
Potrero Sin árboles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Potrero Sin árboles	
ROBLE	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	ROBLE	BLOQUE 2
PINO	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	PINO	
Potrero Sin árboles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Potrero Sin árboles	
ROBLE	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	ROBLE	BLOQUE 3
PINO	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	PINO	
Potrero Sin árboles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Potrero Sin árboles	
ROBLE	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	ROBLE	BLOQUE 4
PINO	2,5 S	5 S	7,5 S	10	7,5 N	5 N	2,5 N	PINO	
Potrero Sin árboles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Potrero Sin árboles	

Figura 2: Diseño experimental parcelas divididas con estructura de parcelas en bloques con cuatro repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución espacial y temporal del agua en el suelo en sistemas silvopastoriles y en el potrero sin árboles.

Contenido hídrico del suelo para el Inicio del Ciclo del ensayo

Como se mencionó anteriormente, para estudiar el agua en el suelo se plantearon dos momentos, uno al inicio del ensayo (7 de Mayo del 2011) y otro al final (27 de Octubre del 2011) ambos coincidieron con la toma de muestras de biomasa.

A partir de los datos obtenidos, se pudo comparar el contenido hídrico del suelo en los sistemas silvopastoriles y en el Potrero sin árboles.

Los datos arrojados por el ANOVA para el inicio del ensayo (Anexo 1) fueron los siguientes:

Tabla 1- Contenido hídrico del suelo (agua útil) en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles al inicio del ensayo.

Sistema	Contenido hídrico (mm)
Potrero sin árboles	14,35(a)
SSP Pino	36,35 (b)
SSP Roble	36,74(b)
p- valor	0,0003
CV	64,20
R ²	0,35
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

En la Tabla 1 se observa que el contenido hídrico del suelo al inicio del ensayo fue significativamente inferior en el Potrero sin árboles, que en los Sistemas Silvopastoriles de Pino y Roble, los cuales no difieren significativamente entre sí.

Entre los efectos microclimáticos que podrían explicar los resultados encontrados podría mencionarse el efecto que las leñosas pueden generar sobre el amortiguamiento del estrés hídrico (Wilson y Ludlow, 1991); es decir cuando las leñosas y las herbáceas comparten el mismo espacio, como en los sistemas silvopastoriles bajo estudio, la menor temperatura en el estrato herbáceo bajo influencia de la copa en los callejones de estos sistemas, provoca una disminución en la tasa de pérdida de agua por transpiración a través de los estomas (Baruch y Fisher, 1991).

El incremento en la humedad relativa del aire es otra característica del microclima que se desarrolla bajo la influencia de la copa de los árboles. La disminución de la temperatura y el incremento de la humedad relativa que ocurren dentro de los callejones de los sistemas silvopastoriles disminuyen el déficit de presión de vapor (DPV), variable que se define como la diferencia entre la presión de vapor del aire saturado en la cavidad subestomática y la presión de vapor del aire normalmente insaturado sobre el canopeo. El DPV tiene una relación directa con el flujo transpiratorio. En el potrero sin árboles, sin atenuación de la copa de los árboles, la temperatura es mayor y la humedad relativa es menor, por lo cual el déficit de presión de vapor es mayor y genera un consumo potencial de agua mayor.

En cuanto a la evaporación y escurrimiento, Renda (2006), observó que después de incluir sobre pastizales plantas perennes leñosas en un período de diez años, hubo un efecto positivo sobre el suelo, el agua y el medio ambiente en relación al sistema herbáceo abierto. De acuerdo a sus resultados en los escenarios abiertos o desprovistos de vegetación leñosa, la velocidad del viento y la alta cantidad anual de horas sol generó una alta tasa de evaporación superando cuatro veces al sistema con árboles. Algo semejante ocurrió con coeficiente de escurrimiento superficial en los pastizales (de tres a cinco veces mayores).

Cuando se recuperan pastizales degradados mediante sistemas silvopastoriles existe una mayor distribución de la humedad en el perfil del suelo, debido a su porosidad (causada por una mayor zona radicular) y su menor grado de compactación (Ramos, 2003). Este autor reportó alrededor de 600 Kg/ha más de biomasa de raíces finas en pasturas mejoradas asociadas con árboles que en praderas degradadas dejadas como testigo (a una profundidad de 0 a 20 cm). Las galerías que dejan las raíces de los árboles al descomponerse, también influye de modo importante en la infiltración de agua, en su almacenamiento en el suelo, y en la conservación de suelos y del agua (Hughes *et al.*, 1984).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones que se dieron durante el año de estudio - 2011-, la mayor acumulación de lluvias se produjo durante el verano, disminuyendo notablemente en el otoño e invierno, donde prácticamente no se registraron precipitaciones (Figura 3).

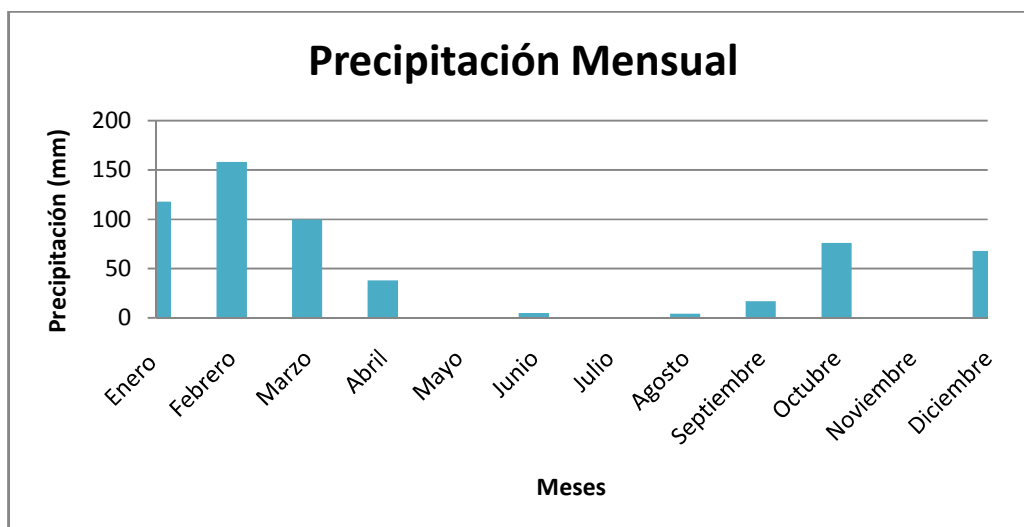


Figura 3-Distribución de las precipitaciones mensuales para el año 2011, en el paraje La Aguada.

En base a lo anterior y teniendo en cuenta solo el contenido hídrico del suelo para el Potrero sin árboles y los SSP, se puede decir que en épocas críticas, el suelo presenta un mayor contenido de humedad en las áreas protegidas por la copa de los árboles que en áreas expuestas directamente al sol y al viento, contribuyendo a mejorar el desempeño de las pasturas (Anderson *et al.*, 1988).

La tabla 2 muestra lo que ocurre en diferentes sectores del callejón cuando estos se encuentran expuestos al sur o al norte de la cortina.

Tabla 2–Contenido hídrico al inicio del ensayo dentro de los sistemas silvopastoriles teniendo en cuenta la exposición.

Exposición	Contenido hídrico inicial (mm)
N	31,89 (a)
S	39,14 (a)
p- valor	0,08
CV	43,6
R ²	0,71
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

Las diferencias entre las exposiciones no fueron altamente significativas ($p \leq 0,05$) sin embargo se observa una tendencia ($p \geq 0,08$) a mostrar que el contenido hídrico inicial del suelo tiende a ser mayor en la exposición Sur que en la exposición Norte.

Dentro de los factores que influyen en los niveles de producción dentro de los sistemas silvopastoriles se encuentra la exposición ya que existe una fuerte relación entre el agua en el suelo y los niveles de radiación que alcanza ese suelo (Gerding *et al.*, 1985). En el hemisferio sur, es frecuente encontrar mayores niveles de radiación en las exposiciones norte y por tanto condiciones más secas que en las exposiciones hacia el sur menos asoleados. Esto concuerda con lo encontrado por Foray (2016) el mismo año en que se realizó este trabajo, quien encontró en SSP de *Quercus robur* que la exposición norte recibió mayor ingreso de RFA que la exposición sur.

Olivares 2006, encontró en términos energéticos, que en el sector norte de la proyección de copa la pradera intercepta el 80% de la luz incidente, muy parecido a lo que ocurre fuera de la proyección; en cambio, en el sector sur la radiación interceptada es del orden de 40% aproximadamente, debiéndose esto a que la sombra proyectada por los árboles se desplaza desde el centro (fuste) hacia el sur, fenómeno explicable por estar en el hemisferio sur y por la latitud y longitud del lugar ($33^{\circ} 28'S$; $70^{\circ} 50' O$).

En base a lo anterior, podríamos considerar otro factor, que interacciona con la exposición que es la distancia a la que nos encontramos desde el fuste de los árboles (distancia). Este es quizás el factor más preponderante en la dinámica del agua, ya que a medida que nos acercamos al árbol se incrementa la competencia por el recurso. La magnitud de estas competencias entre leñosas y herbáceas, es función de la disponibilidad del recurso, los requerimientos específicos, las características morfológicas de los componentes, la población de plantas y su arreglo espacial y el manejo al que estén sometidas, Pezo e Ibrahim (1999).

La distribución espacial de los árboles en un SSP como en el estudio, caracterizado por hileras de árboles en los bordes de un callejón, permiten analizar distancias a los árboles substancialmente diferentes. En la Tabla 3, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas en la disponibilidad de agua útil a medida que nos alejamos del árbol. De las 4 distancias estudiadas, se observa que la menor disponibilidad de agua útil se da a los 2,5 m (posición debajo de las copas de los árboles), la cual presenta una diferencia estadísticamente significativa con respecto a las demás posiciones (5, 7,5 y 10 m respectivamente).

Tabla 3 – Contenido hídrico inicial dentro de los sistemas silvopastoriles teniendo en cuenta la distancia desde el árbol hacia el callejón.

Distancia	Contenido hídrico inicial (mm)
2,5	15,28 (a)
5	30,74 (b)
7,5	46,51 (c)
10	49,53 (c)
p- valor	< 0,0001
CV	43,6
R ²	0,71
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

Para las distancias que se encuentran entre las copas, donde el sombreado no es tan intenso y donde aparentemente las raíces de los árboles no abundan, se genera un beneficio que se manifiesta en una mayor disponibilidad de agua. Además de los factores analizados anteriormente en los callejones silvopastoriles, otro de los factores a los que se puede atribuir lo anterior es que en los callejones se generan condiciones microambientales, como la disminución de los vientos, el cual tendrían un efecto importante sobre el flujo transpiratorio de las plantas (Hurtado, 2004).

Debajo de la copa, además de la disminución de los niveles de radiación fotosintéticamente activa, existe competencia por agua, ya que es la posición donde se encuentra la mayor cantidad de biomasa radicular de los árboles, y posiblemente a nivel superficial donde también exploran por esos recursos las herbáceas, además de esta competencia otro factor que puede influir en estos resultados es la interceptación de la lluvia.

En cuanto al porcentaje de interceptación, este no solo depende de la cobertura arbórea (morfología de la canopia, densidad, altura) sino también de condiciones ambientales como intensidad, cantidad y duración de la lluvia, velocidad y dirección del viento, humedad, etc que no han sido evaluados en este trabajo.

Rapp y Romane (1968) encontraron que la tasa de interceptación de lluvias en Roble es del 30%. Estudios realizados por Iroume y Huber (2000) en un bosque de Pino Oregón encontraron que un 34% (453 mm) de la precipitación incidente (1346 mm) es interceptada por las copas y devuelta a la atmósfera por evaporación.

Contenido hídrico del suelo al final del Ciclo del ensayo

En la Tabla 4 se representan los datos arrojados por el ANOVA para el final del ciclo del cultivo (27 de Octubre- Anexo 3):

Tabla 4 – Contenido hídrico en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles correspondiente al final del ciclo del cultivo.

Sistema	Contenido hídrico (mm)
Potrero sin árboles	70,58 (a)
SSP Roble	78,24 (a)
SSP Pino	71,22 (a)
p- valor	0,72
CV	22,38
R ²	0,50
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

Se puede observar que no hay diferencia significativamente estadística entre los 3 sistemas. Posiblemente esto puede deberse a que en el momento en que se realizó el muestreo a campo había pasado una semana luego de la lluvia, por lo que aún para los tres sistemas el perfil se encontraba con las mismas condiciones de humedad.

Las diferencias en el consumo de agua entre un pastizal puro y un sistema silvopastoril en zonas áridas y semiáridas, cambian de acuerdo a la cantidad de precipitaciones ocurridas durante la estación (Fernández *et al.*, 2007). En temporadas de alta precipitación, la humedad del estrato superficial del suelo puede ser similar entre sistemas con árboles y pastizales puros.

Carranza y Ledesma (2005) realizaron mediciones de humedad durante dos años bajo dosel de *Prosopis flexuosa* y en un pastizal abierto, mostrando que la humedad del suelo en el perfil superior del pastizal fue similar o levemente superior a la del suelo bajo árboles inmediatamente después de una lluvia pero decayó mucho más rápidamente en los días posteriores, siendo más alta la humedad bajo los árboles en las muestras tomadas luego de seis o más días desde la precipitación.

En forestaciones de baja densidad con *Pinus ponderosa* en Patagonia, si bien en años húmedos la humedad del perfil superior fue similar a la de pastizales, el consumo de agua de perfiles profundos fue mayor en las áreas forestadas, por lo cual se concluye que los pinos hacen un uso más exhaustivo del agua del suelo (Fernández *et al.*, 2007).

De acuerdo a lo expuesto, la mejor condición hídrica de los pastizales bajo el dosel arbóreo en sistemas silvopastoriles, fundamentalmente en sistemas áridos y semiáridos, parecen depender más de la modificación de las condiciones atmosféricas que de una modificación favorable del balance de agua del suelo.

Determinación de la distribución espacial y temporal del rendimiento de biomasa aérea de la pastura con árboles en relación a una pastura vecina sin árboles.

Dada la capacidad del dosel arbóreo para modificar la intensidad y la calidad de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la temperatura ambiente y la disponibilidad de agua, entre otros han sido utilizados para predecir la productividad de las especies forrajeras (Peri, 2002).

En sistemas silvopastoriles bajo estudio los árboles se encuentran plantados en hileras paralelas al movimiento del sol (Este- Oeste), facilitando la penetración de los rayos solares al estrato herbáceo, lo que favorece el crecimiento de las herbáceas. En base a lo anterior y sabiendo que para ambos sistemas silvopastoriles se encontraron las mismas condiciones hídricas a diferencia del potrero sin árboles, se podría esperar que el rendimiento de biomasa fuera similar en los sistemas silvopastoriles y diferentes al testigo sin árboles. Esto fue parcialmente cierto, ya que hubo diferencias significativas entre los sistemas silvopastoriles y el testigo, pero la biomasa no fue similar en los sistemas silvopastoriles, ya que el sistemas integrado con pinos produjo significativamente más biomasa que el sistema con robles (tabla 5).

Tabla 5– Rendimiento de Biomasa Aérea del ciclo del cultivo entre los sistemas silvopastoriles y el potrero sin árboles.

Sistema	Biomasa Total (gr MS/m²)
Potrero sin árboles	14,11 (a)
SSP Roble	36,64 (b)
SSP Pino	69,10 (c)
p- valor	0,0009
CV	55,49
R ²	0,58
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

Estos resultados tienen similar tendencia que los encontrados por Plevich *et. al.* (2007) y Martínez (2012), en el mismo lugar donde se realizó este estudio; obteniendo mayores rendimientos de biomasa dentro de los sistemas silvopastoriles que en potrero sin árboles.

Utello (2015), al comparar3 sistemas silvopastoriles conformados por: *Pinus elliottii*, *Quercus robur* y *Eucalyptus viminalis*; junto con un potrero sin árboles, no encontró diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de biomasa aérea de Avena dentro de los sistemas silvopastoriles SSP *P. elliottii*, SSP *Q. robur* y el potrero sin árboles.

Los valores de biomasa aérea de GOIP, como la cebadilla son frecuentes de encontrar en esta región, esto lo demuestran los valores encontrados por Crespi *et al.*, 2001; en cebadilla y festuca encontrando un rendimiento de biomasa aérea de 4 y 10gr MS/m² durante las campañas 96/97 y 97/98, con condiciones semejantes a las del ensayo, esto muestra la importancia de integrar estos recursos forrajeros a sistemas silvopastoriles.

Fenómeno semejante se observó en el rendimiento de biomasa aérea de *Bromus brevis* en el estrato herbáceo de ecosistemas seminaturales del cardenal en la provincia de San Luis donde se observaron 0,74 gr MS/m² para áreas de abras (mayor recepción de luz) mientras que en el sotobosque (umbrófila) la biomasa aérea alcanzó valores de 11,16 gr MS/m² (Gabutti *et al.*, 1999).

Los sistemas silvopastoriles se diferencian no solo en la permanencia de sus hojas, sino también en la arquitectura de la planta (raíces, tallos, copa). *P. elliottii* es una conífera que aunque genera sombreados permanentes, su porte más erecto y sus hojas aciculares permiten un mayor paso de luz (menor coeficiente de extinción de la luz) y con una distribución más uniforme a lo largo del callejón, mientras que *Q. robur* posee una copa estratificada, con disposición planófila de sus hojas que genera una sombra bien definida durante parte de la primavera, verano y una porción del otoño. Sin embargo durante parte del otoño, invierno y parte de la primavera genera una ventana a la radiación por carecer de sus hojas que crea condiciones semejantes a lo que ocurre en el potrero sin árboles (Utello, 2015).

Un factor a considerar, es el viento. Diferentes respuestas de las plantas al viento están relacionadas con los niveles de humedad del suelo (Golberg *et al.*, 2003). 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 tanto para *Festuca arundinacea* como en *Lolium perenne*, esto fue consecuencia directa del estímulo mecánico del viento, pues no fueron afectados el potencial hídrico ni la tasa fotosintética de las hojas.

Estos efectos que ocasionan los vientos, se verían reducidos en los sistemas silvopastoriles y con mayor efecto en aquellos sistemas conformados por especies perennifolias, ya que la presencia de hojas en los árboles tiene un efecto mayor en la reducción de la velocidad del viento por lo que se produciría una menor tasa de evaporación en las pasturas (Djimde *et al.* 1989) esto favorece a mantener el balance hídrico del suelo y el sombreado de estas copas puede jugar un papel

positivo en la atenuación de las bajas temperaturas disminuyendo también las frecuencias de heladas (Cleugh, 1998).

En conclusión, podemos decir que para una situación de sequía prolongada como fue en 2011, el rendimiento de biomasa aérea de *Bromus unioloides* se vio favorecida dentro de los SSP, específicamente en el SSP conformado por *Pinus elliottii* y en menor medida en el potrero sin árboles, esto puede deberse principalmente a la presencia de la cubierta forestal, ya que si bien la energía solar recibida es modificada en su calidad, cantidad y duración, permite crear un ambiente térmico diferente del suelo desprotegido; igualmente el viento, la humedad relativa, las temperaturas del aire y del suelo, la evaporación y otros factores son modelados por la estructura arbórea, y que podrían ser considerados para próximos estudios.

Eficiencia en el uso del agua de *Bromus unioloides*.

La eficiencia del uso de agua (EUA), se define por la relación entre los gramos de materia seca producidos y los milímetros de agua transpirados por un cultivo. El uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y la resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el CO₂ para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos.

Las necesidades de agua, dependen fuertemente de las condiciones climáticas, que se sintetizan en la transpiración, o demanda atmosférica de agua, parámetro que integra los efectos de la cantidad de radiación, humedad, temperatura ambiental y velocidad del viento (Medrano *et al.* 2007).

En la tabla 6 se pueden observar los resultados encontrados cuando se estimó la EUA en los sistemas bajo estudio

Tabla 6 - Eficiencia en el uso del agua en los callejones de sistemas silvopastoriles y potrero sin árboles.

Sistema	EUA (gr/m².mm)
Potrero sin árboles	0,20 (a)
SSP Roble	0,43 (b)
SSP Pino	0,72 (c)
p- valor	0,0021
CV	49,30
R ²	0,56
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)	

Los datos de la tabla muestran diferencias estadísticamente significativas en la EUA entre los tres sistemas (SSP *Pinus elliottii*, SSP *Quercus robur* y Potrero sin árboles). Estas diferencias siguen el patrón de rendimiento en biomasa aérea.

Plevich *et al.*, (2008) al considerar la EUA, observo la misma tendencia encontrada en el rendimiento de biomasa aérea, afirmando que la transpiración en el testigo fue mucho mayor, dando como respuesta un menor rendimiento de biomasa debido, posiblemente, a una mayor evaporación por la influencia de viento y elevadas temperaturas, en relación al sistema silvopastoril.

Martinez (2012), encontró que en los sistemas silvopastoriles *Bromus unioloides* tuvo mayor eficiencia en el uso del agua que en el potrero sin árboles, debido a que en los callejones de los sistemas silvopastoriles integrados por robles y pinos presentaron un mayor rendimiento en biomasa aérea de cebadilla que el testigo sin influencia de árboles.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados encontrados en el presente trabajo, podemos concluir que el agua en el suelo se incrementa en los callejones de los sistemas silvopastoriles en la medida que nos alejamos de la proyección vertical de las copas de los árboles obteniéndose en promedio un valor más alto que en aquellas pasturas sin árboles ($p < 0,004$), corroborando para los sistemas estudiados las hipótesis establecida en el presente trabajo.

Cuando se comparó el rendimiento de biomasa y la eficiencia en el uso del agua de la herbácea en los sistemas silvopastoriles, aquellos implantados con especie perennifolia (pinos), contrario a la hipótesis planteada, produjeron más y fueron más eficientes en el uso del agua que aquellos con especies caducifolias que permiten una ventana de tiempo para un mayor ingreso de radiación.

Si bien quedará para una futura investigación la medición de los efectos climáticos como viento, déficit de presión de vapor, temperatura entre los sistemas silvopastoriles y el potrero sin árboles, se afirma que tanto el consumo de agua por el cultivo como también la EUA fueron modificadas por los efectos que ocasionan las cortinas forestales, principalmente las perennifolias siendo esto lo que explica los altos rendimientos de biomasa aérea de *Bromus unioloides* obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTIERI, M.A. Y PENGUE W.A. - 2006. GM soybean: Latin America's new colonizer. Seedling January,13-17.
- ANDERSON,P.T.,BERGER,W.G.,MERKEL,R.S. AND HAWKINS,D.R.1988. The effect of dietary crude protein level on rate, efficiency and composition gain of growing beef bulls.J.
- BAIGORRIA, T & C CAZORLA. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS. Rosario 2010. CD
- BARUCH, Z. & FISHER, M. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el crecimiento de la planta en el establecimiento de pasturas. En: Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoques de investigación. (Eds. C. Lascano y J. Spain). 6ta. Reunión Comité Asesor RIEPT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia
- BRICHI E., CANTERO A. Y BONADEO E. - 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.
- CARRANZA, C. A., & LEDESMA, M. (2005). Sistemas silvopastoriles. IDIA XXI, 8, 230–236.
- CANTERO A., CANTÚ M., CISNEROS J.M., CANTERO J.J., BLARASIN M., DEGIOANNI, A., GONZALEZ J., BECERRA V., GIL H., DE PRADA J., DEGIOVANNI S., CHOLAKY C., VILLEGAS M., CABRERA A. Y CARLOS E.- 1998. Las Tierras y Aguas del sur de Córdoba. Propuesta para un manejo sustentable. Ed. UNRC, 110 pp.
- CLEUGH HA. 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agrofor Syst* 41(1):55–84. doi:10. 1023/A:1006019805109
- CRESPI R., RIVETTI A. R., PAGLIARICCI H., OHANIAN A., PEREYRA T., DÍAZ ROMERO P. 2001- Comportamiento hídrico y eficiencia del uso del agua en una pastura consociada. *Ingeniería del agua*, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 433-440, dic. 2001. ISSN 1886-4996. Disponible en: <<https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2876>>. Fecha de acceso: 02/10/2017
- DARDANELLI J.; D. COLLINO; M. OTEGUI Y V. SADRAS 2010. “Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano”. Cap 16, *Producción de Granos, bases funcionales para su manejo*. Pág. 376 – 440. Ed. Facultad de Agronomía - UBA. 2010.
- DJIMDE, M.; TORRES, F. & MINGONGO-BAKE, W. 1989. Climate, animal and agroforestry. *Meteorology and agroforestry. Proceedings of an International workshop on The application of meteorology to agroforestry systems planning and management*. Nairobi. ICRAF. 546p.
- DEGIOANNI, A. 1998. Organización Territorial de la Producción Agraria en la Región de Río Cuarto. Tesis Doctoral Universidad Alcalá de Henares. España. 380p.

- FERNÁNDEZ, M. E.; GYENGE, J. E. Y SCHILICHTER, T. M. 2007. Balance of competitive and facilitative effects of exotic trees on a native Patagonian frass. *PlantEcology*. 188 (1): 67- 76
- FORAY, J. B. 2016. Caracterización de la radiación y producción de biomasa forrajera en un sistema silvopastoril. Proyecto de trabajo final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. 41 p.
- GABUTTI, E.G., M.J.L. PRIVITELLO, M.A. MAIDANA Y R.U. HARRISON. 1999. Producción anual del pastizal natural del bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk.) de la provincia de San Luis, Argentina.
- GERDING V, O PUENTES, JE SCHLATTER, P GONZÁLEZ. 1985. Fertilización con boronatrocalcita en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* en suelos graníticos. *Bosque* 6(2): 100-112.
- GIAYETTO O., BONADEO E., CRESPI R., FERNANDEZ E. Y ASNAL W. – 1992. Manejo del agua en el sistema suelo-cultivo del maní en secano y bajo riego. Convenio de Cooperación y Complementación entre la Cámara Argentina del Maní y la Universidad Nacional de Río Cuarto (FAV). Informe Técnico 1990/91. Panorama Manisero, Año VI, N° 19:14-20.
- GIL R.C. Y MARTELOTTO F.E. - 1993. El agua edáfica. Guía práctica para su determinación. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina.
- GILLESPIE A.R., JOSE S., MENGEL D.B., HOOVER W.L., POPE P.E., SEIFERT J.R., BIEHLE D.J., STALL T. AND BENJAMIN T.J. - 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 1. Production physiology. *AgroforestSyst* 48: 25–40.
- GIUPPONI C., RAMANZIN M., STURARO E. Y FUSER S. - 2006. Climate and land use changes, biodiversity and agri-environmental measures in the Belluno province, Italy. *Environmental Science & Policy* 9,163-173.
- GOLBERG, D.; BOLDES, U.; COLMAN, J. 2003. Capítulo 5: La protección de los cultivos de los efectos del viento: En *Viento, Suelo y Plantas* / Edit. Golberg A.D.; Kin A.G, Bs As: Ed. INTA. 130 p.
- GUIÑAZÚ, R. C. 2006. Efecto del sistema de laboreo sobre la densidad de longitud de raíces y producción de materia seca de un verdeo invernal. Trabajo final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. 44 p.
- HOU Q., BRANDLE J., HUBBARD K., SCHOENEBERGER M., NIETO C. AND FRANCIS C. 2003. Alteration of soil water content consequent to root-pruning at a windbreak/crop interface in Nebraska. USA. *AgroforestSyst* 57: 137-147.
- HUGHES, M.A., J. STIRLING AND D. COLLINGE. 1984. The inheritance of cyanoglucoside content in *Trifolium repens* L. *Biochem. Genetics* 22:139-151.
- HURTADO, M.L. 2004. El árbol, más que sombra. Informativo Rural, E.E.A. INTA San Luis. Disponible en: www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/58-el_arbol.pdf. Consultado: 17/12/2011.

- IMO M. Y TIMMER V.R. - 2000. Vector competition analysis of a *Leucaena*-maize alley cropping system in western Kenya. *Forest Ecol and Manag* 126: 255–268.
- IROUMÉ A, A HUBER. 2000. Intercepción de las lluvias por cubiertas de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región Chile. *Bosque* 21 (1): 45-56.
- ITIMU O.A. - 1997. Distribution of *Sennaspectabilis*, *Gliricidasepium* and maize (*Zea mays* L.) roots in an alley cropping trial on the Lilongwe Plain, Central Malawi. Ph.D. Thesis Wye College, University of London, Kent, UK.
- JOSE S., GILLESPIE A.R., SEIFERT J.R. AND BIEHLE D.J. 2000a. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the mid-western USA.2. Competition for water. *AgroforestSyst* 48:41-59
- JOSE S., GILLESPIE A.R., SEIFERT J.R., MENGEL D.B AND POPE P.B. 2000b. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the mid-western USA.3.Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. *AgroforestSyst* 48:61-77.
- KOO B.K. Y O'CONNELL P.E. - 2006. An integrated modelling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 2. A case study for a chalk catchment in England". *Sci Total Environ* 358,1-20.
- KRISHNAMURTHY L. Y AVILA M. - 1999. Agroforestería básica. Serie Textos básicos para la formación ambiental N° 3. 1ra. Ed. PNUMA/ORPALC, México, 340 p. ISBN 968-7913-04-5
- LEHMANN J., PETER I., STEGLICH C., GEBAUER G., HUWE B. AND ZECHW. - 1998. Belowground interactions in dryland agroforestry. *Forest EcolManag* 111: 157–169.
- MARTINEZ MANNINO, M. O. 2012. Uso del agua y productividad de una pastura de *Bromus unioloides* integrada a sistemas silvopastoriles. Trabajo final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. 64 p.
- MEDRANO H.; JOSEFINA, B.; JOSEP, C.; JAUME, F.; MIQUEL, R. C.; Y JAVIER, G. 2007. Eficiencia en el Uso del Agua por las Plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, núm. 43, 2007, pp. 63-84.
- MILLER A.W. AND PALLARDY S.G. - 2001. Resource competition across the crop-tree interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *AgroforestSyst* 53: 247–259.
- OLIVARES, J.; FIERRO, A.; ZAVALETA, P.; MONTIEL, D. Y RUIZ, D. 2006. La condición de los agostaderos en el municipio de Chapantongo, Hidalgo. UAM-Iztapalapa (Departamento de Producción Agrícola y Animal). En: memoria de la III Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. 10 al 12 de julio. D.F., México. Consulta en CD.
- PERI P.L. 2002. Leaf and canopy photosynthesis models for cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) grown in a silvopastoral system. Tesis PhD. Lincoln University. New Zeland. Canterbury, pp. 291

- PEZO E IBRAHIM - 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En: Primer Foro Internacional sobre "Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales". Veracruz, Mejico. 39 p.
- PEZO E IBRAHIM - 1999. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 2, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 2da. Ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. ISBN: 9977-57-332-8.
- PLEVICH J.O., NUÑEZ C.O., PAGLIARICCI H.R., OHANIAN A.E. Y GONZALEZ S.J. - 2002. Sistemas silvopastoriles. Escuela de Posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- PLEVICH, J.O.; C. SAROFF; M.J. BONET y O. BAROTTO. 2008. Uso del agua y producción de forraje de avena con diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvopastoril. 31° Congreso Argentino de Producción Animal Vol 28 Supl. 1: 237-302.
- RABINOVICH J.E. Y TORRES F. - 2004. Caracterización de los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina [Online]. Availableby CEPAL (verificado 3/02/2011). <http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/5/LCL2155P/lcl2155e.pdf>.
- RAMOS R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barrancas, Punta Arenas, Costa Rica (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica, 81 p.
- RAPP, M., ROMANE, F. 1968. Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux dans deux écosystèmes méditerranéens: la forêt de Quercus ilex L. et la garrigue de Quercus coccifera L. Oecol. Plant. 4, 377-410.
- RENDA, A. 2006. Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. Pastos y Forrajes. 29:351.
- RUSSELL G. Y GRACE J.. 1978. The effect of wind speed on grasses. V. Leaf extension, diffusive conductance, and photosynthesis in the wind tunned. J. ExpBot 29: 1249- 1258
- SAyDS - 2007. Primer inventario nacional de bosques nativos: Segunda etapa inventario de campo de la región espinal distritos Caldén y Ñandubay. Informe regional espinal segunda parte. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Buenos Aires, Argentina. 236
- SSEKABEMBE C.K., HENDERLONG P.R. Y LARSON M. - 1994. Soil moisture relations at the tree/crop interface in black locust alleys. AgroforSyst 25: 135–140.
- TRIGO E.J. Y CAP E.J. - 2003. The impact of the introduction of transgenic crops in Argentinean agriculture. AgBioForum 6,87-94.
- UPADHYAY T.P., SOLBERG B. Y SANKHAYAN P.L. - 2006. Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis". Forest Policy and Economics 9,349-371.
- UTELLO, M. 2015. Producción primaria neta aérea del componente herbáceo de sistemas silvopastoriles en la llanura ondulada del sur de Córdoba. Proyecto de trabajo final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo. 46 p.

- VAN NOORDWIJK M., LAWSON G., SOUMARÉ A., GROOT J.J.R. Y HAIRIAH K. - 1996. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. pp. 319–364. In: Ong C.K. and Huxley P. (eds), *Tree–Crop Interactions: A Physiological Approach*. CAB International, Wallingford, UK.
- WANVESTRAUT R., JOSE S., NAIR P.K.R. AND BRECKE B.J. - 2004. Competition for water in a pecan–cotton alley cropping system. *AgroforestSyst* 60: 167–179.
- WILLSON, J.R., Y LUDLOW, M.M..1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. En Shelton, H.M. y W.W. StüR (eds). *Forages for plantation crops*. ACIAR Proceedings N°32. Cambera, Australia. ACIAR. Pp. 10-24.

ANEXO

1. Descripción del perfil típico de suelo Serie La Aguada (Guiñazú, 2006)

	A	AC	C
Profundidad (cm)	0- 17	17- 40	40 a +
Materia orgánica (%)	1.0		
Carbono orgánico (%)	0.6		
Nitrógeno total (%)	0.08		
Relación C/N	7.5		
Arcilla (< 2 μ) (%)	11.5	9.9	6.8
Limo (2- 20 μ) (%)			
Limo (2- 50 μ) (%)	40.8	40.0	40.4
Arena muy fina (50- 100 μ) (%)	45.0	45.0	48.5
Arena fina (100- 250 μ) (%)	2.6	2.8	2.4
Arena media (250- 500 μ) (%)	0.3	0.4	
Arena gruesa (500- 1000 μ) (%)	0.4	0.5	0.4
Arena muy gruesa (1000 - 2000μ) (%)			
Gravas (> 2000 μ) (%)			
CaCO ₃ (%)	0.0	0.0	0.0
Equivalente de humedad (%)	12.0	12.6	10.4
Agua de la pasta (%)			
pH en pasta	6.2	6.4	6.5
pH en H ₂ O (1:2,5)	6.3	6.5	6.6
pH en KCl IN (1:2,5)			
Cationes de cambio (meq/100g)			
Ca ⁺⁺	11.1	7.9	7.1
Mg ⁺⁺	0.6	1.9	0.7
Na ⁺⁺	0.4	0.4	0.4
K ⁺	1.1	1.0	0.7
H ⁺ cambio (meq/100g)	0.6	0.4	0.4
Na ⁺ (% del valor T)	2.9	3.4	4.3
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)			
Resistencia eléctrica (ohms)			
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	13.2	11.2	8.9
Valor T. CIC (meq/100g)	13.8	11.6	9.3
Saturación con bases S/T (%)	95.7	96.6	95.7

2. Método propuesto por Gil y Martelotto (1993)

Prof (1)	NºT (2)	T (3)	P. SH (4)	P. SS (5)	Agua (6)	HG (7)	DAP (8)	HV. (9)	L. A. (10)	L. Mín (11)	L. Mín. (12)	Disp. de AU (13)	CC (14)	AUT (15)	Disp. AU (16)
cm		gr	gr	gr	gr	gr/gr	gr/cm ³	cm ³ /cm ³	mm	%	mm	mm	%	mm	%

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1) Prof. Profundidad 2) Nº de tarro 3) Tara (gr) 4) Peso Suelo Húmedo (gr) 5) Peso Suelo Seco (gr) 6) Agua (gr) 7) Humedad Gravimétrica (gr/gr) 8) Densidad Aparente (gr/cm³) | <ul style="list-style-type: none"> 9) Humedad Volumétrica (cm³/cm³) 10) Lamina Actual (mm) 11) Límite mínimo (%) 12) Limite mínimo (mm) 13) Disponibilidad de Agua (mm) 14) Capacidad de campo (%) 15) Agua útil total (mm) 16) Disponibilidad de Agua útil (%) |
|---|---|

3. Análisis de la Varianza para Contenido hídrico (CH) inicial

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CH i	96	0,35	0,26	64,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	15793,73	11	1435,79	4,10	0,0001	
Especie	10515,83	2	5257,92	39,99	0,0003	(Especie*Bloque)
Especie*Bloque	788,96	6	131,49	0,38	0,8927	
Bloque	4488,94	3	1496,31			sdsd (Bloque*Especie)
Bloque*Especie	0,00	0	0,00			sdsd
Error	29415,09	84	350,18			
Total	45208,82	95				

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=5,8908

Error: 131,4934 gl: 6

Especie Medias n E.E.

Testigo	Medias	n	E.E.	
Pino	14,35	32	2,03	A
Roble	36,74	32	2,03	B

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

4. Análisis de la Varianza para CH inicial entre Sistemas Silvopastoriles. Efectos de las exposiciones y de las distancias dentro de los callejones

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CH	64	0,71	0,48	43,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo			20172,47	27	747,13	3,19 0,0006
Bloque			3122,64	3	1040,88	26,34 0,0117
(Bloque*Tratamiento)						
Tratamiento			96,60	1	96,60	2,44 0,2159
(Bloque*Tratamiento)						
Bloque*Tratamiento			118,55	3	39,52	0,17 0,9167
Expo			841,94	1	841,94	4,32 0,0830
(Tratamiento>Expo*Bloque)						
Expo*Tratamiento			30,21	1	30,21	0,15 0,7075
(Tratamiento>Expo*Bloque)						
Tratamiento>Expo*Bloque			1170,22	6	195,04	0,83 0,5519
Distancia			11993,58	3	3997,86	17,09 <0,0001
Expo*Distancia			1437,31	3	479,10	2,05 0,1244
Tratamiento*Distancia			154,77	3	51,59	0,22 0,8815
Expo*Tratamiento*Distancia			1206,64	3	402,21	1,72 0,1803
Error			8420,91	36	233,91	
Total			28593,38	63		

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=3,1414

Error: 39,5154 gl: 3

Tratamiento Medias n E.E.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Pino	36,35	32	2,70	A
Roble	36,74	32	2,70	A

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

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=6,9792

Error: 195,0367 gl: 6

Expo Medias n E.E.

Expo	Medias	n	E.E.	
N	31,89	32	2,70	A
S	39,14	32	2,70	B

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

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=11,2795

Error: 233,9143gl: 36

Distancia Medias n E.E.

2,50	15,28	16	3,82	A
5,00	30,74	16	3,82	B
7,50	46,51	16	3,82	C
10,00	49,53	16	3,82	C

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

5. Análisis de la Varianza para contenido hídrico al final del ensayo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CH F	96	0,50	0,43	22,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	22550,41	11	2050,04	7,65	<0,0001	
Especie	1228,94	2	614,47	0,34	0,7238	(Especie*Bloque)
Especie*Bloque	10801,87	6	1800,31	6,71	<0,0001	
Bloque	10519,61	3	3506,54	sdsd		(Bloque*Especie)
Bloque*Especie	0,00	0	0,00	sdsd		
Error	22522,66	84	268,13			
Total	45073,08	95				

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=21,7969

Error: 1800,3116 gl: 6

Especie Medias n E.E.

Testigo	70,58	32	7,50	A
Pino	70,72	32	7,50	A
Roble	78,24	32	7,50	A

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

6. Análisis de la Varianza para la Biomasa total del ciclo del cultivo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	96	0,58	0,53	55,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	57655,79	11	5241,44	10,66	<0,0001	
Especie	48910,63	2	24455,31	27,95	0,0009	(Especie*Bloque)
Especie*Bloque	5250,42	6	875,07	1,78	0,1129	
Bloque	3494,74	3	1164,91	1,33	0,3491	(Especie*Bloque)
Error	41283,47	84	491,47			
Total	98939,26	95				

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=15,1964

Error: 875,0692 gl: 6

Especie Medias n E.E.

Testigo	14,11	32	5,23	A
Roble	36,64	32	5,23	B
Pino	69,10	32	5,23	C

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

7. Análisis de la Varianza para la Eficiencia en el uso del agua

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA	96	0,56	0,50	49,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	5,28	11	0,48	9,73	<0,0001	
Especie	4,42	2	2,21	20,29	0,0021	(Especie*Bloque)
Especie*Bloque	0,65	6	0,11	2,20	0,0505	
Bloque	0,21	3	0,07	0,66	0,6068	(Especie*Bloque)

Error	4,15	84	0,05
Total	9,43	95	

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,1695

Error: 0,1088 gl: 6

Especie Medias n E.E.

Testigo 0,20 32 0,06 A

Roble 0,43 32 0,06 B

Pino 0,72 32 0,06 C

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