

CAMBIOS VOLUMETRICOS EN UN NATRACUOL TIPICO

Miguel A. Taboada, Raúl S. Lavado (1), y María C. Camilión (2)

Departamento de Ecología, Facultad de agronomía, Universidad de Buenos Aires.
Avenida San Martín 4453, 1417 Buenos Aires.

RESUMEN

Se estudiaron las variaciones de densidad aparente y sus causas en un Natracuol de la Pampa Deprimida. Esta propiedad varió entre 0,48 y 1,26 Mg m⁻³ en el horizonte Ah, para contenidos de humedad gravimétrica entre 69,80 y 12,40 g%. En este horizonte, se ajustó una función polinomial (grado 2) con elevado coeficiente de correlación entre ambos parámetros. En los horizontes BA y Bt, en cambio, se ajustaron funciones lineales. Estas relaciones y los índices de Contracción Volumétrica al secado medidos en todos los horizontes, mostraron la existencia de importantes cambios volumétricos por procesos de expansión—contracción en el suelo.

Los resultados hallados permiten demostrar que suelos con bajos contenidos de arcillas en sus horizontes superficiales, pero con relativa abundancia de minerales expandibles en dicha fracción, son afectados en el marco de fluctuaciones muy grandes de contenido hídrico por cambios volumétricos de magnitud comparable a la de los Vertisoles. En estos cambios también toma participación el sodio intercambiable. La materia orgánica, que está presente con altos contenidos, actúa oponiéndose a ellos. Se discute la trascendencia de estos resultados sobre el comportamiento hidrológico los suelos de la región.

VOLUMETRIC CHANGES IN A TYPIC NATRAQUOLL

ABSTRACT

The variations in bulk density and their causes were studied in a flooding Pampa Natraquoll. Bulk density varied from 0,48 to 1,26 Mg m⁻³ in the Ah horizon because of gravimetric soil water content variations from 69,80 to 12,40 g%. A highly correlated 2nd degree polynomial function was fitted between both soil properties. In both the BA and the Bt horizons linear functions were fitted. These relationships and the volumetric shrinkage indexes on drying in all horizons showed the occurrence of important volumetric changes due to swelling—shrinkage processes.

Results show that soils with low clay contents in their surface horizons, but with a relative high proportion of swelling clay minerals show volumetric changes. They are equivalent to those of Vertisols, because of very large fluctuations in soil water content. The exchangeable sodium also participates in these changes. Soil organic matter, present at high levels in this soil, counteracts soil shrinkage. The importance of these findings on the hydrologic behavior of the region soils is discussed.

(1) Becario de Formación Superior e Investigación del CONICET, respectivamente.

(2) Sede de trabajo: Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Cs. Naturales y Museo, UNLP.

INTRODUCCION

La porosidad edáfica surge de la relación entre la fase sólida y el espacio poroso y representa la mejor guía de la condición estructural del suelo (Hamblin, 1985). La densidad aparente es el medio más común para estimar la porosidad edáfica. Sus variaciones pueden ser cíclicas, ser función del uso de la tierra, o también de propiedades intrínsecas del suelo (Reeve *et al.*, 1973).

Desde hace largo tiempo (Haines, 1923, citado por Newman y Thomasson, 1979) se conoce que los ciclos de humedecimiento—secado causan continuos cambios volumétricos en los suelos a través de mecanismos de expansión—contracción. Estos cambios se manifiestan con particular intensidad en aquellos suelos donde predominan minerales expandibles (Newman y Thomasson, 1979; Yule y Ritchie, 1980), pero inclusive también han sido encontrados en mezclas artificiales de arena y caolin (Mullins y Panayiotopoulos, 1984). Consecuentemente, la densidad aparente de estos suelos también varía en forma continua, habiéndose ajustado funciones polinómicas entre ambos parámetros (Berndt y Coughlan, 1977; Fox, 1964 a).

En la Pampa Deprimida, la ocurrencia de Vertisoles o de suelos con presencia de rasgos vérticos se halla limitada a algunos sectores septentrionales, siendo en cambio los Natracuoles típicos los más conspicuos (INTA, 1977). La mayor parte de los suelos de la región poseen altos valores de sodio intercambiable, y en muchos casos, elevados contenidos de materia orgánica. Ambos componentes pueden tomar activa participación en los procesos de expansión—contracción de los suelos (Shainberg y Letey, 1984; Smith *et al.*, 1985). Sumándose a los normales ciclos de humedecimiento—secado, los suelos sufren fluctuaciones extremas en su contenido hídrico: pueden desde saturarse con agua e inundarse, hasta secarse con muy altos niveles de succión (Lavado y Taboada, 1988).

Análogamente a lo encontrado por Fox (1964 b) en un Vertisol pastoreado, en suelos de la región con similar uso se visualizan grietas superficiales cuando están muy secos. Ello evidencia el desarrollo de procesos de contracción y sugiere que, en el marco de su extremo régimen hídrico, los suelos de la Pampa Deprimida distan de comportarse como rígidos. Es conocido que el agrietado afecta la entrada y distribución de agua en el perfil (Hillel, 1987). De acuerdo con Giraldez y Spósito (1985), muchos suelos cuando se expanden tienden a anular la entrada de agua al per-

fil. Coincidentemente, las tasas de infiltración de los suelos de la región suelen ser bajas a muy bajas (Del Barrio, 1984).

En base a estos elementos, se planteó la hipótesis de que en los suelos de la Pampa Deprimida los cambios volumétricos deben ser importantes. El presente trabajo se llevó a cabo con el objeto de comprobar la existencia de estos cambios de volumen en un suelo representativo de la región, así como sus causas y factores condicionantes y su trascendencia hidrológica.

MATERIALES Y METODOS

Area y suelo estudiado

El estudio se desarrolló en un área del centro de la Pampa Deprimida, próximo a la localidad de Casalins, partido de Pila (Pcia. de Buenos Aires), que se caracteriza por sus inundaciones invierno—primaverales y sus sequías estivales. La vegetación dominante es un pastizal natural nunca laboreado de la comunidad B3 (León, 1975), que es destinado al pastoreo por ganado vacuno. El suelo, un Natracuol típico, serie General Guido, fase moderadamente salina, es ampliamente representativo dentro de la región (INTA, 1977). Su secuencia de horizontes es: Ah (antes A1), entre 0 y 0,12 m; BA (antes B1), entre 0,12 y 0,22 m; Bt (antes B21t), entre 0,22 y 0,36 m; Btk (antes B22tca), entre 0,36 y 0,48 m; BCkm1 (antes B31cam), entre 0,48 y 0,66 m; y BCkm2 (antes B32cam), de 0,66 m a más. Los dos primeros son de reacción levemente ácida a neutra, y los horizontes B son alcalinos. No se observan "slickensides" ni otra característica vértica en el perfil. Sus propiedades han sido descritas anteriormente (Lavado y Taboada, 1985; Taboada y Lavado, 1986).

Muestreo y determinaciones

El muestreo fue llevado a cabo dentro de un amplio rango de humedades edáficas, entre setiembre 1983 y julio 1986. Se tomaron muestras de suelo no disturbado con cilindros de 0,10 m de longitud y 0,09 m de diámetro, contabilizándose en total 193 repeticiones para el horizonte Ah, 21 para el BA y 11 para el Bt. La dimensión de los cilindros utilizados ("large cores"), aseguró un menor margen de error atribuible al método de muestreo (NeSmith *et al.*, 1986). Ello es considerado importante, pues las muestras fueron tomadas incluso en contenidos de humedad extremos

(inundación y sequía). En laboratorio, se determinó el contenido hídrico gravimétrico (CHg) (secado en estufa) y la densidad aparente (Dap) (Blake, en Black, 1965). Los datos de porosidad total (PT) (considerando una densidad de partícula de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$) y de contenido hídrico volumétrico (CHv) de cada muestra fueron obtenidos a partir de aquellas dos propiedades.

Se determinaron con 5 repeticiones los índices de contracción volumétrica (ICV) al secado, entre saturación y suelo seco al aire, (Holtz, en Black, 1965) en muestras no disturbadas (horizontes Ah y BA), y en muestras molidas y tamizadas (2 mm) de todos los horizontes hasta el BCkml. Las muestras disturbadas del horizonte Ah fueron subdivididas en 4 submuestras: testigo, remoción de la materia orgánica con H_2O_2 , y agregado de sodio (pasaje de 500 ml de solución 1 N de NaCl y posterior lavado), y de calcio (pasaje de 500 ml de solución 1 N de CaCl2 y posterior lavado).

En muestras de los horizontes del perfil hasta el BCkml, se analizó, previo molido y tamizado (2 mm), la mineralogía de la fracción arcilla. Esta fracción fue obtenida por sedimentación, tratando previamente con H_2O_2 en aquellos horizontes con alto contenido de materia orgánica. La caracterización mineralógica se realizó con suspensiones orientadas sobre porta-objetos de vidrio, las que fueron analizadas por difracción de rayos X con radiación de Cu y filtro de Ni (equipo Phillips). Ello se realizó en tres submuestras: secas al aire, solvatadas con etilenglicol durante 12 horas, y calcinadas a 550°C durante 2 horas.

Adicionalmente, se determinaron: el contenido de carbono orgánico por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, en Page *et al.*, 1982); el contenido de ácidos húmicos y fúlvicos (Schnitzer, en Page

et al., 1982); la humedad retenida (HR) a $-33,3 \text{ kPa}$ de succión mátrica (Richards, en Black, 1965); la Relación de Absorción de Sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en extractos de saturación y, sólo en el horizonte Ah, los límites inferior y superior de plasticidad (Casagrande). En el campo se midió la tasa de infiltración, por triplicado, con infiltrómetros de anillos (Bertrand, en Black, 1965).

Estadística

Se utilizó análisis de regresión para los datos de CHg y Dap, y análisis de varianza (ANVA) para los datos de PT, CHv e ICV. Cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos o fechas, las medias individuales fueron separadas mediante el test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSION

Algunas propiedades del suelo son presentadas en la **Tabla 1**. Es importante destacar el elevado tenor de materia orgánica en los horizontes Ah y BA y el predominio de ácido húmico en el primero de estos horizontes. La retención de humedad por el suelo fue coherente con el contenido de arcillas, el cual va aumentando desde la superficie, hasta alcanzar un máximo en el horizonte Btk.

El análisis mineralógico indicó que el contenido porcentual de material expandente (esmectitas o del tipo interestratificado irregular expandible) en las arcillas alcanza su máximo nivel en los horizontes Ah y BA, si bien no llega a superar el 50%. Luego, desciende en profundidad, hecho reflejado en los difractogra-

TABLA 1: Contenidos de carbono orgánico (Corg), ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), arcillas (Arc) y proporción estimativa de expandentes (A . exp) en dicha fracción, valores de retención hídrica (RH) en $-33,3 \text{ kPa}$, y límites plástico (LP), líquido (LL) e índice de plasticidad (IP) del suelo estudiado.

Horiz.	Corg (g%)	AH (C%)	AF (C%)	RH (g%)	Arc (g%)	A. exp (Arc%)	LP (g%)	LL (g%)	IP (g%)
Ah	3,53	0,42	0,25	29,9	22,8	30-50	25,7	32,9	7,2
BA	1,64	—	—	32,0	24,0	30-50	—	—	—
Bt	0,88	—	—	38,0	34,0	10-30	—	—	—
Btk	0,67	—	—	57,3	59,7	10-30	—	—	—
BCkml	0,27	—	—	38,8	29,12	10-30	—	—	—

VERM.
MEATM. (1981/11)

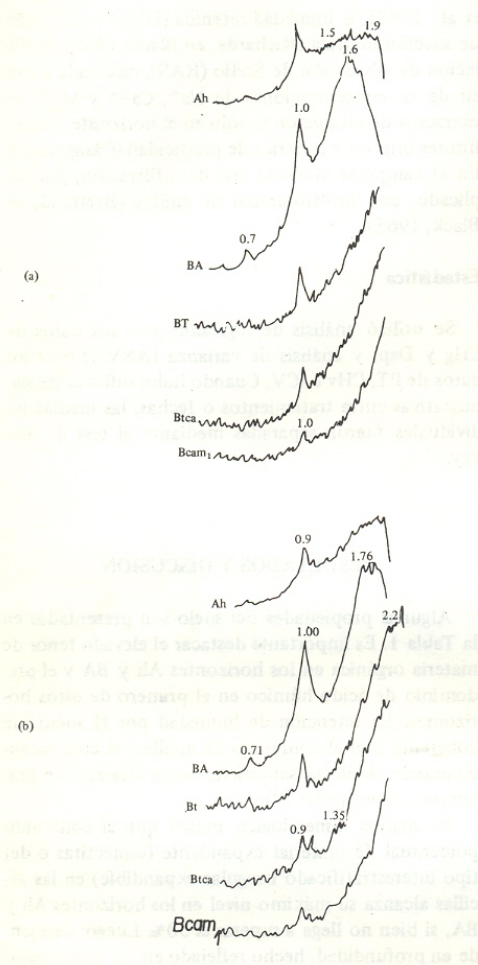


Figura 1: difractograma de rayos X de arcillas orientadas del suelo: a) submuestras naturales secas al aire; b) submuestras saturadas con etilenglicol. Todos los números son en nm.

mas realizados (Figura 1). La interpretación de éstos revela que únicamente aparecen reflexiones nítidas de esmectitas en el horizonte BA. En los horizontes subyacentes, los minerales se limitan a reflexiones menores, cuyo grado de indefinición y escasa abundancia impiden una identificación precisa. Este tipo de reflexiones sufren desplazamientos muy ligeros durante la solvatación, las que pueden atribuirse tentativamente a la presencia de complejos interestratificados ex-

pandibles de naturaleza incierta. Contrariamente, las reflexiones atribuidas a interestratificados en los horizontes superficiales sufren un marcado desplazamiento durante la solvatación. La ilita, mineral que presenta la mayor perfección cristalina, es la especie dominante en todo el perfil. Su abundancia es más notoria a partir del horizonte Bt; luego va disminuyendo su perfección cristalina en profundidad. En todos los horizontes se detectan pequeñas reflexiones en el espaciado de 0,713 nm, las que desaparecen durante la calcinación. Ello probablemente obedece a la presencia de trazas de minerales del grupo de la caolinita.

Las variaciones de Dap estuvieron altamente correlacionadas con las de CHg en los tres horizontes en que se estudió esa relación. En el caso del horizonte Ah (Figura 2), para el que se contó con un número de muestras sensiblemente mayor, la Dap varió en un orden de hasta casi tres veces en magnitud (0,48 a 1,26 Mg m^{-3}), en un rango de CHg entre 69,80 y 12,40 g%, respectivamente. El ajuste entre ambas propiedades fue a través de un polinomio de grado 2. La relación ajustada resultó similar a la hallada por Fox (1964 a) en un Vertisol. La más amplia dispersión de puntos alrededor de la curva en los niveles más bajos de humedad, coincide con los resultados obtenidos por Berndt y Coughlan (1977) en otro Vertisol. En los horizontes BA y Bt (Figura 3), en cambio, las variaciones de Dap fueron de un orden de casi 2 veces en magnitud (0,74 a 1,45 Mg m^{-3} y 0,79 a 1,42 Mg m^{-3} , respectivamente). En ambos horizontes, el ajuste logrado fue lineal y estadísticamente significativo.

Siguiendo un criterio análogo al propuesto por Perrier *et al.* (1959), la Dap de los tres horizontes fue corregida por medio de las funciones ajustadas (Figuras 2 y 3), expresando los valores en HR - 33,3 KPa. La Dap ajustada en los horizontes Ah y Bt fue coherente, respectivamente, con el alto nivel de materia orgánica (De Kimpe *et al.*, 1982), y con el mayor porcentaje de arcillas (Reeve *et al.*, 1973). En el horizonte BA se obtuvo una Dap mayor, posiblemente por tener menor participación de ambos componentes.

Los cambios volumétricos del suelo se producen a expensas de su espacio poroso (Newman y Thomazson, 1979). La PT fluctuó durante el período estudiado entre 53,2v% (suelo seco) y 78,8v% (suelo inundado). Hubo en total 6 fechas de muestreo con el suelo bajo esta condición. Los valores de PT determinados en ellas (Tabla 2) difirieron significativamente entre fechas. En 1984, luego de un año seco, las PT fue-

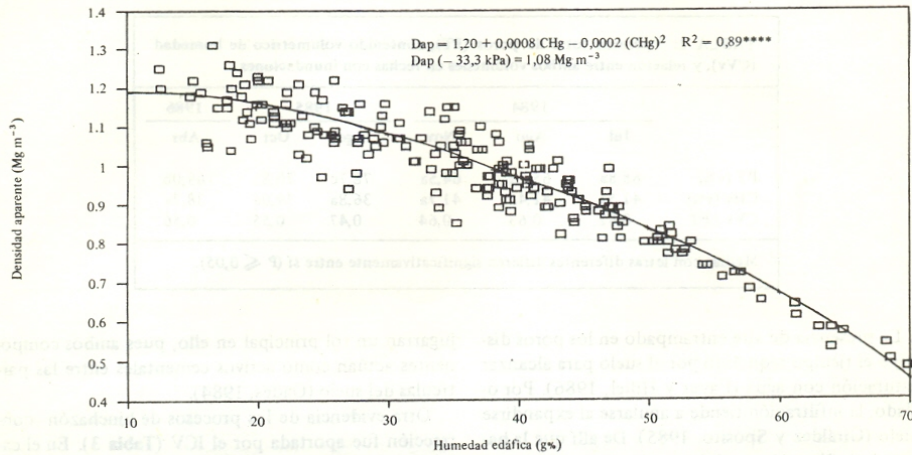


Figura 2: relación entre contenido hídrico gravimétrico (CHg) y densidad aparente (Dap) en el horizonte Ah. **** significa $P \leq 0,01$.

ron menores que las de 1985 y 1986, en que las inundaciones fueron sucesivas. Los cambios en PT del suelo parecieron estar asociados con la repetición de las inundaciones. El mecanismo actuante se vincularía con la acción remoldeante de la pezuña animal, en

conjunción con el ablandamiento estructural del suelo (Taboada y Lavado, 1988).

Los valores en que fluctuó la relación CH/PT indicaron que pese a estar el suelo inundado, su espacio poroso distó mucho de ser ocupado totalmente por a-

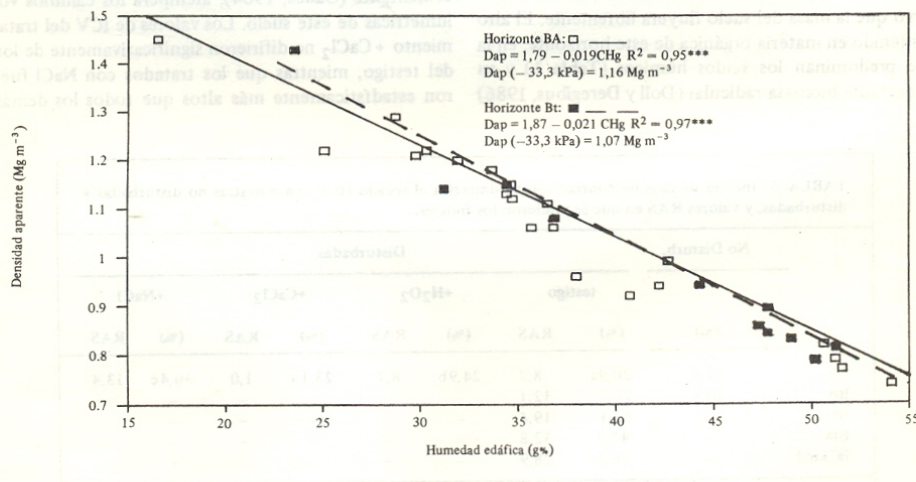


Figura 3: relación entre contenido hídrico gravimétrico (CHg) y densidad aparente (Dap) en los horizontes BA y Bt. **** significa $P \leq 0,001$.

TABLA 2: Volumen total de poros (PT), contenido volumétrico de humedad (CVv), y relación entre ambos volúmenes en fechas con inundaciones.

	1984			1985		1986
	Jul	Ago	Nov	Ago	Oct	Abr
PT (v%)	68,8a	65,2a	64,5a	78,7c	70,8b	69,0b
CHv (v%)	41,5a	41,4a	41,7a	36,8a	39,0a	38,7a
CVv / PT	0,62	0,63	0,64	0,47	0,55	0,56

Medias con letras diferentes difieren significativamente entre sí ($P \leq 0,05$).

gua. La presencia de aire atrapado en los poros disminuye el tiempo requerido por el suelo para alcanzar su saturación con agua (Fayer y Hillel, 1986). Por otro lado, la infiltración tiende a anularse al expandirse el suelo (Giráldez y Spósito, 1985). De allí que la baja tasa de infiltración medida en el campo (0,19 mm h⁻¹ en promedio) pueda ser atribuida a ambos factores. Teniendo en cuenta que la mineralogía del suelo bajo estudio no difiere en forma importante de la de otros de la región (Lavado y Camilión, 1984), estos resultados podrían explicar en parte las deficientes condiciones generales de drenaje imperantes en ella (INTA, 1977).

Es interesante destacar que, pese a que el límite líquido del horizonte Ah (Tabla 1) fue ampliamente superado en los períodos con inundación, nunca se observó que la masa del suelo fluyera libremente. El alto contenido en materia orgánica de este horizonte, en la que predominan los ácidos húmicos (Tabla 1) y su importante biomasa radicular (Doll y Deregibus, 1986)

jugarían un rol principal en ello, pues ambos componentes actúan como activos cementales entre las partículas del suelo (Oades, 1984).

Otra evidencia de los procesos de hinchazón-contracción fue aportada por el ICV (Tabla 3). En el caso de las muestras no disturbadas, los índices resultaron equivalentes a las variaciones en Dap dentro de los mismos rangos de CHg (Figs. 2 y 3). Las muestras disturbadas usadas como testigo mostraron ICV más altos, pero su magnitud resultó coherente con el contenido de arcillas en cada horizonte. Los resultados obtenidos en el horizonte Ah indicaron que el ICV del tratamiento + H₂O₂ fue significativamente más alto ($P \leq 0,05$) que el del testigo, demostrando que la materia orgánica, probablemente por su activa acción cementante (Oades, 1984), atempera los cambios volumétricos de este suelo. Los valores de ICV del tratamiento + CaCl₂ no difirieron significativamente de los del testigo, mientras que los tratados con NaCl fueron estadísticamente más altos que todos los demás

TABLA 3: Índices medios de contracción volumétrica al secado (ICV) en muestras no disturbadas y disturbadas, y valores RAS en que se midieron los índices.

	No Disturb.		Disturbadas							
	(%)	RAS	testigo		+H ₂ O ₂		+CaCl ₂		+NaCl	
			(%)	RAS	(%)	RAS	(%)	RAS	(%)	RAS
Ah	11,4	20,9a	8,7	24,9b	8,7	23,1a	1,0	30,4c	13,4	
BA	10,9	20,7	12,1	—	—	—	—	—	—	
Bt	—	33,1	19,4	—	—	—	—	—	—	
Btk	—	47,5	32,8	—	—	—	—	—	—	
BCkm1	—	36,5	28,9	—	—	—	—	—	—	

Medias de muestras disturbadas del horizonte Ah con letras distintas difieren significativamente ($P \leq 0,05$) entre sí.

tratamientos. Los cambios volumétricos se produjeron con valores de RAS mayores que 8. El suelo estudiado varía episódicamente su sodicidad, fluctuando su valor RAS entre 2,8 y 18,8 (Lavado y Taboada, 1988). Puede afirmarse entonces que su ICV es modificado por el sodio en un valor RAS habitual en él. Ello indica que, al menos desde este punto de vista, el suelo fue afectado por niveles de sodio bastante inferiores al clásicamente indicado valor RAS 15.

CONCLUSIONES

Los resultados hallados muestran la existencia de grandes cambios volumétricos por procesos de hin-

chazón—contracción. La utilización de la Dap como parámetro de la porosidad edáfica en suelos como el estudiado debe realizarse ajustando previamente los datos a un contenido hídrico constante. La evidencia de estos cambios es destacable, pues la mayor parte de la literatura considera este fenómeno como propio de suelos con carácter vertisólico. El análisis mineralógico indica que el suelo estudiado tiene una cierta proporción de materiales expandibles, pero se encuentra muy lejos de poseer propiedades vérticas definidas. Sus cambios de volumen están influenciados por su extremo régimen hídrico y a la presencia de sodio retenido. La materia orgánica desempeña un rol contrario al desarrollo de los cambios volumétricos. Estos resultados deberían ser considerados en ulteriores estudios sobre la dinámica del agua en suelos de la región.

REFERENCIAS

- Berndt, R.D. y K.J. Coughlan. 1977. The nature of changes in bulk density with water content in a cracking clay. *Aust. J. Soil Res.*, 15: 27-37.
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis*. Agron. No. 9, Part 1. Madison, Wisconsin.
- De Kimpe, C.R.; M. Bernier-Cardou; y P. Joliceur. 1982. Compaction and settling of Quebec soils in relation to their soil-water properties. *Can. J. Soil Sci.*, 62:165-175.
- Del Barrio, R.A. 1984. Infiltración de agua en suelos de la región pampeana. *Rev. Fac. Agron.*, 5:183-191.
- Doll, U.M. y V.A. Deregibus. 1986. Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el subsistema subterráneo de un pastizal templado húmedo. *Turrialba*, 36:337-344.
- Fayer, M.J. y D. Hillel. 1986. Air encapsulation: II. Profile water storage and shallow water table. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:572-578.
- Fox, W.E. 1964 a. A study of bulk density and water in a swelling soil. *Soil Sci.*, 98:307-316.
- Fox, W.E. 1964 b. Cracking characteristics and field capacity in a swelling soil. *Soil Sci.*, 98: 413
- Giráldez, J. V. y G. Spósito. 1985. Infiltration in swelling soils. *Water Res. Res.*, 21:33-44.
- Hamblin, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.*, 38:95-158.
- Hillel, D. 1987. Unstable flow in layered soils: a review. *Hydrol. Proc.* 1:143-147.
- INTA. 1977. *La Pampa Deprimida*. Condiciones de Drenaje de sus Suelos. Depto. de Suelos, Public. No. 154, Castelar.
- Lavado R.S. y M.C. Camilión. 1984. Clay minerals in Argentine salt-affected soils. *Clay Res.*, 3:68-74.
- Lavado, R.S. y M.A. Taboada. 1985. Influencia del pastoreo sobre algunas propiedades químicas de un Natracuol de la Pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo*, 3:102-108.
- Lavado, R.S. y M.A. Taboada. 1988. Water, salt and sodium dynamics in a Natracuol in Argentina. *Catena*, 15:577-594.
- León, R.J.C. 1975. Las comunidades vegetales de la región Castelli-Pila. *Monografías CIC*, 5. La Plata.
- Mullins, C.E. y K.P. Panayiotopoulos. 1984. Compaction and shrinkage of sands and sand-kaolin mixtures. *Soil Till. Res.*, 4:191-198.
- NeSmith, D.S.; W.L. Margrove; G.W. Tollner; y D.E. Radcliffe. 1986. A comparison of three soil surface moisture and bulk density sampling techniques. *Trans. ASAE*, 29:86.
- Newman, A.C.D. y A.J. Thomasson. 1979. Rothamsted studies on soil structure. III. Pore size distribution and shrinkage processes. *J. Soil Sci.*, 30:415-440.