

# CONTRACCIÓN DE AGREGADOS DE ARGUJDOLES DE LA PAMPA ONDULADA DIFERENCIADOS EN SU MINERALOGÍA DE ARCILLAS

MARIO GUILLERMO CASTIGLIONI<sup>(1)</sup>; HÉCTOR JOSÉ MARÍA MORRÁS<sup>(2)</sup>; OSCAR JOSÉ SANTANATOGLIA<sup>(1)</sup> y MARÍA VICTORIA ALTINIER<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, (1417) Capital Federal, República Argentina, castigli@mail.agro.uba.ar;

<sup>(2)</sup>Instituto de Suelos INTA-CIRN (1712) Castelar; <sup>(3)</sup>INRA- Unité de Science du Sol, Versailles, Francia

Recibido: 03/03/05

Aceptado: 11/07/05

## RESUMEN

La contracción y expansión del suelo afecta su comportamiento físico y químico. Mc Garry & Malafant desarrollaron un modelo en el que se separan tres zonas de contracción y a través del cual es posible estimar parámetros que tienen significado físico, siendo estos de utilidad para diferenciar a distintos suelos. El objetivo del presente trabajo fue determinar que propiedades y características de algunos Argiudoles de la Pampa Ondulada, diferenciados en su mineralogía de arcillas, influyen en los parámetros del modelo de expansión-contracción de Mc Garry & Malafant. Con la finalidad de determinar el cambio de volumen específico del suelo, a partir de variaciones en su contenido hídrico, se utilizaron agregados de distintos horizontes de tres suelos no disturbados. Se hicieron análisis de correlación entre los parámetros estimados del modelo de tres líneas con diferentes propiedades y características de los suelos analizados. El distinto comportamiento en el cambio de volumen de los horizontes argílicos con mineralogías contrastantes, fue principalmente a bajos contenidos de agua, mientras que el contenido de arcilla incidió sobre la pendiente de la zona normal de contracción y sobre algunos parámetros del modelo que se estiman a altos contenidos de agua edáfica. Independientemente del tipo de arcilla presente, el punto de entrada de aire de los horizontes argílicos fue registrado a contenidos de agua difíciles de ser hallados a campo. En los horizontes BC y C la acción conjunta de la CIC y del contenido de arcilla mostró una mejor correlación con la pendiente de la zona residual de contracción, respecto al efecto de estos dos parámetros tomados en forma separada. En los horizontes A y BA la CIC resultó ser el mejor estimador de la pendiente residual de contracción. Analizando en forma conjunta el comportamiento de los horizontes A, BA, BC y C, la humedad equivalente y la densidad de partícula fueron las propiedades que mejor se relacionaron con la tasa de contracción residual, mientras que la presencia de carbono orgánico disminuyó sensiblemente su valor.

**Palabras clave.** Esmectitas, cambio de volumen, modelo de tres líneas, Argiudoles.

## SHRINKAGE OF SOIL AGGREGATES FROM ROLLING PAMPA ARGUJDOLES DIFFERENTIATED BY THEIR CLAY MINERALOGY.

### ABSTRACT

Swelling and shrinking affect soil physical and chemical behavior. Mc Garry & Malafant improved a model with three shrinkage areas, through which it is possible to estimate parameters with physical significance to compare different soils. The objective of the present work was to determine which soil properties and characteristics of Rolling Pampa Argiudolls with different clay mineralogy, affect the model parameters of Mc Garry & Malafant. Clods of distinct horizons of three non-disturbed soils were used to set the specific volume change / gravimetric water content relationship. Estimated parameters of the three straight lines model, were correlated with soils properties and characteristics. Whereas the distinct behavior in the volume change of argillic horizons with contrasting mineralogy was mainly at low soil water contents, the influence of clay percentage was best appreciated with normal shrinkage slope and at high soil water contents. Independently of clay mineralogy, the air entry point in the argillic horizons was registered at soil moisture seldom registered in the field. In the BC and C horizons, the joined consideration of clay and CEC gave a better correlation with the residual shrinkage slope, than the values obtained pondering those parameters individually. In the A and BA horizons the CEC was the better predictive parameter of the residual shrinkage slope. Analyzing the A, BA, BC and C horizons together, equivalent moisture and particle density were the best soil properties for predicting the residual contraction rate, whereas organic carbon decreased this value significantly.

**Key words.** Smectite, volume change, three straight lines model, Argiudolls.

## INTRODUCCIÓN

Cuando los agregados se secan su volumen disminuye originándose grietas y la subsidencia del suelo, mientras que cuando se humedecen se expanden, cerrándose las grietas y volviendo el suelo a su posición

original. Este comportamiento afecta los procesos físicos y químicos de los suelos y por lo tanto su uso agrícola, ya que se modifica su estructura, su infiltración, su aireación, el movimiento en profundidad de nutrientes y agroquímicos, lo mismo que el desarrollo de las raíces (Coulombe *et al.*, 1996; Gray & Allbrook, 2002).

Dada la creciente evidencia de la influencia de este proceso en las características hidráulicas del suelo (Bronswijk, 1988), resulta necesario conocer las modificaciones en la porosidad y el área resultante de la formación de grietas, ante variaciones en el contenido hídrico edáfico (Voltz & Cabidoche, 1995). En este sentido Kim *et al.* (1992) y Crescimanno & Iovino (1995) propusieron distintos procedimientos para incorporar los efectos de la deformación del suelo a sus características hidráulicas.

La determinación de la curva característica de contracción de agregados es una forma de evaluar su comportamiento de cambio de volumen (Chertkov, 2003), permitiendo visualizar las relaciones entre las fases líquida, sólida y gaseosa de los agregados durante su secado (Barbosa *et al.*, 1999).

Mc Garry & Malafant (1987) desarrollaron un modelo en el cual se pueden distinguir tres zonas de contracción, reconocidas a su vez por varios autores (Yule & Ritchie, 1980; Allbrook, 1992). Estas son las zonas de contracción estructural y residual, en donde el cambio de volumen del suelo es menor al volumen de agua desocupado durante su secado y la zona de contracción normal, donde el volumen de agua perdido es similar a la disminución del volumen del agregado.

La generación de este modelo de tres líneas rectas permite estimar parámetros que tienen un significado físico y que pueden ser utilizados al comparar el comportamiento de diferentes suelos (Allbrook, 1992)

Allbrook (1992) menciona que Hardy (1923) y Haines (1923) registraron que la forma de la curva de contracción de agregados estaba relacionada con la naturaleza y cantidad de las arcillas presentes, mientras que en los suelos por él estudiados, encontró que el cambio en la densidad aparente con el contenido de agua edáfica no era un problema restringido solamente a aquellos suelos que poseían esmectita en sus arcillas.

Crescimanno & Provenzano (1999) mencionan que si bien es sabido que existen vinculaciones entre el cambio de volumen de los suelos y alguna de sus propiedades físicas, no hay mucha información acerca de la relación existente entre estas y los parámetros surgidos de los modelos de expansión-contracción de agregados, como por ejemplo el de Mc Garry & Malafant (1987).

En el caso de los suelos pampeanos, la relación entre su comportamiento físico y su composición mineralógica ha sido escasamente estudiada. Imbellone & Giménez (1990), analizaron la composición granulométrica y mineralógica de dos suelos con características vérticas, ubicados en el partido de La Plata, y lo relacionaron con su capacidad de contracción. Damiano *et al.* (1996) desarrollaron, para suelos de la Pradera Pampeana, una

función de predicción del contenido de agua en el suelo, en la que se tuvo en cuenta la actividad de las arcillas presentes. Taboada *et al.* (2001) analizaron los cambios volumétricos de dos suelos de la Pampa Deprimida, mientras que Barbosa *et al.* (1999) estudiaron la contracción de agregados del horizonte superficial de un Argiudol de la Pampa Ondulada, sin analizar su vinculación con características mineralógicas del mismo.

Vistos los escasos antecedentes en el tema, el objetivo de este trabajo fue determinar qué características y propiedades, de algunos Argiudoles de la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía de arcillas, influyen en los parámetros del modelo de expansión-contracción de Mc Garry & Malafant (1987).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se utilizaron agregados provenientes de los distintos horizontes de tres suelos no disturbados, ubicados dentro de un sector de unas 450 ha ubicadas en el partido de Hurlingham, provincia de Buenos Aires, perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INTA. La utilización de los mismos respondió a su diferente composición mineralógica en la fracción arcilla según lo referido por Morrás *et al.* (2004) (Tabla 1). De acuerdo a este trabajo los contenidos de esmectita en los horizontes A y C disminuyen en el siguiente orden: suelo dos > suelo uno > suelo tres. En los horizontes Bt, por el contrario, los contenidos de esta arcilla son mayores en los suelos dos y tres respecto al suelo uno. Otros datos analíticos (granulometría, CIC, carbono orgánico y humedad equivalente) se presentan también en Tabla 1.

Para cada horizonte analizado se utilizaron entre 30 y 40 agregados de 3 a 10 cm<sup>3</sup> de volumen, obtenidos del muestreo a campo. Estos agregados se humedecieron por capilaridad al ser colocados sobre un papel de filtro húmedo, el cual resultaba abastecido por medio de un algodón sumergido en agua destilada. Luego de 24 hs, los agregados fueron retirados del dispositivo y se dejaron secar al aire durante distinto tiempo, para provocar en ellos diferentes contenidos hídricos. Después de este desecamiento parcial, y habiendo pesado los agregados para poder determinar su contenido de humedad, estos se colocaron en un recipiente con kerosene durante 24 hs. Una vez saturados y retirados del recipiente se los secó superficialmente con un papel absorbente, para eliminar la película superficial de kerosene, y así evitar que esta sea contabilizada en los cálculos de volumen de los agregados. Posteriormente y aplicando el principio de Arquímedes, se determinó su volumen, sumergiéndolos en un recipiente con kerosene dispuesto sobre una balanza. Por último los agregados se secaron en estufa a 105 °C y se pesaron.

Para la obtención de los parámetros del modelo trilineal de Mc Garry & Malafant (1987), con la información obtenida en laboratorio se confeccionó un gráfico de puntos por horizonte, volcándose los valores del volumen específico de los agregados (inversa de la densidad aparente) en ordenadas y en abscisas el contenido de humedad gravimétrica correspondiente. Primeramente se determinó la recta de regresión de la zona normal de contracción, a partir de un análisis visual del gráfico de puntos y buscando que la pendiente de la misma no fuera muy distinta a uno.

Tabla 1. Datos analíticos y mineralogía de arcillas correspondientes a los suelos estudiados (E = esmectitas; I = illita; I/V = interestratificados illita-vermiculita; proporción relativa expresada en porcentaje de área en los diagramas de difracción).

Table 1. Analytical data and clay mineralogy of the studied soils (E=smectite; I=illite; I/V=interstratified illite-vermiculite; relative proportion expressed in area percentage in diffraction diagrams).

Suelo Horizonte	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	C.O. (%)	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )	He (%)	Mineralogía E I+I/V	
1 A	24,6	49,3	26,1	1,72	20,5	25,9	44	53
1 Bt1	55,9	34	10,1	0,64	42	41		
1 Bt2	42,4	40,5	17,1	0,25	29,6	32,9	64	33
1 Bt3	39,3	43,7	17	0,1	27,1	30		
1 BCk	32,3	41,5	26,2	0,08	23,4	31	81	18
1 Ck	26,9	47,8	25,3	0,06	25,3	29,8	74	24
2 A	29,7	48,9	21,4	2,29	22,6	27,1	52	44
2 BA	35	48,8	16,2	1,68	26,1	25,9		
2 Bt1	52	32,2	15,8	0,68	44,6	44,7		
2 Bt2	40,2	49,1	10,7	0,34	39	39,4	77	21
2 BC	39,8	45,2	15	0,13	37,7	35,5	85	11
2 Ck	40	50,5	9,5	0,09	40,8	37,8	90	3
3 A	29	49,9	21,1	2,14	24,3	28,8	29	62
3 BE	36,9	46,7	16,4	1,43	22,3	28		
3 Bt1	49,7	38,6	11,7	0,73	37,6	45,2		
3 Bt2	50,2	37,3	12,5	0,37	39,6	43	77	20
3 2BCK1	35,4	47,5	17,1	0,15	31,3	32,4		
3 2BCK2	30,3	56,7	13	0,07	24,2	29,5		
3 2BCK3	30,6	51,1	18,3	0,04	31,8	31,5	66	29
3 2Ck	25,7	61,5	12,8	0,05	32,1	31,1		

Esto se debe a que en esta zona, el cambio de volumen de los agregados equivale a la diferencia en el contenido de agua de los mismos. A su vez, los puntos ubicados en el gráfico por encima y por debajo de los usados para obtener la recta de la zona normal de contracción, se utilizaron para determinar las rectas de regresión correspondientes a las zonas de contracción estructural y residual, respectivamente. Las funciones resultantes se utilizaron para determinar la ubicación de los puntos donde las distintas rectas se cruzan, obteniéndose con esta información los restantes parámetros del modelo de Mc Garry & Malafant (1987). Los valores asumidos por estos se compararon entre horizontes similares y se correlacionaron con los datos analíticos detallados en Tabla 1 junto con otras propiedades físicas: coeficiente de extensibilidad lineal (COLE), límite líquido (Ll), límite plástico (Lp), índice plástico (Ip), número de actividad (Means & Parcher, 1965) (Na) y densidad de partícula (Dp).

Estas propiedades fueron elegidas debido a que en la bibliografía se menciona su relación con la actividad de las arcillas. Yule & Ritchie (1980) señalan que la CIC integra en forma conjunta la actividad y la cantidad de arcilla presente en el suelo, mientras que Reeve *et al.* (1980) afirman que esta propiedad está fuertemente relacionada con el tipo de mineral de arcilla presente y que por lo tanto su cuantificación puede ser utilizada en la estimación de los materiales que se encuentran en el suelo. Hammel *et al.* (1983) desarrollaron una función que utiliza los valores de los límites líquido y plástico para predecir la superficie específica de

los constituyentes del suelo, resultando ser este un buen estimador de los minerales de arcilla presentes. El número de actividad (cociente entre el índice de plasticidad y el contenido de arcilla) es un indicador que -aparte de los análisis mineralógicos- puede ser la forma indirecta más adecuada para determinar el tipo de arcillas presentes en los suelos, independientemente de la cantidad de arcilla que estos posean (Means & Parcher, 1965). Por su parte Imbellone & Giménez (1990) encontraron que el COLE reflejaba la composición granulométrica y mineralógica de los suelos por ellos estudiados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se detallan los resultados de las propiedades físicas elegidas, correspondientes a los horizontes de los tres suelos analizados.

### Horizontes Argílicos

En la Figura 1 se observa la relación volumen específico-contenido de agua gravimétrica, obtenida en laboratorio para los agregados de cada horizonte, la cual

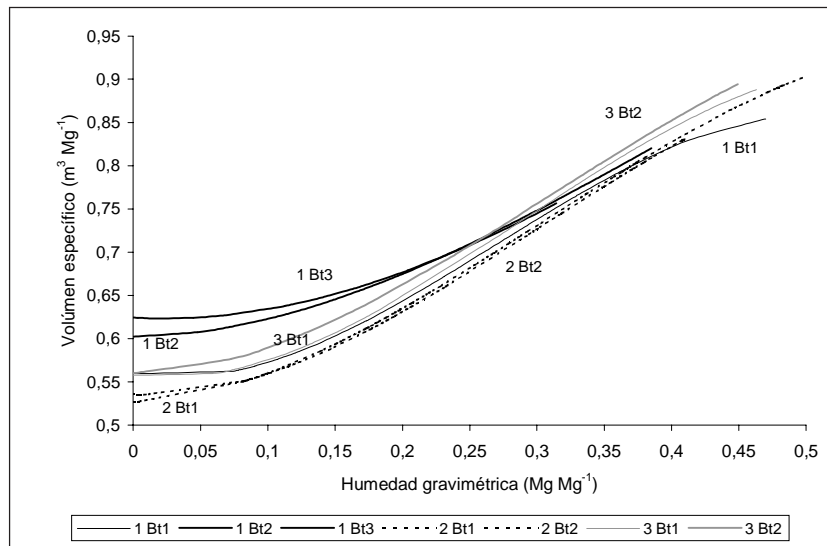


Figura 1. Curvas de contracción correspondientes a los horizontes Bt.  
Figure 1. Shrinkage curves of Bt horizons.

Tabla 2. Valores del límite líquido (Ll), límite plástico (Lp), índice plástico (Ip) (en % de agua); densidad de partícula (Dp) ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); número de actividad (Na) y COLE, correspondientes a los horizontes analizados.

Table 2. Values of liquid limit (Ll), plastic limit (Lp), plastic index (Ip) (in % of water); particle density (Dp) ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); activity number (Na) and COLE, of the analyzed horizons.

Suelo Horizonte	COLE	Ll	Lp	Ip	Na	Dp
1 A	0,037	35,14	23,43	11,71	0,48	2,53
1 Bt1	0,131	68,99	28,79	40,20	0,72	2,68
1 Bt2	0,080	46,97	23,95	23,02	0,54	2,67
1 Bt3	0,028	34,72	20,57	14,16	0,36	2,59
1 BCk	0,037	39,76	21,94	17,82	0,55	2,69
1 Ck	0,050	34,09	20,92	13,16	0,49	2,65
2 A	0,027	43,57	26,13	17,44	0,59	2,59
2 BA	0,068	36,79	21,60	15,18	0,43	2,61
2 Bt1	0,162	81,15	31,36	49,80	0,96	2,76
2 Bt2	0,114	62,12	26,35	35,77	0,89	2,79
2 BC	0,075	49,55	25,34	24,21	0,61	2,76
2 Ck	0,115	59,91	26,87	33,04	0,83	2,78
3 A	0,041	37,4	23,86	13,53	0,47	2,60
3 BE	0,062	39,27	21,78	17,49	0,47	2,56
3 Bt1	0,154	63,37	28,18	35,19	0,71	2,68
3 Bt2	0,145	65,87	30,02	35,85	0,71	2,72
3 2Bck1	0,061	43,18	25,23	17,96	0,51	2,76
3 2Bck2	0,047	34,91	23,09	11,82	0,39	2,75
3 2Bck3	0,046	34,45	23,23	11,22	0,37	2,72
3 2Ck	0,056	37,84	22,87	14,96	0,58	2,68

ajustó a un modelo de regresión polinomial de tercer orden, siendo en todos los casos el  $R^2$  obtenido mayor a 0,87.

Según puede verse en la misma, las diferencias entre los horizontes Bt en su comportamiento de aumento-disminución de volumen con el cambio en su contenido hídrico, se dieron fundamentalmente a valores de humedad gravimétrica inferiores a 0,30 Mg/Mg.

A su vez, y de manera independiente al contenido de esmectita, en la mayor parte del rango de humedad alcanzado por los agregados, se desarrolló la zona normal de contracción. Como resultado, el contenido de agua medio en el punto de entrada de aire (*eaire*) fue 0,13 Mg/Mg (C.V. 14%), sin tomar en cuenta a los horizontes Bt2 y Bt3 del suelo uno, los cuales presentaron un valor mayor en dicho parámetro (media 0,25 Mg/Mg). Taboada *et al.* (2001) y Barbosa *et al.* (1999) también encontraron, en diferentes horizontes argílicos de la Pradera Pampeana, gran desarrollo de la zona normal de contracción y contenidos de agua por debajo de 0,2 Mg/Mg para el punto de entrada de aire.

Salvo en los horizontes Bt2 y Bt3 del suelo uno, estos contenidos de agua corresponden a valores por debajo del punto de marchitez permanente, por lo que resulta poco frecuente encontrar dicha situación a campo, tal como también lo señalaron Yule & Ritchie (1980) para Vertisoles de Texas.

De acuerdo a estos resultados, el estado de aireación de estos horizontes dependerá fundamentalmente de la

frecuencia de las grietas estructurales, ya que durante la etapa de contracción normal la mayoría de los poros al secarse colapsan (Yule & Ritchie, 1980; Allbrook, 1992). Este comportamiento hace que las raíces de los cultivos se desarrollen casi exclusivamente por las grietas que se forman entre los terrones (Stengel, 1988), incrementándose la densidad radicular en períodos climáticos secos (Nicoullaud *et al.*, 1994; Prystupa & Lemcoff, 1998), como consecuencia de una mayor presencia de fisuras.

Pese al estrecho rango de valores asumido por la pendiente de la zona normal de contracción (*pnormal*) (Tabla 3), se pudo observar que esta estuvo influida por el contenido de arcilla (Tabla 4), mientras que al adicionar al componente granulométrico el efecto de la CIC, el coeficiente de correlación disminuyó (Tabla 4). De acuerdo a lo recientemente señalado y observando las Tablas 1 y 3, se pueden caracterizar dos grupos de horizontes Bt: aquellos que poseen contenidos de arcilla por encima y por debajo del 49%. Dentro del grupo más arcilloso, salvo el horizonte Bt2 del suelo tres, las pendientes de la zona normal de contracción resultaron alrededor de 0,99, mientras que en el otro grupo las mismas se ubicaron en valores más bajos.

Tanto el volumen específico de los agregados bajo suelo seco (*volcero*) y en su punto de entrada de aire (*volaire*), como el contenido de humedad del suelo en el punto de entrada de aire (*eaire*), estuvieron significativamente correlacionados con parámetros que están afectados simultáneamente por la cantidad y calidad de las arcillas, no mostrando el contenido de arcilla en forma

Tabla 3. Parámetros estimados del modelo de Mc Garry & Malafant (1987), pertenecientes a los horizontes Bt. *pnormal*: pendiente de la zona normal de contracción; *volcero*: volumen específico del suelo seco; *volaire*: volumen específico del suelo en el punto de entrada de aire; *eaire*: contenido de humedad del suelo en el punto de entrada de aire; *volsat*: volumen específico del agregado saturado; *sataire*: diferencia del volumen específico entre el agregado saturado y su punto de entrada de aire.

Table 3. Estimated parameters of the Mc Garry & Malafant (1987) model, concerning the Bt horizons. *pnormal*: slope of the normal shrinkage zone; *volcero*: specific volume at zero water content; *volaire*: specific volume at the air entry point; *eaire*: water content at the air entry point; *volsat*: specific volume of saturated aggregates; *sataire*: difference between specific volume of saturated aggregates and at the air entry point.

Suelo		<i>pnormal</i>	<i>volcero</i>	<i>volaire</i>	<i>eaire</i>	<i>volsat</i>	<i>sataire</i>
1	Bt1	0,990	0,563	0,576	0,130	0,890	0,314
1	Bt2	0,901	0,605	0,708	0,260	0,843	0,135
1	Bt3	0,901	0,649	0,682	0,231	0,758	0,076
2	Bt1	0,985	0,538	0,582	0,147	0,899	0,316
2	Bt2	0,904	0,552	0,554	0,109	0,808	0,254
3	Bt1	0,999	0,556	0,603	0,155	0,908	0,305
3	Bt2	0,910	0,557	0,595	0,124	0,905	0,310

individual, alta vinculación con alguno de ellos (Tabla 4). No obstante esto y si se toma en cuenta solamente el comportamiento de los horizontes pertenecientes al suelo uno (Tabla 3), se ve claramente que aquellos con

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre diferentes parámetros de la curva de contracción y distintas características y propiedades de los horizontes Bt.

Table 4. Correlation coefficients between different parameters of the shrinkage curve and distinct characteristics and properties of the Bt horizons.

Parámetros	<i>pnormal</i>	<i>volcero</i>	<i>volaire</i>	<i>eaire</i>	<i>volsat</i>	<i>sataire</i>
Arcilla	0,801*	-0,636ns	-0,510ns	-0,507ns	0,872*	0,810*
Dp	0,117ns	-0,852*	-0,744ns	-0,709ns	0,390ns	0,664ns
CIC	0,636ns	-0,936**	-0,890**	-0,856*	0,727ns	0,947**
He	0,706ns	-0,933**	-0,791*	-0,786*	0,863*	0,969**
COLE	0,675ns	-0,958**	-0,742ns	-0,732ns	0,908**	0,966**
Lp	0,622ns	-0,931**	-0,744ns	-0,741ns	0,891**	0,957**
Ll	0,660ns	-0,949**	-0,805*	-0,763*	0,796*	0,938**
Ip	0,665ns	-0,944**	-0,814*	-0,760*	0,756*	0,920**
Na	0,442ns	-0,943**	-0,840*	-0,777*	0,558ns	0,819*
Arcilla + CIC	0,765*	-0,837*	-0,745ns	-0,726ns	0,851*	0,935**

\* significativo al 0,05 de probabilidad  
 \*\*significativo al 0,01 de probabilidad

ns: no significativo

contenidos de arcilla cercanos al 40% (Tabla 1), presentaron valores de *volcero*, *volaire* y *eaire* mayores, respecto al que posee un 55,9% de arcilla. Por su parte, el efecto de la distinta mineralogía de arcillas se puede apreciar al comparar lo sucedido entre el horizonte Bt2 del suelo dos y los Bt2 y Bt3 del suelo uno, todos con porcentajes de arcilla similares (Tabla 1). En el primer horizonte mencionado, los valores de *volcero*, *volaire* y *eaire* fueron sensiblemente menores a los obtenidos por los otros dos Bt (Tabla 3). Al hacer esta misma comparación entre los horizontes más arcillosos, el parámetro *volcero* (Tabla 3) también fue sensible al mayor contenido de esmectitas que posee el suelo dos (Tabla 1).

Al analizar lo sucedido con el volumen específico de los agregados, al estar estos saturados con agua (*volsat*), se observa en la Tabla 4 que el porcentaje de arcilla fue un parámetro significativo, repitiéndose el ordenamiento de horizontes ya señalado con *pnormal* (Tabla 3). Por su parte, la diferencia de volumen específico entre los agregados saturados con agua y cuando éstos alcanzaron su punto de entrada de aire (*sataire*), mostró una disminución en dicha vinculación, aumentando la de aquellos parámetros que se encuentran relacionados en forma conjunta con la cantidad y calidad de las arcillas (Tabla 4). La Tabla 3 muestra una primer diferencia en este parámetro, similar a la ya observada con *pnormal*

y *volsat*, y debida al diferente contenido de arcilla entre los horizontes Bt (Tabla 1). Sin embargo, mientras en el grupo con mayor contenido de arcilla no se observaron diferencias apreciables en *sataire*, en el grupo menos arcilloso se comprobó un mayor valor de este parámetro en el horizonte Bt2 del suelo dos, debido a su mayor contenido de esmectitas (Tabla 3).

Lo mencionado nos indica que en estos horizontes argílicos con arcillas de distintas características, las diferencias en su comportamiento de cambio de volumen se manifiestan de acuerdo al contenido de agua edáfica considerado, y según sea el porcentaje de arcilla que posean los horizontes analizados. La distinta respuesta, debida a la diferente mineralogía en las arcillas, ocurre fundamentalmente a bajos contenidos hídricos, mientras que el efecto de la cantidad de arcilla tiene mayor importancia cuando el suelo está cerca de su saturación.

### Horizontes BC y C

En la Figura 2 se observa la relación volumen específico-contenido de agua gravimétrica, obtenida en laboratorio para los agregados de cada horizonte. Dicha relación en el horizonte 2Ck del suelo tres ajustó a un modelo de regresión lineal, mientras que en los restantes se comportó de acuerdo a un modelo polinomial de se-

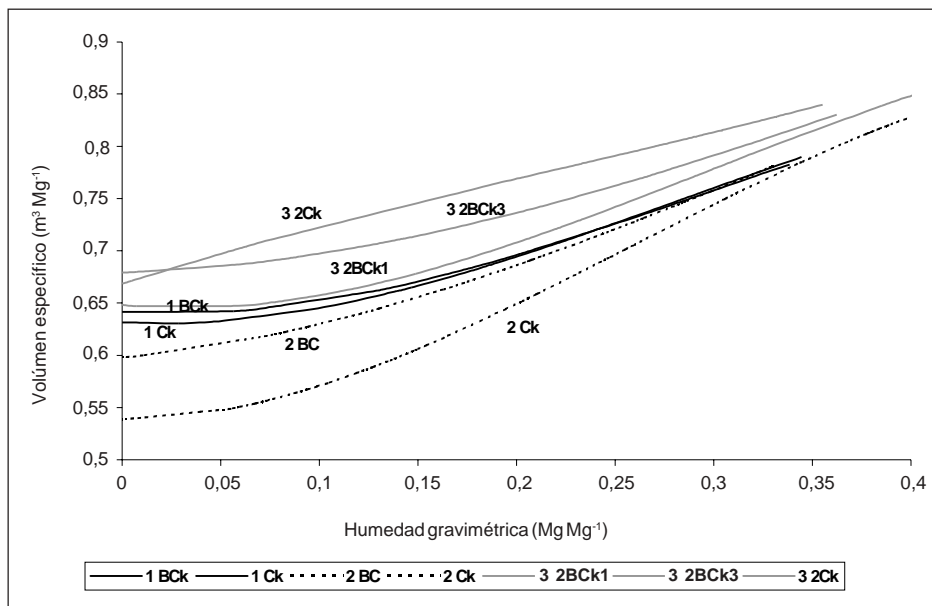


Figura 2. Curvas de contracción correspondientes a los horizontes BC y C.  
Figure 2. Shrinkage curves of BC and C horizons.

gundo orden, siendo el  $R^2$  obtenido en todos los casos mayor a 0.87.

Del análisis de la misma, se observa que el horizonte Ck del suelo dos presentó una capacidad de contracción bastante mayor a la del resto de los horizontes y similar a la mostrada por los horizontes Bt.

Esta mayor capacidad del horizonte Ck del suelo dos, respecto al BC del mismo suelo, respondió a la mayor cantidad de esmectita presente en aquél horizonte, dado que prácticamente no hubo entre estos, diferencias en sus contenidos de arcilla (Tabla 1). Por otra parte y pese al aumento en la proporción de arcillas expansibles en los BCk y Ck del suelo uno, respecto a sus horizontes argílicos, su menor porcentaje de arcilla (Tabla 1) provocó que disminuyera la expresión de sus características de contracción (Figuras 1 y 2). A su vez en los 2BCk y 2Ck del suelo tres, su menor cantidad de arcilla y su menor proporción de minerales expansibles (Tabla 1), contribuyeron a reducir su tasa de cambio de volumen, respecto a la obtenida por los horizontes argílicos de ese mismo suelo (Figuras 1 y 2).

Al analizar el comportamiento de estos horizontes sin considerar al Ck del suelo dos, debido a su similar comportamiento con los horizontes argílicos, se comprobó que solo dos presentaron contracción normal, siendo el valor medio de la pendiente de la zona de contracción residual igual a 0,5 (C.V. 13%). A su vez el promedio del contenido de humedad en el punto de entrada de aire fue de 0,35 Mg/Mg (C.V. 14%), lo que señala, a diferencia de lo planteado para los horizontes Bt, la posibilidad de ocurrencia de dicho registro a campo ya que se encuentra cercano a sus valores de saturación.

Por lo mencionado, los agregados de estos horizontes, a pesar que en algunos casos presentaron una mayor proporción de esmectitas que los horizontes Bt (Tabla 1), tendrán una mejor capacidad de aireación interna al secarse, respecto a lo observado para los agregados de los horizontes argílicos.

Entre los distintos parámetros del modelo de McGarry & Malafant (1987), solamente la pendiente de la zona residual de contracción (*presi*) estuvo relacionada con distintas características y propiedades de los suelos analizados (Tabla 5).

De la observación de la Tabla 5 se desprende que la tasa de cambio de volumen al secarse los agregados, estuvo positivamente influida por el contenido de arcilla y su calidad (CIC), mientras que su acción tomada en conjunto, lo mismo que la humedad equivalente, los límites de Atterberg y el COLE tuvieron coeficientes de correlación mayores, respecto a tomar aisladamente los dos primeros parámetros mencionados.

Los cambios de volumen del suelo son gobernados por una combinación de propiedades físicas, químicas y mineralógicas (Thomas *et al.*, 2000). Por lo tanto, al ser este un fenómeno donde interaccionan varios factores condicionantes, se encuentra mejor expresado por parámetros que sintetizan esa complejidad, o considerando la acción conjunta de varios parámetros sencillos. Es por ello, que Thomas *et al.* (2000), al desarrollar funciones estimativas del índice de expansión de suelos de Virginia, notaron que la precisión de las mismas aumentaba al incluir más de una propiedad vinculada con dicho proceso.

Dentro del grupo de horizontes recientemente analizado, aquel con mayor contenido de arcilla fue a su vez el que presentó mayor proporción de esmectitas (Tabla 1), y por lo tanto no se pudieron discriminar los efectos de estos dos parámetros en forma separada, salvo en el caso ya señalado de los horizontes BC y Ck del suelo dos.

No obstante esto se observó en cada suelo, que la CIC por unidad de contenido de arcilla (CIC/arcilla) aumentaba en la medida que la textura de los horizontes C era menos arcillosa que los BC, correspondiendo el menor valor de dicha relación al horizonte BCk del suelo uno (0,725) y el mayor al 2Ck del suelo tres (1,249). Estas diferencias de carga indudablemente condujeron a un distinto comportamiento en la contracción de los agregados de estos horizontes, y es por ello que la correlación con la tasa de cambio de volumen del suelo, mejoró al incorporar el efecto de la CIC o utilizando aquellas propiedades del suelo que incorporaron en sus resultados dicha información, como por ejemplo la humedad equivalente (Tabla 5).

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre la pendiente de la zona de contracción residual (*presi*) y distintas características y propiedades de los horizontes BC y C.

Table 5. Correlation coefficients between the residual shrinkage slope (*presi*) and distinct characteristics and properties of BC and C horizons.

Parámetros	<i>presi</i>
Arcilla	0,838*
Dp	0,863*
CIC	0,853*
He	0,963**
COLE	0,901*
Ip	0,819*
Ll	0,920**
Lp	0,930**
Na	0,453ns
Arcilla + CIC	0,977**

\* significativo al 0,05 de probabilidad  
\*\*significativo al 0,01 de probabilidad

ns: no significativo

### Horizontes A y BA

En la Figura 3 se detalla la relación volumen específico-contenido de agua gravimétrica, obtenidos en laboratorio para cada horizonte, la que ajustó a un modelo de regresión lineal, en el caso de los horizontes A del suelo uno y BA del suelo dos, y a un modelo polinomial de segundo orden en los restantes horizontes, siendo en todos los casos el  $R^2$  obtenido superior a 0,85.

Se observa en la misma que la capacidad de contracción, entre humedad de saturación y estado seco de los agregados de los horizontes A y BE del suelo tres, fue mayor a la de los restantes suelos, mientras que la diferencia registrada entre ambos horizontes fue a muy bajos contenidos de humedad.

También los horizontes superficial y subsuperficial del suelo dos tuvieron una relación volumen específico contenido de agua gravimétrica similar, pero a partir de los 0,25 Mg/Mg la capacidad de contracción del horizonte BA fue superior.

En los horizontes A, el contenido de humedad promedio en el punto de entrada de aire fue 0,36 Mg/Mg (C.V.: 6%) y la pendiente media de la zona de contracción residual 0,31 (C.V.: 17%), mientras que en los BA/BE el valor de dichos parámetros fue 0,31 Mg/Mg y 0,34, respectivamente.

El contenido de arcilla promedio de estos horizontes fue solamente inferior en tres puntos al registrado en los horizontes BC y C anteriormente analizados (Tabla 1). Pese a ello, la pendiente de la zona residual de contracción en éstos últimos, fue mayor a la hallada en los horizontes superficiales (Tabla 6), ocasionando volúmenes específicos bajo suelo seco un poco menores (media 0,631) a los registrados en los horizontes A y BA/BE (media 0,668).

Respecto a los parámetros del modelo de contracción-expansión de Mc Garry & Malafant (1987), la pendiente de la zona residual de contracción de los horizontes A y BA/BE mostró estar condicionada por la CIC del suelo, presentando un coeficiente de correlación de 0,957 ( $P < 0,05$ ), mientras que el contenido de arcilla no mejoró dicha relación. A su vez, de la visualización de las Tablas 1 y 6, no se observa una vinculación entre los distintos contenidos de esmectitas de estos horizontes y su tasa de contracción (*presi*).

Se buscó un parámetro que sintetizara la influencia de la materia orgánica, del contenido de arcilla y de su calidad sobre el comportamiento volumétrico de los agregados de los horizontes A, BA, BC y C ante su desecamiento, registrándose los resultados observados en la Tabla 7.

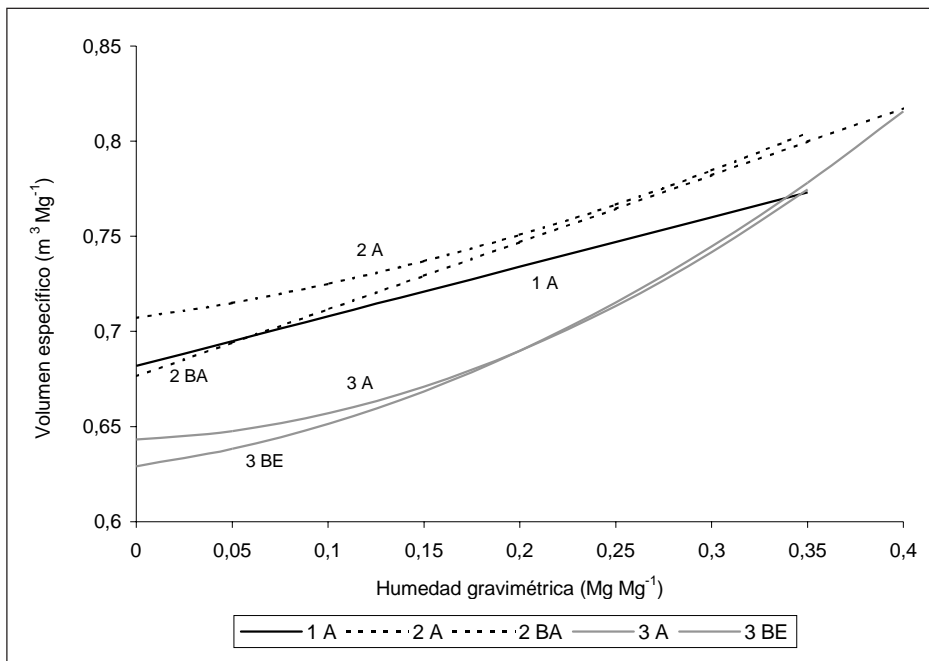


Figura 3. Curvas de contracción correspondientes a los horizontes A y BA.

Figure 3. Shrinkage curves of A and BA horizons.



Tabla 6. Parámetros estimados del modelo de Mc Garry & Malafant (1987), pertenecientes a los horizontes A, BA, BC y C. *volaisec*: Diferencia de volumen específico del suelo entre su punto de entrada de aire y su estado seco.

Table 6. Estimated parameters of the Mc Garry & Malafant (1987) model, involving A, BA, BC y C horizons. *volaisec*: difference between specific volume at the air entry point and zero soil water content.

Suelo Horizonte	<i>presi</i>	<i>volaisec</i>
1 A	0,262	0,099
2 A	0,291	0,093
2 BA	0,376	0,124
3 A	0,362	0,117
3 BE	0,312	0,084
1 Bck	0,452	0,110
1 Ck	0,436	0,105
2 BC	0,607	0,171
2 Ck	0,401	0,048
3 2Bck1	0,543	0,191
3 2Bck3	0,473	0,151
3 2C	0,485	0,177

Como se observa en la misma, el contenido de arcilla individualmente no fue un parámetro significativo para predecir el comportamiento de la pendiente de la zona de contracción residual (*presi*), ni para establecer la diferencia de volumen específico entre el punto de entrada de aire y el suelo seco (*volaisec*). Esto se debe a la acción del carbono orgánico, que como se observa en la Tabla 7, disminuyó la tasa de contracción de los agregados al actuar como un moderador de la acción de la arcilla. Este comportamiento del carbono orgánico fue además, la causa de las menores pendientes en la zona residual de

Tabla 7. Coeficientes de correlación entre diferentes parámetros de la curva de contracción y distintas características y propiedades de los horizontes A, BA, BC y C.

Table 7. Correlation coefficients between different shrinkage curve parameters and distinct characteristics and properties of A, BA, BC and C horizons.

Parámetros	<i>Presi</i>	<i>volaisec</i>
Arcilla	0,433ns	0,236ns
Dp	0,967**	0,841**
He	0,935**	0,734**
CIC	0,906**	0,890**
Arcilla + CIC	0,834**	0,774*
CO	-0,826**	-0,627*

\* significativo al 0,05 de probabilidad      ns: no significativo  
 \*\*significativo al 0,01 de probabilidad

contracción de los horizontes superficiales, respecto a los BC y C (Tabla 6), observadas anteriormente. A su vez, al comparar horizontes con contenidos de arcilla similares (Tabla 1), se comprobó que la CIC de los horizontes A y BA/BE también fue menor, en la mayoría de los casos, a la obtenida por los BC y C. Es por ello que al considerar en forma conjunta a los horizontes A, BA, BC y C, la CIC resultó ser un buen estimador de su tasa de contracción (Tabla 7). Con la densidad de partícula y la humedad equivalente sucedió lo mismo, observándose en la Figura 4 la relación obtenida entre estas dos propiedades y la pendiente de la zona de contracción residual.

Crescimanno & Provenzano (1999) al trabajar sobre una amplia variedad de horizontes superficiales, con gran amplitud en sus contenidos de arcilla y carbono orgánico, encontraron que estos dos últimos parámetros y la CIC eran los componentes del suelo que mejor explicaban la tasa de pérdida de volumen de los agregados en

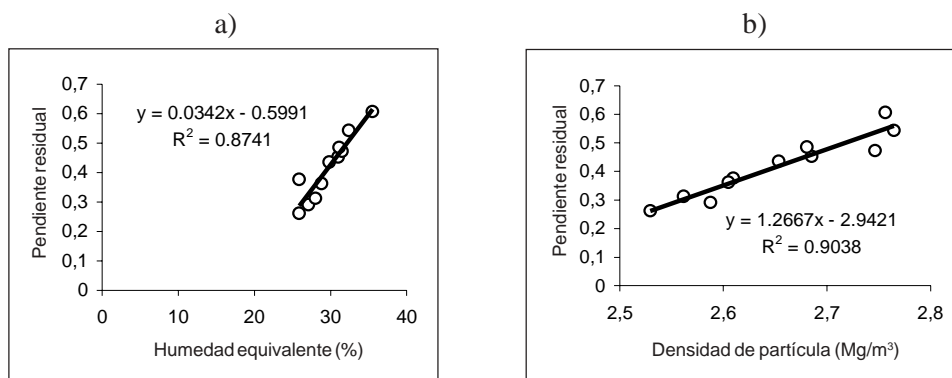


Figura 4. Regresiones lineales entre: a) humedad equivalente y b) densidad de partícula, con la pendiente de la zona de contracción residual correspondiente a los horizontes A, BA, BC y C.

Figure 4. Linear regressions between: a) equivalent moisture and b) particle density with the residual shrinkage slope of A, BA, BC and C horizons.

función de su desecamiento. Sin embargo al desarrollar su modelo de regresión, la inclusión tanto de la CIC como de la materia orgánica no mejoraron el nivel de predicción de dicha tasa, respecto al alcanzado cuando solamente en dicho modelo era incluido el contenido de arcilla.

En ese estudio, al ser considerado un amplio rango textural edáfico, el mayor condicionante del cambio de volumen de los suelos resultó ser el contenido de arcilla. Por su parte, en el presente trabajo, al acotar el rango de análisis a distintos grupos de horizontes con menor variabilidad textural, se pudo observar que cada uno de ellos tiene sus particularidades, las que pudieron ser explicadas, según los casos, por el contenido de arcilla, la CIC, o por su acción conjunta.

## CONCLUSIONES

Las diferencias en la contracción de los agregados correspondientes a los horizontes Bt, debidas a la distinta mineralogía de arcillas, se registraron fundamentalmente a bajos contenidos de agua edáfica, mientras que el efecto de la cantidad de arcilla tuvo mayor importancia a contenidos hídricos del suelo cercanos a saturación.

La mayor cantidad de esmectitas del horizonte C del suelo dos dio como resultado que sus características de contracción edáfica fueran mas parecidas a las de los horizontes argílicos que a su propio grupo de horizontes.

En los restantes horizontes BC y C, el comportamiento de la pendiente residual de contracción estuvo más asociada a la acción conjunta de la CIC y del contenido de arcilla, que tomando estos parámetros en forma individual.

La pendiente residual de contracción fue mayor en los horizontes BC y C respecto a los A y BA/BE, a partir de un mayor contenido de carbono en estos últimos horizontes.

Al analizar en forma conjunta a los horizontes A, BA, BC y C, los atributos del suelo que mejor explicaron el comportamiento de la pendiente residual de contracción, fueron la densidad de partícula y la humedad equivalente.

## BIBLIOGRAFÍA

Allbrook, RF. 1992. Shrinkage of some New Zealand soils and its implications for soil physics. *Aust. J. Soil Res.* 31:111-118.

Barbosa, A; MA Taboada & DJ Cosentino. 1999. Contracción al secado de agregados en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17 (1): 1-6.

Bronswijk, JJB. 1988. Modelling of water balance, cracking and subsidence on clay soils. *J. Hydrol.* 97:199-212.

Coulombe, CE; JB Dixon & LP Wilding. 1996. Mineralogy and chemistry of Vertisols. In: N Ahmad and A. Mermut (Eds.). *Vertisols and technologies for their management.* Elsevier pp 115-200.

Crescimanno, G & G Provenzano. 1999. Soil shrinkage characteristic curve in clay soils: measurement and prediction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:25-32.

Crescimanno, G & M Iovino. 1995. Parameter estimation by inverse method based on one-step and multi-step outflow experiments. *Geoderma* 68: 257-277

Chertkov, VY. 2003. Modelling the shrinkage curve of soil clay pastes. *Geoderma* 112: 71-95.

Gray, CW & R Allbrook. 2002. Relationships between shrinkage indices and soil properties in some New Zealand soils. *Geoderma* 108:287-299.

Haines, WB. 1923. The volume-changes associated with variations of water content in soil. *J.Agric. Sci.* 13:296-310.

Hammel, JE; ME Sumner & J Burema. 1983. Atterberg limits as indices of external surface areas of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 :1054-1056.

Hardy, F. 1923. The physical significance of shrinkage coefficient of clays and soils. *J.Agric. Sci.* 13:243-264.

Imbellone, PA & JE Giménez. 1990. Propiedades físicas, mineralógicas y micromorfológicas de suelos con características vérticas del partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 8(2):231-236.

Kim, DJ; H Vereecken; J Feyen; D Boels & JJB Bronswijk 1992. On the characterization of properties of an unripe marine clay soil. II A method on the determination of hydraulic properties. *Soil Sci.* 154:59-71.

Mc Garry, D & KWJ Malafant. 1987. The analysis of volume change in unconfined units of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:290-297.

Means, RE & JV Parcher. 1965. Plasticity. In *Physical properties of soils.* Prentice-Hall of India Ltd. Pags. 68-84.

Morrás, H; M Altinier; M Castiglioni & D Tessier. 2004. Relación entre la mineralogía de arcillas y la susceptibilidad magnética en tres suelos del sur de la Pampa Ondulada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (Resumen Expandido editado en CD)

Nicoulaud, B; D King & F Tardieu. 1994. Vertical distribution of maize roots in relation to permanent soil characteristics. *Plant and Soil* 159:245-254.

Prystupa, P & JH Lemcoff. 1998. Increased root density of maize crops under drought in a Typic Argiudoll. *Maydica* 43: 271-276.

Reeve, MJ; DGM Hall & P Bullock. 1980. The effect of soil composition and environmental factors on the shrinkage of some clayey british soils. *Journal of Soil Science* 31:429-442.

Stengel, P. 1988. Análisis de la porosidad en horizontes de un suelo Brunizem en distintas condiciones de manejo y su relación con el crecimiento de las raíces del maíz. *Informe técnico* N° 211. INTA Pergamino.

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 rises. *Geoderma* 101:49-64.

Thomas, PJ; JC Baker & LW Zelazny. 2000. An expansive soil index for predicting shrink-swell potential. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 64:268-274.

Voltz, M & YM Cabidoche. 1995. Non-uniform volume and water content changes in swelling clay soil: I Theoretical análisis. *European Journal of Soil Science.* 46:333-343.

Yule, DF & JT Ritchie. 1980. Soil shrinkage relationships of Texas Vertisols: I. Small cores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1285-1291.