

CONTRACCIÓN AL SECADO DE AGREGADOS EN DIFERENTES FASES DE DEGRADACIÓN DE UN SUELO FRANCO LIMOSO DE LA PAMPA ONDULADA.

A BARBOSA¹, MA TABOADA², DJ COSENTINO²

¹Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería, Area de Recursos Naturales, Avda 25 de mayo 384, (5730) Villa Mercedes (SL), Argentina.

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos. Avda San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

THE SHRINKAGE CHARACTERISTIC OF SOIL AGGREGATES W DIFFERENT DEGRADATION PHASES OF A SILTY LOAM OF THE ROLLING PAMPA (ARGENTINA)

Silty soils are considered as no suitable to be managed under wntinuous direct drilling, because they lack swelling clays that allow the creation of microcracks during drying. In a previous work, we found that the formation of water stable aggregates was not improved, but worsened, in an eroded silty loam enriched by expansible clay by tillage. In the present study we constructed the shrinkage curves of surface aggregates of this soil, and compared them to those of pristine (high organic carbon) and moderately degraded (low organic carbon). In these situations soil aggregates had only slight volumetric decreases on drying, as indicated by slopes, n , of about 0.6. Under severe degradation the slope, n , approached unity, resembling the clayey Bt horizon. Nevertheless, soil shrinkage did not result in a higher air filled porosity (final specific volume = $0.6 - 0.7 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$) in this degraded soil, but in an extensive soil swelling. As compared to the pristine wndition, aggregates of the severely degraded A0 horizon had significantly higher ($P < 0.05$) maximum water content ($0.35 \text{ vs } 0.50 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$), normal wetting range ($0.15 \text{ vs } 0.34 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$), and maximum specific volume ($0.78 \text{ vs } 0.91 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$). Therefore, the lack of swelling clay was not the cause of the low regeneration capacity in the studied silty loam, because it did not affect the creation of air-filled pores. Instead of being managed with continuous direct drilling, these silty loams require periodic ploughing to allow mechanical fisuration.

Keywords: shrinkage curves, aggregate shrinkage, shrinkage indices, air filled porosity, silty soils, soil degradation

INTRODUCCIÓN

Una significativa proporción de los suelos limosos pampeanos se encuentra afectada por un marcado deterioro estructural, lo cual es acompañado por significativos descensos de los niveles de materia orgánica (Michelena *et al.* 1988; Senigagliesi, Ferrari 1993). Dentro de este contexto, un número creciente de productores ha adoptado los sistemas de siembra directa o labranza cero con el fin de detener los procesos erosivos, y permitir así la regeneración de la estructura deteriorada. Sm embargo, a menudo la siembra directa continua conduce al desarrollo de compactación y/o endurecimiento del horizonte superficial (Chagas *et al.* 1994; Senigagliesi, Ferrari 1993; Taboada *et al.* 1998). Problemas como los mencionados limitan una mayor adopción de sistemas de siembra directa en la Pampa

Ondulada.

Los suelos limosos son considerados poco apropiados para ser manejados con siembra directa continua, debido a que ofrecen serios inconvenientes en cuanto a su capacidad de regenerar por medios naturales su macroporosidad dañada (Cannell *et al.* 1980; Douglas *et al.* 1986; Stengel *et al.* 1984). Los horizontes Ap de muchos suelos pampeanos tienden a formar estructuras masivas con alta porosidad textural, pero con pérdida de la porosidad estructural con diámetros $> 30\text{-}50 \mu\text{m}$ (Pecorari *et al.* 1990; Taboada *et al.* 1998). La capacidad de regeneración depende en gran parte de la aparición de porosidad de aire en microgrietas y fisuras cuando el suelo se seca y se contrae (Dexter 1988; Gibbs, Reid 1988). En los suelos franco limosos pampeanos, se ha postulado que la capacidad de regeneración de

sus poros se encuentra limitada por la escasa capacidad de dilatación de los minerales predominantes. Estos son fundamentalmente limos finos de origen biótico (silicofitolitos) y arcillas ílticas (Pecorari *et al.* 1990; Tecchi 1983). Sin embargo, esta idea no fue corroborada por los resultados de un reciente experimento de invernáculo (Barbosa *et al.* 1997). En este trabajo hallamos que la formación de agregados estables no fue mayor, sino menor, en un suelo Argiudol franco iimoso exosionado, que había sido enriquecido con arcilla expansible a causa de la mezcla entre los horizontes A y B durante las labranzas previas. El objetivo del presente trabajo fue investigar las razones por las cuales la presencia de arcilla expansible no promovió una mayor agregación estable en este suelo. Para ello hemos comparado las características de contracción al secado y la creación de porosidad de aire de agregados, tomados en las mismas situaciones estudiadas previamente. Estas situaciones incluyen distintas fases de degradación, con variables niveles de materia orgánica, y de arcilla total y expansible.

Curva teórica de contracción

Las curvas de contracción de agregados permiten la discusión de la relaciones entre las fases sólida, líquida y gaseosa durante el secado, y de este modo, la aptitud de un suelo para la creación de porosidad de aire (Coughlan *et al.* 1991; Mc Garry, Daniells 1987; Mc Garry, Malafant 1987). Desde los tiempos de Stirk (1954), se han reconocido dos fases principales de contracción - i.e. normal y residual - a medida que el suelo se seca. Una tercer fase - i.e. estructural - sólo se presenta en algunos suelos arcillosos (Stirk 1954). La aceptación de esta idea básica lleva a la confección de una "curva de contracción" teórica, en la cual los datos de contracción son graficados como volumen específico del suelo ($v =$ inversa de la densidad aparente) vs el contenido hídrico (Fig. 1 a). En estos gráficos, la ubicación de los datos experimentales es referida a una línea 1:1, la cual parte del volumen específico de la recíproca de la densidad de partícula (v_s) a contenido hídrico = 0. Esta línea 1:1

representa la curva de contracción de un sistema saturado teórico de dos componentes (sólido y agua), donde la contracción normal (sin entrada de aire) es asumida a lo largo de todo el rango de variación de humedad.

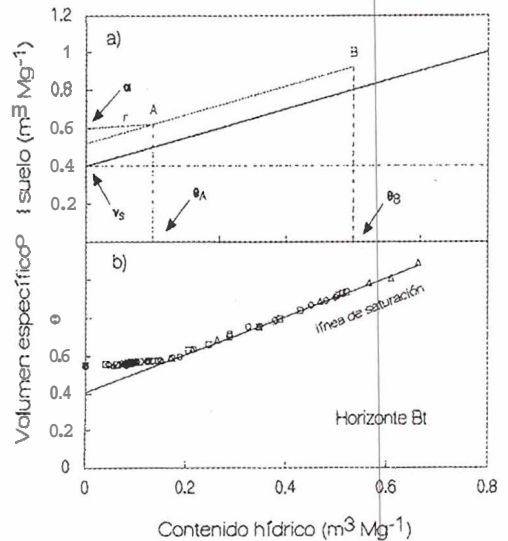


Figura 1: a) Curva teórica de contracción al secado de un agregado, donde se distinguen la línea 1:1 de saturación y las zonas de contracción estructural, normal y residual (Mc Garry y Daniells, 1987); b) Curva de contracción al secado de agregados del horizonte Bt del Argiudol Típico, Serie Peyrano.

Dentro de este contexto los puntos de la curva de contracción pueden ajustarse aproximadamente por medio de líneas de regresión, las cuales definen las zonas mencionadas de contracción. En la zona de contracción residual, el cambio de volumen es menor que el agua perdida ($\delta v = \delta \theta g$), y en la de contracción normal, el cambio de volumen iguala al agua perdida ($\delta v = \delta \theta g$). La entrada de aire durante el secado determina la creación de poros $> 100 \mu m$, accesibles a la penetración por las raíces de las plantas (Gibbs, Reid 1988).

Mc Garry, Daniells (1987) demostraron que pueden ser derivados varios índices cuando se hallan representadas las zonas de contracción mencionadas (Fig. 1 a). Cada uno de estos índices puede ser analizado estadísticamente para evaluar cuál provee las mayores diferencias entre tratamientos y

describe mejor las condiciones de suelo presentes en la muestra (Coughlan *et al.* 1991). En suelos con dos zonas de contracción, los índices propuestos por Mc Garry, Daniells (1987) se componen de siete parámetros:

1. θ_B en el límite de la expansión normal
 2. θ_A en el punto de entrada de aire, en el final de la zona de contracción residual.
 3. n pendiente de la línea $B \rightarrow A$ (contracción normal)
 4. r pendiente de la línea $A + a$ (contracción residual)
 5. v_B v en B
 6. v_A v en A
 7. a v en $\theta = 0$
- y cuatro variables derivadas de dichos parámetros:
8. P_B el volumen específico de poros llenos de aire en B
 9. P_A el volumen específico de poros llenos de aire en A
 10. P_α el volumen específico de poros llenos de aire en α
 11. $\theta_B - \theta_A$ diferencia entre θ en el límite de

la expansión normal y 8 en el punto de entrada de aire, i.e. rango de en la zona de contracción normal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo

Se trabajó con el mismo suelo y tratamientos que en nuestro trabajo previo (Barbosa *et al.* 1997). Este suelo fue el horizonte A (5-15 cm) de un Argiudol Típico, serie Peyrano, familia fina ilítica térmica, ubicado en la localidad de Uranga, Provincia de Santa Fe (33° 15' S; 60° 43' W) (INTA 1983). Las muestras fueron tomadas de tres sitios con diferente nivel de degradación: a) no degradado o prístino (pastura polifítica plurianual no laboreada durante las últimas décadas); b) degradación moderada (10 años de agricultura continua en una rotación trigo-soja de 2da. soja de 1era); y c) degradación severa, idem anterior, pero con evidencias de mezcla textural entre los horizontes A y B. En la Tabla 1 se diferencian estos sitios a través de algunas propiedades de los subhorizontes A0 y A1, presentes en el horizonte A. Estas propiedades incluyeron a la morfología del perfil, los niveles de carbono orgánico total y lábil, la composición granulométrica con la clasificación textural resultante, y el índice de expansión -contracción (IEC) (Barbosa *et al.* 1997).

Tabla 1: Propiedades morfológicas, físicas y químicas de los horizontes A0 y A1 de los tres suelos estudiados (COT= carbono orgánico total; COL= carbono orgánico liviano; IEC= índice de expansión-contracción) (adaptado de Barbosa *et al.* 1997).

Suelo	Prístino		Degradación moderada		Degradación severa	
	A0	A1	A0	A1	A0	A1
Horizonte	A0	A1	A0	A1	A0	A1
Profundidad (m)	0-0,27	0,27-0,40	0-0,18	0,18-0,32	0-0,08	0,08-0,17
Estructura	B1 subang	B1 subang	láminas	B1 subang	Láminas	prismas
COT (dag kg-1)	3,00	1,86	1,85	1,57	1,43	1,20
COL (dag kg-1)	0,21	0,06	0,12	0,06	0,10	0,06
Arcilla (%)	29,52	29,64	26,41	26,70	28,79	35,77
Limo (%)	58,75	58,38	61,69	60,19	55,40	49,76
Textura	Fr.arc.limosa	Fr.arc.limosa	Fr.limosa	Fr.limosa	Fr.arc.limosa	Fr.arc.limosa
IEC	-0,07	-0,04	-0,08	-0,07	-0,20	-0,29

Determinaciones

Se tomaron muestras húmedas de los horizontes A (A0 y A1) y Bt de las fases de degradación estudiadas (Tabla 1). Las muestras fueron secadas al aire, y se tomaron 20 agregados naturales (2 - 3 cm de diámetro) para construir las curvas de contracción. Los agregados fueron humedecidos en un dispositivo cubierto por polietileno, sobre papel de filtro en contacto con algodón saturado en agua destilada A partir de

saturation, los agregados fueron removidos a intervalos de dos días durante el secado al aire para determinar su volumen específico siguiendo el método de la densidad aparente de agregados descrito por Bwke *et al.* (1986). Este método consiste en la inmersión de los agregados en kerosene por 24 h, y su rápido secado en papel de filtro, hasta que la película periférica de kerosene haya sido eliminada. El volumen de los agregados fue medido por desplazamiento hidrostático en

kerosene. Los agregados fueron secados en estufa para determinar su contenido gravimétrico de humedad. La inversa de la densidad aparente, i.e. el volumen específico del suelo, v , fue graficado en función del contenido hídrico gravimétrico, θ_g . Se ajustaron las rectas de regresión en cada zona de contracción y se calcularon los índices y variables derivadas de contracción (Fig. 1 a). Las diferencias en estos índices fueron evaluadas estadísticamente por ANVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A modo de referencia, se presenta la curva de contracción del horizonte Bt (Fig. 1 b), el cual presenta rasgos vérticos, como "slickensides" y grietas de secado. Los suelos vérticos, o con alto porcentaje de esmectitas, se caracterizan por presentar contracción normal (pendiente, $n = 1$) a lo largo de gran parte del rango de variación de θ_g (Stirk 1954). Ello es lo que sucedió en el horizonte Bt, donde la zona de contracción normal ($n \approx 1$) se presentó durante gran parte del secado desde saturación, y la de contracción residual sólo en contenidos hídricos muy bajos. En efecto, el punto de entrada de aire, θ_A fue $< 0,2 \text{ g g}^{-1}$.

Pese a tener índices de expansión - contracción cercanos a cero (Tabla 1), los agregados de los horizontes A0 y A1 de los sitios prístino y moderadamente degradado presentaron descensos moderados de volumen durante el secado (Figs. 2 a hasta d). En las curvas obtenidas, se distinguieron las zonas normal y residual de contracción. Las curvas de contracción no fueron esencialmente distintas entre los horizontes A0 y A1, pese que ambos poseen diferentes contenidos de materia orgánica total y lábil (Tabla 1). Ello indica que estos componentes no afectaron la característica de contracción del suelo estudiado. A diferencia de estos suelos, se registró una importante contracción volumétrica durante el secado de los horizontes A0 y A1 del suelo severamente degradado (Figs. 2 e y f). Este suelo se caracterizó por tener curvas de contracción no demasiado diferentes que la obtenida en el horizonte Bt arcilloso. Este hecho concuerda con los valores de IEC de este suelo, que fueron en un orden de 20 veces más altos que

en las situaciones prístina y moderadamente degradada (Tabla 1). Estos resultados ponen en evidencia la mezcla de materiales de los horizontes A y B durante las labranzas previas en la situación severamente degradada.

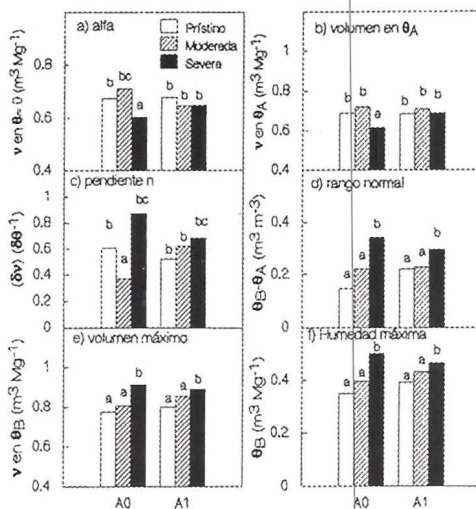


Figura. 2: Curvas de contracción al secado de agregados de los horizontes A0 y A1 del Argiudol Típico, Serie Peyrano, en las situaciones prístina (a y b), con moderada (c y d), y severa (e y f) degradación.

No todos los índices propuestos por Mc Garry, Daniells (1987) presentaron diferencias significativas entre sitios con diferente nivel de degradación. El volumen específico del suelo seco, α , y el punto de entrada de aire, θ_A , suelen ser dos índices muy sensibles a las pérdidas de porosidad por deterioro estructural (Mc Garry, Daniells 1987). El índice θ_A presentó valores similares en todos los sitios ($0,16 - 0,20 \text{ Mg m}^{-3}$), por lo que puede concluirse, no fue afectado por el nivel de degradación. En cambio, el índice α tuvo valores similares en los sitios prístino y moderadamente degradado, pero fue significativamente más bajo en el horizonte A0 severamente degradado (Fig. 3 a). El volumen del suelo en el punto de entrada de aire, v_A , mostró similar variación entre sitios y

horizontes que el índice a (Fig. 3 b). Por consiguiente, no existió al final de la contracción al secado de los agregados de ambos horizontes A severamente degradados ni un mayor volumen específico, a , ni una mayor porosidad de aire. En este suelo expansible no hubo mayor porosidad de aire creada por fisuras o micro-agrietamiento.

La magnitud de la creación de poros llenos de aire es indicada por el grado de alejamiento entre los puntos de la curva de contracción real y los de la curva teórica, cuya pendiente, n , es la unidad (Jayawardane, Greacen, 1987). En este sentido, los suelos francos (i.e. 15 - 35 % de arcilla) se caracterizan por presentar sólo moderados cambios de volumen, lo cual es indicado por pendientes, n , menores que la unidad (Jayawardane, Greacen 1987). Ello es lo que puede observarse para el caso de los suelos prfstino y moderadamente degradados, cuyas pendientes, n , fueron siempre menores que 0,6 (Figs. 2 a y b; Fig. 3 c). En cambio, bajo severa degradación, ambos horizontes A del Argiudol presentaron valores de n significativamente más altos que los otros suelos (Fig. 3 c), asemejándose así al horizonte Bt. En éste, la contracción transcurrió sin entrada de aire en los poros (Fig. 1 b). Además de la mayor pendiente de variación, la contracción normal se desarrolló a lo largo de un rango de humedades, $\theta_B - \theta_A$, significativamente más amplio en ambos horizontes A (Fig. 3 d). Como resultado, los agregados del suelo severamente degradado alcanzaron una humedad máxima, θ_B , y un volumen máximo, v_B , significativamente más altos que los agregados de los suelos prstino y moderadamente degradado (Figs. 3 e y f). Es decir que el mayor contenido de arcilla expansible y mayor IEC del suelo severamente degradado no dio lugar a una deseable mayor porosidad de aire durante la contracción al secado, sino sólo un mayor hinchamiento normal al humedecerse.

La creación de espacio poroso lleno de aire resulta del proceso de contracción irreversible, debido a pérdidas de agua desde el suelo que son mayores que la reducción de volumen por contracción (Gibbs, Reid 1988). Este mecanismo fue el que tuvo lugar claramente en los suelos prstino y

moderadamente degradado. Por el contrario, en el severamente degradado las pérdidas de agua fueron casi equivalentes a la reducción volumétrica. Es decir, que la contracción también se hizo a expensas de las paredes de los poros. La menor porosidad se asocia con menor cantidad de planos de debilidad dentro de la masa del suelo seco y contraído (Dexter

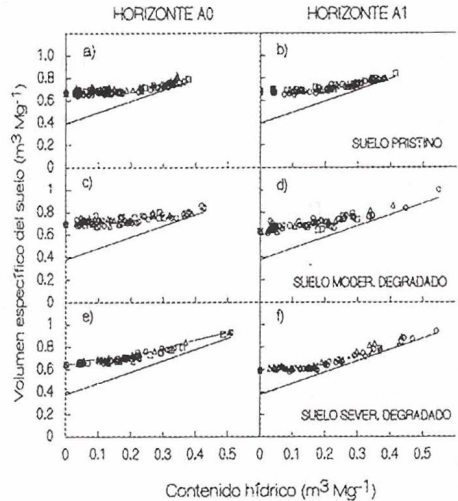


Figura 3: Índices de contracción obtenidos en los horizontes A0 y A1 del Argiudol Típico, Serie Peyrano, en las situaciones prstina (a y b), con moderada (c y d), y severa (d y e) degradación. Letras distintas indican diferencias significativas entre suelos con $P < 0,05$.

1988). Ello explica porque en nuestro trabajo previo (Barbosa et al. 1997) no hallamos, pese a su carácter expansible, una mayor formación de agregados estables en el suelo severamente degradado.

DISCUSION GENERAL E IMPLICANCIAS PRACTICAS

Los presentes resultados permiten refutar, o al menos poner en duda, algunas de las ideas preexistentes sobre el funcionamiento estructural de estos suelos limosos. En primer lugar, aún cuando su índice de expansión-contracción es originalmente bajo, los Argiudoles franco limosos son capaces de desarrollar contracción normal y residual durante el secado. Es decir que no se trata de suelos totalmente rígidos,

como a veces se supone, sino que su comportamiento se asemeja a los suelos francos de otras regiones templadas (Dexter 1988; Oades 1993).

En segundo lugar, el enriquecimiento en arcilla expansible causado por la mezcla textural entre horizontes A y B no generó mayor creación de porosidad de aire, sino sólo mayor hinchamiento normal. Por consiguiente, la baja capacidad de regeneración de poros no se relaciona con la falta de arcilla expansible. El índice de expansión-contracción no siempre resulta, entonces, un parámetro adecuado para caracterizar la aptitud de estos suelos para ser manejados con siembra directa, como indican otros autores (Burke et al. 1986; Commegna et al. 1993; Douglas et al. 1986).

Cabe preguntarse, entonces, de qué medios se dispone para lograr aumentos de macroporosidad habitable por las raíces de los cultivos. En un modelo teórico, Towner (1987; 1988) propuso que la formación de grietas de secado resulta del aglutinamiento "platelets" de arcilla en torno a partículas de grano grueso, como las arenas. Un mecanismo teóricamente posible sería aumentar el porcentaje de partículas gruesas, i.e. 50-1000 µm, que actúen como soporte o esqueleto para el agrietamiento. Indudablemente, no es económicamente factible agregar arena a los suelos de textura fina; principalmente, debido a las cantidades que deberían incorporarse. Sin embargo, y sólo a modo de hipótesis, puede pensarse que el resultado final bien podría ser una distribución de tamaño de poros más equilibrada como la que presentan los Hapludoles franco arenosos pampeanos (Taboada et al. 1998).

Teniendo en cuenta su baja capacidad de regeneración de poros, los suelos limosos requieren algún grado de remoción periódica, aún manteniendo la cubierta de residuos para evitar el avance de los procesos erosivos. Este tipo de manejo es adoptado actualmente por gran parte de los productores, quienes utilizan la siembra directa no como único sistema en el año, sino preferentemente para la siembra de soja sobre rastrojos de trigo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Subsidio AG - 031, de la programación 1994/97 de la Universidad de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- Barbosa O. A., Taboada M. A., Rodríguez M. B., Cosentino D. J. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 15: 81-86.
- Burke W., Gabriels D., Bouma J. (Eds.). 1986. *Soil Structure Assessment*. A.A.Balkema, Rotterdam. 92 pags.
- Cannell R.Q., Ellis F. B., Christian D. G., Graham J. P., Douglas J. T. 1980. The growth and yield of winter cereals after direct drilling, shallow cultivation and ploughing on non-calcareous clays soils, 1974-8. *J. Agr.Sci., Cambridge* 94: 345-359.
- Commegna N.A., Aguirre M. E., Santamaría R. 1993. Evaluación del potencial de contracción - hinchamiento en Argiudoles en relación a su aptitud para la labranza cero. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. *Trabajos y Comunicaciones Resumidos: 11-12*
- Coughlan K.J., Mc Garry D., Loch R. J., Bridge B., Smith G. D. 1991. The measurement of soil structure - Some practical initiatives. *Aust. J. Soil Res.* 29: 869-889.
- Chagas C.L., Marelli H. J., Santanatoglia O. J. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12: 11-16.
- Dexter A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11: 199-235.
- Douglas J.T., Jarvis M. G., Howse K. R., Goss M. J. 1986. Structure of a silty soil in relation to management. *J. Soil Sci.* 37: 137-151.
- Gibbs R.J., Reid J. B. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 8: 123-149.
- INTA. 1983. Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 336-20 y 21. Arroyo Seco - San Nicolás de los Arroyos. INTA -MAG Pcia. de Santa Fe. Buenos Aires.
- Jayawardane N. S., Greacen E.L. 1987. The nature of swelling in soils. *Aust. J. Soil Res.* 25: 107-113.
- Mc Garry D., Daniells I. G. 1987. Shrinkage curves indices to quantify cultivation effects on soil structure of a Vertisol. *Soil Soil Soc. Am. J.* 51: 1575 - 1580.

- Mc Garry D., Malafant K. W. J. 1987. The analysis of volume change in unconfined units of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 290-297.
- Michelena R.O., Iurtia C. B., Pittaluga A., Vavruska F., Sardi M. E. B. de. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 6: 60-66.
- Oades J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Pecorari C., Guerif J., Stengel P. 1990. Fitolitos en los suelos pampeanos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo* 8: 135-141.
- Senigagliesi C., Ferrari M. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. En: *International Crop Science I*. (Eds: Buxton, D.R.; Shibles, R.; Forsberg, R.A.; Blad, B.L.; Asay, K.H.; Paulsen, G.M.; Wilson, R.F.) *Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA*: 27-35.
- Stengel P., Douglas P., Guerif J. T., Goss M. J., Monnier M., Cannell R. Q. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Tillage Res.* 4: 35-53.
- Stirk G. B. 1954. Some aspects of soil shrinkage and the effect of cracking upon water entry into the soil. *Aust. J. Agric. Res.* 5: 277-290.
- Taboada M. A., Micucci F. G., Cosentino D. J., Lavado R. S. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Research* 49: 57-63.
- Tecchi R.A. 1983. Contenido de silicofitolitos en suelos del sector sudoriental de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 1: 75-82.
- Towner G.D. 1987. The mechanisms of cracking of drying clay. *J. Agric. Eng. Res.* 36: 115-124.
- Towner G.D. 1988. The influence of sand and silt-size particles on the cracking during drying of small clay - dominated aggregates. *J. Soil Sci.* 39: 347-356.