

# RESPUESTA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE TRES SUELOS DE LA PAMPA DEPRIMIDA AL PASTOREO ROTATIVO

MIGUEL ANGEL TABOADA<sup>1</sup> & SERGIO NICOLÁS MICUCCI

<sup>1</sup> Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires e IByF – CONICET. Avenida San Martín 4453, C1417DSE Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: mtaboada@agro.uba.ar

Recibido: 00-00-00

Aceptado: 00-00-00

## RESUMEN

Existe escasa información referida al efecto del pastoreo rotativo sobre las propiedades físicas de los suelos. Se hipotetiza que suelos ubicados en diferentes posiciones de una toposecuencia responden en forma diferente al manejo del pastoreo. Se espera mayor efecto mejorador del pastoreo rotativo en los suelos de las posiciones más bajas del relieve. Se evaluaron durante un año las variaciones de un conjunto de propiedades físicas de suelo en sistemas apareados manejados con pastoreo continuo (PC; carga promedio = 0,5-0,7 cabezas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y con pastoreo rotativo (PR; carga instantánea = 30-40 cabezas ha<sup>-1</sup> cada dos meses), en suelos ubicados en posiciones de loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natracuol Típico) y bajo alcalino (Natraqualf Típico). De los tres suelos, sólo el de la loma mejoró su comportamiento físico por el PR. No sólo mantuvo contenidos hídricos gravimétricos 6,7-36% más altos, sino también densidades aparentes hasta 16% más bajas y capacidades portantes hasta 54% más bajas que la situación bajo PC. En cambio, la inestabilidad estructural no fue afectada por el sistema de pastoreo y fue más del doble más alta en el suelo del bajo alcalino. Los suelos de la toposecuencia mostraron diferente respuesta al sistema de pastoreo, lo cual permitió aceptar la hipótesis propuesta. A diferencia de lo esperado, el pastoreo rotativo favoreció más al suelo de la loma y no al ubicado en posiciones bajas del relieve.

**Palabras clave.** Pastoreo rotativo, pisoteo animal, propiedades físicas del suelo, suelos halo-hidromórficos, Pampa Deprimida.

## ROTATIVE GRAZING EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF THREE SOILS OF THE FLOODING PAMPA

### ABSTRACT

Information on rotative grazing effects on soil physical properties is scarce. The working hypothesis was that different soils located in different positions of a toposquence respond differently to grazing management. A one-year field trial was carried out to evaluate temporal variations of a set of soil physical properties in paired situations managed under continuous grazing (PC; mean stocking rate = 0,5-0,7 cow ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and rotative grazing (PR; stocking rate = 20-40 cow ha<sup>-1</sup> each two months), in soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and alkaline lowland (Typic Natraqualf) positions of a toposequence. PR management significantly improved the soil physical properties at the upland position. This soil had 6.7 to 36% higher gravimetric water content, 16% lower bulk density and 54% lower surface bearing capacity in the topsoil compared to the PC treatment. Soil structural instability was not affected by grazing, and more than doubled in the alkaline lowland position. The three soils of the toposequence responded differently to similar grazing management, which agrees with the working hypothesis. However, contrary to our prediction, rotative grazing did not favor the soil in alkaline lowland; only the upland position was positively affected.

**Key words.** Rotative grazing, animal trampling, soil physical properties, halo-hydromorphic soils, Flooding Pampa.

## INTRODUCCIÓN

El potencial disturbio que causa el tránsito y pisoteo continuado por ganado doméstico sobre las propiedades físicas edáficas, y la productividad de pastizales y pasturas ha sido suficientemente documentado (Willatt & Pullar, 1983; Greenwood & Mc Kenzie, 2001; Drewry, 2006; Taboada & Lavado, 1993; Taboada *et al.*, 1999). La magnitud de este disturbio varía en función de las caracte-

rísticas de los suelos (Van Haveren, 1983), además de factores relacionados con la carga y el tipo de animal (Willatt & Pullar, 1983; Greenwood & Mc Kenzie, 2001) y el contenido hídrico en que son pastoreados (Scholefield *et al.*, 1985; Taboada & Lavado, 1993; Greenwood & Mc Kenzie, 2001). En contenidos hídricos bajos a moderados, lo más frecuente es la reducción del espacio poroso en procesos de compactación (Willatt & Pullar, 1983;

Greenwood & Mc Kenzie, 2001; Taboada & Lavado, 1993). La compactación se verifica por aumentos de densidad aparente y resistencia a la penetración, y descensos de estabilidad estructural en los primeros centímetros del suelo. En suelos pastoreados muy húmedos a saturados, el tránsito causa daños por amasado del suelo («*poaching*»), el cual se verifica por pérdidas de porosidad y de estabilidad estructural (Scholefield *et al.*, 1985; Greenwood & Mc Kenzie, 2001). El pastoreo continuo se lleva a cabo principalmente en explotaciones con grandes lotes; en cambio en lotes de menor tamaño pueden implementarse sistemas de pastoreo rotativo. Esta tecnología minimiza el deterioro del pastizal e aumenta su productividad forrajera (Savory & Parsons, 1980; Drewry, 2006). Se trata del aprovechamiento del pastizal durante cortos períodos de tiempo con moderadas a altas cargas de hacienda, dejando períodos alternados de descanso a través de la utilización de dos o más lotes de pastoreo (The Forage and Grazing Terminology Committee, 1991). En situaciones en que la vegetación posee bajo potencial de recuperación luego del pastoreo se considera esencial la implementación del pastoreo rotativo (Drewry, 2006; Müller *et al.*, 2007).

A diferencia de las mejoras observadas a nivel de la vegetación por el otorgamiento de descansos periódicos (Savory & Parsons, 1980; Drewry, 2006), son menos conocidos los efectos del pastoreo rotativo sobre los suelos. Por ejemplo, en qué medida el pastoreo rotativo afecta la densidad aparente, la estabilidad estructural y la capacidad portante de los suelos. Esta recuperación depende de la resiliencia de cada suelo, lo cual se relaciona con la particular respuesta de cada uno a los ciclos de humedecimiento secado, y por la creación de bioporos por las raíces y la mesofauna (Greenwood & Mc Kenzie, 2001; Drewry, 2006). Estos ciclos de recuperación suelen demandar sólo unos meses en suelos de zonas templadas y húmedas que no poseen demasiadas restricciones (Greenwood & Mc Kenzie, 2001; Drewry, 2006). En cambio, se conoce poco acerca de lo que sucede cuando esas restricciones aparecen, por ejemplo, en suelos que poseen altas proporciones de sodio intercambiable, los cuales poseen pobres condiciones físico-hídricas para las plantas (Sumner, 1993).

Esta situación predomina en la Pampa Deprimida de la provincia de Buenos Aires, región en la cual al menos un 60% de los suelos son halo-hidromórficos y están afectados por deficiente drenaje, además de un exceso de sales y sodio en todo o parte del perfil (Salazar Lea Plaza & Moscatelli, 1989). En suelos de una misma toposecuencia existe una marcada heterogeneidad (Batista *et al.*, 2005), lo cual permite inferir diferentes respuestas al manejo. En suelos que poseen horizonte B nátrico, pero un horizonte A fértil (Natracuoles) (Salazar Lea Plaza & Moscatelli,

1989), el pastoreo continuo por 0,5-0,7 cabezas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> generó compactación superficial (hasta 8 cm) moderada cuando el suelo se seca en verano. Este daño se regeneró cuando el suelo se rehúmedece y encharca en otoño por procesos de expansión-contracción (Taboada & Lavado, 1993; Taboada *et al.*, 1999). Estos antecedentes ponen de manifiesto la capacidad de recuperación de los deterioros físicos en suelos de la región, lo cual podría lograrse con la implementación de pastoreo rotativo. En el centro de la región, Rubio & Lavado (1990) demostraron que los períodos de descanso prolongado con pastoreo rotativo mantienen la porosidad edáfica en rangos similares a los hallados en áreas excluidas del pastoreo por varios años. Estos antecedentes demuestran que, aún con sus severas limitaciones, los suelos halo-hidromórficos de la Pampa Deprimida pueden responder positivamente al pastoreo rotativo. Esta diferente respuesta en función de la calidad de cada suelo es la base de la hipótesis de trabajo. El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta de las propiedades físicas a la implementación del pastoreo rotativo en tres suelos de una toposecuencia del norte de la Pampa Deprimida. Se predice que el mayor efecto mejorador del pastoreo rotativo tiene lugar en los suelos de las posiciones más bajas del relieve, en los cuales el estrés repetido de la pezuña animal es el principal causante de daño estructural por amasado del suelo.

## MATERIALES Y METODOS

### Área y suelos bajo estudio

Los muestreos y mediciones a campo se llevaron a cabo en un establecimiento dedicado a la cría de ganado vacuno y ovino (campo «Los Nogales»), próximo a la localidad de Libres del Sur, partido de Chascomús, provincia de Buenos Aires (35° 40' 46,62'' S; 57° 48' 22,61'' O). El clima de la región es templado subhúmedo. Las lluvias (950 mm en promedio) tienen una distribución mensual balanceada, pero con cíclicas variaciones entre años. Se muestrearon tres suelos ubicados en una toposecuencia perteneciente al Dominio Edáfico 11d, en el cual predominan suelos afectados por drenaje deficiente por impermeabilidad, y en las partes más bajas suelos salinos y alcalinos (Salazar Lea Plaza & Moscatelli, 1989). Las posiciones del relieve y suelos respectivos fueron: a) *Loma*: el suelo es un Argiudol Ácuico con un horizonte A (0-10 cm) de textura franca, reacción moderadamente ácida (pH = 6,4), y bien provisto de carbono orgánico (3,3%) y nitrógeno total (0,33%), no así de fósforo extractable (P Bray = 5,8 mg kg<sup>-1</sup>). El horizonte Bt de este suelo se extiende hasta 35 cm, posee textura franco arcillosa y estructura en prismas firmes en seco; tiene concreciones de hierro-manganeso comunes, abundantes barnices y moteados precisos; b) *Media loma*: el suelo es un Natracuol Típico con un horizonte A de textura franca (0-10 cm), y similares propiedades químicas que el suelo ubicado en la loma.

El suelo posee un horizonte AB de 11 cm de espesor, de textura franco-limosa, y estructura en bloques, con concreciones y moteados de hierro-manganeso comunes. A continuación se presenta un horizonte Bt nátrico de 30 cm de espesor con textura arcillo-limosa, el cual puede subdividirse en Bt y Btk por la presencia de carbonatos en la masa del suelo. Ambos horizontes Bt poseen estructura en prismas, y presentan abundantes barnices y moteados; y c) *Bajo alcalino*: el suelo es un Natracualf Típico con horizonte E sódico de 10 cm de espesor (pH=8,9) pobre en materia orgánica, textura franca y estructura masiva. A continuación y abruptamente, aparece el horizonte Bt nátrico de 21 cm de espesor, con una textura franco-arcillosa y estructurado en prismas débiles que rompen en bloques angulares gruesos moderados. Este horizonte es alcalino (pH=9,2), con abundantes concreciones de carbonato de calcio; tiene barnices y moteados comunes. El horizonte BC posee textura franco-arcillosa, y está estructurado en bloques moderados; es alcalino, y presenta escasas concreciones de carbonato de calcio; se pueden observar escasos barnices y débiles moteados

En el suelo de la loma la vegetación corresponde a una pradera de mesófilas, dominada por: *Paspalum dilatatum*, *Bothriochloa laguroides*, *Stipa neesiana* y *Piptochaetium bicolor*. En la media loma, se corresponde con una pradera húmeda de mesófitas dominada por diversas especies de pastos cespitosos como *Piptochaetium montevidense* o *Stipa papposa* acompañadas por *Stenotaphrum secundatum* y por *Ambrosia tenuifolia*. (Burkart *et al.*, 1990). En el bajo alcalino existe una pradera de halofitas dominada por *Distichis spicata* y *D. scoparia*, con abundante suelo desnudo. Se corresponden, respectivamente con las comunidades A, B y D descriptas por Burkart *et al.* (1990).

### Diseño del experimento

En setiembre de 1992 se cercó un lote de alrededor de 1 ha que abarcaba las tres posesiones de la toposecuencia (loma, media loma y bajo alcalino). El lote cercado recibió por primera vez a comienzos de diciembre, y fue luego pastoreado con ganado vacuno (va-

cas de cría) aproximadamente cada dos meses por 30-40 unidades ganaderas (UG) ha<sup>-1</sup> en periodos de no más de dos semanas en función de la estación del año. Mientras tanto, el área circundante al lote fue pastoreada por ganado vacuno y ovino, con una carga fluctuante entre 0,8 y 1,00 UG ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. De esta forma se compararon situaciones colindantes sujetas a pastoreo continuo (PC) y a pastoreo rotativo (PR) en los tres suelos de la toposecuencia. Se realizaron seis muestreos durante 13 meses, los que se correspondieron con momentos antes de la entrada de animales y después de la salida de hacienda en el lote bajo pastoreo rotativo (Tabla 1).

### Determinaciones

Al inicio del estudio los tres suelos fueron caracterizados en sus propiedades morfológicas y físicas (secuencia y espesor de horizontes, textura al tacto, estructura, rasgos redoximórficos). En los tres suelos se realizaron ensayos de compactación (test Proctor), para determinar la densidad aparente máxima (Dmax) (ASTM, 1982). Durante el estudio, se determinaron en cada fecha de muestreo distintas propiedades del horizonte superficial de cada suelo, abarcando profundidades hasta 10 cm. Estas propiedades fueron: el contenido hídrico gravimétrico (CHG) por secado en estufa a 105 °C; la densidad aparente (Dap) por el método del cilindro (Burke *et al.*, 1986); y la capacidad portante del horizonte superficial usando un penetrometro Proctor (Davidson, 1965). Se calcularon los valores de compactación relativa (CR%), a partir de la siguiente ecuación:

$$CR\% = \frac{Dap}{Dmax} \times 100 \quad [1]$$

siendo:

Dap la densidad aparente de campo, determinada con el método del cilindro, y Dmax la densidad aparente máxima determinada en ensayos Proctor (ASTM, 1982).

Tabla 1. Coeficientes (constante y pendiente) y errores estándar (SE) de las funciones lineales ajustadas entre el contenido hídrico gravimétrico y la densidad aparente, en los suelos de la loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natracuol Típico) y bajo alcalino (Natracualf Típico), en situaciones bajo pastoreo continuo (PC) y bajo pastoreo rotativo (PR).

Table 1. Coefficients (constant and slope) and standard errors (SE) of linear functions fitted between gravimetric water content and core bulk density in the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief.

Posición	tratamiento	n	constante	SE	pendiente	SE	r <sup>2</sup>	P
Loma	PC+PR	66	0,607	0,156	-0,014	0,005	0,12	< 0,001
	PC	34	0,868	0,224	-0,023	0,074	0,23	< 0,001
	PR	32						ns
Media loma	PC+PR	66	0,926	0,16	-0,021	0,006	0,17	< 0,001
	PC	34						ns
	PR	32						ns
Bajo alcalino	PC+PR	65	1,847	0,249	-0,031	0,007	0,24	< 0,001
	PC	34	2,121	0,369	-0,043	0,012	0,29	< 0,001
	PR	31	2,244	0,473	-0,04	0,012	0,27	< 0,05

En cada fecha de muestreo se extrajeron monolitos de suelo (30 cm de largo 30 cm de ancho y 20 cm de profundidad), de manera tal de minimizar al máximo el disturbio causado al suelo. Las muestras así obtenidas se trasladaron al laboratorio, se secaron al aire, y de ellas se separaron a mano agregados de hasta 8 mm en diámetro. Las muestras compuestas por estos agregados fueron tratadas de acuerdo con el test de estabilidad propuesto por De Leenheer y De Boodt (citado por Burke *et al.*, 1986). En primer lugar, los agregados fueron sometidos a tamizado en seco, usando un tamizador rotativo (tamices con aberturas de 4,80, 3,36 y 2,00 mm), y luego se calcularon los diámetros medios ponderados resultantes. Los agregados resultantes del tamizado en seco fueron humedecidos con spray a capacidad de campo, para minimizar su estallido en agua por entrapamiento de aire. Estos agregados fueron tamizados en agua (tamices con aberturas de 4,80, 3,36, 2,00, 1,00, 0,50 y 0,30 mm), usando un agitador tipo «Yoder». Los agregados así obtenidos fueron secados en estufa, y de allí se le calcularon los diámetros medios ponderados resultantes. El cambio en diámetro medio ponderado entre agregados tamizados en seco y agregados tamizados en agua (CDMP) representó el índice de inestabilidad estructural de los suelos. Cuanto mayor es CDMP, menos estable es la estructura del suelo.

#### Estadística

El diseño experimental fue claramente pseudo replicado para estimar el efecto del manejo del pastoreo en forma no ambigua. Por consiguiente, el nivel de inferencia estadístico no va más allá de los tipos de suelos usados en el estudio (Webster, 1992). Las muestras de los tratamientos fueron tomadas tan cerca como fue posible para minimizar la variabilidad. Las diferencias en cada fecha entre los tratamientos PC y PR fueron analizadas por medio de sus varianzas en cada fecha (ANVA univariado). Se analizó el grado de relación entre algunas variables (Dap, capacidad portante y CDMP) con CHG, mediante análisis de regresión. Los análisis fueron realizados utilizando el programa estadístico Statistix<sup>®</sup>.

## RESULTADOS

### Contenido hídrico gravimétrico

El horizonte superficial de los tres suelos estuvo sujeto a fluctuaciones significativas en su contenido hídrico (Fig. 1). En la loma (Argiudol Ácuico) los valores de CHG fueron entre 6,7 y 36% más altos en PR que en PC, con diferencias significativas en tres de las seis fechas. En la media loma (Natracuol Típico), la marcha de los valores de humedad fue similar y sólo difirieron significa-

tivamente en una fecha (PR > PC). En el suelo del bajo alcalino (Natracuolf), no se observó ninguna tendencia clara de diferencias entre PC y PR. Las diferencias aparecieron en dos fechas, pero fueron cruzadas.

### Densidad aparente y compactación relativa

La Dap mostró importantes variaciones a lo largo del tiempo (Fig. 2). La probabilidad de comportamiento expansible en los tres suelos fue puesta a prueba mediante análisis de regresión lineal entre CHG y Dap (Tabla 1). Las relaciones fueron siempre altamente significativas cuando se incluyó la totalidad de los tratamientos (PC + PR), pero los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) fueron bajos. No más de 30% de la variación de Dap fue explicada por CHG. Estos coeficientes fueron más elevados en el bajo alcalino, cuyo Natracuolf posee niveles muy altos de sodio intercambiable.

En el suelo de la loma, la Dap del suelo bajo PR fue siempre más baja (hasta 16%) que la del suelo bajo PC, con diferencias altamente significativas en tres de las fechas (Fig. 2). Estas diferencias no se asociaron con fechas de entrada y/o salida de ganado, sino que parecieron ser bastante estables en el tiempo. Ello demuestra que en este suelo, el otorgamiento de descansos periódicos al pastoreo mejora la porosidad superficial. Estas mejoras no fueron vistas en el suelo de la media loma, pese a que su horizonte A no difiere demasiado del que posee el suelo de la loma. Si bien en este suelo la Dap varió en forma similar a lo largo del tiempo, no hubo prácticamente diferencias entre los tratamientos PC y PR. En cambio, en el bajo alcalino, con el suelo de peor calidad, el pastoreo rotativo causó aumentos significativos de Dap en una fecha y descensos de Dap en dos fechas (Fig. 2). Más que al sistema de pastoreo, estas diferencias en un sentido o en otro obedecieron a cambios volumétricos por diferencias en contenido hídrico (Tabla 1; Fig. 1). El suelo se expande (descenso de Dap) cuando se humedece y se contrae (aumento de Dap) cuando se seca.

La densidad máxima determinada en ensayos Proctor fue 1,23, 1,27 y 1,41 Mg m<sup>-3</sup> para los suelos de la loma, media loma y bajo alcalino, respectivamente. Los valores medios de CR% fueron similares entre suelos, no habiendo mostrado diferencias significativas entre PC y PR cuando se analizaron en conjunto todas las fechas (Tabla 2).

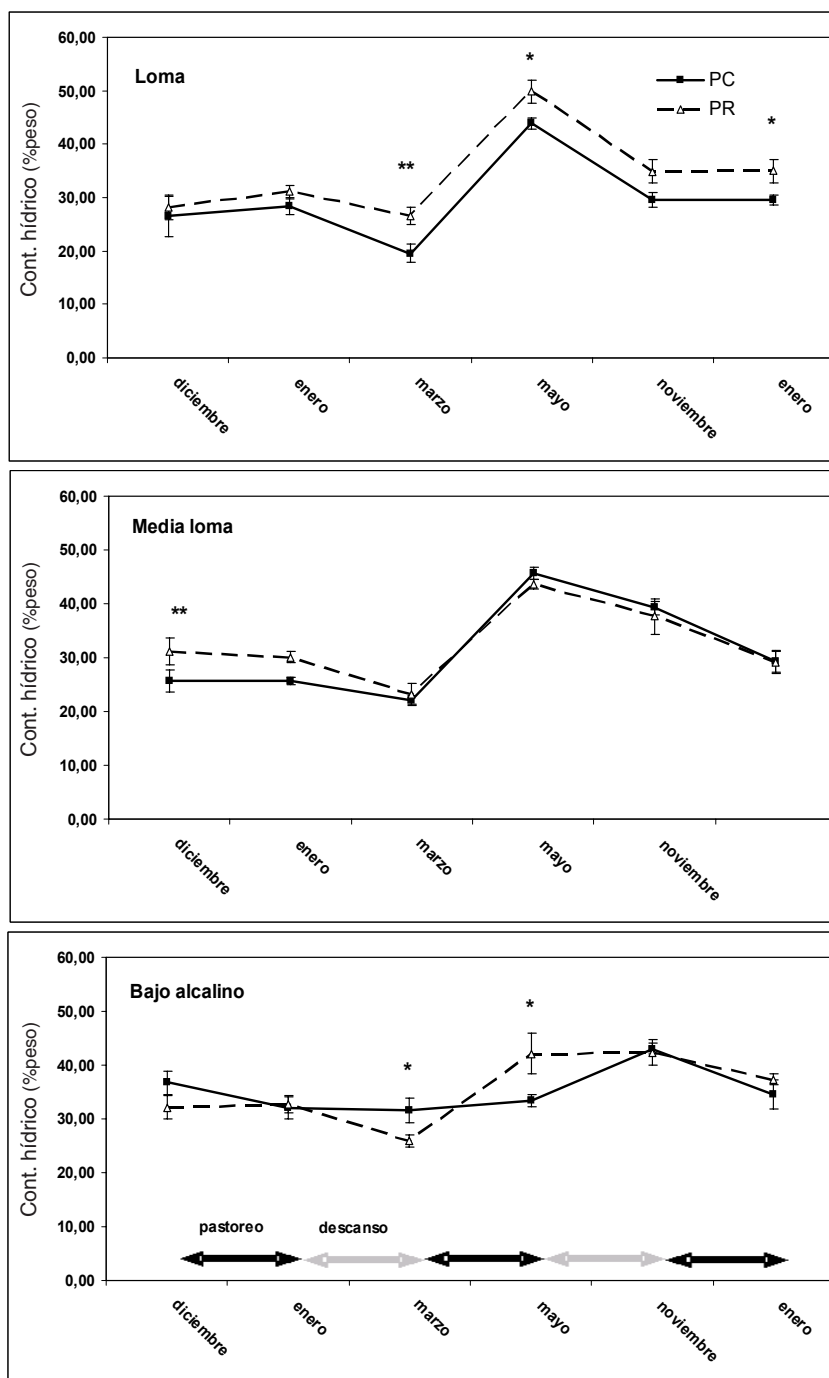


Figura 1. Variación temporal del contenido hídrico gravimétrico del horizonte superficial en los suelos de la loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natraquol Típico) y bajo alcalino (Natraqualf Típico), en situaciones bajo pastoreo continuo (PC) y bajo pastoreo rotativo (PR). Las barras son los errores estándar de las medias. Los signos \* y \*\* indican la existencia de diferencias significativas entre tratamientos al 5% y 1% nivel de probabilidad, respectivamente. Se indican los períodos en que hubo pastoreo por ganado y en los que hubo descanso.

Figure 1. Variation of topsoil gravimetric water content with time in the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief, in situations managed under continuous (PC) and rotative (PR) grazing. Standard errors of the means are notated as bars. Significant differences between treatments at the 5% and 1% probability level are indicated by \* and \*\*, respectively. Grazing and grazing exclusion periods are indicated.

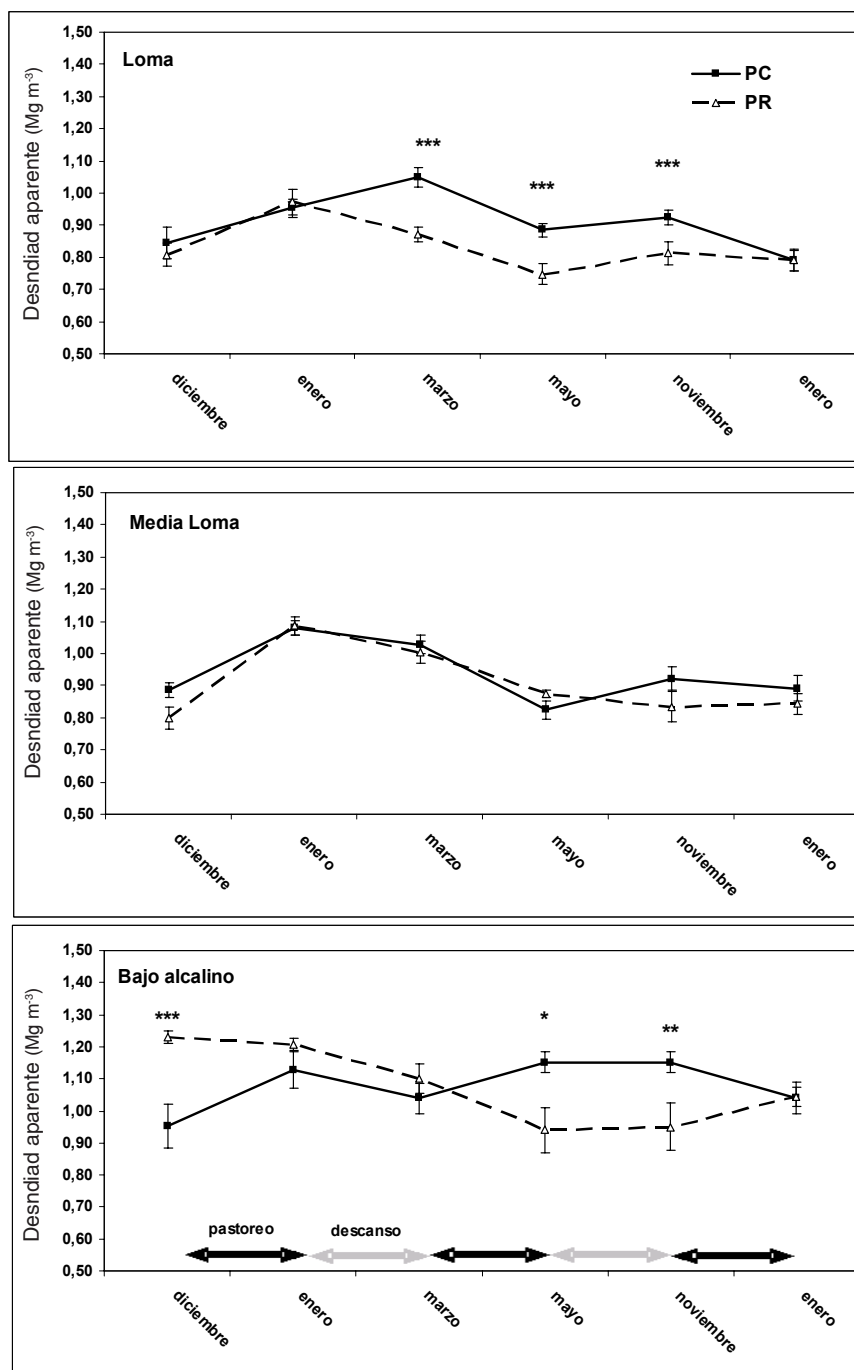


Figura 2. Variación temporal de la densidad aparente (cilindro) del horizonte superficial en los suelos de la loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natraquol Típico) y bajo alcalino (Natraqualf Típico), en situaciones bajo pastoreo continuo (PC) y bajo pastoreo rotativo (PR). Las barras son los errores estándar de las medias. Los signos \*, \*\* y \*\*\* indican la existencia de diferencias significativas entre tratamientos al 5%, 1% y 0,1%, respectivamente. Se indican los períodos en que hubo pastoreo por ganado y en los que hubo descanso.

Figure 2. Variation of topsoil core bulk density in the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief, in situations managed under continuous (PC) and rotative (PR) grazing. Standard errors of the means are notated as bars. Significant differences between treatments at the 5%, 1% and 0.1% probability level are indicated by \*, \*\* and \*\*\*, respectively. Grazing and grazing exclusion periods are indicated.

Tabla 2. Valores medios y errores estándar de compactación relativa (CR %) en los suelos de la loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natracuol Típico) y bajo alcalino (Natracuolf Típico).

Table 2. Mean values and standard errors of the means of relative compaction (CR%) for the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief.

	CR%				signif.
	PC		PR		
	media	SE	media	SE	
Loma	74,06	3,01	68,05	2,61	ns
Media loma	73,83	3,08	71,30	3,61	ns
Bajo alcalino	76,52	2,35	76,74	3,65	ns

ns: diferencias no significativas entre tratamientos.

ns = non significant differences between treatments.

### Capacidad portante del suelo

Los valores de capacidad portante tuvieron grandes oscilaciones a lo largo del tiempo (Fig. 3), las que se debieron a los diferentes contenidos de humedad entre fechas (Fig. 1). Se ajustó una función exponencial a la totalidad de los puntos:

$$\text{Capacidad portante} = 215,37e^{-0,1281 \text{ CHG}} \quad r^2 = 0,558^{**} \quad [2]$$

El coeficiente de determinación fue altamente significativo, y permitió explicar un 56% de las variaciones de capacidad portante a través del CHG.

El suelo de la loma tuvo 13 a 58% menor capacidad portante en PR que en PC, con diferencias significativas

entre tratamientos en cuatro fechas. Esta mayor resistencia del suelo manejado con PC puede ser debido a que estaba más seco (Fig. 1), lo cual genera aumentos de capacidad portante según surge de la ecuación [2]. Lo mismo puede decirse para el suelo de la media loma, en el cual hubo coincidencia entre las diferencias en CHG y en capacidad portante (Figs. 1 y 3). El suelo del bajo alcalino no llegó a valores tan altos de capacidad portante como los otros dos suelos, y sólo tuvo diferencias entre tratamientos en una fecha (PC < PR) (Fig. 3). Sus variaciones de CHG también fueron más estrechas (Fig. 1).

### Inestabilidad estructural

El índice de inestabilidad estructural (CDMP) mostró, en general, gran variabilidad entre repeticiones, con errores estándar que excedieron las diferencias entre sistemas de pastoreo (Tabla 3). Estas variaciones no se aso-

Tabla 3. Valores medios y errores estándar de inestabilidad estructural medida como el cambio en diámetro medio ponderado entre agregados tamizados en seco y en agua (CDMP), en los suelos de la loma (Argiudol Ácuico), media loma (Natracuol Típico) y bajo alcalino (Natracuolf Típico).

Table 3. Mean values and standard errors of the means of soil structural instability, measured as the change in mean weight diameter of dry- and we-sieved aggregates (CDMP) for the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief.

	CDMP (mm%)				signif.
	PC		PR		
	media	SE	media	SE	
Loma	19,57	0,89	23,96	4,85	ns
Media loma	26,37	3,69	23,88	2,76	ns
Bajo alcalino	77,46	15,41	67,96	17,67	ns

ns: diferencias no significativas entre tratamientos.

ns = non significant differences between treatments.

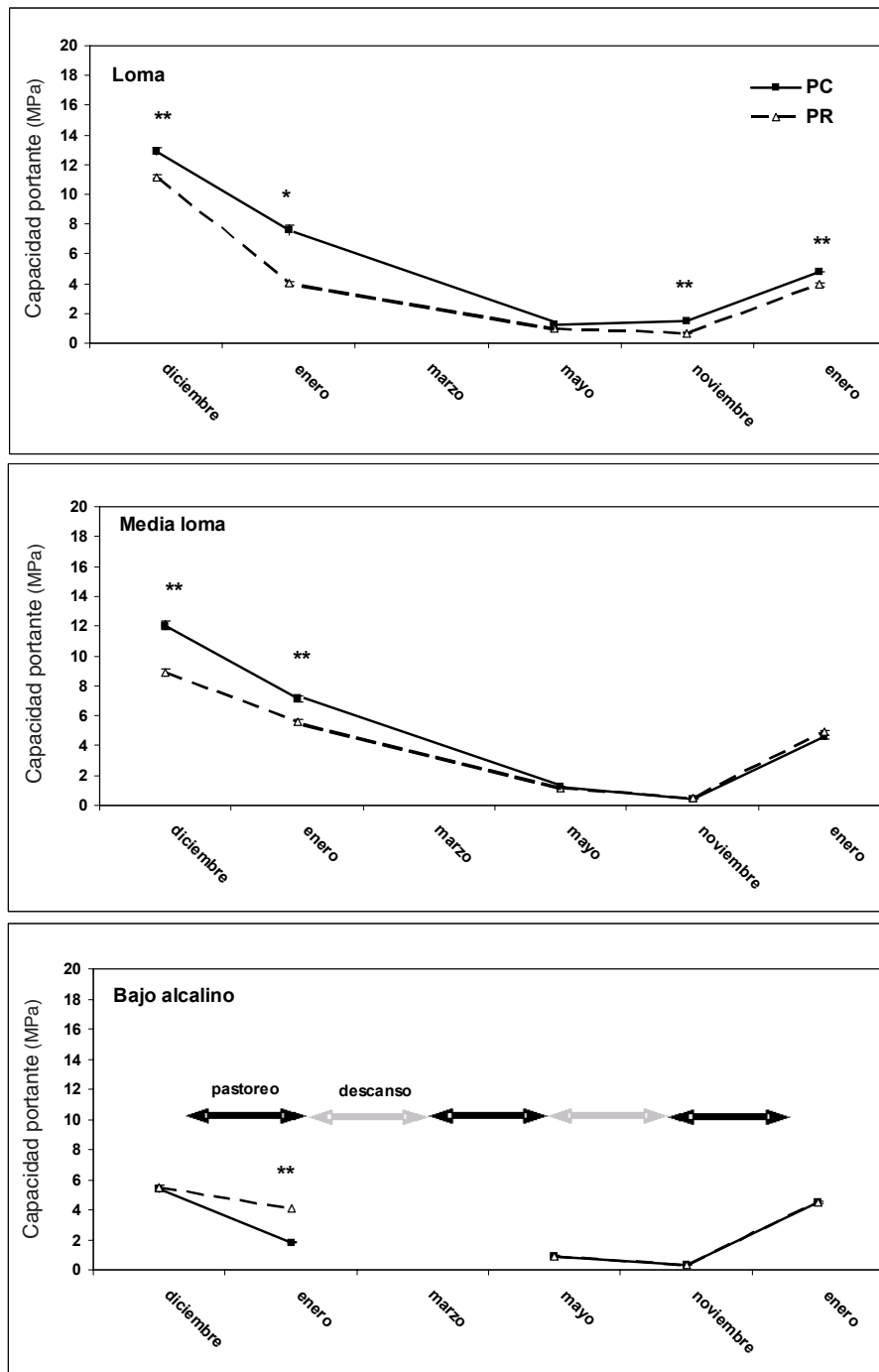


Figura 3. Variación temporal de la capacidad portante del horizonte superficial en los suelos de la loma (Argiudol Acuico), media loma (Natraquol Típico) y bajo alcalino (Natraqualf Típico), en situaciones bajo pastoreo continuo (PC) y bajo pastoreo rotativo (PR). Las barras son los errores estándar de las medias. Los signos \* y \*\* indican la existencia de diferencias significativas entre tratamientos al 5% y 1%, respectivamente. Se indican los períodos en que hubo pastoreo por ganado y en los que hubo descanso.

Figure 3. Variation of soil bearing capacity with time in the soils located in upland (Aquic Argiudoll), midland (Typic Natraquoll) and lowland (Typic Natraqualf) positions of the relief, in situations managed under continuous (PC) and rotational (PR) grazing. Standard errors of the means are notated as bars. Significant differences between treatments at the 5% and 1% probability level are indicated by \* and \*\*, respectively. Grazing and grazing exclusion periods are indicated.



ciaron (análisis de regresión) con las de CHG y Dap. Los valores medios de CDMP de los suelos de la loma y la media loma fueron algo menos de la mitad que los del bajo alcalino, cuyos CDMP máximos superaron 100% (Tabla 3). No se hallaron diferencias significativas entre PC y PR cuando se analizaron en conjunto los valores de todas las fechas.

## DISCUSIÓN

Ninguna de las variables físicas abordadas mostró deterioros importantes asociados con la presencia o ausencia de animales en el tratamiento PR, ni aún en los períodos invernales donde los suelos estuvieron muy húmedos (Fig. 1). Ello demuestra que el estrés causado por la presencia de 30 a 40 vacas por hectárea durante dos meses no fue suficiente como para causar un deterioro físico mayor que el causado por el pastoreo continuo, con menor carga. Estos resultados difieren de los que muestra gran parte de la literatura surgida de sistemas de pastoreo en campos bajos (Scholefield *et al.*, 1985; Taboada *et al.*, 1999), que en general coincide con la necesidad de regular las cargas ganaderas cuando el suelo está muy húmedo. Sin embargo, en pasturas de Canadá Donkor *et al.* (2002) también hallaron que el mismo grado de compactación puede ser alcanzado por un pequeño número de animales pastoreando por un largo período, que por un elevado número de animales pastoreando por períodos cortos.

Los suelos de las tres posiciones de la toposecuencia mostraron importantes cambios estacionales en su CHG, lo cual refleja los antecedentes conocidos sobre el régimen hídrico de los suelos de la región (Lavado & Taboada, 1988). Estos cambios de humedad fueron responsables de variaciones significativas en la Dap (Tabla 1) y en la capacidad portante. Sin embargo, estas variables presentaron relaciones poco estrechas con la humedad, e incluso, la relación fue inexistente en el caso del índice de inestabilidad estructural. En Natracuoles del centro de la Pampa Deprimida, se hallaron, por el contrario, relaciones estrechas entre las variaciones de humedad y las de densidad aparente y de estabilidad estructural (Taboada *et al.*, 1988; Taboada & Lavado, 1993; Taboada *et al.*, 1999). Es probable que este diferente comportamiento se origine en el régimen hídrico más extremo de los suelos del centro de la región, donde las inundaciones son un evento frecuente, a diferencia del borde septentrional donde se trabajó. Estas inundaciones son el principal factor causante de descensos de Dap en suelos de la región, los cuales no poseen definida mineralogía expansible (Taboada *et al.*, 1988; 1993; 2001). En el suelo del bajo alcalino (Natracualf Típico) fue más alta la pendiente

de variación de Dap con CHG, hecho atribuible a la mayor presencia de sodio intercambiable en este suelo (Parker *et al.*, 1982). La falta de relación estrecha entre CHG y Dap determinó que no fuera necesaria la estandarización de los valores de densidad aparente a humedad constante (Taboada *et al.*, 1988).

Pese a sus diferencias en propiedades intrínsecas y en sus valores de Dmax (ensayos Proctor), no hubo demasiadas diferencias en compactación relativa entre los tres suelos (Tabla 2). Carter (1990) halló un rango óptimo de CR (83-86%) y una CR crítica (>90%) para el rendimiento del cultivo de trigo. Ninguno de los suelos estudiados llegó a esos niveles de compactación excesiva, ni aún con sus valores máximos de CR%.

La capacidad portante es un parámetro altamente sensible al tránsito animal, habiendo sido informados umbrales críticos de 0,6-0,8 kPa en función del peso del animal (Scholz & Hennings, citado por Hamza & Anderson, 2005). Estos umbrales fueron ampliamente sobrepasados en los tres suelos (Fig. 3), indicando que permanecen con elevadas resistencias la mayor parte del tiempo. Por un lado, ello indica que poseen una capacidad portante más que suficiente para no sufrir deterioro mecánico por pisoteo, aunque ello también muestra el desarrollo de resistencias excesivas en el seno del suelo. Por ello, los descensos permanentes de resistencia generados por el pastoreo rotativo en el suelo de la loma son auspiciosos, pues pueden dar lugar a aumentos de producción de materia seca en el pastizal (Hamza & Anderson, 2005). A diferencia de este suelo, no hubo efectos significativos del sistema de pastoreo sobre la capacidad portante de los suelos de la media loma y el bajo alcalino.

La estabilidad estructural suele ser disminuida por la acción mecánica del pisoteo (Warren *et al.*, 1986). En suelos de la Pampa Deprimida, Taboada *et al.* (1999) hallaron que los efectos del pisoteo interactúan con el de los cambios en contenido hídrico. En los tres suelos estudiados los resultados contradicen estas predicciones (Tabla 3), pues otros efectos aparte del sistema de pastoreo y de los cambios de humedad, parecieron ser más importantes. Ello se aprecia claramente en el suelo del bajo alcalino, en el cual los altos valores de CDMP (alta inestabilidad estructural) responden a su elevada sodicidad (Sumner, 1993).

El conjunto de resultados no revela la existencia de un único patrón causado por el sistema de pastoreo sobre las variables estudiadas en función de la calidad de los suelos de la toposecuencia. Ello permite aceptar la hipótesis de trabajo formulada. Sin embargo, no se cumplió la predicción de un mayor efecto mejorador del pastoreo rotativo en el bajo, donde están los suelos con mayores limitantes (halomorfismo y anegabilidad). Por el contra-

rio, un conjunto de variables (CHG, Dap, CR% y Capacidad Portante) mostraron mejoras importantes causadas por el pastoreo rotativo en el suelo de la loma (Argiudol Ácuico), que es el de mejor calidad entre los tres estudiados. Si bien no se verificó una respuesta inmediata a la presencia o ausencia de animales, los parámetros mencionados mostraron una mejor condición física permanente en PR que en PC en el suelo de la loma, lo cual se traduce en mayor humedad y menor nivel de compactación. El otorgamiento de descansos periódicos parece ser entonces una opción técnica promisoriosa en este ambiente.

En los otros dos suelos, la falta de efectos importantes del sistema de pastoreo sobre las variables físicas difieren de lo que muestra la mayor parte de la literatura (Greenwood & Mc Kenzie, 2001; Hamza & Anderson, 2005; Drewry, 2006). El suelo de la media loma (Natracuol Típico) no mostró prácticamente cambios en ninguna de las variables estudiadas, difiriendo de los resultados hallados en el centro de la región en suelos similares pero con un régimen hídrico mucho más extremo (Taboada & Lavado, 1993; Taboada *et al.*, 1999; 2001). Tampoco el suelo de peor calidad (Natracuolf Típico) mostró efectos importantes por el sistema de pastoreo. Este resultado difiere de lo hallado por Rubio & Lavado (1990) en un Natracuolf del centro de la región. Puede pensarse que, en estos suelos, pero particularmente en el bajo alcalino, la severidad de sus limitantes (elevado porcentaje de Na intercambiable) impidió cualquier efecto mejorador asociado al manejo del pastoreo. En un suelo de mejor calidad (Natracuol) se halló que no menos de un año se requiere para visualizar mejoras significativas en la estabilidad estructural atribuibles a la exclusión del pastoreo (Taboada *et al.*, 1999). Por ello, una hipótesis alternativa es que el tiempo de estudio (un año) fue insuficiente para permitir que aparezcan diferencias en el Natracuolf estudiado.

### CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS DE MANEJO

Los resultados confirman la existencia de una única respuesta al pastoreo rotativo por tres suelos de una misma toposecuencia, aceptando así la hipótesis propuesta. Sin embargo, no se cumplió la predicción efectuada, pues fue el suelo de mejor calidad el único que mostró claros efectos mejoradores por el pastoreo rotativo. Estos efectos fueron permanentes y no asociados con los momentos de entrada y salida de animales.

La implementación del pastoreo rotativo es una práctica recomendable para mejorar la calidad física de suelos similares a los hallados en la loma (Argiudoles Ácuicos),

no causando efectos importantes (ni mejoras, ni deterioros) en suelo ubicados en las posiciones más bajas (Natracuoles y Natracualfes).

### AGRADECIMIENTOS

A Susana Sánchez, propietaria del campo «Los Nogales» del partido de Chascomús, quien ha facilitado los medios y parte del financiamiento del trabajo realizado.

A Raúl S. Lavado, por la lectura crítica del manuscrito.

### BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American Society for Testing Materials). 1992. Standard test methods for moisture relations using a 5,5 lb (2,5 kg) hammer and 12 inch (304,8 mm) drop. p. 421 836-842. *In*: ASTM (*ed.*) Standards in Building Codes. ASTM, Philadelphia.
- Batista, WB; MA Taboada; RS Lavado; SB Perelman & RJC León. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos de pastizal de la Pampa Deprimida. p. 113-129. M Oesterheld, MR Aguiar, CM Ghersa, JM Paruelo (Compiladores). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando JC León. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires.
- Burkart, SE; RJC León & CP Movia. 1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la depresión del Salado (prov. Buenos Aires) en un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana* 30: 27-69.
- Burke, W; DGabriels & JBouma. 1986. Soil structure assessment. AA Balkema Publ., Rotterdam.
- Carter, MR. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.* 70: 425-433.
- Davidson, DT. 1965. Penetrometer measurements. p. 472-484. C.A. Black (*ed.*) Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy Series N° 9. ASA. Madison, Wisconsin.
- Donkor, NT; JV Gedir; RJ Hudson; EW Bork; DS Chanasyk & MA Naeth. 2002. Impacts of grazing systems on soil compaction and pasture production in Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 82: 1-8.
- 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.
- 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.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82: 121-145.
- Lavado, RS & MA Taboada. 1988. Soil water, salts, and sodium dynamics in a Natraquoll of Argentina. *Catena* 15: 577-594.

- Müller, B; K Frank & Ch Wissel. 2007. Relevance of rest periods in non-equilibrium rangeland systems— A modeling analysis. *Agric. Systems* 92: 295-317.
- Parker, JC; DF Amos & L W Zelazny. 1982. Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 450-456.
- Rubio, G & RS Lavado. 1990. Efectos de alternativas de manejo pasturil sobre la densidad aparente de un suelo con horizonte nátrico. *Ciencia del Suelo* 7: 79-82.
- Salazar Lea Plaza, JC & G Moscatelli. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. SEAGyP - INTA, Buenos Aires. 527p.
- Scholefield, D; P M Patto & DM Hall. 1985. Laboratory research on the compressibility of four topsoils from grassland. *Soil Tillage Res.* 6: 1-16.
- Savory, A & SD Parsons. 1980. The Savory grazing method. *Rangelands* 2: 234-237.
- Sumner, ME. 1993. Sodic soils: new perspectivas. *Aust. J. Soil Res.* 31: 683-750.
- 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 & MC Camilión. 1988. Cambios volumétricos en un Natra cuol Típico. *Ciencia del Suelo* 6: 151-157.
- 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; RS Lavado; G Rubio & DJ Cosentino. 2001. Soil volumetric changes in natric soils caused by air entrapment following seasonal ponding and water table. *Geoderma* 101: 49-64.
- The Forage and Grazing Terminology Committee. 1991. Terminology for Grazing Lands and Grazing Animals. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia, 38 p.
- Van Haveren, BP 1983. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a short-grass prairie site. *J. Range Manage.* 36: 586-588.
- Warren, SD; MB Nevill; WH Blackburn & NE Garza. 1986. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1336-1340.
- Webster, DB. 1992. Viewpoint: Replication, randomization and statistics in range research. *J. Range Manage.* 45: 285-290.
- Willat, ST & DM Pullar. 1983. Changes in soil physical properties under grazed pastures. *Aust. J. Soil Res.* 22: 343-348.