



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

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

**USO DEL AGUA Y PRODUCCIÓN DE TRIGO BAJO
DIFERENTES TRATAMIENTOS DE LABRANZAS EN UN
SISTEMA SILVOAGRÍCOLA**

Alumno: JORGE G. TAVELLA
DNI: 29.310.116

Director: Ing Agr JOSE OMAR PLEVICH

Río Cuarto – Córdoba – Argentina

Mayo 2007

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: USO DEL AGUA Y PRODUCCIÓN DE TRIGO BAJO
DIFERENTES TRATAMIENTOS DE LABRANZAS EN UN SISTEMA
SILVOAGRÍCOLA

Autor: **Jorge Guarino Tavella**

D.N.I: **29.310.116**

Director: **José Omar Plevich**

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

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____

Secretario Académico

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar a mis padres Lidia y Mario que siempre han estado a mi lado en las buenas y las malas.....

A mis hermanas y mi futura sobrina.

Especialmente a mi compañera de la vida que me brindo su apoyo de forma incondicional.

A mis amigos y compañeros.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecerle a mi director de tesis el Ingeniero Agrónomo José Omar Plevich por la dedicación brindada para poder realizar este trabajo.

A Leonardo Mondino, Maria José Bonett, Cecilia Saroff, por la ayuda en la toma de los datos.

Al Ing Agr. Omar Barotto por la ayuda que me brindo.

Quiero agradecerles a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a que este trabajo se pueda realizar.

A la municipalidad de Pascanas, y en especial al intendente Nelson Jesús Martini por la beca que me brindo para poder realizar mis estudios.

INDICE GENERAL

	Páginas
Carátula	i
Certificado de aprobación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Indice general	v
Indice de Cuadros	vi
Indice de Figuras	vi
Resumen	vii
Summary	viii
Introducción y Antecedentes	1
Hipótesis	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	4
Materiales y Métodos	5
Resultados y Discusión	9
Conclusiones	15
Bibliografía	16

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Agua útil durante el ciclo del cultivo según los sistemas de labranza.	9
Cuadro 2: Precipitaciones y escurrimientos decádicos durante el ciclo del cultivo.	10
Cuadro 3: Efectos de las labranzas sobre el rendimiento de biomasa aérea y granos de <i>Triticum aestivum</i> .	10
Cuadro 4: Rendimiento de biomasa aérea total y granos de <i>Triticum aestivum</i> en el sistema silvoagrícola y testigo sin influencia de los árboles.	11
Cuadro 5: Rendimiento de biomasa aérea total y granos de <i>Triticum aestivum</i> en diferentes posiciones de un sistema silvoagrícola.	13
Cuadro 6: Eficiencia de uso del agua en el sistema silvoagrícola y testigo sin árboles.	13

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitaciones decádicas y totales durante el ciclo del cultivo.	9
Figura 2: Evapotranspiración potencial y real del cultivo.	12
Figura 3: Dinámica del agua útil en diferentes posiciones del sistema silvoagrícola.	12

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar el uso del agua y la producción de trigo (*Triticum aestivum*) bajo diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvoagrícola, ubicado en el Campo de Docencia y Experimentación, Pozo Del Carril La Aguada, (32° 58' LS y 64° 40' LO) Córdoba, de la Universidad Nacional de Río Cuarto. El sistema silvoagrícola posee una estructura en callejones o “alley cropping”. Los mismos poseen 21 m de ancho están delimitados a cada lado por una doble hilera de *Pinus elliottii* de 6 años de edad. En estos callejones durante el otoño de 2005 se implanto un cultivo de trigo. Para el estudio de los efectos de los tratamientos planteados (labranza y distancia del árbol) sobre las variables propuestas (agua útil, evapotranspiración del cultivo, producción de biomasa aérea, granos y eficiencia en el uso del agua) se utilizó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados con dos repeticiones. Dentro del callejón y en el testigo se extrajeron muestras de biomasa aérea y de suelo para determinar humedad gravimétrica. La utilización de diferentes funciones permitieron estimar agua útil y evapotranspiración del cultivo y relacionarla al rendimiento. Los resultados muestran que la disponibilidad de agua útil no difirió entre labranzas, pero si varió la producción de biomasa y grano, siendo mayor en la labranza profunda. En el sistema silvoagrícola se obtuvo mayor producción de biomasa y grano respecto al testigo. Cuando se analizó el comportamiento del rendimiento dentro del sistema silvoagrícola en el centro del callejón la producción de biomasa y grano se duplicó con respecto a la posición cerca del árbol. La eficiencia en el uso del agua siguió la misma tendencia. La evapotranspiración no vario entre las diferentes posiciones analizadas.

Palabras claves: sistema silvoagrícola, pino, trigo, rendimiento, eficiencia de uso del agua.

SUMMARY

The objective of the work was to study the use of water and production of wheat (*Triticum aestivum*) under different tillage treatments in an alley cropping system, located in the Field of Teaching and Experimentation, Pozo del Carril, La Aguada (32° 58' LS y 64° 40' LO), Córdoba of the National University of Río Cuarto. The alley cropping system consists of alleys of 21 m width delimited on every side by a double row of *Pinus elliottii* of 6 years of age. In these alleys during the fall of 2005 wheat was planted. For the study of the effects of the treatments established (tillage and distance of the tree) on the variables proposed (useful water, evapotranspiration of the crops, production of biomass, grains and efficiency in the use of the water) there was an experimental design of blocks completely randomized with two repetitions. Inside the alley and in the witness there were extracted samples of biomass and of soil to determine moisture. Then the utilization of different functions allowed to estimate useful water and evapotranspiration of the crop and to relate them to the yield. The results show that soil moisture was not different between tillages, but it was different for the production of biomass and grain being higher in the deep tillage. In the silvoagrcola system there was obtained higher production of biomass and grain with regard to the witness. When the behavior of the yield was analyzed inside the silvoagrcola system, in the center of the alley the production of biomass and grain duplicated with regard to near the tree. The efficiency in the use of the water had the same behavior. The evapotranspiration did not change between the different treatments.

Key words: alley cropping system, pine, wheat, yield, efficiency in the use of the water.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de erosión hídrica que se han producido en campos agrícolas debido a la interacción del relieve, precipitaciones de alta intensidad, textura del suelo y los sistemas agrícolas ganaderos con laboreo permanente, favorecen la menor disponibilidad de agua para los cultivos. Debido a este deterioro de los suelos se reduce la infiltración de las lluvias hacia los horizontes inferiores, aumentando de este modo el agua que se pierde por escurrimiento superficial, agravando los problemas de erosión, lo que origina un menor volumen de suelo para ser explorado por el sistema radicular (Cantero *et al*, 1998).

Existen diversas alternativas de uso y manejo de suelos que permitirían mejorar el aprovechamiento del agua; entre ellos la utilización de los sistemas agroforestales, técnica que combina la plantación de árboles con cultivos agrícolas, forrajeros con o sin animales, donde se necesita un profundo conocimiento de las interacciones entre estos subsistemas para llegar a la sustentabilidad de las tierras (Cabrera, 1993).

El sistema silvoagrícola es aquel sistema agroforestal que combina la plantación de árboles con cultivos agrícolas. Dentro de este, "alley cropping" o cultivo en callejones se caracteriza por alternar bandas o hileras de leñosas perennes, con cultivos anuales sembrados en el espacio intermedio, comúnmente denominado callejón (Pezzo y Ibrahim, 1999).

La función que define la productividad de cada estrato en estos sistemas expresa relaciones no solo sinérgicas, sino también antagónicas debido a las diversas relaciones de interferencia entre sinusias y estratos involucrados. Al aumentar la densidad de plantación y tamaño de árboles asociados a cultivos, la producción de fitomasa y granos decrece debido a la competencia que produce el estrato superior (árboles), principalmente por radiación solar, agua y nutrientes (Olivares *et al.*, 1983; Sequeira y Gholz, 1989).

Sin embargo el diseño inicial de plantación o el espaciamiento, juegan un papel importante en el desarrollo del estrato herbáceo. Sotomayor (1989), reconoce dos formas de plantación usados en sistemas agroforestales: mixtos y zonales. Los sistemas mixtos son aquellos en los cuales, la distribución de los árboles es uniforme sobre el cultivo. Los sistemas zonales, se presentan cuando los árboles y la pradera se encuentran creciendo separadamente pero adyacentes uno del otro. Este último, ha sido ampliamente usado y ha reportado ventajas en su manejo y en términos productivos, ya que optimiza la distribución de los árboles con respecto al sitio, proporciona una protección adecuada al suelo y al cultivo y facilita el acceso de distintos tipos de maquinarias.

Los aspectos relacionados al manejo del suelo también son determinantes de la productividad de los cultivos intercalares al incidir sobre los procesos erosivos a los que está sometido el mismo. En cuanto a la productividad del estrato herbáceo son numerosas las investigaciones que han demostrado que el incremento de la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo, puede disminuir los rendimientos de los cultivos, debido a la generación de impedimentos para el crecimiento de raíces (Erbach, 1982; Bonadeo, 1997). Resistencias a la penetración superiores a 1,5 Megapascales (Mpa), reducen el crecimiento de raíces y valores superiores a 2,1-2,5 Mpa limitan el mismo (Bussher *et al.*, 1987; O'Sullivan *et al.*, 1987). Generalmente, compactaciones relativas superiores al 85 %, producen una reducción en el rendimiento de los cereales y en la productividad de una amplia gama de suelos (Hakansson, 1990; Liepic *et al.*, 1991). El sistema de labranza utilizado mantiene una relación directa con este aspecto. 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.

Cisneros *et al.*, (1998), evaluaron el efecto de un subsolador alado "reja cero", sobre el grado de homogeneización física del perfil, comparándolo con una situación bajo siembra directa, luego de cuatro años de laboreo con este dispositivo, se logró una significativa homogeneización física tanto en sentido vertical como horizontal de los primeros 30 cm del perfil, con disminución en la resistencia a la penetración y en la densidad aparente de esta capa.

Sojka *et al.*, (1993); Carter *et al.*, (1996) y Pikul y Aase (1999), observaron incrementos en la velocidad de infiltración del agua y consecuentemente disminuciones en la erosión producida por el escurrimiento, debido a la labor de subsolado.

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.

La disponibilidad de agua en los sistemas de producción agrícola es uno de los principales factores que nos determina el éxito o fracaso de la producción vegetal, y en especial cuando el agua en el suelo es escasa dificultando la absorción de nutrientes, en especial el nitrógeno y el fósforo (Cooper *et al.*, 1983).

Para mejorar los rendimientos se necesita maximizar la cantidad de agua disponible para transpiración. Esto implica conocer la cantidad, distribución e intensidad de las precipitaciones, la variación de las precipitaciones, las limitantes edáficas para el almacenamiento del agua y absorción del agua de las raíces, la influencia de la napa freática, la escorrentía superficial, la evaporación desde el suelo y el drenaje fuera de la zona radicular. Estos aspectos son modificables por prácticas de manejos tales como, la aplicación de sistemas agroforestales y las labranzas conservacionistas que podrían reducir la escorrentía y la evaporación, aumentando la proporción de agua de lluvia que infiltra en el suelo (Dardanelli *et al.*, 2003).

El presente proyecto tuvo como propósito estudiar el uso del agua y producción de un cultivo de trigo bajo diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvoagrícola.

HIPOTESIS

Los sistemas de laboreo que incluyen operaciones de labranza vertical, mejoran la distribución y disponibilidad del agua en el suelo aumentando los rendimientos de los cultivos.

En los sistemas agroforestales y cuando se aplica una labranza vertical, la protección del estrato arbóreo tiene como consecuencia la menor evaporación lo que se traduce en un mayor rendimiento del estrato herbáceo y una mayor eficiencia de uso del agua, cuando lo comparamos con un lote sin árboles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Estudiar el uso del agua y la producción de trigo bajo diferentes tratamientos de labranzas en un sistema silvoagrícola

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el agua útil bajo los diferentes tratamientos de labranza propuestos.
- Determinar la producción de biomasa aérea y producción de granos en un sistema silvoagrícola integrado por *Pinus elliottii* - *Triticum aestivum* y en un sector sin árboles con labranzas superficial y vertical profunda
- Estimar la evapotranspiración en el cultivo de trigo
- Calcular la eficiencia de uso del agua en un cultivo de trigo en el sistema silvoagrícola y testigo sin árboles.

MATERIALES Y METODOS

El presente ensayo se desarrollo en el campo de Docencia y Experimentación Pozo del Carril, La Aguada, localizado en los 32° 58' LS y 64° 40' LO, a 550 m.s.n.m, a 50 Km al oeste de la ciudad de Río Cuarto, Dpto de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica llanura chacopampeana y dentro de ella pertenece a la asociación geomorfológica Faja eólica ondulada Periserrana.(Cantero *et al.*, 1998)

El ensayo se desarrolló en el lote 10, con 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 de perfil muestra un elevado grado de deterioro, el cual se manifiesta a través de la compactación subsuperficial y desagregación superficial (Bricchi *et al.*, 1991).

Para llevar a cabo el estudio se establecieron parcelas en un sistema silvoagrícola cuyo componente arbóreo está representado por *Pinus elliottii*. El sistema tiene su origen en la primavera de 1998, donde los árboles se plantaron en doble hilera y en un marco de plantación de 2 x 2 m dejando callejones de 21 m entre ellos. En estos callejones se sembró el 10 de junio de 2005 un cultivo de trigo, como componente herbáceo.

Para estudiar diferentes manejos del suelo se utilizó un sistema de labranza reducida (rastra excéntrica y siembra) y otro de labranza que incluyo previamente una labor profunda con subsolador alado “reja cero”, similar al utilizado por Cisneros *et al.* (1998).

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 durante el ciclo del cultivo. La información requerida para correr el modelo en estudio es: 1) evapotranspiración potencial del lugar del ensayo 2) precipitaciones y 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 la evapotranspiración potencial no corregida, es decir, la que corresponde a un día con 12 horas de luz. Es función de la temperatura media del mes y el índice de calor anual.

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

Donde: etp = evapotranspiración potencial no corregida

T = temperatura media mensual

I = índice calórico anual que es la suma de los 12 índices i

i = índice calórico mensual en función de la temperatura media del

$$\text{mes } i = (T/5)^{1.514}$$

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

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

$$ETP = etp * K$$

K = factor de corrección en función de la latitud y del mes

Las precipitaciones diarias fueron provistas por la cátedra de Agrometeorología Agrícola – FAV, la que cuenta con una estación meteorológica en el lugar del ensayo.

El agua útil obtenida en diferentes fechas del ciclo del cultivo permitió corregir las desviaciones del modelo. Para obtener el agua útil en el suelo se midió la disponibilidad hídrica mediante el método gravimétrico en 6 oportunidades durante el ciclo del cultivo, con un intervalo de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, y 50-80 cm de profundidad. Las muestras de suelo se recolectaron con un barreno, se colocaron en bolsas de polietileno con su correspondiente etiqueta identificatoria y luego se las introdujo en un frizzer para mantener la humedad. En el laboratorio se colocaron en recipientes de aluminio enumerados y tarados, las muestras se pesaron húmedas, se secaron en estufa a una temperatura de 105°C hasta peso constante (72 Hs), se volvieron a pesar, para luego calcular la humedad gravimétrica (g/g) para cada intervalo de medición.

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

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 calculo en función de la siguiente expresión.

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

Donde:

H_V : humedad volumétrica (cm^3/cm^3)

PEA : Peso específico aparente

La lámina de agua resultó del producto entre HV y el espesor de cada estrato medido (cm). Para obtener el agua útil se estableció la diferencia entre el agua a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, obtenidos de las curvas hídricas con datos del ensayo y determinaciones efectuados por el servicio de conservación de suelos de la FAV. De la sumatoria del valor de disponibilidad de agua útil de cada uno de los estratos de medición se obtuvo la disponibilidad de agua útil total del suelo para los primeros 80 cm de profundidad.

Todos los datos mencionados permitieron correr el modelo de balance hídrico y obtener diariamente valores de evapotranspiración potencial del cultivo de trigo, precipitaciones efectivas y agua útil en el suelo.

El efecto de las labranzas sobre la disponibilidad de agua útil en el suelo fue evaluado mediante un análisis de varianza, utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizados con cuatro submuestras por bloque y dos repeticiones.

Para determinar el crecimiento de la biomasa área total y la producción de grano, se recolectaron muestras del cultivo al momento de madurez fisiológica. El tamaño de cada muestra fue de 0,25 m² con dos submuestras por bloque. Las muestras fueron llevadas a estufa peso constante para determinar materia seca.

Los datos de agua útil diaria obtenidos mediante la planilla de balance hídrico desarrollada por Martelotto *et al.* (2004), permitieron obtener durante el ciclo del cultivo la variación decádica del agua almacenada en el suelo. Los valores de las precipitaciones y de la escorrentia ajustados a ese período permitió obtener la evapotranspiración real del cultivo según la siguiente función:

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

ETPr: Evapotranspiración real del cultivo

Pt: Precipitaciones

H: Variación de humedad de dos medidas consecutivas

Ri: Riego

Per: Percolación

Esc: Escurrimiento

Para este caso no se utilizó el riego y la percolación, el primero por no haber sido efectuado y el segundo por considerarlo despreciable para las condiciones del ensayo.

La eficiencia del 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).

Para el cálculo de la eficiencia del uso del agua se realizó el cociente entre la biomasa aérea total producida por el cultivo y la evapotranspiración real del cultivo.

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

Donde: EUA = eficiencia del uso del agua

ETP = evapotranspiración real del cultivo

Para el estudio de los efectos de los tratamientos planteados (labranza y distancia del árbol) sobre las variables propuestas (agua útil, evapotranspiración del cultivo, producción de biomasa área, granos y eficiencia en el uso del agua) se utilizó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados con dos repeticiones (Capelletti, 1992). Los datos fueron tratados estadísticamente mediante análisis de varianza y las diferencias entre medias aplicando el método LSD de Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera hipótesis se planteó que los sistemas de laboreo que incluyen operaciones de labranza vertical, mejoran la distribución y disponibilidad de agua en el suelo aumentando los rendimientos de los cultivos.

Estas aseveraciones se basaron en las manifestaciones de algunos autores como Sojka *et al.*, (1993); Carter *et al.*, (1996) y Pikul y Aase (1999), que observaron que la labor de la labranza profunda (subsulado) incrementa la velocidad de infiltración del agua y consecuentemente disminuyen las pérdidas por escurrimiento, expresándose en una mayor cantidad de agua útil para los cultivos. Para nuestro caso, los valores de agua útil total obtenidos (Cuadro 1) no muestran diferencias significativas entre una labranza reducida (LS) y otra con subsulado profundo (LP).

Cuadro 1: Agua útil durante el ciclo del cultivo según los sistemas de labranza, La Aguada.

LS	LP
143 (mm)	138 (mm)

Este comportamiento podría explicarse por la pequeña magnitud de las precipitaciones que ocurrieron durante el ciclo del cultivo (Figura 1).

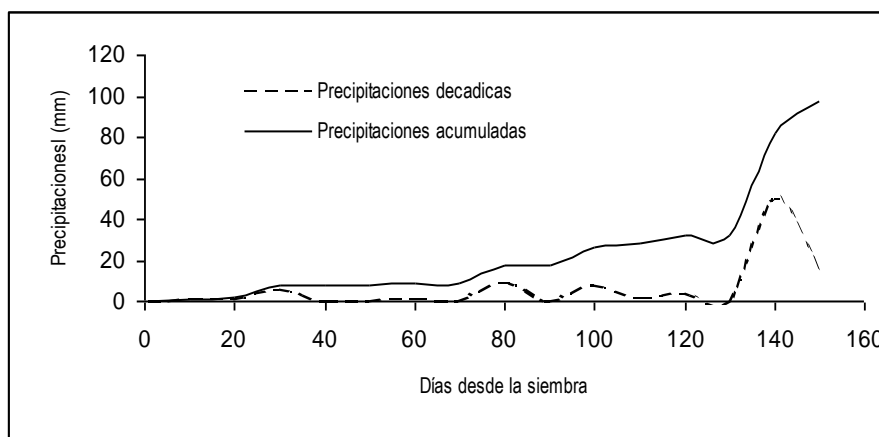


Figura 1: Precipitaciones decádica y totales durante el ciclo del cultivo, La Aguada 2005.

Para comprobar este comportamiento para cada precipitación ocurrida se estimaron los datos de escurrimientos. Estos se muestran en forma decádica en el Cuadro 2.

Como se observa en el mismo los bajos valores de precipitaciones ocurridos no producen escurrientías y toda el agua precipitada ingresa tanto en una situación de labranza

superficial como en una labranza profunda explicando los datos obtenidos por la planilla de balance hídrico (Martelotto *et al.*, 2004).

Cuadro 2: Precipitaciones y escurrimientos decádicos durante el ciclo del cultivo, estimados por el método de la curva número.

Período	Sistema Silvoagrícola		Testigo	
	Precipitaciones (mm)	Escorrentia (mm)	Precipitaciones (mm)	Escorrentia (mm)
10/6/05-19/06/05	1	0	1	0
20/6/05-29/6/05	1	0	1	0
30/6/05-9/7/05	6	0	6	0
10/7/05-19/7/05	0	0	0	0
20/7/05-30/7/05	0	0	0	0
31/7/05-9/8/05	1	0	1	0
10/8/05-19/8/05	0	0	0	0
20/8/05-29/8/05	9	0	9	0
30/8/05-8/9/05	0	0	0	0
9/9/05-18/9/05	8	0	8	0
19/9/05-28/9/05	2	0	2	0
29/9/05-8/10/05	4	0	4	0
9/10/05-18/10/05	0	0	0	0
19/10/05-28/10/05	50	0	50	2
29/10/05-6/11/05	6	0	6	0

Una segunda fase del estudio fue comprobar lo que ocurría con la producción de biomasa en el cultivo de trigo, sabiendo que entre las diferentes labranzas no existía diferencias en la disponibilidad de agua. Los datos analizados mediante el análisis de varianza arrojaron los resultados que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Producción de biomasa aérea de *Triticum aestivum* según el sistema de labranza empleado.

Labranza	Rendimiento	
	Biomasa total (Kg MS/ha)	Granos (Kg/ha)
LS	762 a	228,6 a
LP	1259,6 b	377,88 b

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

A pesar de contar con la misma disponibilidad de agua entre una y otra labranza, los rendimientos muestran diferencias estadísticamente significativas a favor de la labranza profunda. Esto podría explicarse por las afirmaciones de algunos autores que manifiestan que al aplicar la labranza profunda en comparación con los sistemas de laboreo convencional, se reduce la resistencia del suelo, estimula el enraizamiento profundo y promueve el crecimiento radical rápido (Orellana *et al.*, 1990; Gill *et al.*, 1996; Vepraskas y Miner, 1986).

En este sentido Vallejos *et al.* (1998) analizando el efecto de la rotura de densificaciones subsuperficiales de hapludoles énticos, sobre el comportamiento de un cultivo de trigo encontraron que cuando se eliminaba la capa compactada, el trigo producía mayor número de espigas y biomasa que cuando no se impactaba la capa. Similares resultados fueron observados por Silenzi *et al.* (1996) en la producción forrajera de avena.

En la segunda hipótesis de este trabajo se planteó que en los sistemas agroforestales y cuando se aplica una labranza vertical, la protección del estrato arbóreo tiene como consecuencia una menor evaporación lo que se traduce en un mayor rendimiento del estrato herbáceo y una mayor eficiencia de uso de agua al compararlo con un lote sin árboles.

Para abordarla, se analizó en primer lugar el comportamiento de la biomasa total y la producción de granos utilizando labranza profunda en las posiciones propuestas dentro del callejón del sistema silvoagrícola y en el testigo sin influencia del árbol. El análisis de varianza de los datos observados se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Rendimiento de biomasa aérea total y granos de *Triticum aestivum* en el sistema silvoagrícola y testigo sin influencia de los árboles, La Aguada.

Tratamiento	Rendimiento	
	Biomasa aérea (Kg MS/ha)	Granos (Kg/ha)
Testigo	1019,6 a	305,88 a
Sistema silvoagrícola	1500 b	450,00 b

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

Como se observa en el cuadro existen diferencias significativas a favor del sistema silvoagrícola. Bellón *et al.*,(1991) menciona que la presencia del arbolado en un sistema intercalar como el sistema silvoagrícola, reduce notablemente la velocidad del viento, por consiguiente, también su poder secante, lo que trae como beneficio la atenuación de las temperaturas y reducción de evapotranspiración, generando un aumento en la eficiencia de la actividad fotosintética, resultando en un mayor rendimiento.

Para comprobar estos aspectos para las condiciones del ensayo se estimó la evapotranspiración y el agua útil del suelo para todo el ciclo del cultivo herbáceo, dentro del callejón, cerca y lejos del árbol y en el testigo sin árboles (Figura 2 y 3).

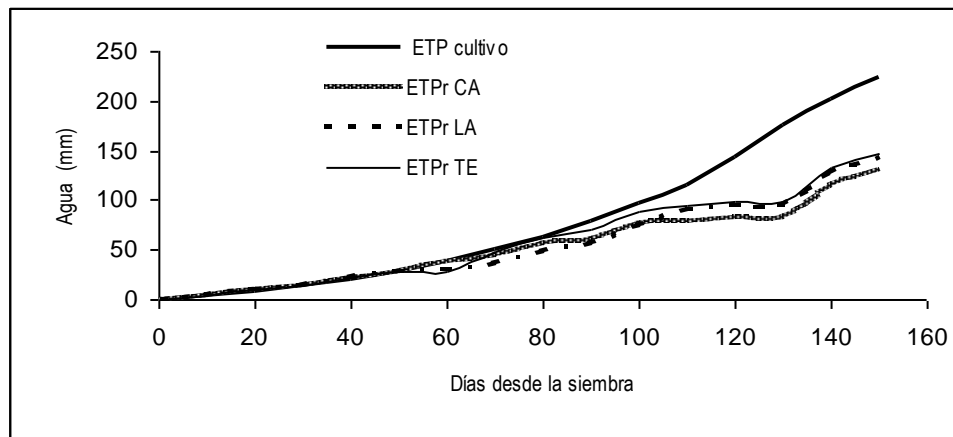


Figura 2: Evapotranspiración potencial y real del cultivo, La Aguada 2005.

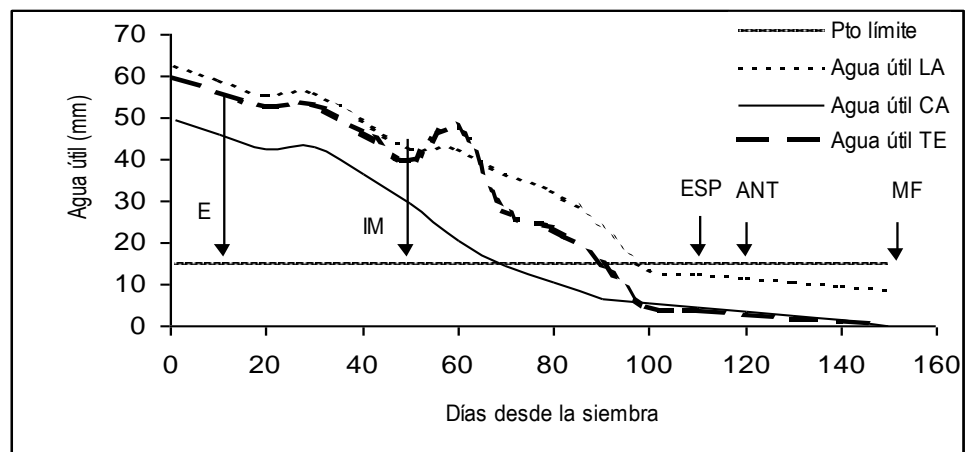


Figura 3: Dinámica del agua útil del suelo en diferentes posiciones del sistema silvoagrícola

Las siglas que se ven en la figura 3 corresponden al ciclo del cultivo, donde E es emergencia, IM inicio de macollaje, ESP espigazón, ANT anthesis, MF madurez fisiológica.

Como se puede ver en la Figura 2, el cultivo al principio del ciclo podía expresar todo su potencial evapotranspirativo (ETP cultivo), sin embargo la falta de agua útil en el suelo (Figura3), afectó la tasa de evapotranspiración, comenzando a disminuir significativamente a los 90 días desde la siembra, al alcanzar el agua útil en el suelo el punto crítico momento donde el cultivo entra en estrés hídrico mostrando poca respuesta en crecimiento (Dardanelli *et al.*, 2003).

Sobre el comportamiento de la evapotranspiración para las condiciones de este ensayo podría efectuarse dos lecturas. La primera comparando la posición en el centro del callejón (ETPr LA), alejada 10,5 m desde el árbol con el testigo (ETPr TE). En estas dos situaciones la dinámica de la evapotranspiración y el agua útil del suelo son semejante por lo

que no se cumple lo afirmado por Bellón *et al.*, (1991), que manifiesta que los niveles de evapotranspiración serían más bajos en el sistema silvoagrícola. Por lo tanto a la luz de los resultados encontrados se podría afirmar que la protección de los árboles disminuiría los niveles de evaporación contando el cultivo herbáceo con mayor agua para transpirar. La otra lectura es sobre lo que ocurre con la posición cerca del árbol y respecto a las otras posiciones. Cuando observamos los niveles de producción de biomasa y grano cerca del árbol (Cuadro 5), vemos una marcada disminución en relación a lo que ocurre en el centro del callejón, sin embargo estos valores son semejantes a los obtenidos en el testigo (Cuadro 4).

Cuadro 5: Rendimiento de biomasa aérea total y granos de *Triticum aestivum* en diferentes posiciones de un sistema silvoagrícola.

Tratamiento	Rendimiento	
	Biomasa aérea (Kg MS/ha)	Granos (Kg/ha)
Cerca del árbol	1086,8 a	326,04 a
Lejos del árbol	1913,6 b	574,08 b

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

Cerca del árbol la tasa de evapotranspiración es menor, lo que es lógico ya que el grado de sombreado es mayor y los niveles de radiación que llegan al cultivo herbáceo son menores. Pese a ello, si se observa la dinámica del agua útil en esta posición hay una marcada disminución a lo largo del ciclo si lo comparamos con las otras dos posiciones, lo que mostraría la competencia en los primeros 80 cm del suelo entre la masa radicular arbórea y la herbácea.

La relación entre los rendimientos y el agua para cada situación propuesta en este trabajo se cuantificó a través de un indicador denominado eficiencia en el uso del agua. Esto muestra la relación que existe entre la biomasa producida y agua consumida, expresando la eficiencia con la cual un órgano o un cultivo para fijar carbono en relación con el agua que utiliza (Dardanelli *et al.*, 2003). Los valores de este indicador se muestran en la Cuadro 6.

Cuadro 6: Eficiencia de uso del agua en el sistema silvoagrícola y testigo sin árboles

Tratamiento	EUA (Kg de grano mm ⁻¹)
CA	2,5
LA	4,0
TE	2,1

La cuantificación de la relación entre rendimiento y agua muestra valores bajos de eficiencia en el uso del agua si se los compara con los 8.1 Kg/mm encontrados por Salinas *et al.*, (2004) para las condiciones de secano en el área de Manfredi, Córdoba. Las diferencias encontradas podrían explicarse por los niveles de precipitaciones durante el ciclo del cultivo en los sitios de ensayo ya que en este último se obtuvo esas eficiencias con precipitaciones de 166 mm en relación a los 98 que ocurrieron en la Centro de Experimentación y Docencia Pozo del Carril durante el año 2005.

Por último, podría explicarse como las bajas precipitaciones afectaron los rendimientos obtenidos en las diferentes posiciones propuestas en el ensayo. Si observamos la Figura 3 donde se muestra la dinámica del agua útil y la fenología del cultivo puede observarse con claridad que durante el ciclo del trigo en el caso de la situación cercana al árbol, el cultivo llega al punto de déficit (20 % del agua útil total) a los 70 días. La situación más alejada del árbol alcanzó a los 100 días, y el testigo a los 90 días, coincidiendo este momento con el período crítico del cultivo (15-20 días antes de floración 10 días después de la misma), momento de mayor importancia en la definición del rendimiento (formación y el llenado de los granos).

CONCLUSIONES

- El agua útil total obtenida no se modificó según los sistemas de labranza realizados para las condiciones ambientales del año 2005.
- A pesar de contar con la misma disponibilidad de agua, la labranza profunda al eliminar las restricciones en el crecimiento de raíces permite obtener mayores rendimientos de biomasa y grano.
- La evapotranspiración en el cultivo de trigo no muestra diferencias significativas para los diferentes tratamientos planteados, a excepción de la posición cercana al árbol donde se encontraron valores más bajos.
- Los rendimientos expresados en biomasa aérea total y producción de grano fueron significativamente superiores en el sistema silvoagrícola, cuando se compararon con el testigo sin árboles.
- Dentro del callejón del sistema silvoagrícola, la posición más alejada al árbol mostró que (10,5 m) la producción de biomasa aérea y grano fue 76% mayor con respecto a la cercana al árbol (2 m).
- En el sistema silvoagrícola la eficiencia en el uso del agua (EUA) fue mayor que en el testigo sin árboles arrojando valores de 3,25 Kg/mm y 2,1 Kg/mm respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.

- 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 pags.
- 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.
- 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. Pags 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.
- ERBACH, D.C. – 1982 - Tillage for continuous corn-soybean rotation . Transactions of the ASAE 25 (4):906-918.
- HAKANSSON I. – 1990 - A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. Soil and Tillage Res. 16: 105-120.
- 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.
- 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.
- MARTELLOTTA, 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.; 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.
- 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-

- 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.
- PEZO, D. y M. IBRAHIM- 1999- Sistemas Silvopastoriles. Segunda edición. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- 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.
- SALINAS, A; E. MARTELLOTTO; J .P GIUBERGIA; P. SALAS; E. LOVERA - 2004- Producción de trigo con riego suplementario en el área centro norte de la provincia de Córdoba. <http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docsuelos/trigoriego/tririegonorte.htm>. Consultado 13-03-2007.
- SEQUEIRA W. and 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 silvopastorales y su manejo. Documento técnico N° 42. *Revista Chile Forestal*, diciembre 1989. CONAF. 8 p.
- VALLEJOS, G.; N. ECHEVERRIA y J. SILENZI 1998 Efecto del escarificado en un Haplustol entico 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.
- 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.