

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

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

**EFECTO DE LA CARGA ANIMAL Y HUMEDAD EDAFICA  
SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROFISICO DE UN SUELO  
FRANCO ARENOSO DEL CENTRO-SUR DE CÓRDOBA.**

**Alumno: CABRERA SOLEDAD**

**D.N.I: 29.261.035**

**Director: ING. AGR. CARMEN CHOLAKY**

**Co-Director: LIC. CECILIA SAROFF**

**Río Cuarto – Córdoba**

**Abril./2007**

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

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

**Título del Trabajo Final:** *“Efecto de la carga animal y humedad edáfica sobre el comportamiento hidrofísico de un suelo franco arenoso del centro-sur de Córdoba”.*

**Autor:** Flavia, Soledad Cabrera  
**DNI:** 29.261.035

**Director:** Ing. Agrónomo Carmen Cholaky  
**Co-Director:** Lic. Cecilia Saroff

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:**

**Ing. Agr. Hampp Eugenio** \_\_\_\_\_

**Ing. Agr. Bricchi Estela** \_\_\_\_\_

**Ing. Agr. González Sergio** \_\_\_\_\_

**Fecha de Presentación:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

**Secretario Académico**

## **DEDICATORIAS**

*A mis padres, Norma Caballero y Luis Cabrera, mis hermanas, Paola y Rosina, mis sobrinos, Julián y Luciano y a mi esposo "Pita".*

*Gracias por todo el aguante y el cariño que me regalan cada día.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Especialmente a Carmen Cholaky, por su paciencia y dedicación y a Cecilia Saroff. Además quisiera agradecer a los profesores de la cátedra de Producción de forrajes, Juan Castro y Mario Yanke, y a Eugenio Hampp por su colaboración y buena predisposición para la realización de esta tesina.*

## INDICE GENERAL

<b>I-</b>	Resumen.....	VII
<b>II-</b>	Summary.....	IX
<b>III-</b>	Introducción .....	11
	3.1 Planteo del problema.....	11
	3.2 Antecedentes .....	13
	3.3 Hipótesis .....	15
	3.4 Objetivos .....	16
	3.4.1 Objetivo general.....	16
	3.4.2 Objetivos específicos.....	16
<b>IV-</b>	Materiales y métodos.....	18
	4.1 Área de estudio .....	18
	4.1.1 Caracterización de relieve y suelo regional .....	18
	4.1.2 Caracterización de relieve y suelo del área bajo estudio.....	19
	4.1.3 Características climáticas del área en estudio.....	20
	4.2 Tratamientos.....	21
	4.3 Planteo del ensayo.....	23
	4.3.1 Siembra .....	23
	4.3.2 Sistema de pastoreo .....	23
	4.3.3 Procedimiento para la asignación del forraje .....	24
	4.4 Variables analizadas .....	24
	4.4.1 Caracterización del suelo .....	24
	4.4.2 Evaluación de los tratamientos .....	25
	4.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
<b>V-</b>	Resultados .....	29
	5.1 Densidad aparente, Compactación relativa y Porosidad total .....	29
	5.1.1 Densidad aparente .....	29
	5.1.2 Compactación relativa .....	31
	5.1.3 Porosidad total. ....	32
	5.2 Velocidad de infiltración.....	33
<b>VI-</b>	Conclusiones .....	37
<b>VII-</b>	Recomendaciones.....	39

<b>VIII</b> Bibliografía .....	41
<b>IX-</b> Anexos .....	45
9.1 Anexo 1 .....	46
9.1.1 Densidad aparente, Compactación relativa y porosidad total. ....	46
9.1.2 Velocidad de infiltración.....	47
9.2 Anexo 2 .....	49
8.2.1 Resultados del análisis estadístico ANOVA .....	49
9.3 Anexo 3 .....	51
9.3.1 Características del suelo bajo estudio. ....	51
9.3.1.1 Descripción del perfil típico.....	51
9.3.1.2 Datos analíticos del perfil.....	51
9.4 Anexo 4 .....	52
9.4.1 Resultados del ensayo de Compactación máxima: Proctor:.....	52

## INDICE DE GRÁFICO

- **Gráfico 1: Precipitaciones medias mensuales** Período 1994 - 2003 y durante 2004, registradas en la estación experimental “Pozo del Carril”, La Aguada, Córdoba.....20
- **Gráfico 2: Precipitaciones y temperaturas medias mensuales ocurridas durante 2004**, registradas en la estación experimental “Pozo del Carril”, La Aguada, Córdoba.....21
- **Gráfico 3: Variación de la Densidad Aparente en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo, para el espesor de 0-5 cm.....**29
- **Gráfico 4: Variación de la Densidad Aparente en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo, para el espesor de 5-10 cm.....**30
- **Gráfico 5: Variación de la Velocidad de Infiltración Inicial en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo.....** 33
- **Gráfico 6: Variación de la Velocidad de Infiltración Final en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo.....**34

## INDICE DE CUADROS

- Cuadro 1: Superficie ( $m^2$ ) y carga animal instantánea ( $Kg PV/m^2$ ) establecida para cada tratamiento. .... 23
- Cuadro 2: Procedimiento para determinar las dimensiones de las subparcelas.....24
- Cuadro 3: Valores de densidad aparente en los diferentes tratamientos de pastoreo y humedad edáfica, en la profundidad de 0-5 cm. ....31
- Cuadro 4: Valores de densidad aparente en los diferentes tratamientos de pastoreo y humedad edáfica, en la profundidad de 5-10 cm:.....31
- Cuadro 5: Ecuaciones de velocidad de infiltración y lámina infiltrada ajustadas según Kostiacov, en función de las asignaciones y la humedad edáfica al momento del pastoreo. .... 35

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Esquema simplificado de la distribución del ensayo en el campo experimental de la U.N.R.C. .... 22

## ***I RESUMEN***

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto del pisoteo animal sobre un suelo Hapludol éntico implantado con "*Triticosecale* Wittmack", mediante un sistema de pastoreo rotativo, con cuatro niveles de carga animal que respondieron a cuatro niveles de asignación de forraje (2, 4, 6 y 8 Kg materia seca cada 100 Kg de peso vivo animal por día), en distintas condiciones de humedad edáfica. El ensayo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en el paraje La Aguada, bajo un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, en el cual fueron evaluadas la humedad edáfica durante el pastoreo, la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad y la velocidad de infiltración del agua en el perfil. A pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticamente significativas, se observaron tendencias en los resultados que muestran un aumento en la densidad aparente del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, siendo esto más acentuado en los primeros 5 cm; y una disminución en la velocidad de infiltración inicial y final. En ambas variables se observó que el mayor contenido de humedad edáfica al momento del pastoreo incrementó estos efectos sobre el perfil del suelo.

**Palabras claves:** asignación de forraje, pisoteo animal, humedad edáfica, densidad aparente, velocidad de infiltración.

## ***II SUMMARY***

## SUMMARY

The current investigation has tested the impact of the animal trampling on a particular soil Hapludol éntico implanted with *Triticosecale wittmack*. The testing required the use of a rotational stocking methods, and four different groups of animals that responded to four different levels of forage allowance ( 2, 4, 6 and 8 kg of dry mater each 100 kg of alive animal weight a day), under varied conditions of soil moisture. The test, which was carried out in the experimental site of the Agronomy and Veterinary Faculty of Rio Cuarto National University situated in the so-called site La Aguada, examined the soil moisture during the animal grassing, the apparent density in the first 10 cm of depth and the velocity of water infiltration in the soil profile. Despite not having found significant statistical differences, some results showed some increase in the apparent density of the soil in the first 5 cm, and a reduction in the velocity of the initial and final infiltration. In both variables it was observed that the highest level of soil moisture during the grassing increased the above effects on the soil profile.

**Key words:** forage allowance, animal trampling, soil moisture, apparent density, infiltration velocity.

### ***III INTRODUCCION***

## INTRODUCCIÓN

### 3.1 PLANTEO DEL PROBLEMA.

Argentina es un país reconocido en el mundo por el uso generalizado de un sistema de alimentación del ganado en base al pastoreo directo de praderas permanentes y temporarias. La alimentación del ganado mediante los forrajes frescos, requiere de una planificación forrajera que asegure durante todo el ciclo productivo una cantidad de alimento adecuada a los requerimientos de los animales.

Los cereales forrajeros de invierno representan un recurso de forraje muy importante en las zonas de las regiones semiáridas o áridas para satisfacer la demanda animal durante el invierno cuando las praderas permanentes presentan su menor aporte de forraje (Amigone y Closter, 2003). Debido a que los cereales forrajeros de invierno tienen un período de utilización relativamente corto, con un costo de implantación elevado, es necesario hacer un uso eficiente de los mismos (Latimori *et al.*, 1999).

Villamil *et al.* (1997) sostienen que el impacto del hombre sobre el medio ambiente, y más específicamente las consecuencias de su accionar sobre los suelos, han sido intensamente investigado en áreas agrícolas. Sin embargo, a pesar de ser universalmente aceptado que el pastoreo excesivo es causa de degradación, se carece de información que permita cuantificar el efecto que las actividades antrópicas tiene sobre las propiedades y características de aquellos suelos destinados al pastoreo.

El pisoteo del ganado afecta directamente la capa superficial del suelo debido a la presión ejercida por la pezuña del animal sobre la superficie, esto causa un aumento en la densidad aparente, disminución de la porosidad, y las consecuencias se traducen en una disminución en la infiltración del agua lo cual favorece al riesgo de erosión por escorrentías (Villamil *et al.*, 2000) y en una mayor dificultad de las especies forrajeras para lograr su desarrollo. De acuerdo a lo planteado por Abaye *et al.* (1997), este disturbio varía según la especie y el peso del animal, el tiempo de permanencia y la cantidad de animales en el área pastoreada, el tipo de suelo y el estado hídrico del mismo.

Cisneros *et al.* (2000), evaluaron el efecto de diferentes cargas animales sobre el suelo de un pastizal natural representativo de la Sierra de Comechingones y luego de cuatro años observaron una leve tendencia al incremento de la densidad aparente superficial, sin haber diferencias en la resistencia a la penetración y en el coeficiente de escurrimiento de agua. Por su parte, Puricelli *et al.* (1998) y Silva *et al.* (2000) plantean que el efecto del pisoteo vacuno sobre la porosidad total causa deterioros estructurales en los primeros 8 cm. de suelo.

Moreno *et al.* (1997) en una pastura consociada evaluaron la influencia de la presión de

pastoreo sobre la condición física de un suelo Hapludol típico franco arenoso. Estos autores concluyen que tanto la densidad aparente como la resistencia mecánica son indicadores adecuados para cuantificar las condiciones físicas del suelo afectado por la carga animal.

Pastoreos en suelos con bajos contenidos hídricos normalmente no provocan compactación superficial. A medida que la humedad se incrementa, el impacto de la pezuña causa deformación superficial del suelo, y por ello, compactación. Como resultado de esto, el horizonte superficial disminuye su porosidad, aumenta su densidad aparente y presentan una menor aireación e infiltración (Lavado, 1992).

Otro factor que incide es el sistema de pastoreo y la carga animal. En este sentido, existe coincidencia entre diversos autores en que el daño se incrementa con cargas animales muy altas y continuas todo el año (Lavado, 1992). Este mismo autor sostiene que con respecto al pastoreo rotativo existen divergencias en cuanto a su efecto sobre el suelo, aunque se haya demostrado que no hay diferencias significativas entre una situación no pastoreada por varios años y otra sometida a pastoreo rotativo. Descansos periódicos contribuye a que el suelo recupere su porosidad cuando la matriz edáfica posee la capacidad de autoestructuración al modificar su volumen ante variaciones de humedad.

### 3.2 ANTECEDENTES

Los cereales forrajeros invernales son incluidos en las cadenas forrajeras como complemento de las pasturas permanentes para ofrecer una disponibilidad de forraje continua durante el año y en especial durante el periodo invernal (Latimori *et al.*, 1999).

El suelo es la base en la cual se apoyan todas las actividades del hombre, siendo éste, el principal receptor de los impactos producidos por éstas, entre ellos el del pisoteo animal, pudiendo generar un deterioro progresivo del mismo, un aumento en la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica y la modificación de las propiedades físicas y químicas (Semple, 1974; Thurow, 1991).

El mayor problema de los suelos dedicados a las pasturas con manejos inadecuados es que con el tiempo de uso pierden su estructura favorable y forman costras superficiales debido a que los agregados pierden su estabilidad, (Silva *et al.*, 2000). Los mismos procesos que contribuyen a la formación de costras superficiales, permiten la formación de capas compactas que sufren generalmente un aumento en la densidad del suelo, que puede afectar el proceso de aireación, penetración de raíces, capacidad de absorción de agua y su retención en el suelo, provocando una disminución en los rendimientos.

Lavado (1992) plantea que cuando el pastoreo se realiza a elevado contenido hídrico del suelo, debido a la gran pérdida en resistencia superficial, la superficie cede ante el impacto de la pezuña animal y se forman profundas huellas. El tránsito repetido de los animales en estas condiciones determina que la estabilidad del suelo se debilite y sufra amasado y remoldeado.

Muslera y Ratera (1991) explican que el pisoteo afecta a la pradera debido a la acción del animal sobre la planta y sobre el suelo. Afecta directamente a la planta provocando daños mecánicos a sus órganos aéreos, pudiendo destruir los puntos de crecimientos, en algunas especies, perjudicando y retrasando el rebrote. Ocasiona cambios estructurales en las capas superficiales del suelo, modificando la densidad, porosidad y friabilidad del terreno. Como es allí donde se desarrolla la mayor parte de la actividad nutricional de la planta, estos cambios perjudican su desarrollo. El deterioro de la estructura del suelo supone una aireación menor, más dificultades para el crecimiento de las raíces, menor capacidad de retención de agua y mayor dificultad para el desarrollo de una fauna beneficiosa.

En cuanto a los factores del suelo que condicionan a la compactación producida por el pisoteo, el estado de humedad del perfil es de relevancia. Cuando el contenido hídrico del suelo es elevado, el impacto de la pezuña suele provocar la disminución volumétrica y la deformación de la superficie del suelo según explica Martín *et al.* (1998). Ello suele derivar en una disminución de la porosidad y por lo tanto en el ingreso de agua en el perfil.

El estado de la vegetación al momento del pisoteo también surge como variable a

considerar. Muslera y Ratera (1991), afirman que en las praderas poco densas, con menor cobertura, el perjuicio es mayor que en praderas densas. Las praderas permanentes o naturales que llevan varios años en el terreno y han desarrollado un sistema radicular denso y un suelo compactado, toleran mejor el pastoreo que las praderas de corta duración que no han llegado a formar esta estructura en la capa superior del suelo.

Puricelli *et al.* (1998) sostienen que el pastoreo rotativo supone altas cargas animales sobre un potrero durante un periodo de tiempo muy corto. Plantean también que los defensores de este sistema de manejo le atribuyen producir mejoras sobre la vegetación y producción de carne y aún sobre el suelo, como por ejemplo, la disminución de la compactación superficial y por lo tanto mejora la infiltración inicial.

Para eficientizar el uso del forraje en producción de carne, resulta conveniente manejar la asignación, entendiéndose por ésta a la cantidad de forraje que tiene disponible diariamente un animal con relación a su peso vivo, (Méndez y Davies, 2004), lo que se logra variando el número de animales por unidad de superficie.

### 3.3 HIPÓTESIS

- Cuanto mayor es la carga animal sobre un suelo franco arenoso, mayor es la compactación superficial y menor es la velocidad de infiltración de agua al perfil.
- Elevados contenidos hídricos del suelo afectan negativamente la densidad del suelo y la infiltración del agua ante la presencia del pisoteo animal.

### 3.4 OBJETIVOS

#### 3.4.1 Objetivo general:

- Evaluar el efecto de la carga animal y de la humedad edáfica sobre el comportamiento hidrofísico de un suelo franco arenoso del centro - sur de Córdoba.

#### 3.4.2 Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la carga animal y de la humedad edáfica sobre:
  - ◇ el grado de compactación relativa de la capa superficial del suelo.
  - ◇ la porosidad total.
  - ◇ la velocidad de infiltración de agua al suelo.

***IV MATERIALES Y  
METODOS***

## 4-MATERIALES Y METODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO:

El presente estudio se desarrolló en el Campo de Docencia y Experimentación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, "Pozo del Carril", ubicado en cercanías del paraje La Aguada, pedanía de San Bartolomé, Provincia de Córdoba, Argentina a los 25° 55` LS y 44° 41` LO, y a 550 msnm.

La Aguada se encuentra a una distancia de 50 Km al oeste de la ciudad de Río Cuarto y a 10 Km al este de las Sierras Comechingones.

#### 4.1.1 Características de relieve y suelo regional

El área pedemontana del sur de la provincia de Córdoba se caracteriza por presentar un relieve muy complejo de moderado a fuertemente ondulado, formado por pendientes asociadas cuyo modelado es el resultado de la erosión hídrica y de la instalación de un sistema fluvial en un estadio muy juvenil de desarrollo. De acuerdo a los estudios realizados por Cantú (1998) la pendiente principal está definida por un bloque tectónico basculado hacia el sur, y cortada por un sistema de cárcavas y surcos de rumbo meridiano a sub-meridiano que determinan un conjunto de lomadas, extremadamente largas entre 3.000 y 6.000 m de largo con un gradiente del 2 al 3 %. Las pendientes locales que bajan desde el Este, Sureste, Oeste y Suroeste, hacia los sistemas de drenaje paralelo son algo más cortas, entre 1.200 y 1.800 m pero tienen gradientes que pueden alcanzar en algunos casos el 7 %.

En este complejo relieve afloran sedimentos de tipo loésico sobre los que se desarrollan Hapludoles con diverso grado de desarrollo. Los suelos más evolucionados se desarrollan sobre materiales loésicos, limo-arenosos muy finos de la Formación La Invernada del Pleistoceno Superior tardío (Cantú, 1992), en posiciones de media loma baja o pie de loma y se caracterizan por presentar claros rasgos de eluviación y un enriquecimiento de arcilla en el horizonte Bw con el desarrollo de una estructura en prismas compuestos (Becker y Schiavo, 1997). Arealmente estos suelos están restringidos ya que la mayor parte del pedemonte está cubierto en disposición mantiforme por los sedimentos loésicos arena limosos muy finos de la Formación Laguna Oscura del Holoceno Medio a Alto (Cantú, 1998). En estos últimos sedimentos se desarrollan los suelos dominantes del área pedemontana que se ubican en zonas de pendientes fuertes a moderadas y se caracterizan por ser poco profundos, de bajo a moderado grado de desarrollo, bajo contenido de materia orgánica y arcilla, estructura en bloques angulares y sub-angulares, permeabilidad moderada y bien drenados a algo excesivamente drenados.

El clima de la región, según los datos del Servicio Meteorológico Nacional “Estación Las Higueras” y Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, varía desde un templado sub-húmedo con estación seca muy marcada para el sector que rodea a la ciudad de Río Cuarto a templado húmedo hacia el cordón serrano con estación seca muy marcada de acuerdo a los registros de la Estación Meteorológica Los Chañares ubicada en el sector serrano. El régimen de temperatura es de tipo mesotermal.

La región pedemontana del sur de la provincia de Córdoba pertenecía a un inmenso latifundio ganadero hasta mediados del siglo XX (Cantú *et al.*, 1998), cuando se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernal (trigo, lino, avena y centeno). Posteriormente se incorpora el maíz que paulatinamente desplaza los cultivos de invierno; en la década del 60 se introduce el girasol y en el 70 la soja. En la actualidad el uso de la tierra es agrícola-ganadero con fluctuaciones dependientes del mercado internacional.

En esta región por motivos socioculturales y económicos las labores se realizan principalmente a favor de la pendiente sin ningún tipo de práctica de conservación, además cuando comienza el período de precipitaciones los suelos se encuentran desnudos preparados para la siembra, produciéndose cambios en las condiciones físicas que ante las precipitaciones determinan un fuerte exceso hídrico que escurre sobre la superficie y provoca en toda la región procesos de erosión hídrica de diversa índole e intensidad, siendo este el proceso de degradación más importante (Cantero y Cantú, 1980; Cantú, 1998; Degioanni, 1998).

#### 4.1.2 Características de relieve y suelo del área bajo estudio.

Fisiográficamente el campo experimental pertenece hidrológicamente a la cuenca del Arroyo El Cipión, el cual, a su vez pertenece al sistema del Arroyo Santa Catalina. La red de drenaje es de baja densidad.

El establecimiento se encuentra ubicado en la provincia geomorfológica llanura chaco-pampeana y dentro de ella pertenece a la asociación geomorfológica ondulada periserrana (Cantú y Degiovani, 1984).

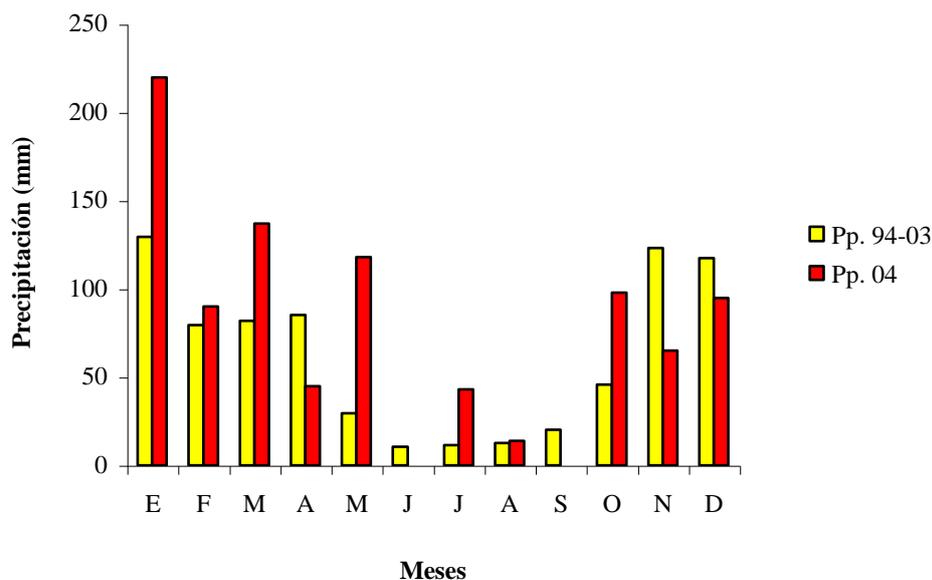
El relieve es ondulado y está formado por lomas alargadas en el sentido de la pendiente que presenta un gradiente hacia el oeste, el cual varía entre el 2 y 3 % y presenta una longitud de 1800 m. El nivel freático es profundo (Becker, 2001).

En lo que respecta al suelo afloran materiales loésicos de la formación Laguna Oscura.

El suelo del sitio experimental es un Hapludol entico correspondiendo a la Serie La Aguada (INTA , 1994). En el Anexo 3 se adjunta su caracterización.

#### 4.1.3 Características climáticas del área estudiada.

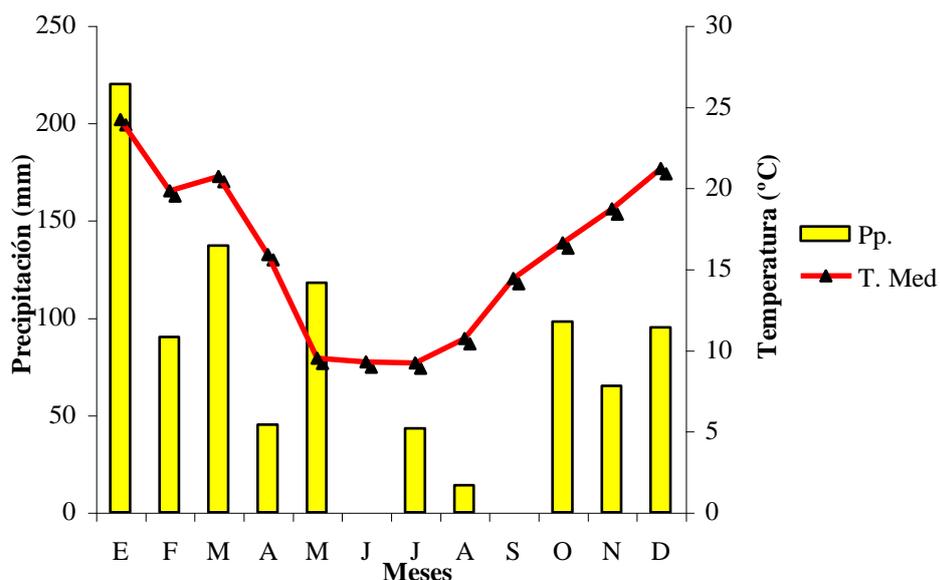
En el ámbito de la Aguada no se disponía de ninguna estación meteorológica hasta el año 1994, en donde se colocó una estación automática en el campo experimental Pozo de Carril. En los siguientes gráficos se presentan las precipitaciones mensuales (Gráfico 1) y temperaturas medias mensuales (Gráfico 2) comprendidas en el período 1994 - 2004 inclusive.



**Gráfico 1.** Precipitaciones medias mensuales Período 1994 - 2003 y durante 2004, registradas en la estación experimental “Pozo del Carril”, La Aguada, Córdoba.  
*Fuente: Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

Los valores de lluvias medias anuales registrados durante el período 1994 – 2003 llegan a 747 mm, siendo abundantes durante el período primavera-estival para disminuir durante el otoño e invierno.

Las precipitaciones del año 2004 superaron en un 19% a las presentadas en el periodo 1994-2003, aunque en el mes de implantación 9 (abril) las precipitaciones fueron inferiores a la media en un 47%. También se exhibieron déficit considerables en los meses de junio, septiembre y noviembre.



**Gráfico 2.** Precipitaciones y temperaturas medias mensuales ocurridas durante 2004, registradas en la estación experimental “Pozo del Carril”, La Aguada, Córdoba.

*Fuente: Meteorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

La temperatura media anual es de 16.2 °C, siendo la temperatura media del mes más cálido de 23.3 °C correspondiéndose al mes de enero, mientras que la temperatura media del mes más frío es de 8.8 °C correspondiéndose al mes de julio.

Los vientos predominantes son del sector NE – SO de junio a diciembre y en menor frecuencia del S - N y del SO - NE de diciembre a junio. Las mayores velocidades se registran en el período comprendido desde julio a noviembre con valores promedios de 18 – 22 Km. h<sup>-1</sup> y con ráfagas de hasta 50 Km. h<sup>-1</sup>.

## 4.2 TRATAMIENTOS

Los tratamientos consistieron en dos variables experimentales:

Una de ellas es **el contenido de humedad edáfica**, el cual contempla al suelo con un contenido de humedad inferior al de capacidad de campo ( SS: 12 % g.g<sup>-1</sup>) y con un contenido de humedad superior al de capacidad de campo ( SH: 18 % g.g<sup>-1</sup>). La otra variable es la **asignación de forraje por animal y por día** (Méndez y Davies, 2004), con cuatro niveles: 2, 4, 6 y 8% del peso vivo (PV), esto es 2, 4, 6 y 8 kg de materia seca cada 100 kg de PV día<sup>-1</sup>.

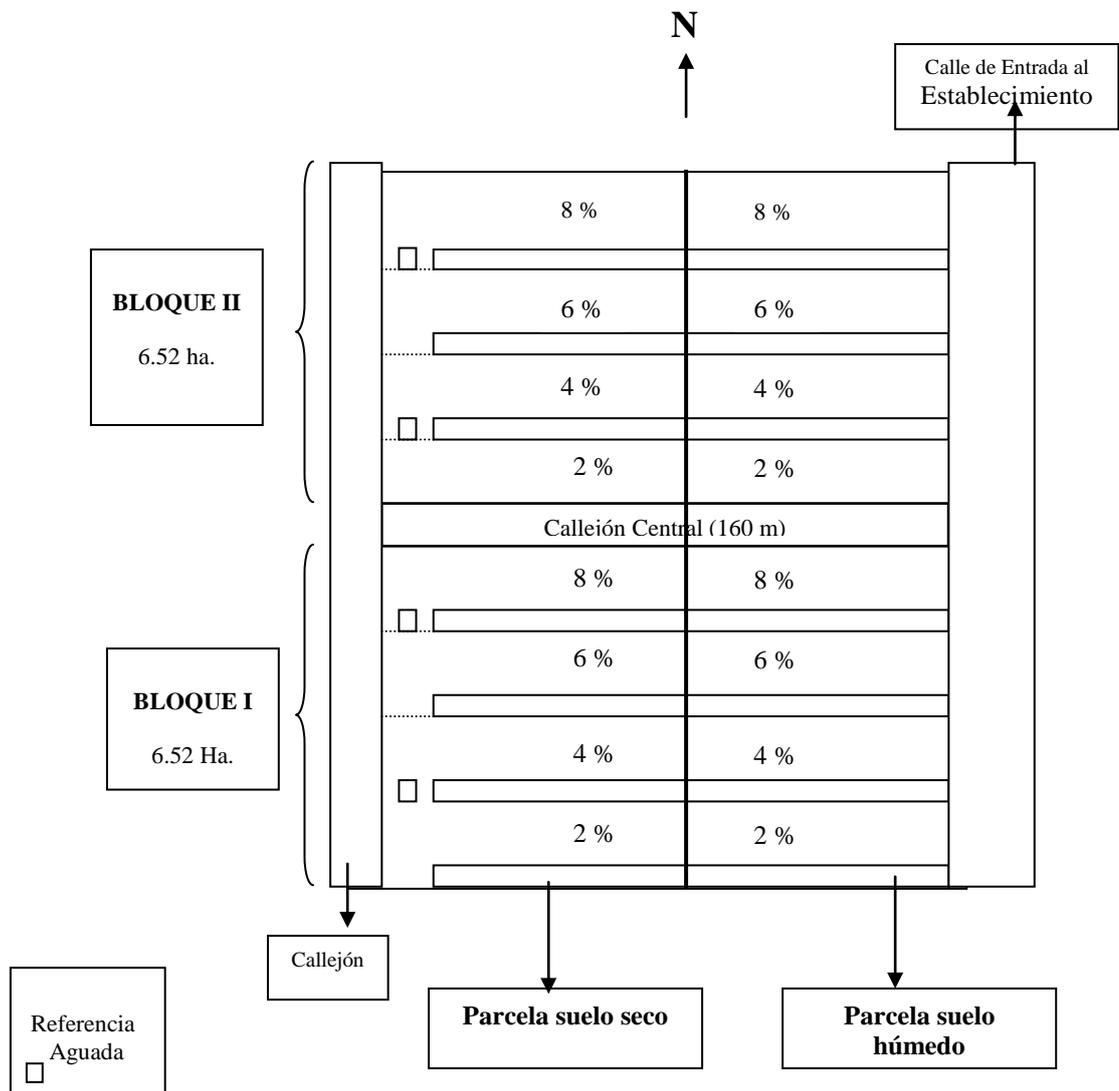
De este modo quedaron definidos un testigo y ocho tratamientos de pastoreo y humedad edáfica: PSH 2%, PSH 4%, PSH 6%, PSH 8%, PSS 2%, PSS 4%, PSS 6% y PSS

8%.

El testigo consistió en la situación inicial, 45 días previos al inicio del ensayo; en el que se realizaron las evaluaciones con cuatro repeticiones al azar.

Para la variable *contenido de humedad edáfica* se establecieron dos parcelas principales en las que el nivel de humedad del suelo se obtuvo de manera natural a través de las precipitaciones pluviales (figura 1).

La asignación de forraje se obtuvo a partir de la división de la parcela de humedad en cuatro subparcelas de superficie variable donde pastorearon cinco animales durante siete días.



**Figura 1:** Esquema simplificado de la distribución del ensayo en el campo experimental de la U.N.R.C.

En el cuadro 1 se presenta la superficie promedio y la carga animal instantánea promedio de las subparcelas bajo estudio.

**Cuadro 1: Superficie (m<sup>2</sup>) y carga animal instantánea (Kg. PV. m<sup>-2</sup>) establecida para cada tratamiento.**

ASIGNACIONES	BLOQUE I				BLOQUE II			
	2%	4%	6%	8%	2%	4%	6%	8%
Superficie promedio subparcela	545	834	1334	2199	564	1074	1408	1969
Carga animal promedio	2.38	1.33	0.9	0.56	2.24	0.98	0.77	0.58

### 4.3 PLANTEO DEL ENSAYO

#### 4.3.1 Siembra:

En el ensayo se utilizó un cultivo anual de triticale (*Triticosecale* Wittmack), cultivar Genú-UNRC, de ciclo otoño-invernal el cual se sembró con una densidad de 100 Kg. ha<sup>-1</sup> de semillas con sembradora de siembra directa, en el período del 4 al 16 de abril de 2004. Previo a la siembra, en el mes de febrero, se realizó una operación de aflojamiento del perfil con un subsolador alado similar al utilizado por Cisneros *et al.* (1998), y posteriormente se pasó una rastra de doble acción y una de tiro excéntrico. El cultivo fue fertilizado a la siembra con fosfato diamónico (46-18) a razón de 27 kg. ha<sup>-1</sup> sobre la línea de siembra y urea en una dosis de 38 kg. ha<sup>-1</sup> al costado de la línea de siembra.

El día 17 de mayo de 2004 se realizó conteo de plantas para obtener la eficiencia de implantación obteniéndose como resultado 200 plantas por metro cuadrado, considerándose una adecuada implantación.

#### 4.3.2 Sistema de pastoreo

Se realizó un pastoreo rotativo con 7 días de ocupación y 42 de descanso para cada parcela, con terneros de raza Aberdeen Angus de aproximadamente 150-170 Kg de peso vivo al inicio del ensayo.

#### 4.3.3 Procedimiento para determinar la asignación diaria de forraje

Para la determinación del **porcentaje de materia seca** del forraje, se procedió a tomar alícuotas de distintos sectores del cultivo 72 horas antes de asignar, para ser pesadas

en verde. Luego éstas se secaron en estufa a 110 °C hasta peso constante. Con ambos datos se obtuvo la proporción de materia seca del cultivo (Cuadro 2).

Al momento de asignar, se procedió nuevamente a recolectar muestras de 0.175 m<sup>2</sup> de cada parcela para obtener la disponibilidad de materia en verde (MV), a las que se aplicó el porcentaje de materia seca (%MS), determinado con anterioridad, para obtener la **disponibilidad de materia seca por hectárea de cada subparcela** (Cuadro 2).

Posteriormente se calculó la necesidad de materia seca del grupo de animales para cada asignación forrajera en los 7 días de ocupación de cada subparcela para finalmente determinar la superficie y el largo de las mismas (Cuadro 2).

**Cuadro 2: Procedimiento para determinar las dimensiones de las subparcelas.**

MATERIA SECA (%)	$= \frac{\text{Peso seco alícuota} \times 100}{\text{Peso verde alícuota}}$
DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DE CADA SUBPARCELA (kg ha <sup>-1</sup> )	$= \frac{\text{MV (g)} \times \% \text{ MS} \times 10000 \text{ m}^2}{0.175 \text{ m}^2 \times 1000}$
NECESIDAD DE MATERIA SECA PARA CADA ASIGNACION (kg)	$= \frac{\text{PV} \times \text{N}^\circ \text{ animales} \times \text{días de pastoreo} \times \% \text{ asignación}}{100}$
SUPERFICIE DE SUBPARCELA (ha)	$= \frac{\text{Necesidad de MS (Kg)}}{\text{Disponibilidad de MS (kg ha}^{-1}\text{)}}$
LARGO DE LA SUBPARCELA (ha)	$= \frac{\text{Superficie de subparcela (ha)}}{\text{Ancho de subparcela (m)}}$

#### 4.4 VARIABLES ANALIZADAS:

##### 4.4.1 Caracterización del suelo

Para realizar la caracterización del suelo, se tomaron 24 muestras al azar de cada una de las profundidades requeridas. 45 días antes del armado del ensayo.

- **Curvas de Capacidad hídrica:** a través del método de la olla de presión (Klute, 1986), en los rangos de profundidad de 0-5 cm y de 5-10 cm, se determinó el contenido de humedad del suelo bajo una presión de 0,3 bares, equivalente al contenido de humedad en capacidad de campo.
- **Compactación máxima:** a través del ensayo Proctor (Kézdi, 1980) en los rangos de profundidad de 0-5 cm y de 5-10 cm.

- **Contenido de materia orgánica:** la determinación del contenido de materia orgánica se realizó siguiendo el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982) en los rangos de profundidad de 0-5 cm y de 5-10 cm.

#### 4.4.2 Evaluaciones realizadas en los tratamientos y testigo.

- **Humedad del suelo al momento del pastoreo:** a través del método gravimétrico, se determinó el contenido de humedad del suelo a la entrada y salida de los animales en las dos parcelas evaluadas, siendo el promedio entre ambas determinaciones la humedad en la cual se efectuó el pastoreo. En la parcela correspondiente a suelo húmedo (SH) las evaluaciones se realizaron el 29/07 y 5/08, correspondiendo a la fecha de ingreso y egreso de los animales respectivamente. En la situación de suelo seco (SS) las fechas fueron 26/08 y 2/09, respectivamente.
- **Densidad Aparente:** fue determinada utilizando el equipo Sonda de Rayos Gamma, Modelo HS-500 1C. Las mediciones se realizaron con cuatro repeticiones aleatorizadas en cada tratamiento, en los rangos de 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad en el perfil.
- **Porosidad total:** fue estimada a través de la densidad de las partículas (densidad real) y la densidad aparente del suelo, mediante la siguiente relación:

$$PT = (1 - DAP / DAR) \times 100$$

Donde PT = porosidad total (%), DAP = densidad aparente, DAR = densidad real de partículas (Danielson y Sutherland, 1986) (Anexo I).

- **Compactación relativa:** se estimó de acuerdo a la metodología propuesta por Carter (1990) a través de la relación entre la densidad aparente actual de cada capa y la máxima compactación obtenida mediante el ensayo Proctor, según la siguiente expresión:

$$CR = \left( \frac{DAP_a}{DAP_{\text{máx}}} \right) \times 100$$

Donde CR es la compactación relativa expresada en porcentaje, DAP<sub>a</sub> es la densidad aparente actual y DAP<sub>máx</sub> es la densidad máxima (Anexo I).

- **Velocidad de infiltración:** se realizó a través del método del doble cilindro (Bower, 1986) con dos mediciones por tratamiento y por replicación, luego de que los animales salieron de la parcela (Anexo I).

Con los datos tomados en el campo se obtuvieron los valores de Velocidad de infiltración

(cm. hr<sup>-1</sup>) y Lámina acumulada (cm)

Según Kostiacov la ecuación de Velocidad de infiltración (Fernández *et al*, 1971) es:

$$\text{Ecuación de Infiltración (cm. h}^{-1}\text{)} \quad (I) = K \cdot n \cdot (T)^{n-1} \quad 60$$

y la ecuación de lámina acumulada:

$$\text{Ecuación de Lámina acumulada (cm)} \quad L(t) = K \cdot T^n$$

Donde:  $L(t)$  = Infiltración acumulada en el tiempo (t) medida en cm.

$K$  = El valor de  $K$  representa la entrada de agua al perfil durante el intervalo inicial, dependiendo de la condición del suelo en el momento que se aplica el agua y de la estabilidad estructural.

$n$  = El valor  $n$  indica la forma en que la entrada de agua al suelo se reduce con el tiempo, dependiendo de la estabilidad de agregados y de la geometría del flujo.

Para obtener los datos de los coeficientes empíricos  $K$  y  $n$ , se linealizó la función de lámina acumulada aplicando logaritmo natural a cada una de sus variables.

Reemplazando los datos obtenidos de los coeficientes se obtuvieron las ecuaciones ajustadas de lámina acumulada y velocidad de infiltración (Fernández *et al*, 1971).

#### 4.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental empleado en el presente estudio fue en bloques con dos repeticiones, donde los tratamientos se dispusieron en un arreglo en parcelas divididas, en el cual el factor humedad del suelo se ubicó en la parcela principal y el factor asignación en la parcela secundaria. Los resultados obtenidos se procesaron estadísticamente, mediante el programa InfoStat, con un análisis de la varianza (InfoStart, 2004).

El modelo matemático al cual responde este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_{ij} + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

- $Y_{ijk}$  = Corresponde a la variable estudiada en  $j$  (unidad experimental), donde se aplicaron los tratamientos % de humedad y niveles de asignación
- $\mu$  = Representa la media poblacional.
- $\alpha_i$  = Indica el efecto del tratamiento % de humedad del suelo ( parcela principal)
- $\beta_j$  = Indica el efecto del tratamiento de las asignaciones (parcelas secundarias)
- $\delta_{ij}$  = Error debido a las diferencias entre las parcelas principales.
- $(\alpha\beta)_{ij}$  = Interacción entre los tratamientos.

- $\gamma_k$  = Efecto del bloque.
- $\epsilon_{ijk}$  = Error experimental o residuo, debido a las diferencias en la variable estudiada dentro de los tratamientos.

Hipótesis estadística:

• **H<sub>0</sub>:**

- $(\alpha\beta)_{ij} = 0$  (no existe interacción entre los tratamientos)
- $\alpha_i = 0$  (el % de humedad del suelo al momento del pisoteo no tiene efecto sobre la variable estudiada.)
- $\beta_j = 0$  (los distintos niveles de asignación no tienen efecto sobre la variable estudiada.)

## ***V RESULTADOS***

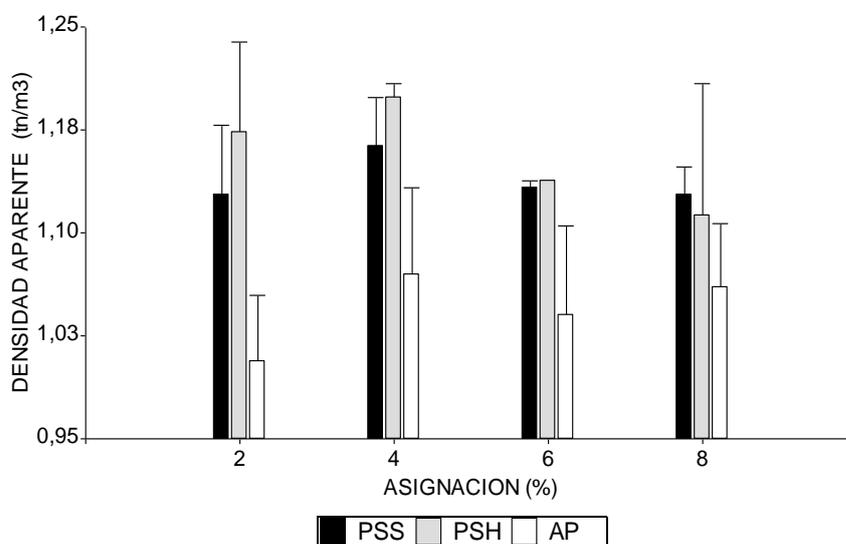
## 5-RESULTADOS

### 5.1 DENSIDAD APARENTE, COMPACTACIÓN RELATIVA Y POROSIDAD TOTAL

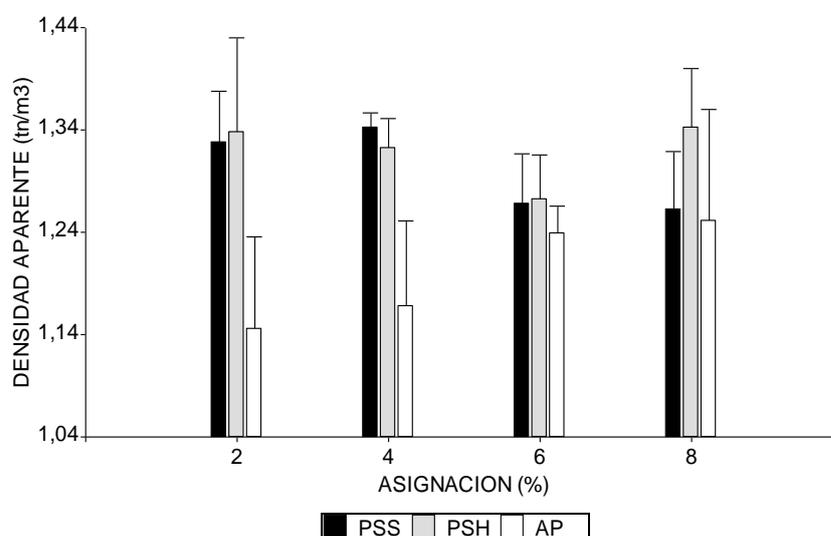
#### 5.1.1 Densidad aparente

El análisis del ANOVA, arrojó que no hubo interacción entre los tratamientos ni diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,01$ ) (ver anexo 2).

A pesar de ello, se observaron tendencias entre los tratamientos, que indicaron que el pisoteo de los animales en pastoreo aumentó la densidad aparente del suelo tanto en el espesor entre 0-5 cm (Gráfico 3) como en el ubicado entre 5-10 cm de profundidad (Gráfico 4). Estos resultados concuerdan con lo evaluado por diversos autores en ensayos que contemplan una amplia variabilidad de suelos (Silva *et al.*, 2000; Arranz *et al.*, 2004; Bricchi *et al.*, 2004)



**Gráfico 3: Variación de la Densidad Aparente en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo, para el espesor de 0-5 cm.** PSS: Pastoreo en suelo seco; PSH: Pastoreo en suelo húmedo y AP: Testigo sin pastoreo



**Gráfico 4: Variación de la Densidad Apparente en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo, para el espesor de 5-10 cm.** PSS: Pastoreo en suelo seco; PSH: Pastoreo en suelo húmedo y AP: Testigo sin pastoreo

La densidad aparente se incrementó en ambas condiciones de humedad para todas las asignaciones estudiadas, con respecto al testigo, siendo mayor este incremento en la parcela de mayor contenido hídrico para la profundidad de 0-5 cm (cuadro 3). El contenido hídrico promedio del suelo correspondiente al tratamiento PSH en las asignaciones 2 y 4% en el espesor de 0-5 cm y en de 5-10cm fue de 18% ( $\text{g.g}^{-1}$ ) siendo superior al contenido de humedad a capacidad de campo que corresponde a 15 y 12 % ( $\text{g.g}^{-1}$ ) en promedio en el espesor de 0-5 y 5-10 cm respectivamente, por lo que la tendencia antes mencionada podría deberse a lo planteado por Lavado (1992) y Martín *et al.* (1998) en cuanto a que el exceso de humedad al momento del pisoteo podría producir un efecto de moldeado y amasado de la estructura edáfica.

Con relación a la asignación, cuando el suelo fue pisoteado en condición de elevada humedad, se aprecia que a mayor asignación, es decir menos presión por pisoteo, menor fue el incremento de la densidad aparente con respecto al testigo, siendo este de 0,6%, 10%, 13% y 17% en el espesor de 0-5 cm para las asignaciones de 8, 6, 4 y 2%, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Lavado (1992), el cual sostiene que el aumento en la carga animal causa mayor compactación superficial. En condición de suelo seco, esta tendencia no fue evidente, produciéndose un incremento de aproximadamente 10% en todos los tratamientos, comparado con el suelo sin pisoteo por pastoreo (cuadro 3).

**Cuadro 3: Densidad aparente ( Dap en Mg . m<sup>-3</sup>) en los diferentes tratamientos de pastoreo y humedad edáfica, en la profundidad de 0-5 cm.**

TRATAMIENTOS	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
	Dap ( Mg . m <sup>-3</sup> )			
Testigo sin pastoreo	1,01	1,07	1,04	1,06
Después de pastoreo en Suelo Seco	1,13	1,17	1,14	1,13
Después de pastoreo en Suelo Húmedo	1,18	1,22	1,15	1,14

En el espesor comprendido entre 5-10 cm, la variación de la densidad aparente en los tratamientos de pastoreo y humedad con respecto a la situación no pastoreada, mostró una tendencia similar a la del primer espesor del perfil. Sin embargo, en este caso se observa que en las asignaciones de 2 y 4% (mayor presión por pisoteo), la variación fue más acentuada en ambos niveles de humedad, a diferencia de lo observado en los primeros 5 cm de profundidad, en donde la variación más marcada se produjo en la condición de suelo con mayor humedad (cuadro 4).

Teniendo en cuenta el efecto del contenido de humedad en el perfil al momento del pisoteo, Pecorari y Alassia (1998) en su estudio recomiendan evitar el tránsito de animales e implementos cuando el suelo tiene exceso de humedad, porque si bien alcanzara niveles de compactación similares al estado más seco, se desarrolla una cohesión interna del suelo que restringe enormemente el desarrollo del sistema radical y en consecuencia el crecimiento y persistencia de los cultivos.

**Cuadro 4: Densidad aparente (Dap en Mg . m<sup>-3</sup>) en los diferentes tratamientos de pastoreo y humedad edáfica, en la profundidad de 5-10 cm.**

TRATAMIENTOS	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
	Dap ( Mg . m <sup>-3</sup> )			
Testigo sin pastoreo	1,14	1,17	1,24	1,25
Después de pastoreo en Suelo Seco	1,33	1,31	1,27	1,26
Después de pastoreo en Suelo Húmedo	1,34	1,32	1,28	1,34

### 5.1.2 Compactación relativa

- La evaluación de la compactación máxima a través del ensayo Proctor, arrojó un valor promedio de densidad de  $1,61 \text{ t m}^{-3}$  para el espesor de 0-5 cm y  $1,62 \text{ t m}^{-3}$  para el de 5-10 cm de profundidad. La humedad óptima de compactación fue de 20,2 % ( $\text{g g}^{-1}$ ) y 19,9 % ( $\text{g g}^{-1}$ ) para ambas profundidades, respectivamente (ver anexo 4: Curvas de Compactación vs. Humedad). A pesar de que el contenido de humedad edáfica en la condición de suelo húmedo (18 % (g.g)) se encontraba muy cerca del valor de humedad optima de compactación no se mostraron resultados de gran contraste, esto puede estar relacionado con lo observado por Bricchi *et al.*, (2004) en cuanto a que el contenido de carbono orgánico disminuye la compactación máxima. El contenido de materia orgánica a los 0-5 cm de profundidad fue de 1,5 % y 1,6 % en la profundidad de 5-10 cm.

La compactación relativa de la capa ubicada entre 0-5 cm antes del pastoreo fue del 65,2%, valor que por efecto del pisoteo en condición de suelo húmedo se incrementó a 74 %, 75%, 71% y 70% en las asignaciones de 2%, 4%, 6% y 8%, respectivamente. En la situación de pisoteo con menor contenido hídrico, la compactación relativa se incrementó a un valor promedio de 71,5 %, no habiendo variaciones entre las asignaciones estudiadas. En la capa de 5-10 cm la compactación relativa antes del pastoreo fue de 74,7%. Por efecto del pisoteo la compactación relativa se incrementó en promedio a 82,2% y 81,2% en el suelo húmedo y seco respectivamente.

### 5.1.3 Porosidad total

En la capa de 0-5 cm del perfil sin pastoreo, la porosidad total promedio fue de 60%. Luego del pastoreo en condición de suelo húmedo la porosidad total se redujo a 55%, 56%, 57% y 58% en las asignaciones del 2, 4, 6 y 8%, respectivamente. En suelo seco, el pisoteo provocó la disminución de la porosidad total a 57%. En promedio en la segunda capa estudiada la porosidad total previa al pastoreo fue de 54,7%, reduciéndose a 50% y 51% luego del pisoteo por pastoreo en condición de suelo húmedo y seco, respectivamente (ver anexo 1). Estos resultados concuerdan con lo evaluado por Arranz *et al.*, (2004), quien a su vez asegura que son los macroporos los más afectados por la compactación, originando un aumento en la escorrentía, ya que disminuye la capacidad de infiltración del agua de lluvia. Esto implica menor cantidad de agua almacenada a la vez que incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo.

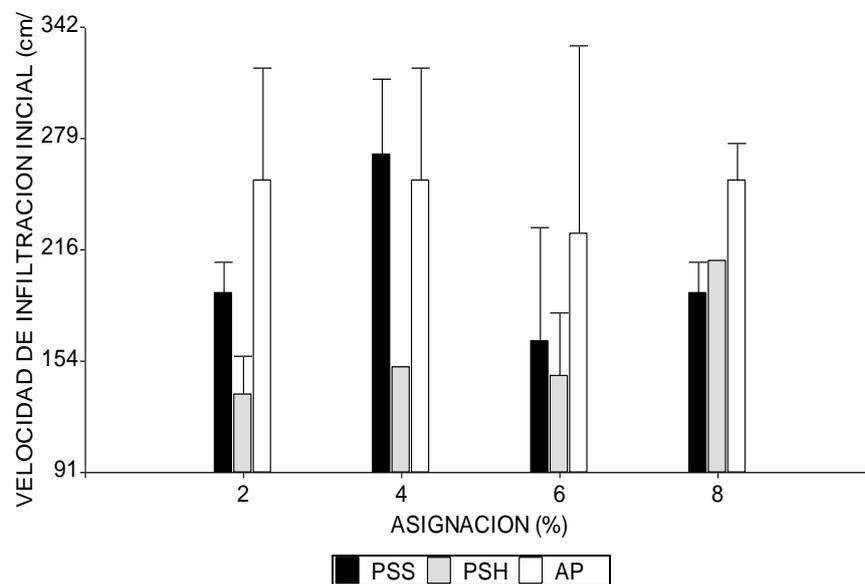
## 5.2 **VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:**

En los resultados del análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre los tratamientos.

A pesar de ello se observó que las parcelas con mayor contenido de humedad del suelo al momento del pastoreo, presentaron valores de velocidad de infiltración inicial y final más bajos que las parcelas pastoreadas con menor contenido de humedad edáfica (Gráficos 5 y 6). Estos resultados guardaron relación con la variación observada en DAP y porosidad total.

Los resultados mostraron además que en general hubo una reducción en los valores de velocidad de infiltración inicial por efecto del pisoteo animal, salvo en la parcela correspondiente a la asignación del 4% en donde esta tendencia no se manifestó (Gráfico 5).

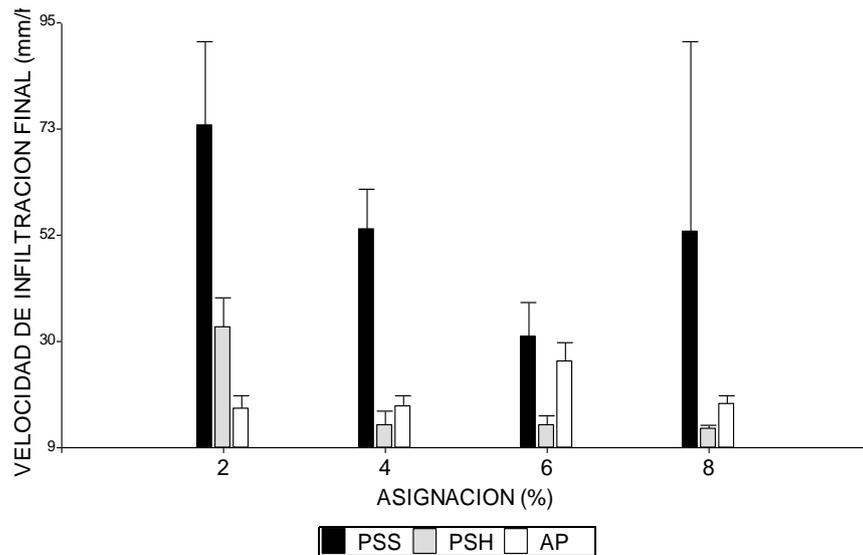
En este sentido se destaca que la influencia sobre las propiedades físicas ligadas a la dinámica del agua resulta de vital importancia para el uso eficiente de las escasas y variables precipitaciones. Que la lluvia penetre o escurra, sea retenida o percole, quede disponible o no, definirá el desarrollo de los cultivos, la respuesta a la fertilización, el aporte de residuos y nutrientes, en suma, la productividad y sustentabilidad del sistema.



**Gráfico 5: Variación de la Velocidad de Infiltración Inicial en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo.** PSS: Pastoreo en suelo seco; PSH: Pastoreo en suelo húmedo y AP: Testigo sin pastoreo

La velocidad de infiltración final evaluada en el testigo ( AP) fue menor que en las parcelas con pastoreo, lo cual podría ser atribuido a que el suelo de AP presentaba un 16% ( $g\ g^{-1}$ ) de humedad promedio en los primeros 30 cm de profundidad en el momento de realizar

la medición, mientras que en pastoreo en suelo seco (PSS) y pastoreo en suelo húmedo (PSH), la humedad promedio del mismo espesor del perfil, era de 12 y 14% ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) respectivamente (Gráfico 6).



**Gráfico 6: Variación de la Velocidad de Infiltración Final en función de la asignación y la humedad del suelo al momento del pastoreo.** PSS: Pastoreo en suelo seco; PSH: Pastoreo en suelo húmedo y AP: Testigo sin pastoreo

Al ajustar los datos de infiltración a la ecuación empírica propuesta por Kostiacov (Fernández *et al*, 1971), la variación en el parámetro  $K$  de la misma, el cual está relacionado con la velocidad inicial de infiltración, evidenció claramente el efecto del pisoteo y de la humedad edáfica al momento del pastoreo (cuadro 5). En la condición de suelo húmedo el valor de  $K$  fue aproximadamente el 50% inferior al de los restantes tratamientos, especialmente en las asignaciones de 2 % y 4%, que representan la mayor presión por pisoteo.

**Cuadro 5: Ecuaciones de Velocidad de infiltración y Lámina infiltrada ajustadas según Kostiacov, en función de las asignaciones y la humedad edáfica al momento del pastoreo.**

<b>Tratamientos</b>	Asignación (%)	Humedad (%)	Ecuación de lámina (L) (cm)	Ecuación de velocidad de infiltración (I) (cm/h)
Antes del Pastoreo		16	$0,80 \times T^{0,52}$	$T^{(0,52-1)} \times 24,96$
Pastoreo en Suelo húmedo	2	14	$0,47 \times T^{0,62}$	$T^{(0,62-1)} \times 17,48$
	4		$0,43 \times T^{0,50}$	$T^{(0,50-1)} \times 12,90$
	6		$0,60 \times T^{0,38}$	$T^{(0,38-1)} \times 13,68$
	8		$0,90 \times T^{0,39}$	$T^{(0,39-1)} \times 21,06$
Pastoreo en Suelo seco	2	11	$0,70 \times T^{0,66}$	$T^{(0,66-1)} \times 27,72$
	4		$0,83 \times T^{0,57}$	$T^{(0,57-1)} \times 28,39$
	6		$0,73 \times T^{0,57}$	$T^{(0,57-1)} \times 24,97$
	8		$0,70 \times T^{0,56}$	$T^{(0,56-1)} \times 23,52$

El hecho de no haberse encontrado diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.01$ ) en los tratamientos ni en las interacciones entre los mismos, puede ser atribuido al corto tiempo de pastoreo, al número de muestreos, o al diseño experimental establecido para el análisis estadístico. También es importante tener en cuenta que las mediciones deben seguirse durante varios ciclos para poder mostrar la influencia de los tratamientos en las variables analizadas en este ensayo. A pesar de ello se encontraron tendencias bien marcadas entre los tratamientos, las cuales se consideran de gran relevancia en el presente trabajo.

## ***VI CONCLUSIONES***

## 6 CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo y pastoreo del presente estudio se concluye que:

- La carga animal y la humedad edáfica al momento del pisoteo modificarían, el comportamiento hidrofísico del suelo bajo estudio a pesar de no haber encontrado diferencias estadísticas.
- El pisoteo animal por pastoreo produce un aumento en la densidad aparente del suelo en los primeros 10 cm, siendo este aumento más acentuado en la capa más superficial.
- El contenido de humedad edáfica al momento del pastoreo incrementa la densificación superficial del suelo y por lo tanto, la compactación relativa, y reduce la proporción de poros totales.
- El efecto de la carga animal se evidencia claramente en el pisoteo bajo condiciones de suelo húmedo.
- El pastoreo produce una disminución en la velocidad de infiltración inicial de agua al suelo.
- El parámetro empírico  $K$  de la ecuación propuesta por Kostiacov , para estimar la velocidad de infiltración, muestra sensibilidad ante variaciones en la carga animal y en la humedad edáfica al momento del pisoteo.

## ***VII RECOMENDACIONES***

## 7-RECOMENDACIONES

Es preciso que para desarrollar futuras investigaciones sobre el efecto del pisoteo animal en las propiedades hidrofísicas de los suelos, se tengan en cuenta ciertas sugerencias tendientes a disminuir errores experimentales, evitar posibles errores de diseño y aumentar la extrapolación de los resultados:

- Realizar las mediciones durante todo el ciclo de pastoreo durante el año.
- Repetir la investigación durante varios años para ampliar la confiabilidad de los resultados según distintas condiciones climáticas.
- Tener en cuenta que la velocidad de infiltración y la densidad aparente son variables difíciles de medir ya que son muy sensibles a los cambios de humedad del suelo y por ello es preciso incrementar las repeticiones o submuestras.
- La asignación de forraje no es un buen factor para reflejar las diferentes cargas animales ya que varía mucho su ajuste según el ciclo del cultivo y las condiciones climáticas, por lo tanto es preciso buscar otras variables que permitan cuantificar el pisoteo animal.
- Establecer una serie de parcelas experimentales con igual tratamiento pero en lugares diferentes con características de uso y manejo similares.
- En caso de ser posible tomar como marco de referencia para evaluar el impacto del pisoteo animal, situaciones de mínima intervención antrópica.



## ***VIII BIBLIOGRAFIA***

## 8.1 BIBLIOGRAFIA

- ABAYE, O.A.; ALLEN, V.G. and. P, FONTENOT 1997 Grazing sheep and cattle together or separately: efect on soils and plants. **Agron. J. 89**: 380-386.
- AMIGONE, M.A. y A., KLOSTER 2003 Verdeos de invierno. Producción de forraje en el área de Marcos Juárez. **Hoja informativa n° 357**. EEA INTA Marcos Juarez.
- ARRANZ, C.; GALANTINI, J.; IGLESIAS, J.; KRÜGER, H.; y S. VENANZI 2004. Sistemas de labranza: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. **Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos**. Paraná. Entre Ríos. Pag. 43.
- BECKER, A. M. and H. F. SCHIAVO.1997. Micromorphological Characteristics of Mollisol Cambic Horizons of Arg. Central region. In: **Soil Micromorphology: Studies on Soil Diversity, Diagnostic, Dinamic: 52 – 58**. Ed. Shoba, Gerasimova and Miedema, Moscú–Wageningen.
- BECKER, A. M. 2001. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenta representativa de la región pedemontana del Suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Primer informe Doctorado en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- BOWER, H. 1986 Intake **rate: cylinder infiltrometer**. En A Klute (editor) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2<sup>nd</sup> Edition. ASA and SSSA, madison, WI.
- BRICCHI, E.; PARRA, B.; FORMIA, F.; y L. VERRI. Efecto del uso y las labranzas sobre la susceptibilidad a la compactación de un Hapludol típico. **Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos**. Paraná. Entre Ríos. Pag. 253.
- CANTERO, A. y M. CANTÚ. 1980. Algunas consideraciones sobre los suelos y la degradación-recuperación de las tierras en el área de Río Cuarto (Córdoba). **Seminario Internacional Deterioro en la Cuenca del Plata. (MAB-UNESCO)**. Buenos Aires. Arg. 26 págs.
- CANTÚ, M. y S.B. DEGIOVANNI. 1984. Geomorfología de la región centro sur de la provincia de Córdoba. **Cong. Geológico Argentino, Actas IX**: 76-92. San Carlos de Bariloche.

- CANTÚ, M. 1992. Holoceno de la provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. **Simposio Internacional sobre Holoceno en América del Sur. Tomo I.** P 24. Ed. Martín Iriondo. Paraná, Argentina.
- CANTÚ, M. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Calacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 376 págs.
- CANTÚ, M.;A. BECKER y H. SCHIAVO. 1998. La fragilidad natural del suelo y el uso del territorio como factores condicionantes del proceso de erosión en la Región Pampeana Subhúmeda, Arg.Proc. CD, **16º Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Symposium N° 31:7.** Montpellier, Francia.
- CARTER, M.R. 1990 Relative measurements of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Can. J. Soil Sci.** **70:** 425-433.
- CISNEROS, J.M.; CANTERO, G.A.; MARCOS, J.; DEGIOANNI, A.; BRICCHI, E.; GIAYETTO, O.; CHOLAKY, C.; BONADEO, E.; CERIONI, G. y M., UBERTO 1998 . Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común.. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena, R.; Benez, S.H. y D., Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps. Págs. 128-134.
- CISNEROS, J.M.; CHOLAKY, C.; GONZALEZ, J.; UBERTO, M. y J.J., CANTERO 2000 Interacciones suelo-pastoreo en la Sierra de Comechingones (Córdoba). **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.** Mar del Plata, Argentina.
- DANIELSON, R.E. y P.L., SUTHERLAND 1986 **Porosity.** En A Klute (de) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2<sup>nd</sup> Edition. ASA and SSSA, Madison, WI. Págs 443-461.
- DEGIOANNI, A. 1998. Organización Territorial de la Producción Agraria en la Región de Río Cuarto. Tesis Doctoral. Universidad Alcalá de Henares. España. 380 Págs.
- FERNÁNDEZ, P.C, LUQUE, J.A. y J.D., PALONI. 1971. Análisis de la Infiltración y su aplicación para diseños de riego en el valle inferior del Río Colorado. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Nación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Suelos – publicación N° 130.

- INTA- MAGyRR 1994 **Carta de Suelos de la República Argentina**, Hoja 3366-12 Río de los Sauces y Hoja 3366-18 Alpa Corral.
- KÉZDI, Á. 1980 Soil testing. Handbook of Soil Mechanics. **Elsevier, Vol. 2** , 258 págs.
- KLUTE, A. 1986 Water retention: **Laboratory methods** En A Klute (Edit.) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2<sup>nd</sup> Edition. ASA and SSSA, Madison, WI. . págs. 635-686.
- LATIMORI, N.; KLOSTER, A. y M., AMIGONE 1999 Invernadas sobre pasturas base alfalfa: producción de novillos para consumo y explotación. **Jornada de actualización para profesionales Ganadería bovina de ciclo completo: tecnologías modernas para un viejo negocio**. Río Cuarto, Cba. Argentina.
- LAVADO, R.S. 1992 1° Congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. Buenos Aires- Argentina. Págs. 92-94.
- MARTIN, B.; ZERPA, G.; SOSA, O. y J., DENOIA 1998 Efecto del tránsito animal sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la velocidad de infiltración. **XVI C.A.C.S.- Villa Carlos Paz –1998**. Pág. 11.
- MENDEZ, D. y P, DAVIES 2004 Herramientas para mejorar las ganancias de peso. **Revista Super campo. De la Huerta a la estancia. N° 113: 6-10**.
- MORENO, I.; BONGIOVANNI, M.; PAGLIARICHI, H. y C., SAROFF 1997 Influencia de la presión de pastoreo sobre las condiciones físicas de suelos Hapludoles típicos. **Rev. Arg. de Prod. Anim. 17(1):109-110**.
- MUSLERA PARDO, E. y C., RATERA GARCIA 1991 **Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento**. Edición Mundi Prensa , segunda edición, España: 433-441.
- NELSON, D.W. y L.E., SOMMERS 1982 Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. En: A.L Page,. (Ed.) **Part II Methods of soil analysis**. Monograph no. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- PECORARI, C. y M. J. ALASSIA 1998. Efecto del estado hídrico inicial sobre la compactación de los suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Rafaela. Publicación N° 108. pags 18-21.

- PURICELLI, C.A.; SILENZI, J.C. y A., FERRAROTTI 1998 Cambios en la estabilidad de dos suelos por el pastoreo rotativo intensivo (PRI). **Informe Técnico INTA, EEA Bordenave**. Pags. 1-11.
- SEMPLE, A.T. 1974 **Avances en pasturas cultivadas y naturales**. Editorial Hemisferio Sur: 145-375.
- SILVA, L.A.; GUTIERREZ, N.C y C., VELNIALGO 2000 Densidad relativa y estabilidad de agregados en cultivos anuales y perennes en la serie Zanatta (Meson de Fierro- Chaco). **Comunicaciones científicas y tecnológicas 2000 Facultad de Ciencias Agrarias –UNNE. Corrientes- Argentina**. Pags. 1-4.
- THUROW, T.L. 1991 **Hydrology and erosion**. En: Grazing Management. An ecological perspective. Heitschmidt R. K. y J. W. Stuth (Editors) Timber Press INC. Oregon: 255 págs.
- VILLAMIL, M. B.; AMIOTTI, N. M. y N., PEINEMANN 1997 Pérdida de fertilidad física en suelos del sur del Caldenal (Argentina) por sobrepastoreo. **Ciencia del suelo 15** (2): 102-104.
- VILLAMIL, M.B.; AMIOTTI, N. M. y N., PEINEMANN 2000 Disminución del espesor del horizonte A por sobrepastoreo animal en la Región Sur del Caldenal. **XVII C.A.C.S.**, Mar del Plata, Argentina.

## ***IX ANEXOS***

## 9.1 ANEXO 1

### 9.1.1 DENSIDAD APARENTE, COMPACTACIÓN RELATIVA Y POROSIDAD TOTAL

**Tabla 1:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 0-5 cm de profundidad en la situación testigo sin pastoreo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,01	1,07	1,04	1,06
Coeficiente de Variación (%)	4,20	5,92	6,09	4,65
Compactación relativa (%)	63	67	65	66
Porosidad Total (%)	61,89	59,62	60,75	60,00

**Tabla 2:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 0-5 cm de profundidad, después del pisoteo por pastoreo en suelo húmedo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,18	1,2	1,14	1,12
Coeficiente de Variación (%)	7,82	1,18	0,00	12,05
Compactación relativa (%)	74	75	71	70
Porosidad Total (%)	55.5	54.7	57	57.7

**Tabla 3:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 0-5 cm de profundidad después del pisoteo por pastoreo en suelo seco.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,13	1,17	1,14	1,13
Coeficiente de Variación (%)	6,26	4,25	0,62	2,50
Compactación relativa (%)	71	73	71	71
Porosidad Total (%)	57.35	55.84	57	57.35

**Tabla 4:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 5-10 cm de profundidad en la situación testigo sin pastoreo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,14	1,17	1,24	1,25
Coeficiente de Variación (%)	8,03	6,68	1,72	9,05
Compactación relativa (%)	71	73	77.5	78
Porosidad Total (%)	57	55.84	53.2	52.8

**Tabla 5:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 5-10 cm de profundidad, después del pisoteo por pastoreo en suelo húmedo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,34	1,32	1,27	1,34
Coeficiente de Variación (%)	6,89	2,14	3,34	4,22
Compactación relativa (%)	84	82.5	79	84
Porosidad Total (%)	49.43	50.18	52.07	49.43

**Tabla 6:** Densidad aparente, coeficiente de variación, compactación relativa y porosidad total en el espesor de 5-10 cm de profundidad después del pisoteo por pastoreo en suelo seco.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
Densidad Aparente ( $t\ m^{-3}$ )	1,33	1,34	1,27	1,26
Coeficiente de Variación (%)	3,74	1,06	3,91	4,49
Compactación relativa (%)	83	84	79	79
Porosidad Total (%)	49.81	49.43	52.07	52.45

### 9.1.2 VELOCIDAD DE INFILTRACION

**Tabla 7:** Velocidad de Infiltración inicial antes del pisoteo por pastoreo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INICIAL ( $mm. h^{-1}$ )	192	270	165	192
CV(%)	8,8	15,7	38,6	8,8

**Tabla 8:** Velocidad de Infiltración final antes del pisoteo por pastoreo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN FINAL ( $mm. h^{-1}$ )	16,5	17	26	17
CV(%)	21,4	16,6	21,8	12,1

**Tabla 9:** Velocidad de Infiltración inicial después del pisoteo por pastoreo en condición de suelo húmedo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INICIAL ( $mm. h^{-1}$ )	135	150	145	210
CV(%)	15,7	0,0	24,4	0,0

**Tabla 10:** Velocidad de Infiltración final después del pisoteo por pastoreo en condición de suelo húmedo.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN FINAL (mm. h <sup>-1</sup> )	33	13	13	12
CV(%)	25,7	32,6	21,8	5,7

**Tabla 11:** Velocidad de Infiltración inicial después del pisoteo por pastoreo en condición de suelo seco.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INICIAL (mm. h <sup>-1</sup> )	255	255	225	255
CV(%)	25,0	25,0	47,1	8,3

**Tabla 12:** Velocidad de Infiltración final después del pisoteo por pastoreo en condición de suelo seco.

VARIABLE	ASIGNACIONES (%)			
	2	4	6	8
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN FINAL	74	53	31	52,5
CV(%)	32,5	21,3	31,9	103,7

## 9.2 ANEXO 2

### 9.2.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA:

**#Tabla 1:** Densidad aparente en la capa de 0 a 5 cm de profundidad.

#### **Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Dap.	24	0,76	0,40	4,99

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<u>(Error)</u>					
Modelo	0,09	14	0,01	2,07	0,1366
bloque	0,01	1	0,01	3,84	0,0817
humedad	0,06	2	0,03	7,35	0,1198
(bloque*humedad)					
asignacion	0,01	3	2,6E-03	0,83	0,5115
bloque*humedad	0,01	2	3,8E-03	1,22	0,3388
humedad*asignacion	0,01	6	1,2E-03	0,38	0,8732
Error	0,03	9	3,1E-03		
Total	0,12	23			

**#Tabla 2:** Densidad aparente en la capa de 5 a 10 cm de profundidad.

#### **Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Dap.5-10	24	0,69	0,21	5,60

#### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<u>(Error)</u>					
Modelo	0,10	14	0,01	1,43	0,2990
bloque	3,1E-03	1	3,1E-03	0,61	0,4552
humedad	0,06	2	0,03	39,71	0,0246
(bloque*humedad)					
asignacion	2,1E-03	3	7,1E-04	0,14	0,9332
bloque*humedad	1,6E-03	2	8,1E-04	0,16	0,8545
humedad*asignacion	0,03	6	0,01	1,00	0,4821
Error	0,05	9	0,01		
Total	0,15	23			

**#Tabla 3:** Velocidad de infiltración inicial

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
velini	24	0,90	0,74	14,71

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	71018,33	14	5072,74	5,63	0,0066
bloque	7704,17	1	7704,17	8,55	0,0169
humedad	30630,33	2	15315,17	2,53	0,2833
(bloque*humedad)					
asignacion	8548,50	3	2849,50	3,16	0,0786
bloque*humedad	12108,33	2	6054,17	6,72	0,0164
humedad*asignacion	12027,00	6	2004,50	2,22	0,1354
Error	8113,50	9	901,50		
Total	79131,83	23			

**#Tabla 4:** Velocidad de infiltración final.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
velfinal	24	0,71	0,26	67,37

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	9045,58	14	646,11	1,59	0,2446
bloque	37,50	1	37,50	0,09	0,7682
humedad	6195,58	2	3097,79	26,91	0,0358
(bloque*humedad)					
asignacion	1084,83	3	361,61	0,89	0,4826
bloque*humedad	230,25	2	115,12	0,28	0,7597
humedad*asignacion	1497,42	6	249,57	0,61	0,7153
Error	3656,25	9	406,25		
Total	12701,83	23			

### 9.3 ANEXO 3

#### 9.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO BAJO ESTUDIO

El suelo de la Serie La Aguada es profundo y algo excesivamente drenado. El horizonte A1 de 17 cm de profundidad, es franco, con bajo tenor de materia orgánica, débilmente ácido y con agregados de moderada a débil estabilidad. Pasa transicionalmente (AC) a un horizonte C a los 40 cm de textura franco arenosa.

##### 9.3.1.1 Descripción del perfil típico:

**-A1 (0 – 17 cm):** Color en húmedo pardo oscuro; franco; estructura en bloques sub-angulares medios moderados; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

**-AC (17 – 40 cm):** Color en húmedo pardo amarillento oscuro; franco; estructuras en bloques débiles a masiva; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

**-C (40 a mas cm):** Color en húmedo pardo amarillento oscuro; franco arenoso; estructura masiva; variable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

Clasificación taxonómica: Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico (Becker, 2001).

##### 9.3.1.2 Datos Analíticos del perfil

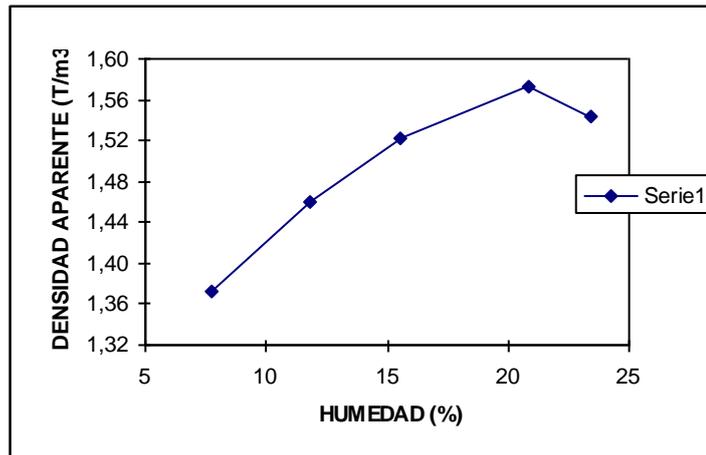
Situación: Latitud: 25° 55' S      Longitud: 44° 41' O.      Altitud: 500 m.s.n.m.

<b>HORIZONTE</b>	<b>A1</b>	<b>AC</b>	<b>C</b>
Profundidad de la muestra (cm)	0-17	17-40	40 a más
Materia orgánica, %	1.0		
Carbono orgánico, %	0.60		
Nitrógeno total, %	0.08		
Relación C/N	7.5		
Arcilla < (2u),%	11.5	9.9	6.8
Limo ( 2-50u),%	40.8	40.0	40.4
Are. M. fina ( 50-100u),%	45.0	45.0	48.5
Are. Fina (100-250u),%	2.6	2.8	2.4
Are. Media (250-500u),%	0.3	0.4	
Are. Gruesa (500-1000u),%	0.4	0.5	0.4
Are. M. gruesa ( 1- 2 mm),%			
Calcáreo ( CaCO <sub>3</sub> ),%	0.0	0.0	0.0
Equivalente de humedad,%	12.0	12.6	10.4
pH en pasta	6.2	6.4	6.5
pH en agua 1:2,5	6.3	6.5	6.6
Cationes/ cambio (me/100g)			
Ca++	11.1	7.9	7.1
Mg++	0.6	1.9	0.7
Na +	0.4	0.4	0.4
K +	1.1	1.0	0.7
H +	0.6	0.4	0.4
Na % del valor T	2.9	3.4	4.3
Conductividad, mmhos/cm			
Suma de bases, me/100g (S)	13.2	11.2	8.9
Cap. Int. Cat me/100g (T)	13.8	11.6	9.3
Sat. con bases (S/T),%	95.7	96.6	95.7
Densidad aparente, (g/cm <sup>3</sup> )	1.30	1.35	1.25

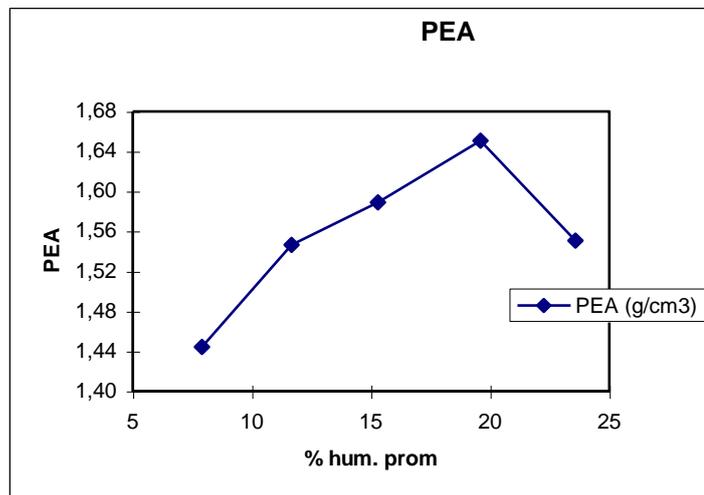
## 9.4 ANEXO 4

### 9.4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN MÁXIMA: PROCTOR

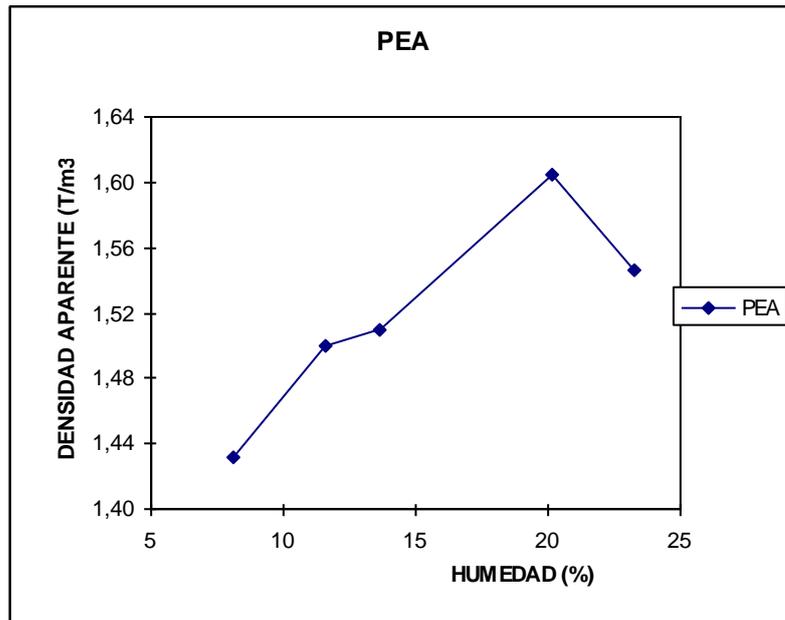
Curvas de Compactación vs. Humedad promedio



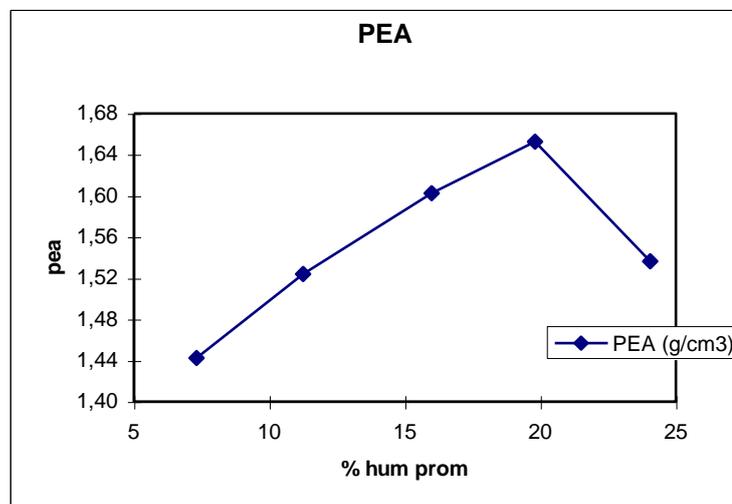
**Figura I:** *Curva de Densidad aparente vs. % de humedad promedio.*  
Muestra de suelo de 0-5 cm de profundidad.  
Repetición I.



**Figura II:** *Curva de Densidad aparente vs. % de humedad promedio.*  
Muestra de suelo de 0-5 cm de profundidad.  
Repetición II.



**Figura III:** *Curva de Densidad aparente vs. % de humedad promedio.*  
 Muestra de suelo de 5-10 cm de profundidad.  
 Repetición I.



**Figura IV:** *Curva de Densidad aparente vs. % de humedad promedio.*  
 Muestra de suelo de 5-10 cm de profundidad.  
 Repetición II.