

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Trabajo final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto.

“Evaluación de la economía del agua en pasturas base alfalfa
(*Medicago sativa L.*), con diferentes sistemas de labranza y
condiciones de pastoreo”.

Pironello, Luciano

D.N.I: 32.824.808

Director: Pagliaricci, Héctor.

Co-director: Espósito Gabriel.

Río Cuarto – Córdoba

Abril, 2013.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Evaluación de la economía del agua en pasturas base alfalfa (*Medicago sativa* L.), con diferentes sistemas de labranza y condiciones de pastoreo”.

Autor: Pironello, Luciano.
DNI: 32824808

Director: Pagliaricci, Héctor.
Co-Director: Espósito, Gabriel.

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

Ohanian, Alfredo _____

Estevez, Sergio _____

Pagliaricci, Héctor _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico.

INDICE GENERAL

Índice general	III
Índice de tablas	V
Índice de gráficos	VI
Índice de imágenes	VII
Resumen	VIII
Summary	IX
Introducción	1
Hipótesis y objetivos	7
I – Hipótesis	7
II – Objetivos generales	7
III – Objetivos específicos	7
Materiales y métodos	8
I – Caracterización climática de la región	8
II – Ubicación del ensayo	8
III – Diseño experimental	9
IV – Mediciones realizadas	11
IV- a) Mediciones de contenido hídrico	11
IV – b) Mediciones de materia seca	11
IV – c) Cálculo de balance hídrico	12
IV – d) Análisis de los resultados	14
Resultados y discusión	15
I – Contenido hídrico de suelo	15
I – a) Peso específico aparente (PEA)	15
I – b) Humedad de suelo	16
II – Producción de biomasa	18
III – Balance hídrico	20

III – a) Calibración del SWB model	20
III – b) Determinación del balance hídrico con el SWB calibrado	23
Conclusiones	25
Líneas de investigación futuras	26
Bibliografía consultada	27
Anexo I	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Agua útil (mm) acumulada hasta un metro de profundidad, para los diferentes tratamientos según fecha de muestreo.	16
Tabla 2. Producción de forraje expresado en Kg. de materia seca por hectárea según tratamiento para el 21/12/09.	18
Tabla 3. Producción de forraje expresado en Kg. de materia seca por hectárea según tratamiento para el 07/04/10.	18
Tabla 4. Parámetros fenológicos de una pastura base alfalfa.	20
Tabla 5. Balance hídrico de una pastura base alfalfa bajo diferentes sistemas de labranzas.	23

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1.** Correlación entre valores de contenido hídrico (%v/v) observados y simulados, fecha 21-12-2009. 20
- Gráfico 2.** Correlación entre valores de contenido hídrico (%v/v) observados y simulados, fecha 07-04-2010. 21
- Gráfico 3.** Correlación entre valores de producción de forraje (kg MS/ha) observados y simulados. 22

INDICE DE IMÁGENES

- Figura 1.** Ubicación geográfica del Campo experimental “Pozo del Carril” en el paraje La Aguada, Provincia de Córdoba. 9
- Figura 2.** Esquema de ensayo de labranzas en bloques aleatorios con dos repeticiones campo experimental “Pozo del Carril”. 10
- Figura 3.** Peso específico aparente (PEA) en tn/m^3 , por profundidad, según sistema de labranza. 15
- Figura 4.** Precipitaciones promedio para el Departamento de Río Cuarto (2002 – 2008), y del establecimiento “Pozo del Carril” durante la campaña 2009 – 2010. 17

RESUMEN

El cultivo de alfalfa tiene un elevado consumo de agua que varía tanto diaria como estacionalmente, de acuerdo a las condiciones de demanda evaporativa de la atmósfera y al estado fenológico del cultivo. El presente trabajo tiene por objetivo cuantificar las diferencias hídricas en el perfil de una pastura base alfalfa cultivada bajo un sistema de siembra directa (SD) y labranza convencional (LC); El mismo se desarrolló en el campo experimental “Pozo del Carril” de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en el paraje La Aguada a los 32° 58` LS y 64° 40` LO a 550 msnm, departamento de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. La pastura fue implantada en el año 2007 en bloques completos aleatorios con dos repeticiones. Cada bloque contiene tres tratamientos: SD (Siembra Directa), LR (Labranza reducida), y LC (Labranza convencional). El trabajo se realizó entre septiembre de 2009 y abril de 2010 y durante tal período se realizaron determinaciones de contenido gravimétrico de agua de suelo hasta un metro de profundidad, y producción de biomasa entre dos cortes. Con los datos anteriores, se simuló el crecimiento de una pastura en un software de simulación de crecimiento de cultivos para obtener los principales movimientos de agua dentro de cada tratamiento y poder así confeccionar el balance hídrico de la pastura. Los resultados fueron concretos, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos para contenido hídrico del perfil, como así tampoco para producción de biomasa de la pastura base alfalfa. En conclusión, los efectos del sistema de labranza sobre los parámetros hídricos y productivos en los sistemas ganaderos son variables y muy dinámicos, siendo necesario entonces, continuar con las investigaciones en este sentido para aumentar la producción de forraje.

Palabras clave: sistema de labranza, contenido hídrico, producción de biomasa.

SUMMARY

Growing alfalfa has a high water consumption varies both daily and seasonally, according to the conditions of evaporative demand of the air and crop growth stage. The aim of this study is to quantify the differences in the profile of water an alfalfa-based pasture cultivated under a system of tillage (NT) and conventional tillage (CT). The work was developed in the experimental field "Pozo del Carril" at the School of Agronomy and Veterinary Medicine, National University of Río Cuarto, located in the hamlet La Aguada at 32 ° 58 'LS and 64 ° 40 `LO to 550 masl, department Rio Cuarto, Cordoba, Argentina . The pasture was established in 2007 in randomized complete block with two replications. Each block contains three treatments: SD (direct seeding), LR (reduced tillage) and LC (conventional tillage). The work was conducted between September 2009 and April 2010 and during such period determinations were performed gravimetric water content of soil up to one meter deep, and biomass production between two cuts. With previous data, I simulate the growth of a pasture in a software simulation of crop growth for the main movements of water into each well to treatment and make the water balance of the pasture. The results were specific, there were no statistical differences between treatments for water content profile, as well also for biomass production of lucerne based pasture. In conclusion, the effects of tillage systems on water parameters and productive livestock systems are variable and highly dynamic, be necessary then, further research in this direction to increase forage production.

Keywords: tillage, water content, biomass.

INTRODUCCION

La alfalfa (*Medicago sativa* L) es la principal especie forrajera del país y base de la producción de carne y leche de la Región Pampeana. La difusión del cultivo se apoya en sus altos rendimientos de materia seca, su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales suelo, clima y manejo. (Basigalup, 2007 a).

En los años 1996/97 la superficie implantada con alfalfa en Argentina, sea pura o coasociada con otras forrajeras, era de poco mas de 7 millones de hectáreas. A partir de 1998/99 comienza a registrarse un descenso del área de siembra, para ubicarse en 2000/01 alrededor de las 5 millones de has., de las cuales en promedio, el 31% correspondía a alfalfares puros y el 69% a consociaciones con otras forrajeras templadas. (Basigalup, 2007 b).

En Argentina, la alfalfa se cultiva principalmente en la Región Pampeana. El 90% de la producción se localiza entre los paralelos 30-40° LS y los meridianos 58-65° LW. La provincia de Córdoba tiene la mayor superficie de alfalfa pura, en tanto que Buenos Aires concentra la mayor superficie de alfalfas coasociada con gramíneas anuales o perennes. Como especie pura o coasociada, la alfalfa integra el 58% del total de forrajeras de la Región Pampeana. (Basigalup, 2007c).

La implantación de pasturas mixtas tiene virtudes de tipo agronómicas que las tornan muy beneficiosas para el sistema de producción en su conjunto. El aporte de nitrógeno que realizan las leguminosas a través de la fijación biológica permite un significativo ahorro de fertilizantes. Por su parte las gramíneas hacen una importante contribución de materia orgánica y mejoran la estabilidad estructural del suelo a través de su sistema radicular en forma de cabellera. (Romero *et al.*, 1995 a; Rossanigo y Aragon, 2003; Scheneiter y Bertin, 1996;).

La mayor parte de las pasturas base alfalfa de nuestro país se utilizan bajo pastoreo directo. El pastoreo continuo de esta especie, muy difundido en el pasado, ha sido sustituido progresivamente por sistemas rotativos con grados variables de intensificación en lo que respecta al número de subdivisiones de los potreros. (Romero *et al.*, 1995 b).

Por lo tanto, el conocimiento del impacto de las distintas variables de manejo del pastoreo sobre la productividad, calidad y longevidad de las pasturas, así como sus efectos sobre el animal, aporta elementos decisivos para mejorar la eficiencia global de utilización de la alfalfa. En este sentido, la carga animal y el sistema de utilización constituyen dos

pilares fundamentales de manejo que determinan el rendimiento de un sistema de producción animal. (Kloster *et al.*, 2003); (Ustarroz *et al.*, 1997).

En la región centro-sur de la provincia de Córdoba, la oferta forrajera anual se caracteriza por ser muy variable debido al efecto de las condiciones climáticas del año y las variaciones ambientales zonales, pero quizás lo más destacado sean las variaciones estacionales, con una gran concentración de forraje en primavera-verano representando más del 75% de la oferta forrajera anual (Pagliaricci *et al.*, 1987).

En ensayos realizados en el área de influencia de la Universidad Nacional de Río Cuarto se registraron producciones primarias de 12 tn. de materia seca por hectárea y por año (Pagliaricci *et al.* 1997).

La producción de materia seca de una pastura base alfalfa, de grado de reposo intermedio, en el área de influencia de Río Cuarto, es de aproximadamente 12 tn ms.año.ha⁻¹, en el mes de diciembre se han determinado producciones de 1,68 tn ms.ha⁻¹ aportadas casi en su totalidad por la leguminosa, Montesano, (2003).

Los cambios en el laboreo del suelo y en la rotación de cultivos pueden actuar como fuerzas selectivas en el desarrollo de la flora de malezas y asociarse con el remplazo de especies (Radosevich y Holt, 1984, Hobbs y Huenneke, 1992; Mortimer y Hill, 1999).

En general se observa una mayor densidad total de malezas en SD, aunque con una menor diversidad debido al uso de determinados grupos químicos para su control, mientras que LC produce mayor diversidad de especies en menor cantidad (Puricelli, y Tuesca, 2005).

En lo que respecta al sistema suelo, se han propuesto diversas prácticas de laboreo del mismo con el objeto de disminuir los costos de la preparación, para conservar la humedad del perfil, y principalmente para prevenir la erosión hídrica y eólica. La cero labranza o siembra directa y la mínima labranza, han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, aunque en nuestro país, debido a las particularidades de los suelos, es necesario probar sus ventajas en cuanto al aumento de la retención de humedad en el suelo, que tendría, como consecuencia, un aumento en la eficiencia de uso de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo (Hook y Gascho, 1988).

Durante los últimos años se ha experimentado en el país un notable incremento de la siembra directa (SD) para la implantación de los cultivos agrícolas, especialmente a partir de

la campaña 1992/93. Se estima que el total del área sembrada con esta tecnología supera actualmente los 20 millones de hectáreas. (Basigalup, 2007e).

Cuando se maneja correctamente, las principales ventajas que ofrece la SD pueden resumirse en las siguientes: posibilita un mejor manejo del agua de lluvia y disminuyen los procesos de erosión edáfica, mejora el balance de carbono en el suelo, disminuyen los requerimientos de energía, y reduce el tiempo de trabajo por hectárea, lo que mejora la eficiencia de los equipos y favorece el manejo de grandes superficies. Todo esto ha permitido no solo aumentos de rendimientos sino también la incorporación de nuevas áreas de cultivo. (Fogante *et al.*, 1994).

Para que los suelos puedan mejorar su capacidad de almacenar agua de lluvia, deben contar con la necesaria cobertura vegetal que permita reducir el escurrimiento, mejorar la infiltración, disminuir la evaporación directa y suavizar el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, protegiendo así la estructura y estabilidad de los agregados. (Fogante, 1999).

Los sistemas de labranza en la Región Pampeana Argentina han experimentado profundos cambios en los últimos años. En la década de los años 80 se difundió el uso del cincel como herramienta de labor profunda que permitió la ruptura de capas compactadas de suelo, favoreciendo la acumulación de agua, el desarrollo de raíces, la conservación de rastrojo en superficie modificando las propiedades edáficas. (Silenzi *et al.*, 1996; Marelli y Arce, 1999).

El sistema que incluye el arado con reja y vertedera como labranza primaria expone al suelo a mayores riesgos de erosión y de degradación de la estructura, con disminución de la infiltración y aumento de la escorrentía (Michelena *et al.*, 1996; Cabria y Culot, 2001).

Diversos autores han estudiado el efecto de los sistemas de labranza sobre los parámetros físicos del suelo como porosidad, estabilidad estructural, densidad aparente y dinámica del aire y del agua (Chang y Lindwall, 1989; Chagas *et al.*, 1995; Díaz Zorita, 1999) ya que los sistemas de remoción alteran los perfiles culturales y la relación suelo – planta (Mahboubi *et al.*, 1993).

La labranza acelera la descomposición de la materia orgánica y destruye los agregados estables (Dexter, 1991). La estabilidad de los mismos puede ser uno de los indicadores que permita evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas (Pilatti *et al.*, 1998).

La alfalfa tiene un elevado consumo de agua que varía tanto diaria como estacionalmente, de acuerdo a las condiciones de demanda evaporativa de la atmósfera y al estado fenológico del cultivo (Roca da Cunha *et al.*, 1994). Es frecuente la ocurrencia de déficit de agua dentro y entre años, que explican las variaciones en la producción de forraje. (Saluso, 2007)

Los estudios realizados por Lafond *et al.* (1994), indicaron que las diferencias en la humedad total del suelo en primavera, no se reflejan siempre en diferencias en la eficiencia de uso del agua por el cultivo. Los resultados de este estudio enfatizan la necesidad de mejorar las prácticas de manejo del suelo para aumentar el almacenamiento de humedad, y para incrementar el uso de las precipitaciones en el período de crecimiento.

Es aquí donde comienza a tomar importancia el tipo de labranza utilizado, comandado por el avance de la SD, cuyos trabajos en nuestro país se han realizado principalmente en la Región Pampeana, en relación a aptitud de suelos para SD, materia orgánica, actividad microbiana en SD y procesos biológicos del suelo. (Pidello *et al.*, 1995; Marelli, 1996; Sainz Rozas *et al.*, 1997).

En las primeras etapas de la SD, las principales ventajas que se vislumbraban estaban relacionadas a la protección del suelo de los efectos erosivos, tanto del viento como del agua. Sumado a ello, el hecho de sembrar “sin mover” tenía la ventaja de facilitar las tareas operativas de la implantación de la soja de segunda sobre trigo. De a poco, algunos pioneros convencidos de que muchas de estas ventajas se potenciaban si se las utilizaba en todos los cultivos de la secuencia, se animaron a hacer experiencias en lotes de producción. Menor evaporación sumada a menores pérdidas por escorrentía, y mayor infiltración daba como resultado una mayor disponibilidad del recurso limitante: el agua. De a poco, los pisos de rinde subieron, estabilizando los niveles productivos; impacto que era más notorio en zonas sub-húmedas y de suelos sueltos. (Derpsch, 2008).

Yoo *et al.* (1994) indicaron que en las primeras etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, el contenido de humedad en el suelo no presenta diferencias entre un sistema con residuos, uno sin residuos superficiales, y un sistema convencional, sin embargo, a medida que avanza el desarrollo del cultivo, la cero labranza con residuos superficiales presenta mayor contenido de humedad disponible que los otros sistemas, a profundidades entre 0 y 20 cm y entre 20 y 60 cm. Adicionalmente, los residuos vegetales aumentan la infiltración y disminuyen la evaporación, lo que influye directamente en un mayor contenido de humedad. Los mismos autores indicaron que al comparar la cero labranza (con y sin residuos

vegetales) con un sistema tradicional, bajo los 40 cm de profundidad, el contenido de agua en el suelo del sistema conservacionista fue mayor que en el sistema tradicional.

Algunos autores indicaron que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil de suelo al momento de la siembra, entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional, pero a medida que avanza el período de cultivo, los suelos con cubierta vegetal tienen mayor infiltración que el mismo suelo cultivado en forma tradicional. La presencia de raíces en descomposición y los canalículos dejados por ellas sirven de vías de infiltración del agua al suelo (Dalrymple *et al.*, 1993)

Sheptukhov *et al.* (1997) indicaron que todos los sistemas de mínima labranza, en particular el sistema de cero labranza, resultan en regímenes de aire y agua del suelo que son favorables para el crecimiento de las plantas, a pesar de su diferente influencia en la estructura del suelo, en los parámetros hidrofísicos y en la estructura de los espacios porosos. Estos regímenes de aire y agua, son similares a los que se registran en suelos arados, sin embargo, en suelos con mínima labranza, el uso del agua es más eficiente.

Crovetto (1998) analizó distintos parámetros en suelos con cero labranza y con labranza tradicional, y concluyó que se observa un claro mejoramiento en los primeros. La mayor disponibilidad de agua para las plantas en la zona radicular ayuda a mejorar los rendimientos en cultivos con cero labranza.

En general, el manejo conservacionista mejora consistentemente la humedad del suelo comparado con el sistema tradicional, excepto en los primeros centímetros de suelo a inicios del ciclo de crecimiento y de desarrollo del cultivo (Hill *et al.*, 1985; Cullum, 1993; Yoo *et al.*, 1994).

La longevidad de las pasturas de alfalfa es muy variable y depende de factores "de manejo" dentro de los cuales se pueden mencionar: la carga animal (cantidad, oportunidad, estado del "piso"), el uso de herbicidas (correcto o no), el efecto de las labranzas (buenas o malas condiciones físicas y químicas), etc. (Fontanetto *et al.*, 2008).

La información disponible en SD comparados con otros sistemas de labranza indica en general una mayor compactación en los estratos superiores del perfil. Su comportamiento en el tiempo dependerá de las interacciones del sistema productivo, por ejemplo, el grado de cobertura dejado por los cultivos, con las características del suelo en cuestión y con la evolución de la parte biótica edáfica, especialmente de la mesofauna. (Gerster *et al.*, 1996). En este sentido, en los sistemas ganaderos con

alimentación a campo, la acción mecánica de la pezuña animal causa la pulverización de los agregados del suelo, causando a menudo también pérdidas de estabilidad estructural. Taboada y Lavado (1988).

Los modelos de simulación de crecimiento de cultivos y el análisis del sistema suelo-planta-atmósfera son herramientas importantes para la investigación agrícola moderna. Un modelo de cultivos representa de manera sencilla y sintética los procesos fisiológicos y ecológicos más importantes que gobiernan el crecimiento utilizando ecuaciones matemáticas (Comerma *et al.*, 1985). Estos, constituyen una herramienta fundamental para entender la complejidad que caracteriza los sistemas ecológicos y ambientales debido a que son la única herramienta disponible para traducir una colección de hipótesis acerca de procesos ecológicos en una representación de cómo funciona el ecosistema en su totalidad. Estos permiten realizar análisis de impactos tecnológicos, económicos y ambientales, la evaluación de estrategias productivas y los pronósticos del rendimiento de los cultivos. Su empleo se enfoca generalmente a comprender mejor los problemas y anticipar la realidad que se investiga. Un buen modelo es capaz de revelar interacciones entre los diferentes componentes que no eran evidentes al estudiar cada uno de los procesos separadamente y permitirá ensayar experimentos que no se podrían realizar en el sistema real. (Hernandez *et al.*, 2009).

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

I - HIPÓTESIS:

- La producción de materia seca de pasturas base alfalfa en el oeste de Río Cuarto depende del balance hídrico durante su estación de crecimiento, el cual es afectado por el sistema de labranza utilizado para su implantación.

II - OBJETIVOS GENERALES:

- Determinar el balance hídrico de pasturas base alfalfa para distintos sistemas de labranza y su efecto sobre la producción de biomasa.

III - OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Cuantificar el contenido hídrico del suelo bajo distintos sistemas de labranza y durante la estación de crecimiento estival de una pastura en base a alfalfa.
- Establecer el balance hídrico de la pastura mediante el uso de modelos de simulación.
- Determinar la producción de biomasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

I - CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN:

El clima predominante de la zona es templado con invierno seco, presentando un régimen de precipitaciones Monzónico, con una media anual de 775 milímetros. El período libre de heladas se extiende por aproximadamente 256 días, generalmente desde el mes de octubre a abril. El mes más frío del año es julio, con una temperatura media de 8.5° C, mientras que el mes más cálido es enero con una temperatura media de 22° C. (Fuente: Cátedra de Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC).

II - UBICACIÓN DEL ENSAYO

El trabajo se desarrolló en el campo experimental “Pozo del Carril” de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en el paraje La Aguada a los 32° 58` LS y 64° 40` LO a 550 msnm, departamento de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. El sitio experimental cuenta con estación meteorológica automática LYCOR 1200 minimum (Nebraska, EE.UU.), con la cual se registrará la precipitación diaria acumulada.

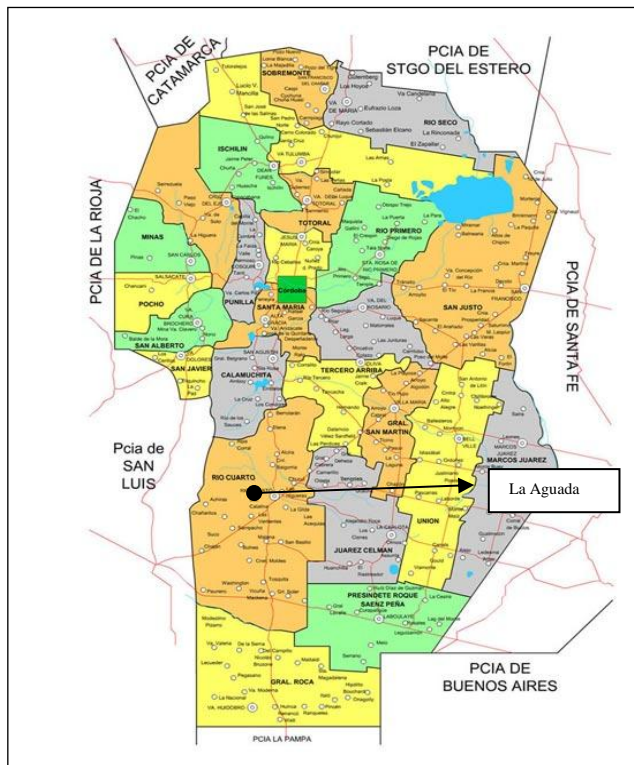


Figura 1. Ubicación geográfica del Campo experimental “Pozo del Carril” en el paraje La Aguada, Provincia de Córdoba.

III – DISEÑO EXPERIMENTAL:

El diseño del ensayo “Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto” corresponde a bloques completos aleatorios con dos repeticiones. Cada bloque contiene tres tratamientos: SD (Siembra Directa), LR (Labranza reducida), y LC (Labranza convencional). A su vez, se divide en dos intensidades de pastoreo, INT 1: 75% eficiencia de cosecha e INT 2: 50 % eficiencia de cosecha.

Es necesario aclarar, que dentro de este ensayo las determinaciones de humedad y materia seca se realizaron solamente sobre SD y LC de los tratamientos pastoreados con un 50% de eficiencia de cosecha (INT 2).

	BLOQUE I			BLOQUE II		
INT 2	SD	LR	LC	LR	SD	LC
INT 1	SD	LR	LC	LR	SD	LC

Figura 2. Esquema de ensayo se labranzas en bloques aleatorios con dos repeticiones campo experimental “Pozo del Carril”.

En el año 2007 se implantó una pastura de alfalfa coasociada con gramíneas, sobre tres tipos de labranza (siembra directa, labranza convencional y reducida).

-Fecha de siembra: 10/03/2007.

-Sembradora: Bertini.

-Semillas:

- Alfalfa cv. Pinto, “La Tijereta”, grupo 6, densidad de siembra 11.5 kg/ha. Calidad de la semilla: Pureza: 98%, Energía germinativa: 83.3%, Poder germinativo: 88%.
- Avena, densidad de siembra 15 kg/ha.
- Festuca alta:(sin cultivar), Densidad de siembra 4 kg/ha. Calidad de la semilla: Pureza: 92%, Energía germinativa: 65.3%, Poder germinativo: 72.2%.
- Pasto ovido: Cultivar Athos curado. Densidad de siembra 5 kg/ha. Calidad de la semilla: Pureza: 92%, Energía germinativa: 19.3%, Poder germinativo: 41%.
- Pasto ovido: Semilla sin curar. Densidad de siembra 5 kg/ha. Calidad de la semilla: Energía germinativa: 30.6%, Poder germinativo: 58%.
- Cebadilla intermedia: *Bromus paroddi* (criadero El Cencerro, cv. Don Enrique) Densidad de siembra 6 kg/ha. Calidad de semilla: Energía germinativa: 63.5%.

IV – MEDICIONES REALIZADAS:

IV. a) - MEDICIONES DE CONTENIDO HÍDRICO:

Se cuantificó el contenido gravimétrico de agua en el perfil, durante el procedimiento se extrajeron muestras con barreno a 20 – 40 – 60 – 80 y 100 cm de profundidad, en cantidad de 3 repeticiones por cada sistema de labranza y se las sometió a una desecación en estufa a 105°C hasta pesada constante.

CÁLCULOS

$$\% \text{ grav. de agua (gr agua/ 100gr de suelo)} = ((PH - PS)/PS)$$

PH: Peso de la muestra húmeda.

PS: Peso de la muestra seca.

Luego, se determinó el PEA (Peso específico aparente) de los diferentes horizontes del perfil, para poder transformar el contenido gravimétrico de agua en volumétrico a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Cont. Grav. (gr agua/ 100gr de suelo)} * \text{PEA (gr de suelo/ 100cm}^3 \text{ suelo)} = \text{cont. Vol. (gr agua (*1)/ 100 cm}^3 \text{ suelo)}$$

$$(*1) = 1 \text{ gr agua} = 1\text{cm}^3 \text{ agua.}$$

$$\text{Simplificando: Cont. vol.} = \text{cm}^3 \text{ agua/100cm}^3 \text{ suelo} = \text{cm}^2 * \text{cm/cm}^2 * \text{cm} = \text{cm/cm} * 10 (*2) = \text{mm agua / cm suelo} = \text{LAMINA}$$

$$(*2) = 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$$

IV. b) - MEDICIONES DE MATERIA SECA:

Los muestreos se realizaron en forma aleatoria, con aros de 0.25 metros cuadrados de superficie, en número de cuatro repeticiones por cada tratamiento, el forraje recolectado fue pesado en verde y luego se lo llevó a estufa a 110° C durante aproximadamente 48 horas hasta peso constante para determinar el peso de la materia seca.

Entre septiembre de 2009 y abril de 2010 se realizaron dos muestreos de materia seca de la pastura base alfalfa, el criterio de pastoreo durante esta época del año fue en base al estado fenológico de la especie alfalfa, se inicio pastoreo cuando el cultivo alcanzó aproximadamente el 10% de floración.

Para el pastoreo, se utilizaron bovinos de razas Británicas de diferentes categorías, simulando un pastoreo rotativo mediante “pulsos” de pastoreo. En función de la disponibilidad inicial de forraje y el consumo estimado de los animales se calculo el tiempo de permanencia en la parcela de forma tal que el remanente de forraje sea del 50 % aproximadamente.

El tiempo de permanencia de los animales dentro de la misma parcela fue inferior a siete días para evitar el consumo del rebrote.

IV. c) – CALCULO DE BALANCE HIDRICO:

Para calcular el balance hídrico en cada sistema de labranza se utilizó el Soil Water Balance Model (SWB Model) es un modelo que simula el transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera acoplado con un simulador de crecimiento y desarrollo de cultivos. El modelo se ejecuta en Microsoft Excel utilizando el lenguaje de macros brindado por la aplicación Visual Basic.

El SWB Model es un simulador de paso diario requiriendo datos de temperatura máxima y mínima del aire y precipitación. Además, es necesario brindarle datos y parámetros de suelo, capa freática y de cultivo.

El balance de agua incluye los procesos de evaporación, escurrimiento, infiltración, redistribución, percolación profunda, transpiración y dinámica de la capa freática. La representación matemática del balance de agua en el suelo se realiza mediante la integración numérica de ecuaciones diferenciales, por el método de diferencias finitas, que describen el flujo y almacenamiento de agua en el suelo y en el perfil en su conjunto.

La pérdida de agua por transpiración es regulada por la interacción entre la demanda atmosférica, el potencial agua del suelo y el potencial agua en la hoja. La evapotranspiración potencial es separada en transpiración potencial y evaporación potencial de acuerdo a la fracción de la radiación incidente que es interceptada por el dosel del cultivo.

La fracción de intercepción del cultivo es a su vez regulada por el índice de área foliar. La producción de materia seca es estimada en forma diaria y depende de la cantidad de radiación incidente y la cantidad de agua transpirada.

El desarrollo del cultivo es estimado de acuerdo al tiempo térmico y determina el ritmo de partición de acumulación de materia seca entre crecimiento vegetativo y reproductivo.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), el SWB usa el método de Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972) cuando no se cuenta con información de velocidad del viento. El crecimiento del cultivo limitado por agua es calculado con la fórmula propuesta por Tanner and Sinclair (1983).

$$B = \frac{kT}{VPD}$$

Donde B es en $\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$, k es un parámetro de cultivo obtenido experimentalmente de la relación entre la materia seca y el uso del agua y toma unidades de kPa, T es la transpiración del cultivo ($\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) y VPD es el déficit de vapor diario (kPa). Esta relación se basa en el hecho de que si el suministro de agua hacia las hojas es restringido, la pérdida de agua disminuye como así también el ingreso de CO_2 y la acumulación de materia seca.

Para la simulación del transporte y almacenaje de agua dentro del suelo, el balance de agua en cada capa es resuelto por métodos numéricos y determina el cambio de potencial y contenido de agua en el tiempo. De esta forma, la infiltración, redistribución, evaporación y absorción de agua por el cultivo son simuladas.

La Intercepción y el escurrimiento disminuye el ingreso del agua de lluvia al suelo y la percolación profunda ocurre por debajo de la profundidad de enraizamiento como resultado de un gradiente en potencial gravitacional.

La densidad del flujo de agua, entre capas, está explicada por la Ley de Darcy y es función de la conductividad hidráulica del suelo y del gradiente de potencial agua del suelo a través del elemento.

En flujo insaturado, la conductividad hidráulica es función de la variable dependiente (contenido de agua o potencial). La ecuación de flujo es extremadamente no lineal y ello

complica la solución numérica de la ecuación de Richards. Por ello se emplea el método de Newton-Rhapson y el algoritmo Thomas para computar cambios en ψ que resuelvan la ecuación de Richards en cada lapso de tiempo y en cada capa.

El contenido volumétrico de agua a -33J/kg ($\theta\phi\chi$) y a -1500 J/kg ($\theta\pi\omega\pi$), como también la densidad aparente son variables de entrada para el modelo y ellos deben estar especificados para cada capa del suelo.

El modelo SWB estima el escurrimiento mediante el modelo de Curva Número del U.S. Soil Conservation Service que calcula el escurrimiento de una lluvia en 24 hs a partir de un umbral crítico de escurrimiento (P_0) definido por el tipo de suelo y condición de superficie del mismo. La ecuación matemática es la siguiente:

$$E = \frac{(Pt - P_0)^2}{Pt + 4P_0}$$

E : escurrimiento (mm)

Pt : precipitación en 24 horas (mm)

P_0 : umbral de escorrentía (mm)

$E = 0$ si $Pt \leq P_0$; $E \neq 0$ si $Pt > P_0$

La calibración del modelo se realizó modificando los parámetros ecofisiológicos de la pastura consociada, con el objetivo de aumentar el grado de correlación entre los valores de humedad de suelo y producción de biomasa observados a campo con los simulados por el modelo. De esta forma, los movimientos de agua simulados por el modelo, serán similares a los reales y permitirán confeccionar el balance hídrico de la pastura entre dos cortes.

IV. d) – ANALISIS DE LOS RESULTADOS:

Los datos experimentales fueron analizados mediante ANAVA y test de separación de medias de Fischer al 5 % de probabilidad. Además se realizaron análisis de regresión lineal, se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSION

I – CONTENIDO HIDRICO DEL SUELO.

I - a) PESO ESPECÍFICO APARENTE (PEA).

En el marco del presente estudio, se determinó el peso específico aparente del suelo bajo los diferentes sistemas de labranza, hasta la profundidad de un metro, con el objetivo de poder detectar diferencias de compactación entre los mismos, como así también poder transformar los contenidos hídricos gravimétricos en volumétricos.

En la figura 3 se presentan los valores de PEA, para cada uno de los sistemas de labranza, los mismos corresponden a muestras extraídas con barreno cada 20 cm de profundidad, hasta un metro, en cantidad de tres muestreos por cada tratamiento, se promediaron los bloques para obtener un valor único.

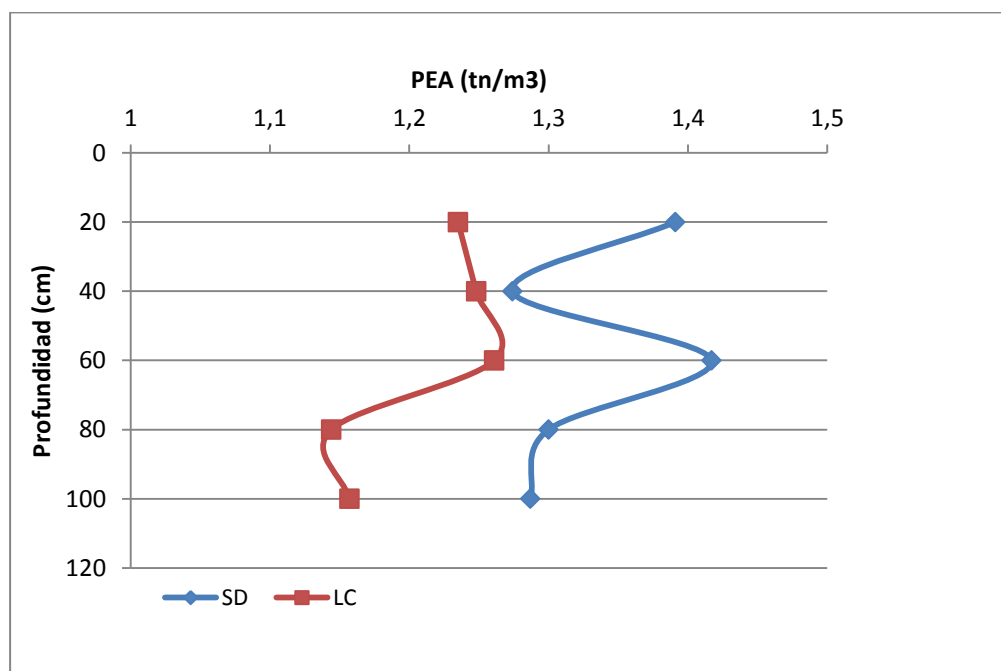


Figura 3. Peso específico aparente (PEA), por profundidad, según sistema de labranza.

En concordancia con Gerster *et al.* (1996), se aprecia una mayor densidad en los estratos superiores del sistema de labranza SD, el mismo podría estar relacionado con el tránsito de animales, según lo expresado por Taboada y Lavado (1988).

En el tratamiento LC se encontró la mayor compactación entre los 20 y 60 cm de profundidad, en tanto que el tratamiento SD tuvo un valor elevado en los primeros 20 cm y otro alrededor de los 60 cm de profundidad.

I - b) HUMEDAD DE SUELO

En el presente trabajo, se determinó el contenido hídrico del perfil en los sistemas de labranza siembra directa (SD), y labranza convencional (LC) de la pastura base alfalfa, en los bloques pastoreados con un 50 % de eficiencia de cosecha, durante el ciclo de crecimiento primavero-estival 2009 – 2010.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, durante los primeros dos muestreos 10/09/09 y 19/10/09, las condiciones de humedad de suelo fueron muy escasas, ya que la cantidad de agua útil fue cercana a cero. Es necesario resaltar que durante el mes de octubre, las precipitaciones fueron un 75 % inferiores al promedio de la zona, haciendo que los contenidos de humedad del suelo se ubicaran por debajo o muy cerca del punto de marchitez permanente (PMP), para todos los tipos de labranza.

Tabla 1. Agua útil (mm) acumulada hasta un metro de profundidad, para los diferentes tratamientos según fecha de muestreo.

TRATAMIENTO	10/09/2009	19/10/2009	21/12/2009	07/04/2010
SD	1.44 a	0.00 a	63.31 a	70.68 a
LC	0.00 a	1.34 a	43.21 a	66.62 a
DMS	18.3	16.96	53.47	73.34
CV	11.98	24.24	7.9	8.41
VALOR p	0.5	0.5	0.1314	0.6098

LC: Labranza convencional. SD: Siembra directa. DMS, diferencia mínima significativa, según test de Fisher al 5 % de probabilidad. CV: coeficiente de variación (%). Letras distintas significan diferencias significativas ($p < 0.05$).

A partir de diciembre y hasta abril, se puede evidenciar un aumento del contenido de humedad en los diferentes tratamientos debido a la recarga del perfil.

Según lo expresado por Hook y Gascho (1988), es importante probar las ventajas del sistema de siembra directa en nuestro país, en cuanto al aumento del contenido de humedad en el suelo, debido a la particularidad de los mismos. En tal sentido, en el presente estudio no se encontraron diferencias estadísticas significativas para el contenido hídrico del perfil en ningún sistema de labranza utilizado.

En la figura 4, se presentan los valores de precipitación mensual promedio (2002 – 2008) para el departamento de Río Cuarto y las precipitaciones mensuales para el establecimiento Pozo del Carril, en la campaña 2009 - 2010.

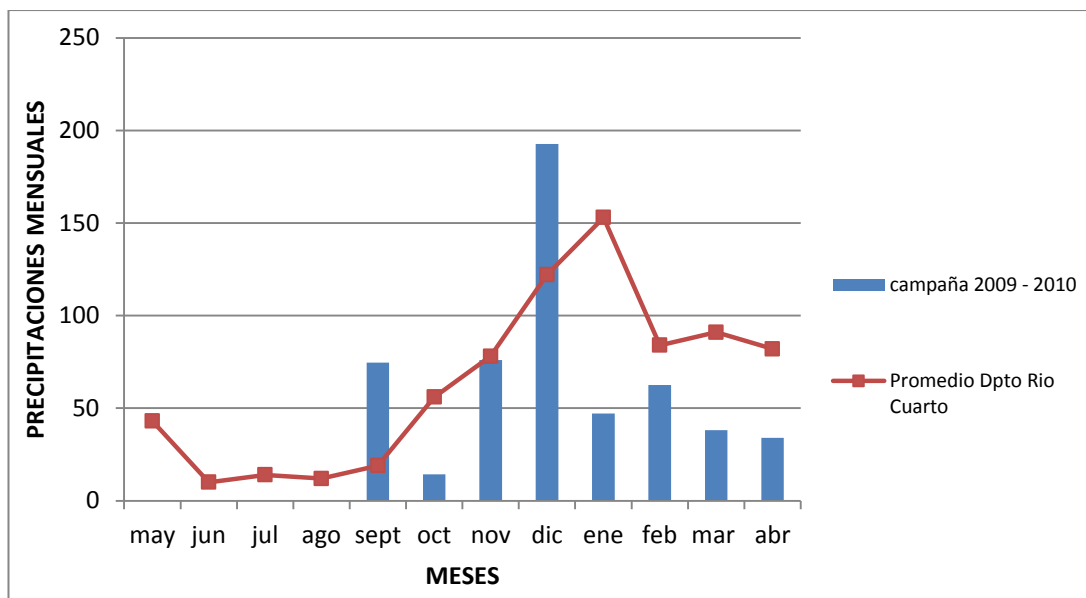


Figura 4. Promedio de precipitaciones para el Departamento de Río Cuarto (2002 – 2008), y del establecimiento Pozo del Carril durante la campaña 2009 - 2010.

Las precipitaciones normales para el departamento de Río Cuarto oscilan alrededor de los 750 mm anuales, con un régimen Monzónico, (Cátedra de Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC), durante el período de estudio (septiembre de 2009 – abril de 2010) se registraron precipitaciones por un valor de 569 mm en el campo experimental “Pozo del Carril”, mientras que el promedio del Departamento para igual período es de 684 mm, es decir un 17 % menos que el promedio del departamento para dicho período.

Es importante conocer esta diferencia a la hora de analizar los contenidos de humedad del perfil bajo los diferentes sistemas de labranza, como así también para comparar los valores de producción de materia seca de la pastura base alfalfa. A su vez la distribución de las mismas fue bastante irregular con un comienzo de primavera relativamente seco y un verano en similares condiciones, estos valores impactan en la productividad de la pastura modificando las fechas de pastoreo y las producciones anteriormente mencionadas.

II – PRODUCCION DE BIOMASA:

En el presente estudio se determinó la producción de biomasa de la pastura base alfalfa durante el ciclo de crecimiento primavero - estival 2009 - 2010, con el objetivo de detectar diferencias de producción entre sistemas de labranza.

En las Tablas 2 y 3 se presentan los valores totales de producción de forraje y la composición de cada una de las especies incluidas las malezas, discriminadas por tratamientos, para las dos fechas de muestreo, 21 de diciembre de 2009 y 07 de abril de 2010.

Tabla 2. Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) según tratamiento para el 21/12/09.

COMPONENTE	GRAMINEAS	ALFALFA	MALEZAS	TOTAL
TRATAMIENTO				
SD	245,24 a	292.21 a	108.65 a	646.14 a
LC	143.72 a	382.80 a	78.44 a	604.96 a
DMS	571.27	513.71	183.6	901.88
CV	23.12	11.98	15.45	11.35
VALOR p	0.2654	0.2672	0.284	0.6653

LC: Labranza convencional.SD: Siembra directa. DMS, diferencia mínima significativa, según test de Fisher al 5 % de probabilidad. CV: coeficiente de variación (%). Letras distintas significan diferencias significativas (p<= 0.05).

Tabla 3. Producción de forraje (Kg MS/ha) según tratamiento para el 07/04/10.

COMPONENTE	GRAMINEAS	ALFALFA	MALEZAS	TOTAL
TRATAMIENTO				
SD	98.90 a	1697.62 a	1099.85 a	2876.16 a
LC	128.52 a	1337.16 a	928.12 b	2393.80 a
DMS	544.07	4646.84	74.64	3996.35
CV	37.66	24.24	0.58	11.94
VALOR p	0.6147	0.5206	0.0218	0.3678

LC: Labranza convencional.SD: Siembra directa. DMS, diferencia mínima significativa, según test de Fisher al 5 % de probabilidad. CV: coeficiente de variación (%). Letras distintas significan diferencias significativas (p<= 0.05).

Los valores de materia seca observados en la primer fecha de muestreo hacia finales de diciembre de 2009, arrojaron valores de alrededor de 0,6 tn ms.ha⁻¹, estos, son un 65% inferiores a los descriptos por Montesano, (2003).

Esta situación podría ser explicada por las escasas precipitaciones en tal período, que determino bajas producciones en ambos sistemas de labranza.

Durante la muestra extraída el 07/04/2010 la producción total de biomasa tuvo un importante aumento con respecto al corte primaveral, y al igual que en el primer muestreo, no se detectaron diferencias significativas entre sistemas de labranza. Solo la biomasa de malezas arrojó un resultado significativamente superior en el sistema de labranza SD, al igual que lo expresado por Puricelli, y Tuesca, 2005.

Existe una brecha de tiempo importante entre cortes, debido a que durante los meses de enero, febrero y marzo, las precipitaciones fueron inferiores a lo normal y acompañadas por episodios de caída de granizo que generaron pérdida de biomasa de la pastura retrasando el momento óptimo de pastoreo.

Finalmente, se puede evaluar que no se encontró diferencia estadísticamente significativa para la producción de biomasa de la pastura base alfalfa entre los sistemas de labranza en ninguna de las fechas de muestreo analizadas. Contrariamente a lo expresado por Crovetto (1998), en este caso no se pudo encontrar que el sistema de cero labranza aumenta el rendimiento de los cultivos por una mayor disponibilidad de agua en la zona radical. Es probable que el efecto mecánico de la pezuña de animales en pastoreo, modifique algunos parámetros del sistema SD (como se presentó en los valores de PEA, ver Gráfico 1) disminuyendo la estabilidad estructural (Taboada y Lavado, 1988), como así también la cobertura superficial.

III – BALANCE HIDRICO

III – a) CALIBRACION SWB MODEL

Para determinar el balance hídrico de la pastura, se utilizó el programa de simulación del crecimiento de cultivos conocido como Soil Water Balance (Marcos, 1997; Espósito, 2002). Los valores finales de la calibración (Tabla 4) son similares a los propuestos por Collino *et al.* (2005).

Tabla 4. Parámetros fenológicos de la pastura base alfalfa.

PARAMETROS FENOLÓGICOS	
Grados día a emergencia	50
Temperatura base (°C)	5
Temperatura para la Max. Tasa de desarrollo	22,0
Max. Temp de crecimiento (°C)	30
Max. Profundidad de enraizamiento (Mts)	3
Coefficiente de extinción de la radiación	0,65
Eficiencia de uso de la transpiración (kpa)	3
Eficiencia de conversión de la radiación (g/MJ)	0,9

En los Gráficos 1 y 2 se puede apreciar el grado de correlación entre los valores observados y simulados por el SWB, para el contenido hídrico (% v/v) del suelo en las fechas 21/12/2009 y 07/04/2010 respectivamente.

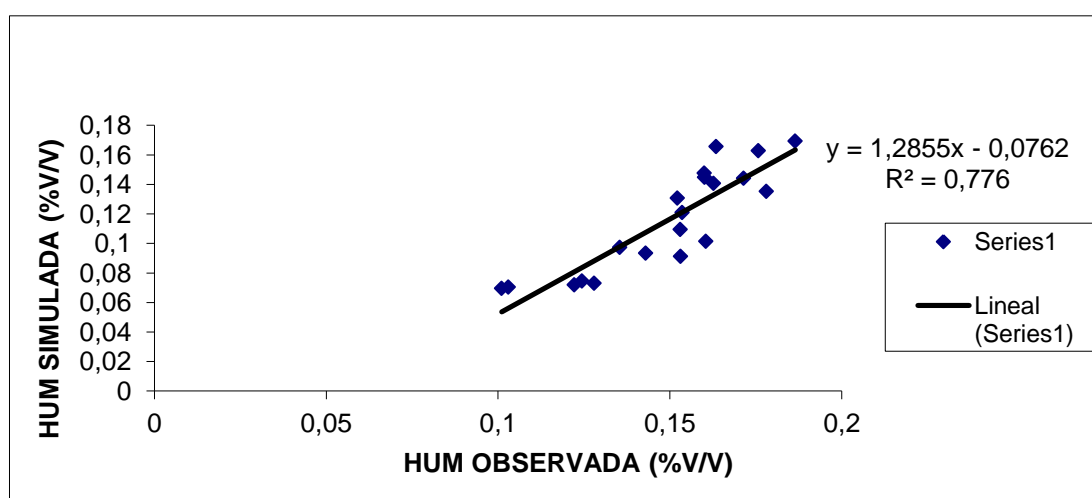


Gráfico 1. Correlación entre valores de contenido hídrico (%v/v) observados y simulados, fecha 21-12-2009. HUM: Humedad de suelo.

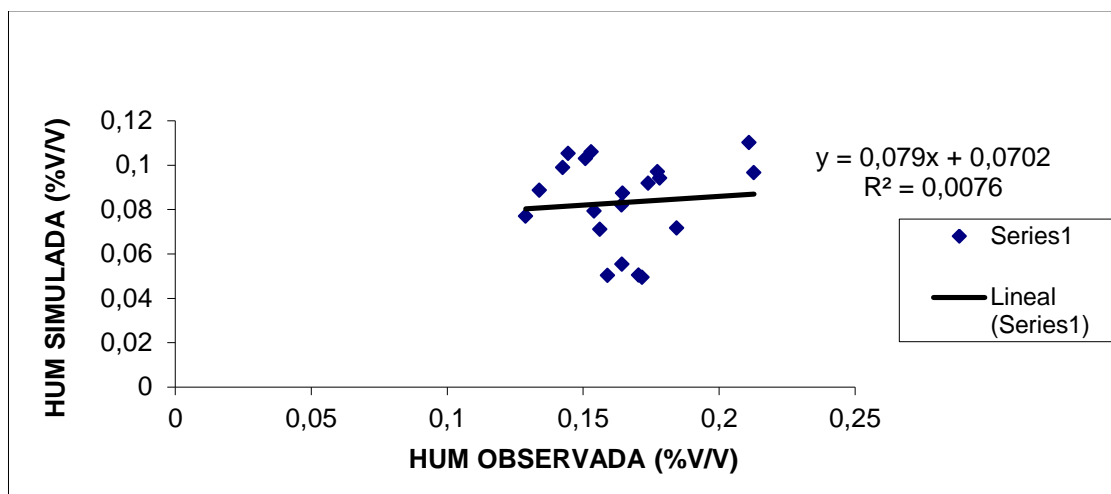


Gráfico 2. Correlación entre valores de contenido hídrico (%v/v) observados y simulados, fecha 07-04-2010. HUM: Humedad de suelo.

Como fue planteado anteriormente, la calibración del modelo se realizó mediante el ajuste de los valores de humedad del suelo y de producción de biomasa observados y simulados. En tal sentido se puede apreciar en el Gráfico 3 del 21/12/09 que el grado de correlación es elevado, no ocurriendo lo mismo para la fecha del 7/04/10 (Gráfico 4). Posiblemente las escasas y dispersas precipitaciones ocurridas durante el verano del 2010 expliquen el bajo grado de ajuste del modelo para esta fecha.

En el Gráfico 3 se puede apreciar el ajuste obtenido entre los valores observados y simulados de producción de biomasa. Como se puede apreciar, la simulación de la producción de biomasa total tuvo un alto grado de correlación con los valores observados a campo ($R^2 = 0,9211$) situación que amerita reconocer el grado de calibración de los parámetros de la pastura en el modelo de simulación.

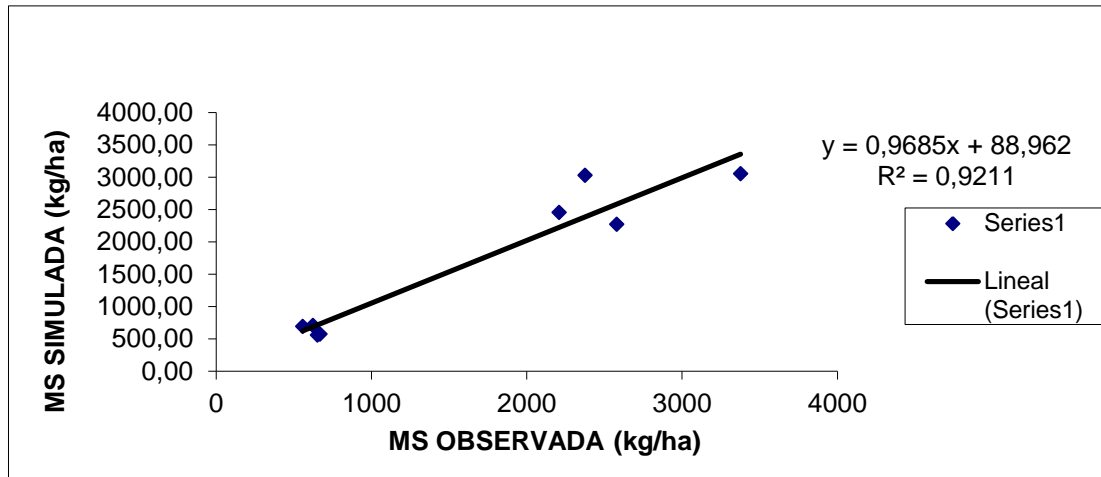


Gráfico 3. Correlación entre valores de producción de biomasa (kg MS ha⁻¹) observados y simulados. MS: Materia seca.

III – b) DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO CON EL SWB CALIBRADO.

Con el objetivo de cuantificar los principales movimientos de agua en función del sistema de labranza utilizado, se determinó el balance hídrico de la pastura cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Balance hídrico (mm) de una pastura base alfalfa bajo diferentes sistemas de labranza.

	T	E	D	DIF. PERFIL	E
SD	164.00 a	96.00 a	7.00 a	(-37.50) a	27.50 a
LC	129.00 a	103.50 b	5.10 a	(-27.60) a	47.00 a
DMS	101,64	6,35	27,95	10,16	69,88
CV	5,46	0,5	36,36	2,46	14,77
VALOR p	0,1431	0,0424	0,5465	0,0513	0,175

LC: Labranza convencional. SD: Siembra directa. DMS, diferencia mínima significativa, según test de Fisher al 5 % de probabilidad. CV: coeficiente de variación (%). Letras distintas significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). T: Transpiración, E: Evaporación, D: Drenaje, DIF PERFIL: Diferencia de almacenaje, E: Ecurrimiento.

Los diferentes parámetros que componen el balance hídrico mantienen la tendencia expresada por Yoo *et al*, (1994), aunque al ser analizados estadísticamente no se encontraron diferencias estadísticas en todos ellos a excepción de la evaporación directa del suelo.

Analizando cada uno de los parámetros en particular, la transpiración, es el parámetro que mayor cantidad de agua insumió seguido por la evaporación y el escurrimiento. Si bien los valores de transpiración fueron mayores en el sistema de SD, estos no tuvieron significancia estadística.

En concordancia con Derpsch (2008), la evaporación fue significativamente inferior en el sistema de SD, lo que en parte podría ser explicado por la mayor cobertura vegetal que este sistema mantiene con respecto a LC. La escurrimiento también tuvo un valor inferior para el sistema de SD aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Los valores de drenaje de agua en profundidad fueron bajos para ambos sistemas, debido a que no se produjeron lluvias de gran intensidad en la campaña, y tal como lo expresa Santoni (2008), el drenaje depende de las características edáficas del suelo y de las características hídricas y fisiográficas del terreno.

En concordancia con Taboada y Lavado (1988), y considerando que la evaluación se realizó sobre una pastura base alfalfa que se encontraba en su segundo año de producción, es factible suponer que los parámetros que preservan cada uno de los sistemas de labranza evaluados puedan encontrarse alterados, debido a la compactación que ejercen los animales en pastoreo. Esta situación afecta indirecta y negativamente los componentes del balance hídrico como la esorrentía a partir de la menor infiltración de agua en el perfil.

CONCLUSIONES

Durante el ciclo de crecimiento primavera – estival (2009 – 2010), la producción de biomasa de una pastura en base alfalfa fue similar en siembra directa y labranza convencional.

Si bien, las condiciones de humedad del suelo, denotaron una leve tendencia a favor del sistema de siembra directa, las mismas no se tradujeron en el balance hídrico con mayores transpiraciones que justifiquen diferencias en la producción de biomasa. El único componente del balance afectado fue la mayor evaporación de la labranza convencional, aunque las diferencias detectadas son de baja magnitud.

La presencia de animales en pastoreo produce alteraciones sobre los parámetros típicos de cada sistema de labranza unificando los resultados finales, el pisoteo de los animales causa desagregación y pérdida de estabilidad estructural en las capas superficiales del suelo, y el consumo de la cobertura superficial, causan menor infiltración y mayor escorrentía desmejorando el balance hídrico y acercando los resultados a los de un suelo removido y sin cobertura superficial como la labranza convencional.

Será necesario entonces, profundizar los estudios en relación a la residualidad de los efectos del sistema de labranza sobre el balance hídrico en rotaciones ganaderas.

LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS

Sería conveniente profundizar las investigaciones relacionadas al sistema de labranza en rotaciones agrícola-ganaderas con el fin de preservar el recurso limitante en todos los sistemas de secano: el agua.

El análisis del contenido hídrico del suelo es fundamental, como así también la secuencia de cultivos que proporcione mayor cantidad de cobertura superficial y los tipos de pastoreo que mejoren este parámetro.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BASIGALUP, D. H. 2007 a, b, c, d, e. El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 1, 3. P.: 5-24. P.:47-63.

CATEDRA DE METEOROLOGIA AGRICOLA, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.; Consultado: 12 – 6 – 2010.

CHAGAS, C. J., O. J. SANTANATOGLIA y M. CASTIGLIONI. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

CHANG, C. y C. W. LINDWAY. 1989. Comparison of the effect of long-time tillage and crop rotation on physical properties of a soil. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

COLLINO, D. J., J. L. DARDANELLI, M. J De LUCA, and R. W. RACCA. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Aust. J. Exp. Agric. 45:383-390.

COMERMA, J A. y L. B. de GUENNI, 1985. Perspectivas del uso de modelos de simulación de cultivos como un instrumento para la transferencia de agrotecnologías. Trabajo presentado en 9 Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Agosto, 25 al 30, pp. 17

CROVETTO, C. 1988. No - till development in Chequén Farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. J. Soil Water Conserv. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

CULLUM, R.F. 1993. Soil water content evaluation of tillage practices from an automated multiplexed system for measuring dielectric constant. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

DALRYMPE, A.W., S.D. MILLER, y K.J. FORNSTROM. 1993. Soil water conservation and winter wheat yield in three fallow system. J. Soil Water Conserv. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

DERPSCH, R., 2008, Critical Steps to No-till Adoption, In: No-till Farming Systems. Goddard, T., Zoebisch, M.A., Gan, Y., Ellis, W., Watson, A. and Sombatpanit, S., Eds., 2008, WASWC. p 479 – 495.

Di RIENZO, J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALES L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DIAZ ZORITA, M. 1999. Efecto de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires. Argentina. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

ESPOSITO, G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. Informe final de Tesis para optar al grado de Magister en Producción Agropecuaria, Mención Producción Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.

FOGANTE, R., D. CANOVA, M. BRAGACHINI, R. BONGIOVANI, A. MALASPINA y N. MILATICH. 1994. El cultivo de soja en siembra directa. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 8. p.; 155-163.

FOGANTE, R. 1999. La siembra directa en la Argentina: perspectivas y metas a alcanzar. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 8. p.; 155-163.

FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

GERSTER, G.R.; VIDAL, D.; GUDELJ, O.; DEBATTISTA, J.J. 1996. Análisis del efecto de las labranzas sobre el estado físico de un argiudol típico. Informe técnico N° 119. INTA EEA Marcos Juárez. pp 15.

HERNANDEZ, N., F. SOTO y A. CABALLERO. 2009. Cultivos Tropicales, vol. 30, no. 1, pp. 73-82

HILL, R.L., R. HORTON, y R.M. CRUSE. 1985. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

HOBBS, R.J. and L.F. HUNNEKE, 1992. Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology* 6: 324-337.

HOOK, J.E., and G.J. GASCHO. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. p. 7-20. In Hagrofe, W.L. (ed.) *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen*. ASA Special Publication Number 51. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

KLOSTER, A. M., N. J. LATIMORI, M. A. AMIGONE y C. GHIDA DAZA. 2003. Invernada de alta producción sobre pasturas base alfalfa. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). *El cultivo de alfalfa en Argentina*. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

LAFOND, G. P., D. A. DERKSEN, H. A. LOEPPKY, y D. STRUTHERS. 1994. An agronomic evaluation of conservation - tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *J. Soil Water Conserv.* En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

MARCOS, J. 1997. *Corn production under dryland conditions in eastern Washington*, Thesis master of science in soils, Washington state university. 114 pp.

MAHBOUBI, A. A., R. LAL y H. R. FAUSSEY. 1993. Twenty eight years of tillage, effects on two soils in Ohio. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). *Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo*. INIA, Chillán, Chile.

MARELLI, H. y J. ARCE. 1999. Management of alfalfa based mixed pastures in Northern Rippled Pampa, Argentina. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

MORTIMER, A.M. and J.E. HILL, 1999. Weed species shifts in response to broad spectrum herbicides in sub-tropical and tropical crops. In: Proceedings 1999 Brighton Crop Protection Conference Weeds, Brighton, UK, pp. 425-436.

PAGLIARICCI, H., A. OHANIAN, R. FANTINO y C. SAROFF, 1987. Producción, distribución estacional e intervalo entre pastoreos en pasturas consociadas. II Jornadas Científico-Técnicas de la Fac. de Agron. y Vet. UNRC. Acta de Resúmenes pp. 53.

PAGLIARICCI, H., D. GRIVEL, D. ROSSI, A. OHANIAN, T. PEREYRA. 1997. Productividad de una pastura consociada base alfalfa con 3 niveles de carga. 9na. Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina, pp 326-328.

PURICELLI, E. y D. TUESCA, 2005. Efecto del sistema de labranza sobre la dinámica de la comunidad de malezas en trigo y en barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato. AGRISCIENTIA, 2005, VOL. XXII (2): 69-78.

PIDELLO, A., E. B. R. PEROTTI, G. F. CHAPO, y L. T. MENDEZ. 1995. Materia orgánica, actividad microbiana y potencial redox en dos Argiudoles típicos bajo labranza convencional y siembra directa. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

PILLATTI, M. A., J. A. DE ORELLANA, L. J. PRIANO, O. FELLI y D. GRENON. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol en el Sur de Santa Fe. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

PRIESTLY, C. and R. TAYLOR 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Weather Rev. 100, 81-92.

RADOSEVICH, S.R. and J.S. HOLT, 1984. Weed Ecology. Implication for Vegetation Management Wiley, J. and Sons (Eds.), New York. 265 pp.

ROCCA da CUNHA G., FALEIRO de PAULA J.R., BERGAMASCHI H., de SAIBO J.C. e M.A. BERLATO 1994. Evapotranspiração e eficiencia no uso da água em alfalfa. Rev. Bras. Agrometeorol. vol. 2:23-27.

ROMERO, N. A., E. A. COMERON y E. USTARROZ. 1995 a, b. Crecimiento y utilización de la alfalfa. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

ROSSAGINO, R. O. y J. R. ARAGON. 2003. Invernada bovina en zonas mixtas. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

SAINZ ROZAS, H., H. E. ECHEVERRIA, G.A. STUDDERT, y F.H ANDRADE. 1997. Efecto de la ureasa (nBTPT) y del momento de fertilización sobre las transformaciones del nitrógeno en el suelo bajo siembra directa de maíz.

SALUSO J. 2007. Informe meteorológico. Síntesis anual 2006. http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/meteorologia/inf_mensual/2006/anual.htm. Consultado: 29-03-2009.

SANTONI, C., E. G. JOBBÁGY., V. MARCHESINI Y S. CONTRERAS. 2008. Diferentes usos del suelo: consecuencias sobre el balance hídrico y drenaje profundo en zonas semiáridas. En: XXI Congreso Argentino de la ciencia de suelo 2008, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. p: 5-12.

SCHENEITER, J. O. y O. BERTIN. 1996. Meclas forrajeras para la Región Pampeana húmeda. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

SHEPTUKHOV, V.N., A.V. NESTEROVA, S.N. KONOVALOV, y E.B. SKVORTSAOVA. 1997. The effect of different tillage systems on the water regime, structure, and hydrophysical properties of soddy - Podzolic soils. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

SILENZI, J. C., N. ECHEVERRIA y T. GROSSI. 1996. Efecto del cincelado sobre las propiedades físicas del suelo con piso de arado y la producción forrajera de avena. Actas. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. Buenos Aires, Argentina. En: URIBE, H. y J. L. ROUANET. (eds.). Efectos de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. INIA, Chillán, Chile.

TABOADA M.A., LAVADO R. S. 1988. Grazing effects of the bulk density in a Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. *Journal of Range Management* 41, 502 - 505.

TANNER, C. and T. SINCLAIR 1983. Efficient water use in crop production: Research or Reasearch?. In: Limitations to efficient water use in crop production, 1-27 H. M. Taylor Eds. Pub by ASA, CSSA and SSSA. Madison.

USTARROZ, E., A. M. KLOSTER, N. J. LATIMORI, M. ZANIBONI y D. MENDEZ. 1997. Intensificación de la invernada sobre pasturas base alfalfa. En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

YOO, K.H., J.H. DANE, y B.C. MISSILDINE. 1994 a y b. Conservation tillage improves soil moisture. Agricultural Experiment Station of Auburn University, Auburn, Alabama, USA. Highlights Agric. En: FONTANETTO, H., O. KELLER, S. GUAITA y F. TOMASSONE. 2008. El “rejuvenecimiento” de pasturas degradadas de alfalfa. E.E.A. INTA Rafaela.

ZUBIZARRETA, J. 1999. Eficiencia de utilización de pasturas coasociadas. (Experiencia de los grupos CREA). En: BASIGALUP, D. H. (ed.). El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, B. Aires, Argentina. Cap: 13. p.; 279-297.

ANEXO I

TABLAS

Tabla 1. Humedad gravimétrica, volumétrica y agua disponible para los diferentes tratamientos, fecha de muestreo: 10-09-2009.

10/09/2009						
	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD (cm)	HUM GRAVIMETRICA (%)	HUM VOLUMETRICA (%)	AGUADISP (mm)	
BLOQUE I	SD	20	0.07	0.10	0	
		40	0.07	0.08	0	
		60	0.07	0.10	1.63	
		80	0.07	0.09	1.07	
		100	0.07	0.09	0.17	
		TOTAL			2.88	
	LC	20	0.05	0.06	0	
		40	0.06	0.08	0	
		60	0.06	0.08	0	
		80	0.06	0.07	0	
		100	0.06	0.07	0	
		TOTAL			0	
	BLOQUE II	SD	20	0.06	0.08	0
			40	0.06	0.08	0
60			0.06	0.08	0	
80			0.06	0.08	0	
100			0.06	0.08	0	
TOTAL					0	
LC		20	0.06	0.07	0	
		40	0.06	0.08	0	
		60	0.06	0.08	0	
		80	0.07	0.08	0	
		100	0.07	0.08	0	
		TOTAL			0	

SD: Siembra directa, LC: Labranza convencional.

Tabla 2. Humedad gravimétrica, volumétrica y agua disponible para los diferentes tratamientos, fecha de muestreo: 19-10-2009.

19/10/2009					
	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD (cm)	HUM GRAVIMETRICA (%)	HUM VOLUMETRICA (%)	AGUA DISP (mm)
BLOQUE I	SD	20	0.06	0.09	0
		40	0.06	0.08	0
		60	0.06	0.09	0
		80	0.06	0.08	0
		100	0.07	0.09	0
		TOTAL			0
	LC	20	0.06	0.07	0
		40	0.05	0.07	0
		60	0.05	0.06	0
		80	0.06	0.06	0
		100	0.06	0.07	0
TOTAL				0	
BLOQUE II	SD	20	0.06	0.08	0
		40	0.06	0.07	0
		60	0.05	0.08	0
		80	0.05	0.07	0
		100	0.05	0.07	0
		TOTAL			0
	LC	20	0.08	0.10	2.67
		40	0.06	0.08	0
		60	0.06	0.07	0
		80	0.05	0.06	0
		100	0.06	0.06	0
TOTAL				2.67	

SD: Siembra directa, LC: Labranza convencional.

Tabla 3. Humedad gravimétrica, volumétrica y agua disponible para los diferentes tratamientos, fecha de muestreo: 21-12-2009.

21/12/2009						
	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD (cm)	HUM GRAVIMETRICA (%)	HUM VOLUMETRICA (%)	AGUA DISP (mm)	
BLOQUE I	SD	20	0.12	0.17	13.63	
		40	0.12	0.16	12.04	
		60	0.12	0.17	17.00	
		80	0.12	0.16	13.32	
		100	0.11	0.15	11.15	
		TOTAL			67.16	
	LC	20	0.12	0.16	14.36	
		40	0.13	0.16	13.13	
		60	0.12	0.15	11.15	
		80	0.10	0.12	5.82	
		100	0.11	0.12	6.78	
		TOTAL			51.27	
	BLOQUE II	SD	20	0.13	0.18	15.77
			40	0.13	0.16	12.73
60			0.12	0.17	15.69	
80			0.11	0.14	9.82	
100			0.09	0.12	5.42	
TOTAL					59.45	
LC		20	0.12	0.15	12.77	
		40	0.12	0.15	11.32	
		60	0.10	0.13	7.62	
		80	0.09	0.10	1.99	
		100	0.08	0.10	1.41	
		TOTAL			35.14	

SD: Siembra directa, LC: Labranza convencional

Tabla 4. Humedad gravimétrica, volumétrica y agua disponible para los diferentes tratamientos, fecha de muestreo: 10-04-2010.

07/04/2010					
	TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD (cm)	HUM GRAVIMETRICA (%)	HUM VOLUMETRICA (%)	AGUA DISP (mm)
BLOQUE I	SD	20	0.15	0.21	21.04
		40	0.12	0.15	11.84
		60	0.12	0.17	17.03
		80	0.11	0.15	11.82
		100	0.11	0.14	9.42
		TOTAL			71.17
	LC	20	0.14	0.17	17.81
		40	0.13	0.17	14.92
		60	0.13	0.16	13.44
		80	0.11	0.13	8.18
		100	0.11	0.12	6.96
		TOTAL			61.34
BLOQUE II	SD	20	0.15	0.21	20.67
		40	0.13	0.16	12.89
		60	0.12	0.17	16.17
		80	0.11	0.15	11.39
		100	0.11	0.14	9.04
		TOTAL			70.19
	LC	20	0.14	0.18	19.21
		40	0.13	0.17	14.66
		60	0.13	0.16	13.37
		80	0.13	0.15	12.21
		100	0.13	0.15	12.42
		TOTAL			71.90

SD: Siembra directa, LC: Labranza convencional.

Tabla 5. Peso específico aparente (PEA) en TN/m³ por profundidad, según sistema de labranza.

Profundidad (cm)	PEA SD (TN/m ³)	PEA LC(TN/m ³)
20	1.39	1.23
40	1.27	1.24
60	1.41	1.26
80	1.3	1.14
100	1.28	1.15

Tabla 6. Materia seca total y por componente de una pastura base alfalfa en dos fechas de muestreo expresado en Kg/ha.

21/12/2009					
BLOQUE	TRATAMIENTO	ALFALFA	GRAMINEAS	MALEZAS	TOTAL (KG/HA)
B I	SD	267.3	230.4	125.42	623.12
	LC	398.32	173.84	80.76	652.92
B II	SD	317.12	260.08	91.88	669.16
	LC	367.28	113.6	76.12	557
07/04/2010					
BLOQUE	TRATAMIENTO	ALFALFA	GRAMINEAS	MALEZAS	TOTAL (KG/HA)
B I	SD	1295.16	130.08	950.28	2375.52
	LC	1318.12	116.88	772.68	2207.68
B II	SD	2064.67	67.72	1249.41	3376.8
	LC	1356.2	140.16	1083.56	2579.92

Tabla 7. Contenido de humedad (% V/V) observado y simulado para las diferentes fechas de muestreo.

	PROF	HUMEDAD			
		OBS 21/12	SIM 21/12	OBS 7/4	SIM 7/4
SD I	20	0.17	0.16	0.21	0.09
	40	0.16	0.14	0.15	0.05
	60	0.17	0.13	0.17	0.09
	80	0.16	0.10	0.15	0.10
	100	0.15	0.09	0.14	0.10
SD II	20	0.18	0.16	0.21	0.11
	40	0.16	0.16	0.16	0.05
	60	0.17	0.14	0.17	0.09
	80	0.14	0.09	0.15	0.10
	100	0.12	0.07	0.14	0.09
LC I	20	0.16	0.14	0.17	0.09
	40	0.16	0.14	0.17	0.04
	60	0.15	0.10	0.16	0.08
	80	0.12	0.07	0.13	0.08
	100	0.12	0.07	0.12	0.07
LC II	20	0.15	0.13	0.18	0.07
	40	0.15	0.12	0.17	0.05
	60	0.13	0.09	0.16	0.08
	80	0.10	0.07	0.15	0.07
	100	0.10	0.06	0.15	0.07

Tabla 8. Simulación de contenido de materia seca de una pastura base alfalfa bajo diferentes sistemas de labranza.

TRATAMIENTO	MATERIA SECA		
	FECHA	OBS	SIM
SD I	21-Dic	623.12	708.00
SD II	21-Dic	669.16	573.00
LC I	21-Dic	652.92	560.00
LC II	21-Dic	557	694.00
SD I	07-Abr	2375.52	3029.00
SD II	07-Abr	3376.8	3052.00
LC I	07-Abr	2207.68	2457.00
LC II	07-Abr	2579.92	2270.00

Tabla 9. Balance hídrico de una pastura base alfalfa bajo diferentes sistemas de labranza.

	SD I	SD II	LC I	LC II
Lluvia (mm)	257	257	257	257
Transpiración (mm)	162	166	135	123
Evaporación (mm)	95	97	103	104
Drenaje (mm)	8.3	5.7	4.2	6.0
Diferencia perfil hídrico (mm)	-37.3	-37.7	-28.2	-27.0
Escurrecimiento (mm)	29	26	43	51