

PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE UN HAPLUDOL TÍPICO DE CÓRDOBA EN RELACION AL PISOTEO ANIMAL

FLAVIA SOLEDAD CABRERA¹; CARMEN CHOLAKY² & ANALÍA BECKER¹

Recibido: 18-04-11

Recibido con revisiones: 03-07-11

Aceptado: 03-07-11

HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF A TYPICAL HAPLUDOL OF CÓRDOBA PROVINCE, ARGENTINA, IN RELATION TO ANIMAL TRAMPLING

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of animal trampling on some hydrophysical properties of a typical Hapludol implanted with «*Triticosecale Wittmack*», by means of a rotational grazing system (7 days of occupation and 42 days off) with four stocking rates corresponding to forage allowances of 2, 4, 6 and 8 kg dry matter/100 kg of live animal weight per day, under two soil moisture contents: dry soil, with 11% and moist soil, with 18% water content. The results were compared to an ungrazed reference system. The study was conducted at the experimental station of the Universidad Nacional de Río Cuarto, southwestern Córdoba province, Argentina, under an experimental design in randomized blocks with a split plot arrangement. The parameters assessed were: bulk density (BD), relative compaction (RC), total porosity (TP) at 0-5 cm and 5-10 cm depths, and initial and final infiltration rate (IIR and FIR, respectively). BD showed an increase ($p < 0.05$) at the 0-10 cm depth, which was more pronounced in the first 0-5 cm, and a decrease in the IIR and FIR as compared to the controls. The higher soil water content at the time of grazing increased these effects. RC values followed the same trend as those of BD, but did not reach critical values for crop development. The level of forage allowance and soil moisture at the time of grazing proved to be factors that modified the hydrophysical behavior of the soil under study. The increase in stocking rate caused a decrease in the IIR and an increase in BD, an effect that was enhanced under the wet soil condition. The forage allowances of 6 and 8% seemed to be stocking rates that do not modify the hydrophysical conditions of the soil in relation to the ungrazed condition.

Key words. Forage allowances, stocking rates, soil water content, bulk density, infiltration rate.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del pisoteo animal sobre algunas propiedades hidrofísicas de un Hapludol típico implantado con *Triticosecale Wittmack*, mediante un sistema de pastoreo rotativo (7 días de ocupación y 42 días de descanso) con cuatro niveles de carga animal que correspondieron a asignaciones de forraje de 2, 4, 6 y 8 kg materia seca cada 100 kg (%) de peso vivo animal por día, en dos condiciones de humedad edáfica: Suelo Seco, con 11% y Suelo Húmedo con 18%. Se tomó como referencia un sistema no pastoreado. El ensayo se realizó en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, al suroeste de Córdoba, bajo un diseño experimental en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. Se evaluó densidad aparente (DA), compactación relativa (CR), porosidad total (PT) a 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad y velocidad de infiltración inicial (VII) y final (VIF). La DA presentó un aumento ($p < 0,05$) en 0-10 cm de profundidad, siendo éste más acentuado en los primeros 0-5 cm y disminuyó la VII y VIF respecto al testigo; el mayor contenido hídrico al momento del pastoreo incrementó estos efectos. Los valores de CR siguieron la misma tendencia que la DA, aunque no alcanzaron valores críticos para el desarrollo del cultivo. El nivel de asignación de forraje y la humedad edáfica al momento del pisoteo demostraron ser dos factores que modificaron el comportamiento hidrofísico del suelo bajo estudio. El incremento de la carga animal produjo una disminución de la VII y un aumento en la DA, potenciándose este efecto en la condición de suelo húmedo. Las asignaciones del 6 y 8% podrían ser niveles de carga animal que no modificarían las condiciones hidrofísicas del suelo en relación a la condición sin pastorear.

Palabras clave. Asignación de forraje, carga animal, contenido de agua edáfica, densidad aparente, velocidad de infiltración.

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto,

2 Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36, km 601, (X5804BYA), Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Autor para correspondencia: scabrera@exa.unrc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El suelo es la base en la cual se apoyan todas las actividades del hombre, siendo el principal receptor de los impactos producidos por éstas. Estos impactos pueden generar su deterioro progresivo, aumento de la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, y la alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Thurou, 1991).

La compactación del suelo produce un aumento en la densidad aparente (DA), aumenta la resistencia mecánica, disminuye la porosidad total, lo cual favorece el riesgo de erosión por escorrentías (Villamil *et al.*, 2000; Taboada & Micucci, 2009) y dificulta la implantación, desarrollo y persistencia de las especies forrajeras (Kießling *et al.*, 2008). El pisoteo del ganado afecta directamente la capa superficial del suelo, debido a la presión ejercida por la pezuña del animal sobre la superficie, modificando las propiedades físicas (Kießling *et al.*, 2008; Taboada *et al.*, 2008). Estas se encuentran íntimamente relacionadas con la dinámica del agua y la sustentabilidad del sistema. Abaye *et al.* (1997) indican que el efecto del pisoteo varía según la especie y peso del animal, el tiempo de permanencia, la cantidad de animales por superficie (Willatt & Pullar, 1983), el tipo de suelo (Van Haveren, 1983) y el estado hídrico del mismo (Greenwood & McKenzie, 2001; Taboada & Micucci, 2009), entre otros factores. En cuanto a los factores del suelo que condicionan a la compactación producida por el pisoteo, es de relevancia considerar el estado de humedad del perfil (Taboada *et al.*, 2008). 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, como fuera señalado por numerosos autores (Martín *et al.*, 1998; Greenwood & McKenzie, 2001). Otros trabajos muestran que el pisoteo animal, en distintas condiciones de humedad edáfica, modifica las propiedades físicas del suelo (Arranz *et al.*, 2004; Kießling *et al.*, 2007; Taboada *et al.*, 2008). Taboada & Micucci (2009) para la Pampa Deprimida plantean que en sistemas con pastoreo rotativo el aumento de la DA es menor (16%) que en los sistemas con pastoreo continuo, lo cual pone de manifiesto que el otorgamiento de descansos periódicos al pastoreo mejora la porosidad superficial. A pesar de ser universalmente aceptado que el tránsito y el pastoreo excesivo es causa de degradación de los suelos (Taboada & Lavado, 1993; Taboada *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2000; Drewry, 2006;), es poca la información que permite cuantificar el efecto de las actividades antrópicas sobre las propiedades y características de los suelos destinados al pastoreo. En Haplustoles énticos de la Región Semiárida Pampeana,

Kießling *et al.* (2008) plantean que el pisoteo animal, en el mediano plazo (8 años), no afectaría la densidad aparente ni la porosidad total en sistemas de siembra directa y, por lo tanto, es factible el desarrollo de un planteo agrícola-ganadero en dicho sistema de labranza. En el suroeste de la provincia de Córdoba se ha informado que existe alta susceptibilidad a la degradación física de los suelos debido a su granulometría y estabilidad estructural (*i.e.*, bajo contenido de material coloidal) así como al desarrollo de las actividades agropecuarias (Becker, 2006). Es por ello que es necesario profundizar en estudios para evaluar la influencia del pastoreo sobre las propiedades del suelo.

Se plantea como hipótesis que el efecto de la carga animal sobre un suelo franco arenoso grueso con diferentes contenidos de humedad al momento del pastoreo no altera su comportamiento hidrofísico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pisoteo animal en algunas propiedades hidrofísicas de un Hapludol típico del Sur-Oeste de la provincia de Córdoba bajo dos condiciones de humedad edáfica y diferente carga animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

El estudio se realizó en el campo de Docencia y Experimentación «Pozo del Carril» perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado en la cuenca del arroyo La Colacha, departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba (64°39' y 64°50' de Longitud Oeste y 32°54' y 33°03' de Latitud Sur y entre 850 y 550 ms.n.m.). El clima es templado húmedo con nula a pequeña deficiencia de agua en los meses de enero y febrero e importantes excesos hídricos de octubre a abril. La precipitación media anual es 950 mm y se concentra en primavera-verano (81%), con eventos de alta intensidad (*i.e.* intensidades máximas hasta 100 mm h⁻¹). La temperatura media anual es 16,5 °C. La evapotranspiración potencial anual es 901 mm.

El área presenta un relieve moderado a fuertemente ondulado con pendientes de distinta longitud y gradientes de hasta el 7%, constituido por sedimentos loésicos, arenosos muy finos del Pleistoceno superior tardío y Holoceno donde se desarrollan Hapludoles típicos, limoso grueso, illítico, térmico de bajo desarrollo. Los suelos se caracterizan por presentar un horizonte Ap (0-14 cm) franco arenoso, bloques angulares, gruesos, moderados con laminación; Bw (14-42 cm) franco arenoso, bloques angulares y prismas simples irregulares, gruesos, modera-

dos, escasos barnices arcillo-húmicos; BC (42-65 cm) franco arenoso, prismas simples y bloques sub-angulares finos, moderados a débiles que rompen a bloques menores débiles; C (65 -+cm) franco arenoso, bloques angulares irregulares muy finos y muy débiles que rompen a masivo. La granulometría del horizonte superficial presenta 17,48% de arcilla (< 2 μm), 30,32% de limo (2-50 μm) y 52,80% de arenas muy finas (50-100 μm) (Becker, 2006). El área de estudio pertenece a la región fitogeográfica del Espinal (bosque de especies leñosas y pastizales) del que sólo quedan relictos. El principal problema de degradación al que están sujetas las tierras de la región es la erosión hídrica, la cual se manifiesta con diferente grado de magnitud y forma, abarcando erosión laminar, en surcos y cárcavas (Becker, 2006). El uso actual de la tierra comprende sistemas mixtos y agrícolas con predominio de cultivos estivales.

Planteo del ensayo

El lote donde se implementó el ensayo proviene de una larga historia de uso ganadero con un manejo del suelo basado en sistemas de labranza convencional presentando compactación subsuperficial en los primeros 30 cm de profundidad. En febrero de 2007, previo a la instalación del ensayo se realizó una operación de descompactación sub-superficial en todo el lote a una profundidad de trabajo de aproximadamente 28 cm, con un subsolador alado similar al prototipo «reja cero» (Cisneros *et al.*, 1998) y una de rastra doble acción a una profundidad de trabajo de 10 cm. Se sembró un cultivo anual de Triticale (*Triticosecale* Wittmack), cultivar *Genú-UNRC*, de ciclo otoño-invernal con una densidad de 100 kg ha⁻¹, en la primera quincena de abril. El cultivo fue fertilizado a la siembra con fosfato diamónico (27 kg ha⁻¹) y urea (38 kg ha⁻¹). El sistema de pastoreo fue rotativo con siete días de ocupación por cinco terneros de raza *Aberdeen Angus* de aproximadamente 150-170 kg de peso vivo al inicio del ensayo y 42 días de descanso para cada parcela, a partir de mediados de julio. En el mismo lote se estableció una situación testigo (AP) no pastoreada, con iguales condiciones al resto de los tratamientos.

Los tratamientos comprendieron dos variables experimentales: -el contenido hídrico del suelo, con dos niveles: Suelo Seco (contenido hídrico inferior al de capacidad de campo) con 11%

y Suelo Húmedo (contenido hídrico superior a la capacidad de campo) con 18% y -la asignación de forraje por animal y por día (Méndez & Davies, 2004) con cuatro niveles: 2, 4, 6 y 8% del peso vivo (PV) (Tabla 1).

A partir de la combinación de las variables señaladas quedaron definidos ocho tratamientos de pastoreo y humedad edáfica: Pastoreo en Suelo Húmedo (PSH) con un nivel de asignación de forraje del 2% (PSH 2%), 4% (PSH 4%), 6% (PSH 6%) y 8% (PSH 8%); Pastoreo en Suelo Seco (PSS) con un nivel de asignación de forraje del 2% (PSS 2%), 4% (PSS 4%), 6% (PSS 6%) y 8% (PSS 8%), respectivamente; y un testigo (AP). Para obtener los niveles de humedad edáfica se dispusieron dos parcelas principales considerando el tiempo transcurrido entre el último evento de precipitación y la entrada de animales (*i.e.* PSH inmediatamente posterior a una lluvia al inicio de la primavera y PSS anterior a la misma en el período invernal). La asignación de forraje se definió mediante la división de la parcela de humedad, en sub-parcelas de superficie variable según el porcentaje de forraje asignado (Tabla 1).

Determinación de la asignación de forraje

La determinación de la carga animal se estableció mediante distintos niveles de asignación del forraje a partir de un ajuste de la superficie de cada subparcela según la disponibilidad del forraje (MS ha⁻¹), (Tabla 1). El cálculo de la superficie de la subparcela se estimó a través de un coeficiente de materia seca (%MS) del forraje, determinado 72 horas antes del inicio del ensayo (Lantinga *et al.*, 2000). Al momento de la asignación se procedió a recolectar muestras para obtener la disponibilidad de materia seca por hectárea en ese momento. Posteriormente, a través de la necesidad de MS del grupo de animales en cada nivel de asignación forrajera, para los siete días de ocupación, se estableció la superficie y el largo de las sub-parcelas.

Variables analizadas para la caracterización superficial del suelo

La caracterización superficial del suelo testigo se efectuó en muestras compuestas, tomadas al azar, de 0-5 y 5-10 cm de profundidad. Se determinó el contenido hídrico a capacidad de campo (CC), (Klute, 1986); la densidad aparente

Tabla 1. Valores medios de superficie de cada sub-parcela y carga animal instantánea establecida para cada tratamiento.

Table 1. Sub-plot mean areas and temporary stocking rates established for each treatment.

Asignaciones (%)	BLOQUE I				BLOQUE II			
	2	4	6	8	2	4	6	8
Superficie de subparcela (m ²)	545	834	1.334	2.150	554	926	1.378	1.999
Carga animal instantánea (kg PV m ⁻²)	2,38	1,33	0,90	0,56	2,28	1,18	0,80	0,58

Donde PV es Peso Vivo.

máxima (DAmáx) mediante el ensayo Proctor (ASTM, 2003a); el contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley-Black (Walkley & Black, 1934); la densidad Aparente (DA) por medio de la Sonda de Rayos Gamma (Modelo HS-500 1C) y la velocidad de infiltración (VI) a través del método del doble anillo (ASTM, 2003b). Los datos obtenidos para caracterizar la situación testigo se presentan en la Tabla 2.

Evaluaciones realizadas en los tratamientos

A través del método gravimétrico se determinó el contenido hídrico del suelo a la entrada y salida de los animales en las dos parcelas, siendo el promedio entre ambas determinaciones el contenido hídrico del suelo en el cual se efectuó el pastoreo. Posteriormente a la salida de los animales de las parcelas, se determinó la densidad aparente (DA) en el espesor de 0-5 y 5-10 cm de profundidad y la velocidad de infiltración (VI) en cada uno de los tratamientos, con cuatro repeticiones al azar y con las metodologías mencionadas precedentemente. Además, se estimó la porosidad total (PT), (Danielson & Sutherland, 1986) y la compactación relativa (Carter, 1990).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental 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 (UNC, 2010). En primer lugar se realizó la prueba de Shapiro-Wilk modificada (Rahman & Govindarajulu, 1997) para evaluar la distribución de cada variable. Cuando la misma no resultó normal, la variable fue transformada o se optó por realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad Aparente (DA)

El análisis estadístico no mostró interacciones entre las variables estudiadas. En las Figuras 1 y 2 se observa que el pisoteo animal produjo un aumento significativo ($p < 0,05$) en la DA en todos los tratamientos respecto del testigo (AP) en ambas profundidades, excepto para PSS8% en los 0-5 cm y para PSS6 y PSS8% en los 5-10 cm. Estos resultados concuerdan con lo hallado por otros autores en diferentes regiones del país (e.g., Silva *et al.*, 2000; Arranz *et al.*, 2004) y próximos al área de estudio (Bricchi *et al.*, 2004). El incremento observado en la DA del espesor comprendido entre los 0-5 cm, fue más acentuado ($p < 0,05$) en las subparcelas donde el contenido de humedad del suelo fue mayor en el momento en que estas fueron pastoreadas, respecto a las de PSS. El contenido hídrico promedio del suelo correspondiente al tratamiento PSH fue de 18% siendo superior al contenido hídrico a capacidad de campo (Tabla 2), por lo que la tendencia antes mencionada podría deberse a lo planteado por Martín *et al.* (1998) en cuanto a que el exceso de agua en el suelo al momento del pastoreo podría producir un efecto de moldeado y amasado de la estructura edáfica (Taboada *et al.*, 2008).

El aumento en la DA en el espesor de 0-5 cm con respecto al testigo (Fig. 1) fue menor a medida que se incrementaron los niveles de asignación (*i.e.* menor carga animal) en la sub-parcela con elevado contenido hídrico, siendo este incremento de la DA de aproximadamente 20 y 17% para las asignaciones 2% y 4% respectivamente, y de 10% para las asignaciones 6 y 8%. Estos resultados concuerdan con lo observado por Taboada *et al.* (2008) y du Toit (2009) quienes señalan que el aumento en la carga animal es uno de los principales factores causantes de la compactación superficial en los suelos pisoteados por el pastoreo. Sin embargo, además de la carga animal, resulta evidente el

Tabla 2. Valores medios de materia orgánica (MO) contenido de agua a capacidad de campo (CC), densidad aparente (DA), densidad máxima (DAmáx), contenido de agua crítico de compactación (HC), velocidad de infiltración inicial (VII) y velocidad de infiltración final (VIF) en el tratamiento testigo (AP) a 0-5 y 5-10 cm del suelo.

Table 2. Mean values of organic matter (OM), water content at field capacity (CC), bulk density (DA), maximum bulk density (DAmáx), critical water content (HC), initial infiltration rate (VII) and final infiltration rate (VIF) for the control (AP) treatment at the 0-5 and 5-10 cm soil depths.

Profundidad (cm)	MO (%)	CC (%g g ⁻¹)	DA(Mg m ⁻³)	DAmáx(Mg m ⁻³)	HC (%g g ⁻¹)	VII(mm h ⁻¹)	VIF(mm h ⁻¹)
0-5	1,6	15	1,05	1,61	20,2	206	21
5-10	1,4	13	1,20	1,63	19,0	----	----

efecto del contenido hídrico del suelo al momento del pisoteo sobre el incremento en la DA, ya que en la condición de PSS el aumento de la DA en relación al testigo (Fig. 1) no fue tan marcado como en PSH, siendo de aproximadamente 15% para las asignaciones de 2 y 4% y del 7% en las asignaciones 8 y 6%. Las características texturales del espesor analizado, indican un ligero comportamiento plástico en mojado (Becker, 2006), lo que explicaría el mayor incremento de la DA observado en PSH que en PSS. Sin embargo, la escasa cantidad de los coloides orgánico y mineral de este espesor superficial, conjuntamente con la historia de uso agrícola-ganadero y manejo basado en laboreos convencionales a los que han sido expuestos, permitirían explicar el incremento de la DA aún en condiciones de PSS con altas cargas animales, asociándolo a una baja estabilidad de la estructura (Six *et al.*, 2004; Chiarotto, 2009).

En el espesor comprendido entre 5-10 cm, la DA presentó mayores valores respecto al de 0-5 cm (Fig. 2), tendencia que también fue observada en el testigo (Fig. 1). El aumento de la DA respecto de AP, fue menor que el observado en el primer espesor de profundidad, siendo de 16, 14, 9 y 6% en la condición de SH para las asignaciones 2, 4, 6 y 8%, respectivamente. En PSS este aumento fue sensiblemente menor que en PSH, siendo de 9% para las asignaciones de 2 y 4% y menor al 4% para las asignacio-

nes 6 y 8%. Estos resultados no coinciden con lo observado por Kiessling *et al.* (2008), quienes plantearon que el pisoteo animal provocó un aumento significativo en la DA en el espesor de 5-15 cm lo cual no sucedió en el espesor superior (0-5 cm) y tampoco se observó en el espesor de 15-20 cm para un suelo similar al evaluado en este estudio. En cuanto al efecto del contenido hídrico en el perfil al momento del pisoteo, Pecorari y Alassia (1998) recomiendan evitar el tránsito de animales e implementos cuando el suelo presenta exceso de agua, debido a que se desarrolla una cohesión interna del suelo que restringe enormemente el desarrollo del sistema radical y en consecuencia dificulta el crecimiento y persistencia de los cultivos (Taboada *et al.*, 2008). Proffitti *et al.* (1995) indican que en los suelos bajo pastoreo ovino, es conveniente implementar sistemas de pastoreo que contemplen la salida de los animales cuando el contenido hídrico se encuentra cerca del límite inferior de plasticidad o superior a capacidad de campo, a fin de evitar la degradación de las propiedades físicas del suelo. En este estudio, donde la matriz del suelo presentó menor contenido de arcilla que los suelos de las experiencias citadas precedentemente, los niveles de asignación de 6 y 8% resultarían ser las alternativas que más se asemejan a la condición de referencia, aún en la condición de suelo húmedo donde produjeron menos del 10% de alteración en la DA de los primeros centímetros de suelo.

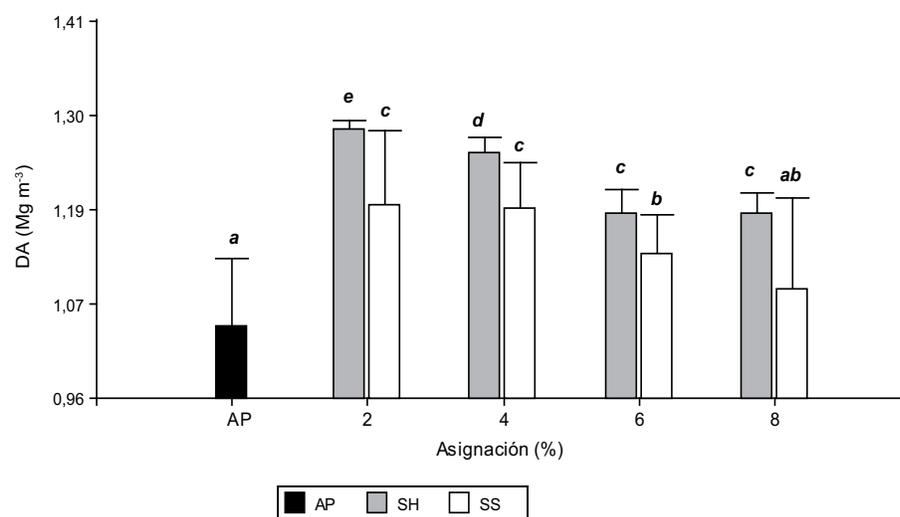


Figura 1. Densidad aparente (DA) para los niveles de asignación de 2, 4, 6, 8% a 0-5 cm del suelo en la condición de suelo húmedo (SH) y suelo seco (SS) y el testigo (AP). Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$).

Figure 1. Bulk density (DA) for allowance levels of 2, 4, 6, 8% at the 0-5 cm soil depth under moist soil conditions (SH), dry soil conditions (SS) and the control (AP). Different letters indicate significant differences ($\alpha=0.05$).

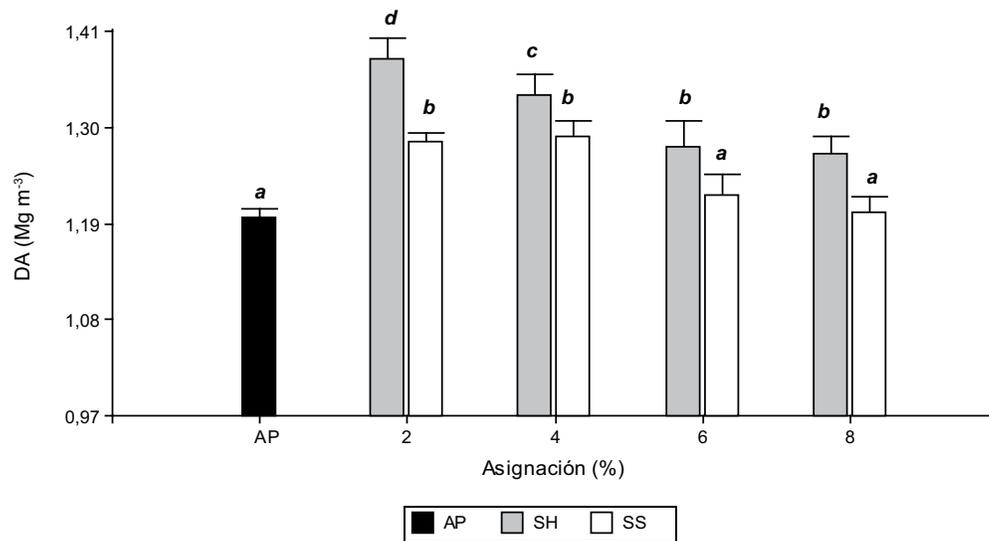


Figura 2. Densidad aparente (DA) para los niveles de asignación de 2, 4, 6, 8% a 5-10 cm del suelo en la condición de suelo húmedo (SH) y suelo seco (SS) y el testigo (AP). Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

Figure 2. Bulk density (DA) for allowance levels of 2, 4, 6, 8% at the 5-10 cm soil depth under moist soil conditions (SH), dry soil conditions (SS) and the control (AP). Different letters indicate significant differences ($\alpha=0.05$).

Compactación Relativa (CR)

El contenido hídrico del suelo en la condición de PSH (18%) estuvo muy cerca del contenido de agua crítico de compactación (HC), (Tabla 2). A pesar de ello los valores de compactación relativa (CR) no superaron al 85% (Tabla 3b), valor por encima del cual se podría ver alterado el crecimiento de una amplia gama de cultivos (e.g. trigo, Carter, 1990), especialmente cuando el suelo se encuentre a un potencial agua próximo al del punto de marchitez permanente, condición en que la resistencia a la penetración puede exceder valores críticos que limiten el crecimiento radical (Hakansson & Liepic, 2000) o la emergencia de plántulas (Taboada *et al.*, 2008). Solo se encontraron diferencias ($p<0.05$) entre las asignaciones 2 y 4% respecto de las de 6 y 8% en ambas profundidades, siendo mayores las CR de los tratamientos con PSH respecto a PSS (Tabla 3a y b). El aumento en los valores de CR, según disminuye el nivel de asignación (*i.e.* mayor carga animal) se corresponde con lo observado en la DA. Si bien estos resultados muestran la gran importancia que tiene el contenido hídrico del suelo ante las fuerzas de compactación ejercidas por el pisoteo animal, no se produjeron valores de CR críticos que impidan el desarrollo de los cultivos (Carter, 1990).

Porosidad Total (PT)

En el espesor de 0-5 cm de la condición testigo (AP) la porosidad total promedio fue de 60%. Luego del pastoreo en condición de suelo húmedo la PT se redujo a un 51, 53, 55 y 56% respectivamente, para los niveles de asignación 2, 4, 6 y 8%, respectivamente. En PSS, el pisoteo de los animales provocó que la PT se redujera a 55, 56, 58 y 59% para 2, 4, 6 y 8% de asignación, respectivamente. En el espesor de 5-10 cm la PT promedio del testigo fue de 55% valor que se redujo a un 48% en PSH2%. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Arranz *et al.* (2004) quienes además, afirman que los macroporos son los más afectados por la compactación (Warren *et al.*, 1986). En relación a ello, Chiarotto (2009) trabajando en un suelo similar al de la presente experiencia, observó que por efecto del pisoteo animal los agregados de 1-4 mm de la capa superficial disminuyeron en aproximadamente un 70% respecto a la situación sin pisoteo. Este comportamiento, de acuerdo a lo planteado por Braunack y Dexter (1989) implicaría un deterioro para la funcionalidad hidrofísica del perfil y para el crecimiento vegetal, al estar dicho tamaño de agregados relacionados con macroporos que brindan condiciones adecuadas de aireación, almacenamiento de agua, resistencia a la compactabilidad del espesor superficial y al riesgo de erosión producida por el agua.

Tabla 3. a). Compactación Relativa (CR) bajo la condición de suelo seco (SS) para los niveles de asignación de 2, 4, 6, 8 y el testigo (AP) a 0-5 y 5-10 cm del suelo. b) Compactación Relativa (CR) bajo la condición de suelo húmedo (SH) para los niveles de asignación 2, 4, 6, 8 y el testigo (AP) a 0-5 y 5-10 cm del suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$).

Table 3. a). Relative Compaction (RC) under dry soil conditions (SS) for forage allowance levels of 2, 4, 6 and 8, and the control (AP) treatment at the 0-5 and 5-10 cm soil depths. b) Relative Compaction (RC) under moist soil conditions (SH) for allowance levels of 2, 4, 6, 8 and before grazing (AP) at the 0-5 and 5-10 cm soil depths. Different letters indicate significant differences ($\alpha=0,05$).

a)		Compactación Relativa (%)										
		PSS										
Profundidad (cm)		Asignaciones (%)								AP	es	Signif.
		2	es	4	es	6	es	8	es			
0-5		74b	1,87	74b	1,25	70c	1,0	68c	2,39	65 a	0,60	P < 0,05
5-10		79b	0,70	80b	1,08	75c	1,44	74c	1,08	73 a	0,61	P < 0,05
es. Error estándar												
b)		Compactación Relativa (%)										
		PSH										
Profundidad (cm)		Asignaciones (%)								AP	es	Signif.
		2	es	4	es	6	es	8	es			
0-5		80b	0,6	78b	1,18	74c	1,75	73c	1,5	65 a	0,60	P < 0,05
5-10		85b	1,5	82b	1,42	78c	1,7	78c	1,3	73 a	0,61	P < 0,05
es. Error estándar												

Velocidad de infiltración inicial (VII) y final (VIF)

El análisis estadístico mostró que no hubo interacción entre los factores estudiados para estas variables. Se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos mediante el análisis no paramétrico (*Kruskal Wallis*). Las parcelas con mayor contenido hídrico del suelo

al momento del pastoreo (PSH) presentaron valores de velocidad de infiltración inicial y final más bajos que las parcelas pastoreadas con menor contenido de humedad del suelo (PSS). La excepción fue la VII para la asignación 2% donde no hubo diferencias significativas entre ambos contenidos hídricos del suelo (Figs. 3 y 4). Los valores de

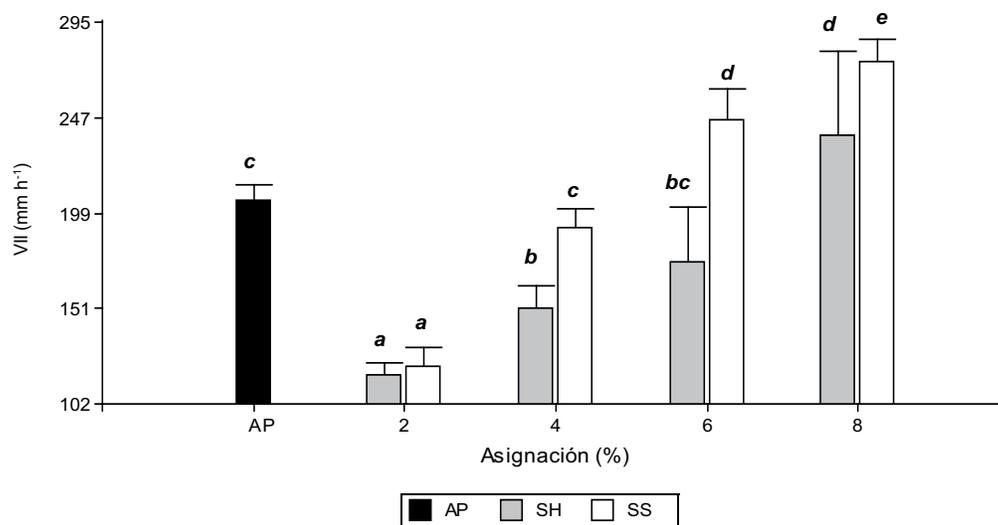


Figura 3. Velocidad de Infiltración inicial (VII) para los niveles de asignación de 2, 4, 6, 8% en la condición de suelo húmedo (SH) y suelo seco (SS) y el testigo (AP). Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

Figure 3. Initial infiltration rate (VII) for allowance levels of 2, 4, 6, 8% under soil moist conditions (SH), dry soil conditions (SS) and the control (AP). Different letters indicate significant differences ($\alpha=0.05$)

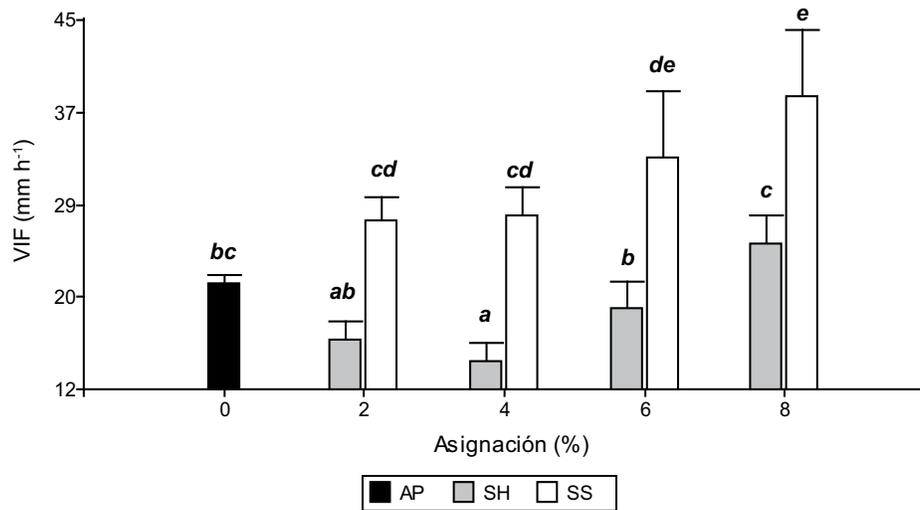


Figura 4. Velocidad de Infiltración final (VIF) para los niveles de asignación de 2, 4, 6, 8% en la condición de suelo húmedo (SH) y suelo seco (SS) y el testigo (AP). Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$).

Figure 4. Final infiltration rates (PIV) for allowance levels of 2, 4, 6, 8% under moist soil conditions (SH), dry soil conditions (SS) and the control (AP). Different letters indicate significant differences ($\alpha=0.05$).

VII en los tratamientos PSH 2%, PSH 4% y PSS2% fueron sensiblemente menores ($p<0,05$) comparados con los de AP. Estos resultados guardan relación con la variación observada en DA y PT coincidiendo con lo observado por Wood *et al.* (2008); Snyman (2005); du Toit (2009). Entre PSH6% y PSS4% no hubo diferencias en la VII respecto a AP, mientras que en PSH8%, PSS6% y PSS8% (Fig. 3), resultó superior a la del testigo, lo cual podría estar asociado a variaciones en el contenido hídrico del suelo en el momento en que se realizaron las mediciones (SCS, 1975; Lado *et al.*, 2004) o la elevada variabilidad a campo que presenta esta determinación con la metodología empleada (Álvarez & Taboada, 2008). La disminución más importante se produjo en la asignación 2% y 4% en PSH.

La VIF determinada en el testigo (AP) fue menor que en las parcelas con pastoreo en SS (Fig. 4). Esto podría atribuirse a que el suelo presentaba un mayor contenido hídrico (16%) en los primeros 30 cm al momento de la medición respecto a la humedad en PSS (12%). La VIF no resultó sensible en relación a los diferentes niveles de asignación de forraje, como si lo fueron la DA y CR y la VII. Sin embargo, la VIF en SH para una asignación de 4% fue significativamente menor respecto al testigo. Así mismo, se observó una tendencia a la disminución de los valores de VIF en los tratamientos con PSH, a excepción de PSH8%.

Esto podría relacionarse a los niveles crecientes de compactación observados en el espesor 5- 10 cm analizado a medida que disminuye el porcentaje de asignación, lo cual coincide con lo expuesto por otros autores (Benoit, 2008; Thurow *et al.*, 1988). Al respecto Gifford y Hawkins (1978) plantean que el pastoreo con una carga ligera a moderada podría disminuir la capacidad de infiltración en un 25% de la registrada en los pastizales sin pastoreo mientras que en un pastoreo intensivo la capacidad para la infiltración disminuiría en un 50%.

CONCLUSIONES

El nivel de asignación de forraje y el contenido hídrico del suelo al momento del pastoreo demostraron ser dos factores que modificaron el comportamiento hidrofísico en el Hapludol típico.

El incremento de la carga animal produjo una disminución de la velocidad de infiltración inicial y un aumento en la densidad aparente, potenciándose este efecto en la condición de suelo húmedo.

Para el área de estudio una asignación del 6 y 8% son niveles de carga animal que no modifican las condiciones hidrofísicas del suelo en relación a la condición sin pasto-

rear, por lo que se recomienda utilizar estos valores de carga animal para los sistemas con suelos similares al de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue posible gracias al apoyo recibido por el personal del Campo de Docencia y Experimentación «Poza del Carril» (UNRC) y a la financiación de los proyectos UNRC (PPI-146) y ANPCyT (PICT 605/06).

BIBLIOGRAFÍA

- Abaye, OA; VG Allen & P Fontenot. 1997. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soils and plants. *Agron. J.* 89: 380-386.
- Álvarez, CR & MA Taboada 2008. Indicadores de la fertilidad física del suelo. En: Taboada M. & C. Alvarez (eds.) Fertilidad Física de los Suelos. 2^{da} edn. 126-130 pp. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Arranz, C; JA Galantini; JG Iglesias; H Kruger & S Venanzi. 2004. Sistemas de Labranza: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD 10pp.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003a. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft-lbf/ft³(600 kN-m/m³)]. ASTM D 698, West Conshohocken, Pa.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003b. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. ASTM D 3385, West Conshohocken, Pa.
- Becker, AM. 2006. 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. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 pp.
- Benoit, M. 2008. Grassland and water resources: recent trends and future challenges in temperate zones. In: Proceedings XXI International Grassland Congress and VII International Rangeland Congress, Hohhot, China, 1: 813-817.
- Braunack, MV & AR Dexter 1989. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth. *Soil Tillage Res.* 14: 281-298.
- Bricchi, E; F Formía; G Espósito; L Ribieri, & H Aquino. 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and carbon levels. *Span J. Agric. Res.*, 2(3): 409-418.
- Carter, MR. 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, JM; GA Cantero; J Marcos; A Degioanni; E Bricchi; O Giayetto; C Cholaky; E Bonadeo; G Cerioni & 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, SH & D Jorajuría (eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps. 128-134 pp.
- Chiarotto, P. 2009. Efecto del pastoreo de los rastrojos y de las labranzas sobre la evolución temporal de la estabilidad de agregados. Trabajo Final de grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 30 pp.
- Danielson, RE & PL Sutherland. 1986. Porosity. In: A Klute (de) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph N°9 (2^{da} Ed.). ASA and SSSA, Madison, WI. 443-461 pp.
- Drewry, JJ. 2006. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Agric. Ecos. Environ.* 114: 159-169.
- Du Toit, G van N; HA Snyman & PJ Malan. 2009. Physical impact of grazing by sheep on soil parameters in the Nama Karoo subshrub/grass rangeland of South Africa. *Journal of Arid Environments* 73(9): 804-810.
- Gifford, GF & RH Hawkins. 1978. Gifford and Hawkins, Hydrologic impact of grazing on infiltration: a critical review, *Water Resources Research* 14: 305-313.
- Greenwood, KL & BM McKenzie. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Aust. J. Exptl. Agric.* 41: 1231-1250.
- Hakansson, I. & J. Liepic. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction: *Soil Tillage Res.* 53: 71-85.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods In: A Klute (edit.) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph N°9 (2nd Edition). ASA and SSSA, Madison, WI. 635-686 pp.
- Kiessling, RJ; JA Galantini; JO Iglesias; H Kruger & S Venanzi. 2007. Efectos de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos. En: «La siembra directa en los sistemas productivos del S y SO Bonaerense», Galantini et al., 2007 (eds.). 25-30 pp.
- Kiessling, RJ; JA Galantini; JO Iglesias & S Venanzi. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continúa. XXI CACS. Potrero de los Funes, San Luis. En CD.
- Kruskal, WH & WA Wallis. 1952. Use of ranks on one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47: 583-621.
- Lado, M; A Paz & M Ben-Hur. 2004. Organic Matter and Aggregate Size Interactions in Infiltration, Seal Formation, and Soil Loss. *Soil Sci Soc Am J* 68: 935-942.
- Lantinga, EA; JH Neuteboom & JAC Meijs. 2000. Sward Methods. In: J Leaver (ed.), Herbage Intake Handbook. 2^{da} Ed. British Grassland Society. 35pp.
- Martin, B; G Zerpa; O Sosa & J Denoia. 1998. Efecto del tránsito animal sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la velocidad de infiltración. XVI CACS. Pág. 11.
- Méndez, D & P Davies. 2004 Herramientas para mejorar las ganancias de peso. *Revista Super campo. De la Huerta a la estancia.* N° 113: 6-10.
- Pecorari, C. & 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. 18-21pp.
- Proffitti, APB; S Bendotti & D McGarry. 1995. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics. *Soil Tillage Res.* 35:199-210.
- Rahman, M.M & Z. Govindarajulu. 1997. A modification of the test of Shapiro and Wilk for normality. *Journal of Applied Statistics* 24(2): 219-236.

- Silva, LA; Gutierrez NC & 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. 1-4 pp.
- Six, J; H Bossuit; S Degryze & K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Snyman, HA. 2005. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa (1): influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios and water-use efficiency. *Journal of Arid Environments* 60: 457-481.
- Soil Conservation Service (SCS). 1975. Engineering Field Manual for Conservation Practices. U.S. Department of Agriculture.
- Taboada, MA & RS Lavado. 1993. Influence of cattle trampling on soil porosity under alternate dry and ponded conditions. *Soil Use Manage.* 9: 139-143.
- Taboada, MA; RS Lavado; H Svartz & AML Segat. 1999. Structural stability changes in a grazed grassland Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. *Wetlands* 19: 50-55.
- Taboada, MA & SN Micucci. 2009. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa Deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del Suelo* 27(2): 147-157.
- Taboada, MA; FG Micucci & CR Álvarez. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. Compactación por pisoteo animal. En: Taboada, MA & CR Álvarez (eds.) Fertilidad Física de los Suelos. 2^{da} edn. 126-130 pp. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Thurow, TL; WH Blackburn & CA Taylor Jr. 1988. Infiltration and interrill erosion responses to selected livestock grazing strategies, Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range Management* 41: 296-302.
- Thurow, TL. 1991. Hydrology and erosion. En: Grazing Management. An ecological perspective. Heitschmidt RK & JW Stuth (eds.) Timber Press INC. Oregon: 255 pp.
- Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Estadística y Biometría, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2010. InfoStat.
- Van Haveren, BP. 1983. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a short-grass prairie site. *Journal of Range Management* 36: 586-588.
- Villamil, MB; NM Amiotti & N Peinemann. 2000 Disminución del espesor del horizonte A por sobrepastoreo animal en la Región Sur del Caldenal. XVII CACS, Mar del Plata, Argentina. En CD.
- Walkley, A & I Black. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.
- Warren, SD; MB Nevill; WH Blackburn & NE Garzn. 1986. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1336-1340.
- Willat, ST & DM Pullar. 1983. Changes in soil physical properties under grazed pastures. *Aust. J. Soil Res.* 22: 343-348.
- Wood K; H Rubio & C Wood. 2008. Rangeland management and hydrology. In: Proceedings XXI International Grassland Congress and VII International Rangeland Congress, Hohhot, China, 1: 809-812.