



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

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

**INFLUENCIA DEL ARBOL Y MANEJO DEL SUELO SOBRE
LA PRODUCTIVIDAD DEL ESTRATO HERBÁCEO EN UN
SISTEMA SILVOPASTORIL INTEGRADO POR *QUERCUS
ROBUR* Y *AVENA SATIVA***

**María José Bonet
DNI. 28.475.732**

**Director: José Omar Plevich
Codirector: Ana Cecilia Saroff**

**Río Cuarto – Córdoba
Diciembre – 2008**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: INFLUENCIA DEL ARBOL Y MANEJO DEL SUELO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL ESTRATO HERBACEO EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL INTEGRADO POR *QUERCUS ROBUR* Y *AVENA SATIVA*

Autora: María José Bonet
D.N.I: 28.475.732

Director: José Omar Plevich
CoDirector: Ana Cecilia Saroff

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias de la comisión evaluadora:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: __/__/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi director de tesis Ing. Agr. Omar Plevich por haberme guiado y ayudado en la realización de este trabajo.

A mis compañeros Alejandro Tonello y Álvaro García por haber compartido conmigo el trabajo de toma y procesamiento de datos.

A la profesora Cecilia Saroff por su colaboración en la realización del trabajo.

A la U.N.R.C y a la Secretaría de Ciencia y Técnica, ya que este trabajo final fue financiado por dicha secretaría.

A mi familia, a Juan y a mis amigos por acompañarme siempre...

INDICE GENERAL

	Páginas
Carátula	i
Certificado de Aprobación	ii
Agradecimientos	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros	v
Índice de Figuras	v
Resumen	vi
Summary	vii
Introducción y Antecedentes	1
Hipótesis	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Materiales y Métodos	4
Resultados y Discusión	9
Conclusiones	16
Bibliografía	17

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Producción y coeficiente de variación (CV) de biomasa y grano en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril.	12
Cuadro 2: Producción y coeficiente de variación (CV) de biomasa y grano en el sistema silvopastoril y en el testigo.	13
Cuadro 3: Producción y coeficiente de variación (CV) de biomasa y grano en los diferentes tipos de labranza	13
Cuadro 4: Eficiencia del uso del agua y coeficiente de variación (CV) en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril	14
Cuadro 5: Eficiencia del uso del agua y coeficiente de variación (CV) en los diferentes tipos de labranzas	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño del experimento	5
Figura 2: Dinámica del agua útil del suelo en diferentes posiciones del sistema silvopastoril	9
Figura 3: Precipitaciones decádicas y totales durante el ciclo del cultivo.	10
Figura 4: Dinámica del agua útil del suelo en diferentes labranzas del sistema silvopastoril.	11
Figura 5: Evapotranspiración potencial y real del cultivo para las dos labranzas propuestas.	11

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia del árbol y manejo del suelo sobre la productividad del estrato herbáceo en un sistema silvopastoril integrado por *Quercus robur* y *Avena sativa L.*, ubicado en el Campo de Docencia y Experimentación Pozo Del Carril, La Aguada (32° 58' LS y 64° 40' LO) Córdoba, de la UNRC. El sistema silvopastoril está organizado en callejones de 21 m de ancho delimitados a cada lado por una doble hilera de *Quercus robur* plantados durante 1998. En esos callejones se implantó un cultivo de avena a fines de mayo de 2004. Para estudiar el efecto del árbol sobre el cultivo de avena se midieron las siguientes variables: dinámica de agua útil, evapotranspiración, rendimiento de biomasa total, rendimiento de grano y eficiencia del uso del agua en tres posiciones diferentes: cerca del árbol (1,5 m desde el fuste), lejos del árbol (a 10,5 m desde el fuste) y testigo (posición sin la presencia de los árboles). El efecto de la labranza se analizó evaluando las variables mencionadas utilizando dos tipos de labranzas: labranza superficial (Rastra excéntrica + siembra) y labranza profunda (Subsolador alado reja cero + rastra excéntrica + siembra). El diseño experimental utilizado fue en bloques divididos, con 4 muestras por bloque y 2 repeticiones. En relación a las hipótesis planteadas y para las condiciones en que se llevó a cabo el estudio puede afirmarse que *Quercus robur*, una especie leñosa caducifolia, no compite por agua cuando el estrato herbáceo esta integrado por cultivos de ciclos invernales y que, con la incorporación de la labranza vertical en este sistema silvopastoril, el estrato herbáceo aumenta el rendimiento de la biomasa total pero no la producción de granos.

Palabras claves: sistema silvopastoril, roble, avena, labranzas, posiciones.

SUMMARY

The goal of this work was the studying of tree influence and soil management upon the productivity of herbaceous stratum in a silvopastoral system; this system was integrated by *Quercus robur* and *Avena sativa* L., located in the training and experimentation field “Pozo del Carril, La Aguada (32° 58´S and 64° 40´W) Córdoba, of the Universidad Nacional de Río Cuarto. This silvopastoral system was organized in alleys of 21 m width surrounded on each side by a double line of *Quercus robur* planted in 1998. In these alleys, an oats cultivation was established at the end of May 2004. In order to study the effects of trees on useful water, evapotranspiration, total biomass yield, grain yield, and efficiency in the use of water, these variables were measured in three different positions: near the tree (1,5 m. from the shaft; far from the tree (10,5 m. from the shaft); and witness (a position with no effects on trees). The effect of farming was analyzed by the evaluation of the above mentioned variables using two farming types: superficial farming (eccentric rake + sowing) and deep farming (sub paving zero grille + eccentric rake+ sowing). The experimental design used was the following: divided blocks with 4 subsamples on each block and 2 repetitions. Considering the proposed hypothesis and conditions of the study, it may be asserted that *Quercus robur*, a caducifolia woody species, never competes for water when the herbaceous stratum is integrated by cultivations of winter cycles, and, with the adding of vertical farming, in this silvopastoral system, the herbaceous stratum increases total biomass yield, but without influence on grain production.

Key words: silvopastoral system, oak, oats, farming, positions.

INTRODUCCIÓN

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-ganaderos 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 de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Ambos aspectos determinan la ocurrencia de déficits 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 deteriora la infraestructura vial, produciendo sedimentación localizada en los sectores de bajos y en la salida de las cuencas, afectando la productividad de las tierras.

Los sistemas agropecuarios situados en sitios productivos marginales y aún aquellos que no se encuentran en crisis terminal, pueden ser destinados a procesos de reconversión a través de sistemas integrados, que permitan la diversificación y aumento de la producción actual (Olivares y Gastó, 1981).

En los últimos 20 años la investigación de sistemas de producción integrada o de uso múltiple de la tierra se ha volcado a modelar las diversas fisonomías para dedicarlas a la producción de alimentos ganaderos o bien a la producción conjunta de pastos, madera, leña u otros productos de consumo o utilización humana (Olivares y Gastó, 1981; FAO, 1985; Olivares, 1989; Cabrera 1993; Ayans 1994).

Dentro de éstos, los sistemas silvopastoriles pueden actuar como base para la reconversión del sector agropecuario, los que deben entenderse como técnicas de manejo sustentable de los suelos que combinan cultivos forrajeros con árboles y animales en forma simultánea o secuencial en franca convivencia entre ellos, con el hombre y con el ambiente. La sostenibilidad de estos sistemas integrados, se basa en el conocimiento de la compleja interrelación de los elementos que los componen, los que interactúan de tal manera que se necesitan mutuamente.

La mayoría de estos estudios han sido dirigidos a investigar el comportamiento del pastizal natural bajo la influencia de la canopia de diversas especies de árboles, encontrándose una relación inversa entre la cobertura de la misma y la producción del estrato

herbáceo. En plantaciones con género *Pinus sp.* con densidades intermedias y con aperturas de dimensiones importantes se han observado rendimientos semejantes a terrenos desprovistos de plantación (Grelen *et al.*, 1972, Wolters, 1973; Valls, 1993).

La función que define la productividad de cada estrato expresa relaciones no sólo sinérgicas, sino también antagónicas, debido a las diversas relaciones de interferencia entre sinusias y estratos involucrados. Al aumentar la densidad de plantación y el tamaño de los árboles asociados a las pasturas, la producción de forraje decrece debido a la competencia del estrato superior (árboles), principalmente por radiación solar, agua y nutrientes, (Olivares *et al.*, 1983; Sequeira y Gholz, 1989). Sin embargo estos pueden verse atenuados en el período en que las leñosas caducifolias se encuentran durante el receso vegetativo (Olivares *et al.*, 1983).

Se han utilizado diversos parámetros forestales para determinar los efectos positivos y negativos del árbol sobre la pradera. Los más usados han sido densidad del bosque, área basal, cobertura de copa y ordenamiento de los árboles (Sotomayor, 1989). Pyke y Zamora (1982), utilizando la cobertura de copa que relaciona la densidad de plantación e indica el grado de intercepción de radiación solar, encontraron que fue el mejor indicador de producción de la pradera, superior a las variables “área basal” y “número de árboles”.

Los aspectos relacionados al manejo del suelo bajo el cultivo herbáceo, también son determinantes no sólo de la productividad de este estrato, sino también de la del propio sitio, al incidir sobre los procesos erosivos a los que está sometido el mismo.

La labranza profunda, en comparación con los sistemas de laboreo convencional, reduce la resistencia del suelo, estimula el enraizamiento profundo y promueve el crecimiento radicular rápido (Orellana *et al.*, 1990; Gill *et al.*, 1996; Vepraskas y Miner, 1986). Vallejos *et al.* (1998) analizaron el efecto de la rotura de densificaciones subsuperficiales de hapludoles énticos sobre el comportamiento de un cultivo de trigo y encontraron que cuando se eliminó la capa compactada, el trigo produjo mayor número de espigas y biomasa que cuando no se impactó sobre esta capa. Similares resultados fueron observados por Silenzi *et al.* (1996) en la producción forrajera de avena. Sojka *et al.* (1993); Carter *et al.* (1996) y Pikul y Aase (1999), observaron incrementos en la velocidad de infiltración del agua debido a la labor de subsolado y consecuentemente disminuciones en la erosión producida por el escurrimiento.

Becker *et al.* (2002), evaluaron el efecto de diferentes sistemas de labranza sobre la dinámica superficial del agua en un suelo del área ondulada del sur oeste de Córdoba y observaron que, bajo labranza reducida, con una operación de arado de cinceles, el escurrimiento y la pérdida de suelo fueron inferiores que en labranza convencional y siembra

directa, atribuyéndolo en estos últimos casos a la presencia de un piso de arado en la parte superior del horizonte Bw.

El presente trabajo estudió la influencia del árbol y manejo del suelo sobre la productividad del estrato herbáceo durante el sexto año de desarrollo de un sistema silvopastoril integrado por *Quercus robur* y *Avena sativa*.

HIPÓTESIS

- Las especies leñosas caducifolias no compiten por agua cuando el estrato herbáceo está integrado por cultivos de ciclos invernales.
- En los sistemas silvopastoriles con especies leñosas caducifolias, la incorporación de labranza vertical aumenta el rendimiento y la eficiencia de uso del agua del estrato herbáceo.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Estudiar la influencia del árbol y manejo del suelo sobre la productividad del estrato herbáceo en un sistema silvopastoril integrado por *Quercus robur* y *Avena sativa*.

Objetivos específicos:

- Determinar la disponibilidad de agua útil del suelo en diferentes posiciones del sistema silvopastoril considerando los efectos de dos tipos de labranzas: una superficial (rastra excéntrica y siembra) y otra vertical (subsolador alado, rastra excéntrica y siembra).
- Estimar la producción de biomasa aérea y grano en un cultivo de *Avena sativa L* en diferentes posiciones del sistema silvopastoril considerando los efectos de dos tipos de labranzas propuestas.
- Determinar la eficiencia de uso del agua del estrato herbáceo para dos tratamientos: posición en el sistema silvopastoril y tipo de labranza.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se desarrolló en el campo de Docencia y Experimentación “Pozo del Carril” ubicado a los 32° 58’ LS y 64° 40’ LO a 550 m.s.n.m y a 3 km aproximadamente del paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica llanura chacopampeana, dentro de la cual se encuentra la asociación geomorfológica Faja eólica ondulada Periserrana (Cantero *et al.*, 1998).

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

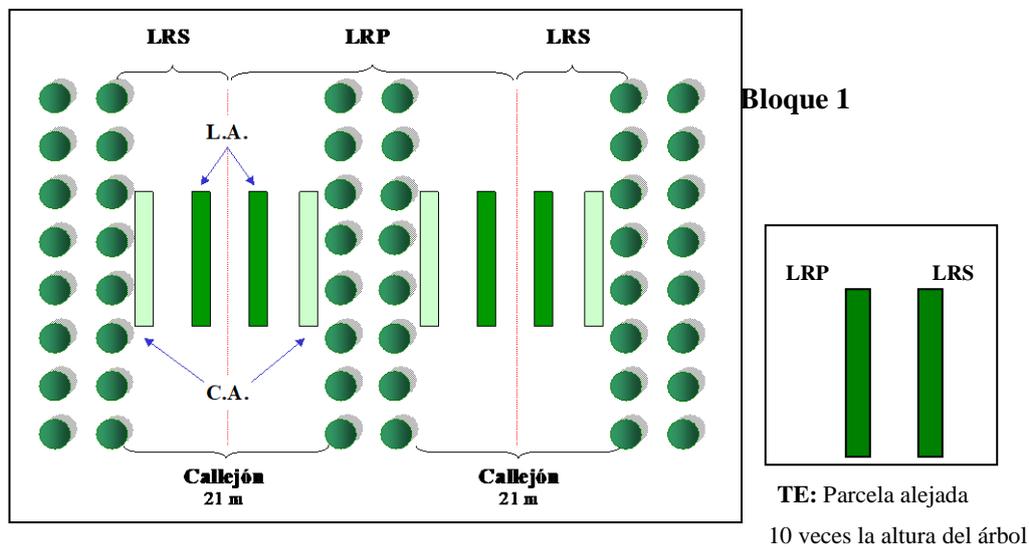
La recolección de datos se realizó durante los meses de mayo a diciembre del año 2004. Para ello, se estableció un sistema silvopastoril en base a *Avena sativa* (avena) - *Quercus robur* (roble). La especie forestal fue plantada durante 1998 en trincheras a 2 x 2 m con callejones de 21 m entre ellas, donde se sembró *Avena sativa* L. cv Suregrain a fines del mes de mayo de 2004.

El diseño experimental utilizado fue de bloques divididos (Capelleti, 1992) con dos repeticiones. Los datos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza y las diferencias entre medias se compararon aplicando el método de LSD de Fisher.

Se establecieron parcelas a 2 m y 10,5 m del fuste del árbol dentro del sistema silvopastoril y un testigo sin influencia de los árboles, distanciado a 10 veces la altura del árbol tipo (Figura 1).

Las labranzas utilizadas fueron:

- Labranza superficial (Rastra excéntrica + siembra)
- Labranza Profunda o Vertical (Subsolador alado reja cero + rastra excéntrica + siembra).



LRS: Labranza reducida superficial
LRP: Labranza reducida profunda
LA : Parcela a 10.5m desde el árbol
CA : Parcela a 2 m desde el árbol
TE : Testigo

Figura 1. Diseño del experimento

Para el cumplimiento del primer objetivo se utilizó la planilla de balance hídrico desarrollada por Martelotto *et al.* (2004). Esta planilla entre otras variables permite obtener el agua útil diaria durante el ciclo del cultivo a partir de datos periódicos tomados a campo. La información requerida para correr el modelo fue la siguiente:

- 1) Evapotranspiración potencial del lugar del ensayo
- 2) precipitaciones
- 3) agua útil periódica

La evapotranspiración potencial fue estimada a través del método de Thornthwaite. La estimación fue efectuada en dos etapas:

1. Cálculo de evapotranspiración potencial no corregida, correspondiente a un día con 12 horas de luz. Es función de la temperatura media del mes y el índice de calor anual.

$$etp = 1.6 (10 T/I)^a$$

Donde: *etp*: evapotranspiración potencial no corregida

T: temperatura media mensual

I: índice calórico anual (suma de los 12 índices *i*)

I: índice calórico mensual en función de la temperatura media del mes

I: $(T/5)^{1.514}$

a: $0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$

2. Conversión de la evapotranspiración potencial no corregida (etp) en evapotranspiración potencial corregida (ETP), según la duración del día y la latitud del lugar.

$$ETP = etp * K$$

ETP: evapotranspiración potencial corregida

K: factor de corrección en función de la latitud y del mes.

Las precipitaciones diarias fueron obtenidas de la estación meteorológica ubicada en el lugar de ensayo, perteneciente a la Cátedra de Agrometeorología Agrícola FAV- UNRC.

Para obtener el agua útil periódica se midió la disponibilidad hídrica en cada una de las parcelas mencionadas a través del método gravimétrico. Las evaluaciones se realizaron cada quince días durante el ciclo del cultivo, con un intervalo de diez centímetros hasta los 60 cm de profundidad, con excepción del último intervalo que fue de 20 cm (0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-80 cm). Las muestras de suelo se obtuvieron con un barreno, se colocaron en bolsas de polietileno con su etiqueta identificatoria. Posteriormente, para mantener la humedad, las muestras fueron trasladadas a un freezer en donde permanecieron por no más de 15 días. Luego, en el laboratorio, las alícuotas de suelo se ubicaron en recipientes de aluminio enumerados, previamente tarados y se pesaron. A continuación se colocaron durante 72 horas en una estufa de secado a 105 °C, hasta peso constante. Al finalizar este proceso las muestras fueron pesadas nuevamente para calcular en cada intervalo de medición la humedad gravimétrica (g/g).

$$H_{GA} \text{ (g/g)} = \frac{(PH+T) - (PS+T)}{PS}$$

Donde:

H_{GA} : Humedad gravimétrica (g/g)

PH+T: Peso de la muestra de suelo húmedo más tarro

PS+T: Peso de la muestra de suelo seco más tarro

PS: Peso suelo seco

T: Tara del recipiente

Para convertir la humedad gravimétrica en humedad volumétrica (H_v) se calculó en función de la siguiente expresión:

$$H_v = H_{GA} * PEA$$

Donde:

H_v : Humedad volumétrica ($\text{cm}^3 / \text{cm}^3$)

PEA: Peso específico aparente

La lámina de agua fue el resultado del producto entre H_v y el espesor del estrato medido en mm. (E).

$$L \text{ (mm)} = H_v * E \text{ (mm)}$$

Para obtener el agua útil se estableció la diferencia entre el agua a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, obtenidos ambos de las curvas hídricas formuladas de este ensayo y determinaciones del servicio de conservación de suelos de la FAV. De la sumatoria del valor de disponibilidad de agua útil de cada uno de los estratos medidos se obtuvo la disponibilidad de agua útil total del suelo para los primeros 80 cm de profundidad.

Todos estos datos mencionados permitieron a través de la planilla de balance hídrico obtener valores diarios de evapotranspiración máxima del cultivo de avena y agua útil del suelo.

Los datos de agua útil diaria obtenidos mediante la planilla de balance hídrico fueron expresados en forma decádica. Los valores de las precipitaciones y la escorrentía ajustados a ese período permitieron obtener la evapotranspiración real del cultivo según la siguiente función:

$$ETPr = Pt \pm \Delta H + Ri - Per - Esc$$

ETPr: Evapotranspiración real del cultivo

Pt: Precipitaciones

H: Variación de la humedad de dos medidas consecutivas

Ri: Riego

Per: Percolación

Esc: Escurrimiento

En este caso no se tuvo en cuenta el riego porque no se aplicó y la percolación fue considerada despreciable para las condiciones de secano en que se realizó el ensayo.

Para determinar la biomasa aérea (Kg MS ha^{-1}) y la producción de grano (Kg ha^{-1}), se recolectaron muestras del cultivo al momento de llenado de grano y madurez fisiológica respectivamente. El tamaño de cada muestra fue de $0,175 \text{ m}^2$ con cuatro muestras por bloque. Las muestras fueron llevadas a estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta peso constante (72 hs) para determinar materia seca.

La eficiencia de uso del agua, definida como la biomasa producida por unidad de agua consumida, expresa la eficiencia con la cual un órgano o cultivo fija carbono en relación con el agua que pierde (Dardanelli *et al.*, 2003). Se obtuvo mediante el cociente entre la biomasa aérea total producida en el ciclo de crecimiento del cultivo y la evapotranspiración real del mismo.

$$\text{EUA} = \frac{\text{Biomasa aérea Total (Kg/ha)}}{\text{ETPr del cultivo (mm)}}$$

Donde:

EUA: eficiencia del uso del agua

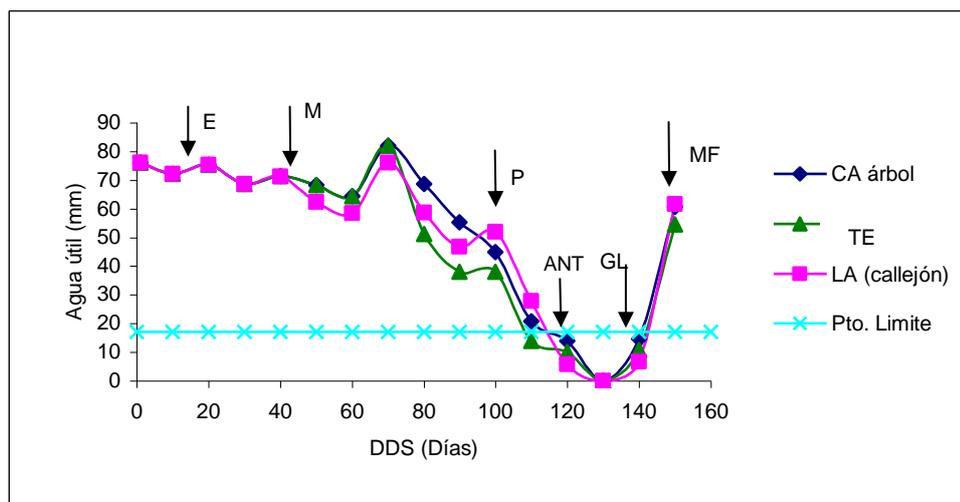
ETP: evapotranspiración real del cultivo

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados encontrados en este estudio se presentan a continuación:

Efecto de la posición y las labranzas sobre el agua útil del suelo y la evapotranspiración del cultivo.

Como se observa en la figura 2, el agua útil tiene un comportamiento semejante hasta los 40 días después de la siembra (DDS) en todas las posiciones. En este período, para dichas posiciones la tasa de evapotranspiración real media alcanzó los 0,12 mm/día.



Siglas: E: emergencia; M: macollaje; P: panojamiento; ANT: antesis; GL: Grano lechoso; MF: madurez fisiológica.

Figura 2. Dinámica del agua útil del suelo en diferentes posiciones del sistema silvopastoril.

A partir de ese momento, en el callejón lejos del árbol (LA) la disponibilidad de agua útil fue menor que en las otras dos posiciones (CA-TE), alcanzando esta posición, el mismo nivel de agua útil que el TE a los 80 DDS. Esto se debe a que entre los 40 y 60 DDS los niveles de evapotranspiración calculados para la posición LA fueron de 0,64 mm/día, cifra que prácticamente duplicó a los niveles encontrados en las otras dos posiciones (0,36 mm/día). Posteriormente en TE (entre los 70 y 90 días) los valores de evapotranspiración alcanzaron valores cercanos a la demanda atmosférica (2,18 mm/día), mientras que en las posiciones más protegidas dentro del callejón (CA y LA) los valores fueron de 1,34 mm y 1,46 mm respectivamente. Se pueden observar pequeñas recargas de agua alrededor de los 100 DDS en LA y TE, mientras que en CA estas recargas no se manifestaron debido a la interceptación por ramas con hojas secas adheridas. Entre los 100 y 130 DDS la tasa de evapotranspiración en el TE bajó considerablemente (1,27 mm/día), en comparación con las otras dos posiciones, donde el aumento fue poco significativo (0,2-0,3 mm/día). En general, las tasas de evapotranspiración promedio durante el ciclo del cultivo fueron semejantes en todas las posiciones (CA-LA-TE) siendo los valores de 0,83-0,98-0,98 mm/día

respectivamente. El agua útil se hizo crítica entre los 110-140 DDS, intervalo que comprendió la antesis y llenado de grano, períodos fonológicos donde un estrés hídrico afecta significativamente el rendimiento (Dardanelli *et al.*, 2003). Desde ese momento hasta fines del ciclo del cultivo, se producen recargas en todos los tratamientos. Las recargas de agua útil fueron bajas debido a las escasas precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Fig 3).

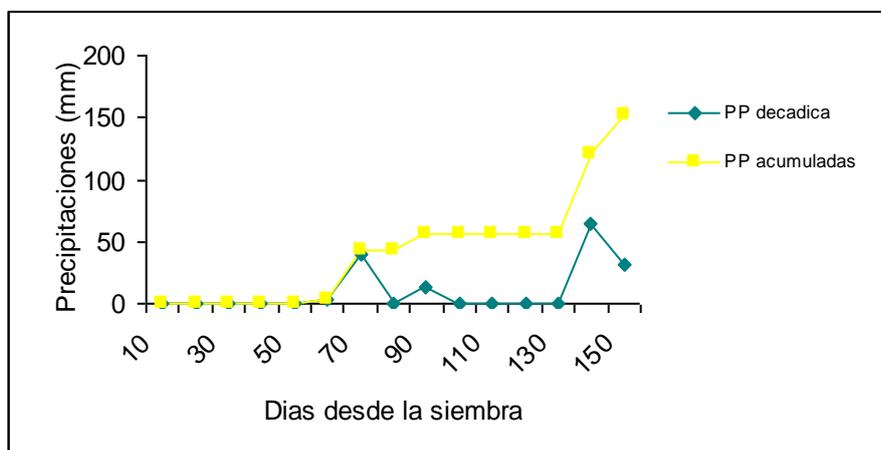
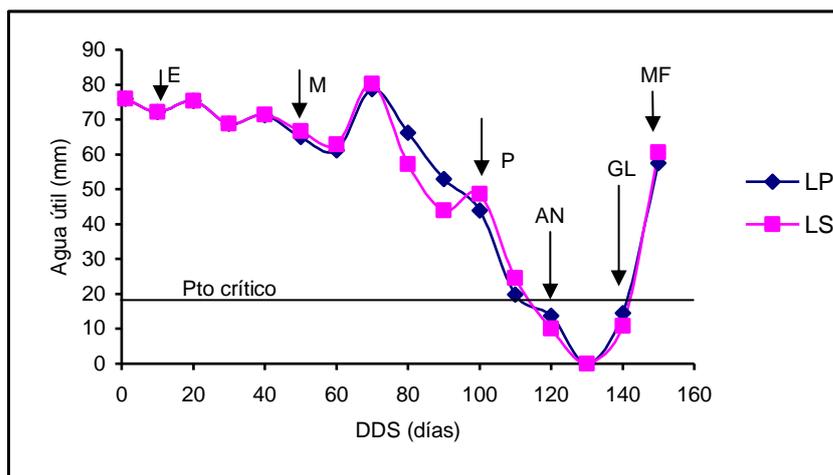


Figura 3. Precipitaciones decádicas y totales durante el ciclo del cultivo.

Lo anteriormente mencionado sobre el comportamiento del agua útil y la evapotranspiración del cultivo en los diferentes tratamientos, coincide con Tavella (2007), quien al analizar un sistema silvopastoril integrado por *Pinus elliotti* y *Triticum aestivum*, y al medir estas mismas variables, obtuvo como resultado que la dinámica de la evapotranspiración y el agua útil del suelo son semejantes entre los tratamientos. Sin embargo, esto no coincide con Bellón *et al.* (1991), quienes manifiestan que los niveles de evapotranspiración serían más bajos en el sistema silvoagrícola.

No puede afirmarse que los componentes de la evapotranspiración (evaporación y transpiración) sean semejantes en todas las posiciones analizadas (dentro y fuera del sistema silvopastoril) por lo que este apartado será discutido más adelante.

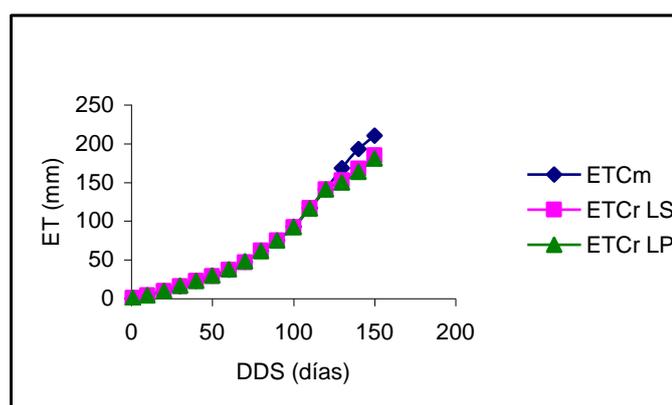
La segunda fase del estudio fue analizar lo que ocurría con la dinámica del agua útil y la evapotranspiración bajo el efecto de las dos labranzas propuestas.



Siglas: E: emergencia; M: macollaje; P panojamiento; AN: antesis; GL: Grano lechoso; MF: madurez fisiológica; LP: labranza profunda; LS: labranza superficial.

Figura 4. Dinámica del agua útil del suelo en diferentes labranzas del sistema silvopastoril

La figura 4 muestra que el agua útil bajo las dos labranzas tuvo un comportamiento semejante al analizado para las posiciones. Como se observa las diferencias son poco marcadas, excepto para el período comprendido entre los 70 y 90 días donde en la labranza superficial la disponibilidad de agua útil fue menor que en la labranza profunda. A los 100 días se observa la presencia de una recarga de agua útil más marcada en la labranza superficial, debido posiblemente a que las restricciones generadas por las densificaciones que no fueron eliminadas por esa labranza demoraron la percolación del agua hacia zonas más profundas. Al igual que las posiciones, las labranzas no tuvieron efecto sobre los niveles de evapotranspiración. (Ver Fig. 5).



Siglas: ETCm: evapotranspiración máxima o potencial del cultivo; ETCr LS: evapotranspiración real del cultivo bajo labranza superficial; ETCr LP: evapotranspiración real del cultivo bajo labranza profunda.

Figura 5. Evapotranspiración potencial y real del cultivo para las dos labranzas propuestas.

Efecto de la posición y las labranzas sobre la producción de biomasa y grano del cultivo.

La producción de biomasa y grano dentro del sistema silvopastoril se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Producción de biomasa y grano en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril.

Posición	Biomasa (Kg MS ha ⁻¹)	CV Biomasa (%)	Granos (Kg ha ⁻¹)	CV Grano (%)
CA	925.64 a	40	845.36 a	22
TE	1008.07 a	18	790.50 a	24
LA	1231.89 a	33	1153.86 a	15

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

CV: Coeficiente de variación (%)

Como puede observarse en el cuadro, no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en producción de biomasa y grano entre las tres posiciones analizadas. Sin embargo existe una tendencia que muestra una mayor producción de biomasa y grano en el callejón en la posición LA ($p \leq 0.10$). Si comparamos lo que sucede en el callejón en la posición LA con lo que sucede en el TE, se observa que la evapotranspiración y el agua útil fueron similares, no así la producción, que fue mayor en la posición LA. Esto podría indicar, que si bien la especie arbórea acompañante dentro del sistema silvopastoril es caducifolia, genera cierto grado de protección al cultivo reduciendo la velocidad del viento y su poder desecante, atenuando las temperaturas, generando una partición de la evapotranspiración a favor de mayores valores de transpiración, en relación a la condición de un testigo sin efecto del arbolado, resultando en un mayor rendimiento.

Este efecto sobre la partición de la evapotranspiración fue observado por Pergolini *et al.* (2004) en el mismo sitio donde se llevó a cabo este trabajo, cuando aplicó tratamientos de fertilización al cultivo de trigo. El autor estimó la cantidad de agua evaporada y transpirada en el cultivo de trigo sin fertilizar y fertilizado. Del 100% del agua evapotranspirada en el cultivo sin fertilizar (testigo) el 66,4% correspondía transpiración y el 33,6% evaporación directa del suelo, mientras que en el caso del trigo fertilizado, un 83,4 % correspondía a transpiración y el 16,6% a evaporación. Esto indica que un factor beneficioso, como la nutrición del cultivo o la protección de factores adversos como el poder desecante de los vientos, tiene un impacto positivo en la producción del cultivo a causa de una mayor eficiencia fotosintética al incrementarse la transpiración del cultivo y disminuir la evaporación desde el suelo (Minucci y Alvarez, 2003, citado por Pergolini, 2004).

En la posición CA se observa que la producción de biomasa y grano es menor con respecto a las otras posiciones. Esto se debe a que en la posición CA el consumo de agua fue

menor que en las otras posiciones en casi todos los períodos analizados. Este menor consumo de agua se traduce en una menor producción de biomasa y grano por parte del cultivo.

La comparación entre la biomasa total y granos producidos dentro del callejón del sistema silvopastoril y en el TE se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Producción de biomasa y grano en el sistema silvopastoril y en el TE.

Tratamiento	Biomasa (Kg MS ha ⁻¹)	CV Biomasa (%)	Grano (Kg ha ⁻¹)	CV Grano (%)
TE	1008.09 a	18	790.50 a	22
Sistema silvopastoril	1078.76 a	26	999.61 a	16

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

CV: Coeficiente de variación (%)

Como se observa en el cuadro, las diferencias no son significativas (p ≤ 0,05) entre los dos tratamientos. Sin embargo, existe una tendencia de una mayor producción de biomasa y grano dentro del sistema silvopastoril (p ≤ 0,10).

Al comparar lo que ocurría con la producción de biomasa y grano en las diferentes labranzas se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 3. Producción de biomasa y grano en los diferentes tipos de labranza.

Labranza	Biomasa (Kg MS ha ⁻¹)	CV Biomasa (%)	Grano (Kg ha ⁻¹)	CV Grano (%)
LS	920.45 a	38	924.67 a	25
LP	1189.95 b	25	935.14 a	18

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

CV: Coeficiente de variación (%)

A pesar de contar los dos tipos de labranzas con la misma disponibilidad de agua útil y donde las tasas de evapotranspiración se comportan en forma semejante, los rendimientos de biomasa muestran diferencias estadísticas significativas a favor de la labranza profunda. Diferentes autores coinciden que este comportamiento se debe a que las operaciones de labranza vertical mejoran la infiltración, distribución y disponibilidad de agua en el suelo. La labranza profunda, en comparación con los sistemas de laboreo convencional reduce la resistencia del suelo, estimula el enraizamiento profundo y promueve el crecimiento radicular rápido (Orellana *et al.*, 1990; Gill *et al.*, 1996; Vepraskas y Miner, 1986). Se han reportado aumentos en los rendimientos de los cultivos luego de efectuar una labranza vertical profunda a suelos compactados y generalmente a esto es atribuido el mayor desarrollo radicular (Clark y Humphreys, 1996, citado por INTA 2006). En general, las plantas que crecen en suelos compactados poseen menor cantidad de raíces secundarias y menor materia seca radicular total que las que crecen bajo condiciones controladas (Panayiotopoulos *et al.*, 1994, citado por INTA 2006). Diversos trabajos (Jarvis *et al.*, 1986; Bateman y Chanasyk, 2001, citados por INTA 2006) manifiestan que el laboreo profundo

contribuye a solucionar problemas de compactación, favoreciendo la infiltración del agua y el desarrollo radicular.

En el caso de la producción de grano no hubo diferencias significativas entre las dos labranzas, ya que en el momento donde comenzaba la formación y el llenado de granos (definición del rendimiento), se encontraba el cultivo bajo un estrés hídrico, al estar por debajo del punto de déficit (20% del agua útil total).

Efecto de la posición y la labranza sobre la eficiencia del uso del agua.

La biomasa producida por unidad de agua consumida expresa la eficiencia con la cual un órgano o un cultivo fija carbono en relación con el agua que pierde y se define como eficiencia del uso del agua (EUA). Este indicador muestra la relación que existe entre la biomasa producida y el agua consumida. Los valores de EUA están indicados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Eficiencia del uso del agua en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril.

Posición	EUA (Kg de biomasa mm ⁻¹)	CV (%)
CA	5.22 a	41
TE	5.65 a	22
LA	6.87 a	38

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

CV: Coeficiente de variación (%)

Como se puede observar, no existen diferencias significativas entre los tratamientos, pero se vuelve a manifestar esa pequeña tendencia de una mayor EUA en la posición LA, es decir, que en LA el cultivo necesitó menor cantidad de agua para producir una misma cantidad de biomasa que CA y TE. Esto se debería a que en el centro del callejón (LA), una mayor proporción de la evapotranspiración correspondió a transpiración y explicaría la mayor producción de biomasa total lograda en esta posición.

En el cuadro 5 se puede observar el efecto de las labranzas sobre la eficiencia del uso del agua. Para las labranzas propuestas se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,10$), siendo mayor la eficiencia en el tratamiento bajo la labranza profunda. Esto se debe, al igual que en las posiciones, que al contar con la misma disponibilidad de agua útil las dos labranzas, bajo la LP el cultivo produjo mayor cantidad de biomasa.

Cuadro 5. Eficiencia de uso del agua en los diferentes tipos de labranza.

Tratamiento	EUA(Kg de biomasa mm ⁻¹)	CV (%)
LS	5.15 a	42
LP	6.74 b	24

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,10$)

CV: Coeficiente de variación (%)

La cuantificación de la relación entre rendimiento y agua muestra valores bajos de eficiencia del uso del agua si se lo compara con 21 Kg. MS mm⁻¹ encontrados en trigo por Pergolini *et al.* (2004) en el mismo sitio donde se llevó a cabo este trabajo. Las grandes diferencias encontradas podrían explicarse por los niveles de precipitaciones durante el ciclo del cultivo en los dos ensayos. Esa eficiencia de 21 Kg. MS mm⁻¹ se obtuvieron con precipitaciones de 276.6 mm, mientras que las eficiencias encontradas en este trabajo se obtuvieron con precipitaciones de 152 mm. Hay que tener en cuenta también que entre los 110-140 días el agua útil se hizo crítica, entrando el cultivo en un estrés hídrico mostrando poca respuesta al crecimiento (Dardanelli *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

- La disponibilidad de agua útil no presentó variación en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril, como tampoco se modificó según el sistema de labranza aplicado.
- Las tasas de evapotranspiración en el cultivo de avena, no variaron de acuerdo a los tratamientos planteados.
- Bajo el efecto de la labranza profunda, el rendimiento del cultivo de avena expresado como producción de biomasa, superó al obtenido bajo la labranza superficial, a pesar de contar ambos con la misma disponibilidad de agua.
- En ninguna de las posiciones estudiadas se encontraron diferencias en la producción de biomasa y rendimiento en grano.
- Los valores de EUA fueron similares en las diferentes posiciones del sistema silvopastoril.
- La EUA fue mayor bajo el efecto de la labranza profunda en comparación con la labranza superficial, donde se obtuvieron valores menores.
- En relación a las hipótesis planteadas y para las condiciones en que se llevó a cabo el estudio puede afirmarse que *Quercus robur*, una especie leñosa caducifolia, no compite por agua cuando el estrato herbáceo está integrado por cultivos de ciclos invernales y que con la incorporación de la labranza vertical en este sistema silvopastoril, el estrato herbáceo aumenta el rendimiento de la biomasa total, pero no la producción de granos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AYANZ, A. 1994. La dehesa española: origen, tipología, características y gestión. Escuela Técnica Superior de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar. 96 p.
- BECKER, A.; J. OSSANA; M. CANTÚ y T. MUSSO, 2002. Erosión hídrica laminar en relación a la degradación de suelos en el suroeste de la provincia de Córdoba. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Argentina.
- BELLON, C.A; E. BOFFI de SCHULTE, 1991. Cortinas Forestales y Montes de Reparación. Centro de impresiones de la Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- BRICCHI E.; A. CANTERO y E. BONADEO, 1991. Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranza en el Sur Oeste de Córdoba. Actas XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Bariloche.
- CABRERA, C. 1993. Rol de la corporación nacional forestal, y la red agroforestal, en la formulación e implementación de proyectos forestales: un estudio de caso. IN: Garfias, R. (De). Seminario de Agroforestería. Potencialidades y restricciones dentro del desarrollo agroforestal chileno. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. p 7-12.
- CANTERO, A.; M. CANTÚ; J.M. CISNEROS; J.J. CANTERO; M. BLARASIN; A. DEGIOANNI; J. GONZALEZ; V. BECERRA; H. GIL; J. De PRADA; S. DEGIOVANNI; C. CHOLAKY; M. VILLEGAS; A. CABRERA y E. CARLOS 1998. Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuesta para un manejo sustentable. Editorial UNRC, 119 págs.
- CAPELLETTI, C.A. 1992. Estadística Experimental. 1ra. Edición. Ed. AgroVet. 513 p.
- CARTER, M.R.; D.A. HOLMSTROM; L.M. COCHRANE; P.C. BRENTON; J.A. VAN ROESTEL; D.R. LANGILLE y W.G., THOMAS, 1996. Persistence of deep loosening of naturally compacted subsoils in Novo Scotia. Can. J. Soil Sci. 76:541-547.
- DARDANELLI, J; D. COLLINO; E. OTEGUI; V.O. SADRAS, 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Págs. 376-433 EN: SATORRE, E.H; R.L. BENECH ARNOLD; G.A SLAFER; E. de la

- FUENTE; J. MIRALLES; M.E. OTEGUI Y R. SAVIN. Producción de Granos bases funcionales para su manejo. Primera edición. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Bs. As., Argentina.
- FAO – 1985 - Ordenación forestal en los trópicos para uso múltiple e intensivo. Roma. Estudio FAO, Serie Montes (55):180
 - GIAYETTO, O.; E. BONADEO; R. CRESPI; E. FERNANDEZ y W. ASNAL, 1992. Proyecto “Manejo del agua en el sistema suelo-cultivo de maní en secano y bajo riego”. Convenio de Cooperación y Complementación entre la Cámara Argentina del maní y la Univ. Nacional de Río Cuarto (FAV). Informe Técnico 1990/91. Panorama manisero, año VI, n° 19: 14-20.
 - GILL, K.S.; P.R. GAJRI; M.R. CHAUDHARY y B. SINGH, 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays L.*) in relation to evaporative demand. *Soil and Tillage Research*, vol.39 (3-4): 213-227.
 - GRELEN, H.; L. WITAKER and R. LOHREY, 1972. Herbage response to precommercial thinning in direct-seeded slash pine. *Journal of range management*, 25 (6): 435-437.
 - MARTELLOTO, E; P. SALAS; E. LOVERA; A. SALINAS; J.P. GIUBERGIA; S. LINGUA, 2004. Planilla de balance hídrico para riego. Proyecto Regionales Agricultura sustentable, Gestión Agroambiental. INTA, EEA Manfredi.
 - OLIVARES A. y J. GASTÓ, 1981. *Atriplex repanda*: organización y manejo de ecosistemas con arbustos forrajeros. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 300 p.
 - OLIVARES, A.; R. CORNEJO y J. GANDARA, 1983. Influencia de la estrata arbustiva (*Acacia caven* (Mol. Hook. Et Arn.) en el crecimiento de la estrata herbácea. *Avances en producción animal* 8 (1-2): 19-28.
 - OLIVARES, A. 1989. El ecosistema silvipastoril. *Avances en Producción Animal*. 14 (1-2): 3-14.
 - ORELLANA, M.; R.G. BARBER and O. DIAZ, 1990. Effects of deep tillage and the fertilization on the population, growth and yield of soya during an exceptionally wet season on a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage research*, 17: 47- 61.

- PERGOLINI, S.; C. CASTILLO Y G. ESPOSITO, 2004. Efecto de la fertilización sobre el consumo y la eficiencia de uso del agua del cultivo de trigo. Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC. Río Cuarto, Córdoba.
- PIKUL, J.L. y J.K. AASE, 1999. Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana. *Soil and Tillage Research*, 51:61-70.
- PYKE, D. and B. ZAMORA B. 1982. Relationships between overstory structure and understory production in the grand fir/myrtle boxwood habitat type Northcentral Idaho. *Range Manage.* 35:769-773.
- SEQUEIRA W. y C.GHOLZ, 1989. Canopy structure, light penetration y tree growth in slash pine (*Pinus elliottii*) silvopastoral system at different stand configurations in Florida. Department of forestry. University of Florida. Gainesville, Florida.
- SILENZI, J.; N. ECHEVERRIA y N. GROSSI, 1996. Efecto del cincelado sobre propiedades físicas de un suelo con piso de arado y la producción forrajera de avena. IV Congreso argentino y II Internacional de Ingeniería Rural.
- SOJKA, R.E.; D.T. WESTERMANN; M.J. BROWN and B.D. MEEK, 1993. Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. *Soil and Tillage Research*, 25: (351-368).
- SOTOMAYOR, A. 1989. Sistemas silvopastoriles y su manejo. Documento técnico N° 42. *Revista Chile Forestal*, diciembre 1989. CONAF. 8 p.
- TAVELLA, J. 2007. Uso del agua y producción de trigo bajo diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvoagrícola. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- VALLEJOS, G.; N. ECHEVERRIA y J. SILENZI, 1998. Efecto del escarificado en un Haplustol éntico compactado subsuperficialmente, del sur de la provincia de Bs. As. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Villa Carlos Paz, Argentina., pp. 257-258.
- VALLS, P. 1993. Introducción al manejo integral de recursos: pastoreo racional intensivo en un sistema forestal de sierra. Jornadas sobre pastoreo racional intensivo. Sociedad Rural de Río Cuarto, 3 al 4 de junio de 1993. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- VEPRASKAS, M.J. and G.S. MINER, 1986. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root grow. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.* 50: 423-427.

- WOLTERS, G. L. 1973. Southern pine overstories influence herbage quality. Southern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of agriculture, Pineville, Louisiana.
- INTA 2006-Compactación de suelos en sistemas de cultivos, naturaleza, causas y posibles soluciones. En: www.inta.gov.ar/balcarce/Resumenes PG/PGPV2006/noviembre/Pagani Agustín.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BONADEO, E. 1997. Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. UBA-INTA, Argentina, 124 pps.
- BUSSHER, L.D.; J.R. SPIVEY and L.D. CAMPBELL, 1987. Estimation of soil strength properties for critical rooting conditions. *Soil and Till. Res.* 9: 377-386
- CISNEROS, J.M., A. CANTERO; J. MARCOS; A. DEGIOANNI; E. BRICCHI; O. GIAYETTO; C. CHOLAKY; E. BONADEO; G. CERIONI y M. UBERTO, 1998. Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. Págs. 128-134. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.
- COOPER, P.J.M.; J.D.H. KEATINGE and G. HUGHES, 1983. Crop evapotranspiration – A technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res.*, 7:299-312.
- EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT, 1995. Penetrologger. Manual de usuario, 28 págs.
- ERBACH, D.C. 1982. Tillage for continuous corn-soybean rotation. *Transactions of the ASAE* 25 (4):906-918.
- FISHER, M. J.; I.M. RAO; C.E. AYARZA; C.E. LASCANO; J.I. SANZ; R.J. THOMAS; R.R. VERA, 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. V 31: 236-238
- HAKANSSON I. 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and Tillage Res.* 16: 105-120.

- HOUGHTON, R.A.; R.D. BOONE; J.M. MELILLO; C.C. PALM; G.M. WOODWELL; N. MYERS; B. MOORE and D.L. SKOLE, 1985. Net flux of carbon dioxide from tropical forest in 1980. *Nature* 316: 617- 620.
- KANNINEN, M. 1993. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Turrialba, Costa Rica. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de Carbono: potencial para américa latina. www.catie.cr
- LIEPIC, J.; I. HAKANSSON; S. TARKIEWICZ and J. KASSOWSKI, 1991. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil Till. Res.* 19: 307-317.
- O’SULLIVAN, M.F.; J.W. DICKSON and D.J. CAMPBELL, 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *J. Soil Sci.* 38: 137-148.
- TAN, K. 1996. *Soil Sampling preparation and analysis*. Ed. Dekker.
- WOOD P. J. y J. BURLEY, 1995. Un árbol para todo propósito. Introducción y evaluación de árboles de uso múltiple para agroforestería. Centro Internacional para Investigación en Agro-forestería (ICRAF), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica, 1995. 180 p.
- www.ipcc.ch. Intergovernmental Panel on Climate Change.