

## LIMOS DE BAJA DENSIDAD: IMPACTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

DJ COSENTINO, C PECORARI

Facultad de Agronomía (UBA). Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina. Email: cosenti@agro.uba.ar

Recibido 21 de marzo de 2002, aceptado 5 de mayo de 2002

### IMPACT OF LOW-DENSITY MINERALS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF THE PAMPEAN REGION

Phytoliths are hydrated silica bodies that are included in plant tissues. Along with another bioliths and volcanic ashes, phytoliths are the main low-density mineral fraction in soils of the Pampa region. The aim of this work was to determine the impact of low-density minerals in the silt fraction on physical properties related with structural stability and porosity. Mixtures with different low-density minerals and clay content were constructed to determine their tensile strength and swelling – shrinkage capacity. The general trend of tensile strength curves showed that the highest the water content, the lowest the tensile strength. This variable showed significant differences at all water contents but at higher water potential. Mixtures with low percentage of light silt fraction showed the highest tensile strength. Near saturation mixtures didn't show a well defined crash point. Overall, tensile strength was higher with high clay content, low water content and without low-density minerals. Shrinkage curves were obtained for the same mixtures used for tensile strength tests varying the low-density minerals content. In this case, two types of clay were used: illite and swelling clay. Mixtures with illite behave very rigid. Low-density minerals level didn't modify the matrix volumetric behaviour. The swelling clay curves showed a normal shrinkage behaviour and a higher slope than the illite curves. Thus, clay type appears to be the main factor affecting volume change with water content. For both clay types, mixtures with higher low-density minerals content showed the highest specific volume values. As a conclusion, the surface layer of the Pergamino soil has a high low-density minerals content, which involves negative effects on its tensile strength and therefore on structural stability.

**Key words:** low-density minerals, phytoliths, pampean soils, tensile strength.

### INTRODUCCION

Es bien conocido el comportamiento estructural de los horizontes superiores en Argiudoles pampeanos. Muchos suelos presentan un marcado deterioro estructural causado por significativos descensos de la materia orgánica (Cosentino *et al.* 1998; Taboada 1998). La degradación estructural es evidenciada por la formación de costras superficiales, el incremento en las tasas de escurrimiento/escorrentía y de pérdida de suelo por erosión y una menor capacidad de almacenamiento hídrico (Michelena *et al.* 1988; Senigaglia, Ferrari 1993). Otro hecho que evidencia esta degradación es el incremento de la susceptibilidad del horizonte arable a formar una estructura masiva, con encostramiento superficial y pérdida de porosidad estructural. La degradación es producto de la combinación de efectos

naturales y antrópicos de gran intensidad de agresión (Pecorari 1988a, 1988b). Estos efectos tienen como consecuencia una mayor dificultad en la emergencia de las plántulas (con pérdidas de semillas y plantas), un incremento en la resistencia mecánica del suelo a la penetración, con efectos sobre el crecimiento radical, y una disminución de la velocidad de infiltración que afecta a la escorrentía superficial y, en definitiva, a la hidrología de las cuencas.

Las particulares características físicas de los limos de origen biológico, con alto contenido de biolitos y vidrios volcánicos, que poseen muchos Argiudoles pampeanos, confieren al horizonte superficial de estos suelos rasgos de fragilidad estructural, tales como baja densidad aparente, alta porosidad textural y débil resistencia mecánica, y, con ello, una alta susceptibilidad a la degradación

(Pecorari *et al.* 1990).

Pecorari *et al.* (1990) fueron los primeros en investigar la influencia que los fitolitos tienen sobre las propiedades físicas de los suelos pampeanos. Los fitolitos son cuerpos mineralizados o silicificados integrantes de los tejidos orgánicos de origen vegetal y junto con otros biolitos y vidrios volcánicos, con los que coinciden en tamaño, dominan la fracción mineral de menor densidad del suelo y están presentes ampliamente en la región pampeana (Morrás 1995). Según Pecorari *et al.* (1990), el porcentaje de fitolitos en la fracción de limo fino del suelo oscila entre un 17,9 y un 41,2%, lo que representa entre un 7,9 y un 16,7 % sobre el total del suelo. Estos valores son altos con respecto a los que presentan otros suelos franco limosos de pradera.

La hipótesis del presente trabajo es que el elevado contenido de minerales de baja densidad en la fracción limo del horizonte superficial de muchos suelos pampeanos es el principal causante de la inestabilidad estructural del esqueleto mineralógico. Los objetivos propuestos son: evaluar la presencia y el contenido de minerales de baja densidad en un Argiudol Típico, determinar la relación entre la presencia de este tipo de minerales y su impacto en el volumen poroso y modelar empíricamente el comportamiento de la matriz del suelo a diferentes contenidos hídricos, en relación con la capacidad de contracción volumétrica y resistencia mecánica a la ruptura.

## MATERIALES Y METODOS

El suelo fue un Argiudol Típico de la serie Pergamino, con un horizonte A de 24 a 28 cm de espesor y textura franco limosa y un horizonte B<sub>t</sub> con espesor promedio de 70 cm, fuertemente textural. Las muestras de suelo fueron obtenidas del parque de un establecimiento agrícola (33° 50' Lat S; 60° 40' Long O) de Pergamino, Provincia de Buenos Aires.

La muestra de suelo del horizonte A se secó al aire y tamizó por tamiz de 2 mm. Luego se le aplicó la técnica de separación de fracciones por sedimentación, según la empleada en el análisis granulométrico por el método de la pipeta (Gee, Bauder 1986). Para ello, el suelo fue tratado con agua oxigenada al 30% (100 volúmenes), calentando en placa a 80 – 90 °C hasta ausencia de reacción a la presencia de materia orgánica. Para lo-

grar una adecuada dispersión del suelo se calentaron fracciones de 100 g a 100 °C durante 10 minutos con una solución de 14,4 g de hexametáfosfato de sodio (Na<sub>2</sub> (Na<sub>4</sub> (PO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) y 2,36 g de carbonato de sodio anhidro (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) por litro de agua. La suspensión de las fracciones se hizo a pH 7, agitando con un molinillo vertical con motor de 1/4 HP de 3000 r.p.m., eje de 30 cm de largo y seis aspas de acero inoxidable de 4,5 cm de radio. La dispersión mecánica se llevó a cabo en contenedores de 20 L, obteniéndose las fracciones mediante una pipeta con toma invertida (en «U»). Una vez obtenida una cantidad de muestra suficiente, ésta se precipitó con CaCl<sub>2</sub> (10%) y concentró por centrifugación (2000 r.p.m.). Las arenas (2000-50 µm) se secaron en estufa a 105 °C, los limos gruesos (50-20 µm) y finos (20-2 µm) fueron saturados con alcohol etílico (98°) y luego secados de igual forma y la arcilla (<2 µm) se mantuvo húmeda y refrigerada a 4°C para evitar procesos irreversibles de contracción - expansión.

De la fracción limo fino se separó la fracción mineral de baja densidad (<2,3 Mg m<sup>3</sup>). Para ello se utilizó la técnica densimétrica con licor bromoformo - etanol de densidad 2,3 Mg m<sup>3</sup> (Pecorari *et al.* 1990). Del horizonte B<sub>t</sub> de un Argiudol Vértico (serie Ramallo), se separó, por sedimentación y centrifugación, una muestra de arcilla, la cual se conservó refrigerada para su utilización como testigo de arcilla con presencia de material expandible. La caracterización mineralógica de la fracción arcilla en el horizonte B<sub>t</sub> se efectuó por difracción de rayos X, en muestra orientada y glicolada, utilizando un equipo Phillips 1130 con radiación Cu/Ni.

Para evaluar cualitativamente las distintas fracciones obtenidas, se obtuvieron fotos con un microscopio electrónico de barrido. Asimismo, para determinar la relación de la fracción menos densa con el volumen poroso, la densidad real (también llamada "densidad de partículas") del suelo se determinó por picnometría (Blake, Hartge 1986).

Con el fin de evaluar mecánicamente el esqueleto mineralógico, se prepararon muestras artificiales [de agregados] de suelo con distintos contenidos de fracción mineral de densidad < 2,3 Mg m<sup>3</sup>, y diferentes tipos y porcentajes de arcilla. Con las mezclas artificiales se moldearon tortas utilizando cilindros de bronce de 3 cm de diámetro y 1 cm de altura. Las tortas se humectaron hasta un contenido hídrico cercano a saturación y se colocaron en ollas extractoras de presión de placa y membrana de Richards con el fin de obtener agregados con diferentes contenidos de humedad y evaluar su resistencia mecánica a la tracción (Guerif 1990) y su contracción (Stengel 1981).

Para la elaboración de las curvas de resistencia a la ruptura se utilizó una prensa de com-

presión simple uniaxial que somete a la torta de suelo artificial a cargas puntuales diametralmente opuestas. La fuerza aplicada aumenta progresivamente hasta que la intensidad de la carga es tal que el cilindro artificial se corta. En este caso, las mezclas artificiales fueron confeccionadas utilizando un 30 % de arcilla íltica (INTA 1978), un 10 % de arena y un 25 % de limo grueso, procedente del horizonte A de la serie Pergamino. El 35 % restante se formuló, para cada una de las mezclas, de la siguiente manera: "Mezcla 0" (35 % de limos finos libres de limos livianos); "Mezcla 15" (15 % de limos livianos y 20 % de limos finos libres de limos livianos) y "Mezcla 30" (30 % de limos livianos y 5 % de limos finos libres de limos livianos). Las mediciones se hicieron por triplicado y las succiones mátricas escogidas para cada punto de la curva fueron: -30, -100, -300, -500, -700 y -1000 kPa. El contenido de humedad ( $\theta_g$ ) de agregados testigos se obtuvo gravimétricamente por secado en estufa durante 24 h a 105° C. Asimismo, se prepararon otras seis mezclas artificiales, con contenidos de arcilla de 10%, 20% y 30%, manteniendo constantes los contenidos de arena (10%) y limos gruesos (25 %) y completando al 100 % con limos finos, de dos maneras: libres de minerales de baja densidad (0%) o con un 35 % de este material. Para la construcción de las curvas de resistencia mecánica a la tracción de estas mezclas se consideraron tres situaciones/condiciones de humedad, a saber: seco al aire y húmedo a -33 y -300 kPa.

Para la confección de las curvas de expansión y contracción se utilizaron los mismos puntos de humedad (succiones mátricas) y las mismas mezclas que en la medición de la resistencia mecánica a la tracción, variando el contenido de la fracción liviana de limos finos (0, 15 y 30%). En este caso, el 30 % de arcilla fue de dos tipos: illítico y expandible (interestratificado illita – esmectita). Los agregados artificiales de suelo obtenidos a cada potencial mátrico se sumergían en querosene durante un mínimo de 48 h con el fin de saturar el espacio poroso lleno de aire. Se construyó una canasta de malla de alambre que permitía la pesada hidrostática de las tortas una vez evacuado el exceso de querosene con papel absorbente. Una vez obtenido el valor del volumen de la torta artificial, ésta se secó en la estufa y se determinó su contenido de humedad gravimétrico ( $\theta_g$ ) expresado en  $Mg Mg^{-1}$ . Con los valores de volumen y peso a cada punto de humedad se calculó el volumen específico ( $V_e$ ) en  $m^3 Mg^{-1}$  (1/densidad aparente).

Para evaluar el comportamiento de las diferentes mezclas se realizó análisis de varianza. Cuando el mismo mostró diferencias significativas, se recurrió al test de Tukey para la comparación de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El resultado del análisis granulométrico del horizonte A mostró un contenido de arena muy fina del 10,7%, un 35,7% de limo fino, un 23,1% de limo grueso y un 30,5% de arcilla (CV %: 9,7; 3,6; 4,3 y 6,2 respectivamente). De la separación densimétrica se obtuvo, como promedio, un 32,1 % de partículas de densidad  $< 2,3 Mg m^{-3}$  presentes en los limos finos, lo cual representa el 11,5% sobre el total del suelo.

La densidad real de la fracción liviana del limo fue de  $2,21 Mg m^{-3}$ , mientras que la del resto de las fracciones granulométricas (arcilla, arena, limo grueso y suelo total) fue mayor de  $2,6 Mg m^{-3}$ . El limo fino presentó una densidad real de  $2,43 Mg m^{-3}$  debido a la incidencia de la densidad de la fracción liviana presente mayoritariamente en esta fracción textural.

La densidad relativamente baja de la fracción liviana se debe a la presencia de materiales marcadamente porosos constituidos por sílice (silicofitolitos y vidrios volcánicos). Los fitolitos proceden de células vegetales y están formados por gel de sílice amorfo, con variables contenidos de agua y materia orgánica ocluida en los ultraporos del gel. Gracias a su forma (que varía según la especie vegetal de la que proceden) y a su cuerpo altamente poroso, los fitolitos poseen una elevada superficie específica (Peinemann, Ferreiro 1972). Las formas de fitolitos de gramíneas más comunes en los suelos se caracterizan por poseer bordes biselados, aristas agudas y puntas finas, formando bastoncillos alargados e irregulares, agujas, esferas, etc., que serían las responsables, junto con los otros minerales de baja densidad (vidrios volcánicos), de conferir al suelo una elevada porosidad textural de tipo lacunar, debido al ensamblaje del esqueleto con la arcilla (Pecorari *et al.* 1991).

Las tendencias generales de las curvas de resistencia a la tracción (Figura 1) fueron menor resistencia a la ruptura a un mayor contenido hídrico. Este comportamiento fue similar al obtenido por Guerif (1988) y Pecorari *et al.* (1990).

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) entre las distintas composiciones de las mezclas (mezclas 0, 15 y 30) y los diferentes contenidos hídricos. La aplicación

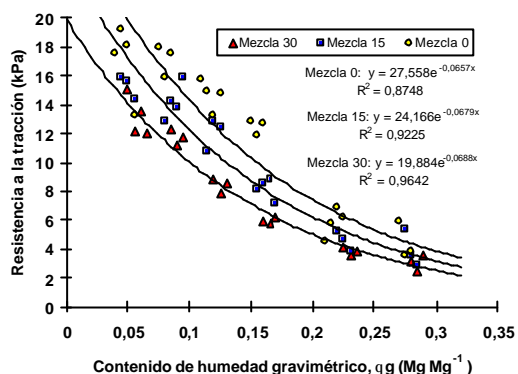


Figura 1: Variación de la resistencia a la tracción con el contenido de humedad de tres mezclas artificiales de suelo con 0 (Mezcla 0), 15 (Mezcla 15) y 30% (Mezcla 30) de minerales de baja densidad en la fracción de limo fino. Constantes de las ecuaciones con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

Figure 1: Relationship between tensile strength and water content for three soil mixtures with 0 (Mezcla 0), 15 (Mezcla 15) and 30% (Mezcla 30) of low-density minerals in the fine silt fraction. For equation constants, different letters mean significant differences ( $P < 0,05$ ).

del test de Tukey a todo el conjunto del rango de humedad indica que las mezclas fueron menos ( $P < 0,05$ ) resistentes a mayor contenido de fracción liviana. Esto se debe a la relación inversa que existe entre la resistencia mecánica y la porosidad lacunar del suelo (Guerif 1990).

Al evaluar la resistencia a cada contenido hídrico ( $\theta_g$ ), se presentaron diferencias significativas entre mezclas ( $P < 0,05$ ) para todos los niveles hídricos evaluados, excepto para los correspondientes a las succiones de -100 kPa ( $\theta_g$ : 0,20 - 0,25) y -30 kPa ( $\theta_g$ : 0,25 - 0,30), donde las mezclas se comportaron de forma similar. En los rangos de mayor succión mátrica ( $\theta_g < 0,20$ ), las mezclas se diferenciaron significativamente, demostrándose que las mezclas con menor porcentaje de fracción liviana fueron más resistentes a la tracción. Más cerca de saturación, las tortas no mostraron una ruptura definida ya que el comportamiento pasa de ser de tipo frágil a dúctil o de flujo (Figura 1), lo que explica que no existen diferencias significativas en cuanto a su respuesta mecánica, independientemente de

su composición.

El hecho de haber analizado el comportamiento a la tracción en función del rango de humedad ayuda a comparar y comprender la susceptibilidad a la degradación que tienen los suelos limosos con alto contenido de material de ascendencia biótica y vidrios volcánicos. La fragilidad de este material se manifiesta en contenidos hídricos usualmente frecuentes en los suelos agrícolas pampeanos cuando habitualmente se llevan a cabo las labores mecánicas.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) en la resistencia mecánica a la tracción para los distintos tratamientos y contenidos de humedad. El test de Tukey ( $P < 0,05$ ) permitió observar que la resistencia mecánica a la tracción es significativamente mayor cuanto mayores son

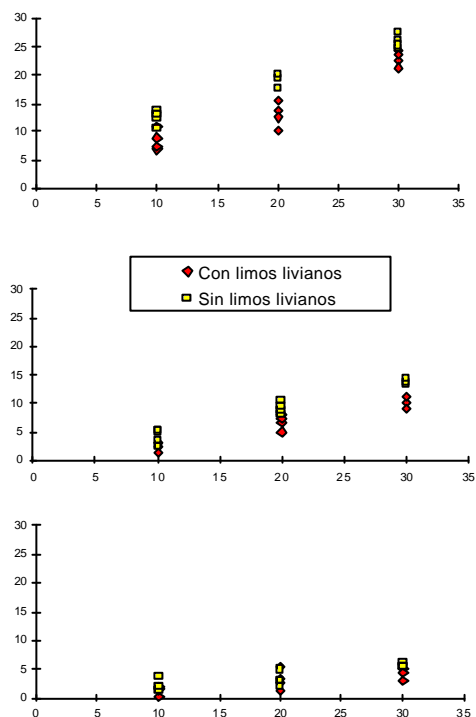


Figura 2. Influencia del contenido de arcilla en la resistencia a la tracción de mezclas de suelo con y sin minerales de baja densidad en la fracción de limo fino para tres niveles de humedad.

Figure 2. Influence of clay content on tensile strength of soil mixtures with and without low-density minerals in the fine silt fraction at three water content levels.

los contenidos de arcilla, menores los contenidos de humedad y en ausencia de fracción liviana en los limos finos (Figura 2). No se encontraron interacciones entre los tratamientos.

En conjunto, se hallaron mayores valores de resistencia mecánica a la tracción a medida que se aumentó el porcentaje de arcilla en las mezclas, así como en aquellas mezclas que se presentaban libres de la fracción liviana. Aquí se demuestra la importancia de los puntos de contacto de la fase arcillosa con el esqueleto del suelo formando lagunas (Pecorari *et al.* 1991). Los altos contenidos de biolitos y vidrios volcánicos contribuyen a elevar los valores de la porosidad lacunar que trae como consecuencia una mayor fragilidad del conjunto.

Para contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo (-33 kPa) no se observaron diferencias significativas en la resistencia mecánica a la tracción entre las mezclas con y sin limos de baja densidad. En cambio, sí se observaron diferencias significativas cuando se analizó la variable contenido de arcilla en conjunto. El test de Tukey ( $P < 0,05$ ) indicó que en este nivel de humedad sólo la mezcla con 30% de arcilla se separó estadísticamente de las que contenían 10 y 20%, las cuales se comportaron de manera similar, con valores resistencia a la ruptura menores. Esto podría indicar que cuando el contenido hídrico aumenta, los puntos de contacto entre el esqueleto y la arcilla disminuyen y se debilita la estructura, perdiendo importancia las características físicas del esqueleto (forma, superficie específica, porosidad, etc.). Por esto, la resistencia mecánica de las mezclas con diferentes contenidos de limos de baja densidad es similar a partir de valores de  $\theta_g$  de 0,2 - 0,25  $m^3 Mg$ . Para este nivel de humedad, sólo cuando la cantidad de arcilla es la suficiente como para distribuirse homogéneamente y lograr un mayor contacto con el esqueleto (Guerif 1988) la mezcla es más resistente a la tracción (experimento con un 30 % de arcilla). Ello indica que en cuanto a la fragilidad estructural, el contenido de arcilla es un elemento de mayor importancia que la presencia de minerales de baja densidad exclusivamente a altos contenidos hídricos. Sin embargo, a medida que se deseca el suelo

y con los niveles de arcilla comunes en la zona, los limos de baja densidad le confieren al esqueleto mineral una fragilidad mayor que cuando no está presente este material.

Las curvas de expansión-contracción muestran la relación que existe entre el volumen de un determinado peso de suelo (volumen específico) y la humedad a la cual se encuentra. Una manera de analizar estas curvas es la propuesta por distintos autores (McGarry, Daniels 1987, McGarry, Malafant 1987, Coughlan *et al.* 1991) para evaluar cambios estructurales originados por degradación en Vertisoles. En estos suelos se han reconocido tres zonas de contracción a medida que el suelo pierde humedad y que se ajustan a tres líneas rectas, a saber: zona estructural, zona normal y zona residual (Stirk 1954). En las zonas de contracción estructural y residual el cambio de volumen es menor que la disminución del contenido hídrico y en la contracción normal, la disminución de volumen iguala a la disminución del contenido hídrico. La zona de contracción estructural sólo se presenta en algunos vertisoles ocasionada por el cerrado de grandes grietas. McGarry y Daniels (1987) obtuvieron varios índices matemáticos de estas curvas que mostraron ser muy sensibles a cambios en la organización estructural del suelo. Entre ellos, se han escogido en el presente trabajo la pendiente de la curva en la fase de contracción normal (n), el volumen específico del suelo para  $\theta_g = 0$  ( $\alpha$ ), el contenido de humedad en el punto de entrada de aire al final de la fase de contracción normal ( $\theta_A$ ) y el volumen específico en ese mismo punto ( $v_A$ ).

Las mezclas en las que se utilizó illita (Figura 3) se comportaron muy rígidas, esto es, manifestaron un cambio de volumen muy leve a medida que se modifica el nivel de humedad. En este caso, las curvas muestran pendientes que no difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ) (mezcla 30: 0,22; mezcla 15: 0,15 y mezcla 0: 0,25), independientemente del contenido de fracción liviana que contenga la mezcla. Cuando la arcilla que compone la mezcla es de tipo expandible, (interestratificado illítico - esmectítico), las curvas poseen un comportamiento normal de contracción durante un amplio rango de humedad. En este caso, las tres curvas también mues-

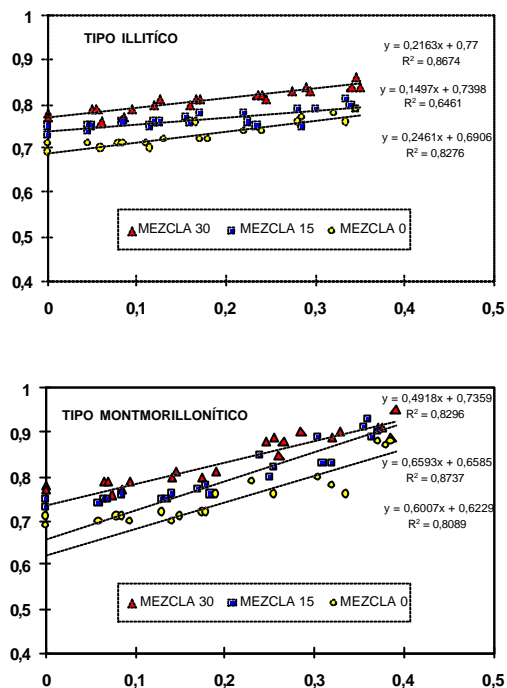


Figura 3. Curvas de contracción de mezclas artificiales de suelo con 0 (Mezcla 0), 15 (Mezcla 15) y 30% (Mezcla 30) de minerales de baja densidad en la fracción de limo fino y dos tipos de arcilla.

Figure 3. Shrinkage curves for soil mixtures with 0 (Mezcla 0), 15 (Mezcla 15) and 30% (Mezcla 30) of low-density minerals in the fine silt fraction and two types of clay.

tran pendientes estadísticamente similares ( $P < 0,05$ ) entre sí (mezcla 30: 0,49; mezcla 15: 0,66 y mezcla 0: 0,60), pero mayores que las obtenidas cuando en la mezcla la arcilla utilizada fue de tipo illítico (Figura 3).

Para ambos tipos de arcilla, las mezclas con mayor proporción de limos de baja densidad mostraron, a lo largo de todo el rango de humedad, mayores valores de volumen específico.

Las fases de contracción normal y residual sólo se encontraron en las mezclas que contenían interestratificado illítico-esmectítico. Barbosa *et al.* (1999), comparando tres fases de degradación en un Argiudol pampeano, encuentran que aun en la situación con menor contenido de arcilla expandible se pueden reconocer ambas fases. Esto implica que, a diferencia de lo ocurrido en nuestro experimento con las mezclas arti-

ficiales, que no poseen materia orgánica, en los suelos naturales con importante proporción de limos la causante de la creación de porosidad de aireación es la materia orgánica. En nuestro caso, el tipo de arcilla fue el factor determinante del comportamiento volumétrico de las mezclas en el laboratorio.

El índice  $\alpha$  resultó independiente estadísticamente ( $P < 0,05$ ) del tipo de arcilla y con tendencia a aumentar con el contenido de la fracción liviana en la mezcla, dada la menor densidad real intrínseca de ésta fracción (Figura 4). En el experimento de Taboada (1998), los índices  $\alpha$  disminuyeron a medida que aumenta la degradación, disminuye el nivel de materia orgánica y aumenta el de material arcilloso expandible. Ya que el contenido de arcilla en nuestras mezclas es similar al del suelo degradado del trabajo de Taboada (1998), podemos ver que, otra vez, la diferencia entre ambas situaciones estriba en el contenido de materia orgánica, y que, presumiblemente, las diferencias en el valor de  $\alpha$  se deban a este componente del suelo a través de su capacidad de estabilizar los poros estructurales (Dexter 1988).

Respecto a los índices  $\theta_A$  (valor de  $\theta_g$  en el punto de entrada de aire A) y  $v_A$  (volumen específico en A), éstos sólo se pudieron obtener en las curvas correspondientes a las mezclas que contenían arcilla de tipo expandible, en las que se diferenciaron las fases de contracción normal y residual. Para el índice  $\theta_A$ , los diferentes contenidos de limos de baja densidad no modificaron significativamente ( $P < 0,05$ ) su valor ( $\theta_g$  entre 0,09 y 0,16  $Mg\ Mg^{-1}$ ) (Figura 4). En cambio, el valor de  $v_A$  aumentó a medida que lo hizo el contenido relativo de limos de baja densidad, lo que está indicando una menor densidad aparente. Esta menor densidad puede estar ocasionada por una menor densidad de partículas y la forma en que se ensambla el esqueleto, por un aumento de la porosidad de aireación o por ambos factores simultáneamente.

Los resultados expresados en la Figura 3 muestran que el tipo de arcilla es el elemento que marca las tendencias más fuertes en el comportamiento volumétrico de las mezclas artificiales estudiadas. De esta manera, las fracciones de minerales poco densos

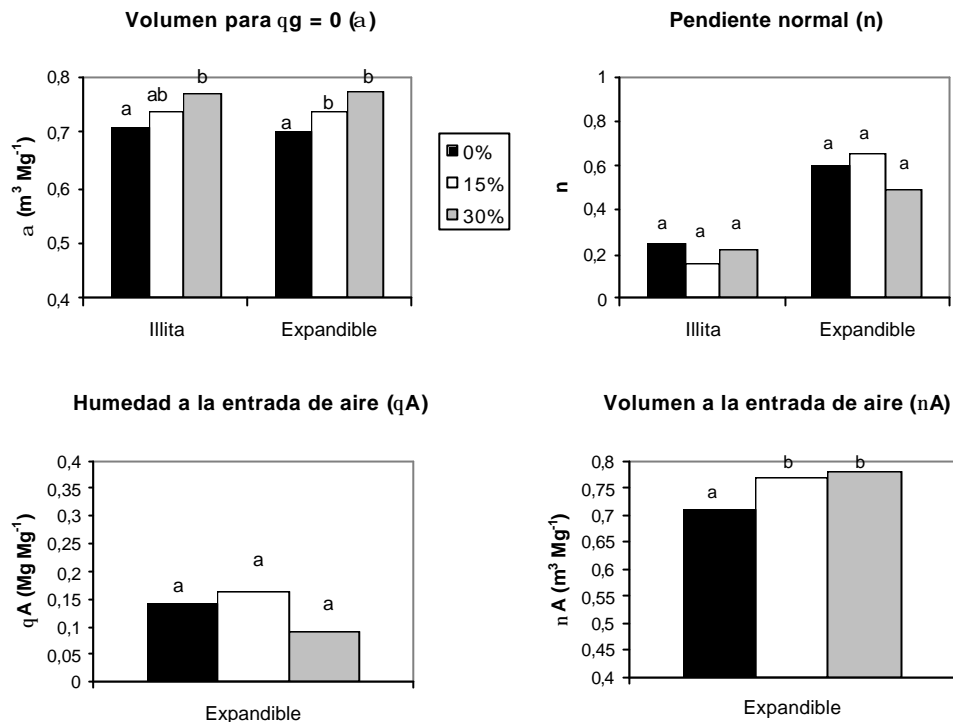


Figura 4. Parámetros físicos de las curvas de contracción de mezclas artificiales de suelo con tres contenidos de minerales de baja densidad en la fracción de limo fino (0, 15 y 30%) y dos tipos de arcilla. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

Figure 4. Physical parameters from shrinkage curves of soil mixtures with three contents of low-density minerals in the fine silt fraction (0, 15 and 30%) and two types of clay. Bars with different letters mean significant differences ( $P < 0,05$ ).

(fitolitos, zoolitos y vidrios volcánicos) parecen estar inmiscuidas en la disminución del volumen específico del suelo sin que esto signifique creación de mayor porosidad estructural, hipótesis que, por otro lado, sólo sería aceptable después de una medición de la porosidad de aireación del suelo natural.

## CONCLUSIONES

El incremento de la proporción de limos livianos del Argiudol Típico de la serie Pergamino analizado, aumenta la porosidad a nivel textural y la debilidad estructural del ensamblaje del esqueleto con la arcilla en un amplio rango de contenidos hídricos.

El tipo de arcilla es el que básicamente rige el comportamiento volumétrico de las mezclas.

El horizonte superficial posee elevados contenidos de limo fino y su arcilla es preponderantemente illítica, como muchos suelos pampeanos. La elevada cantidad de

minerales de ascendencia biótica y vidrios volcánicos tiene un efecto genético negativo sobre su resistencia mecánica a la ruptura y por consiguiente sobre su estabilidad estructural.

## REFERENCIAS

- Barbosa OA, Taboada MA, Cosentino DJ. 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): 1-7.
- Blake GR, Hartge KH. 1986. En *Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA - SSSA, Madison Wisconsin (USA). Agronomy N° 9. Ed Klute A 377 - 382.*
- Cosentino D, Costantini A, Segat A, Fertig M. 1998. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of an argentine soil under three tillage systems. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 33: 981 - 986.
- Coughlan K J, McGarry D, Loch R J, Bridge B, Smith G D. 1991. The measurement of soil structure - Some practical initiatives. *Aus. J.*

- Soil Res. 29: 869 – 889.
- Dexter A R. 1988. Advance in characterization in soil structure. *Soil Till. Res.* 11: 199 – 235.
- Gee GW, Bauder JW. 1986. En *Methods of Soil Analysis. Part 1.* ASA - SSSA, Madison Wisconsin (USA). *Agronomy* N° 9. Ed Klute A 383 – 412.
- Guerif J. 1988. Résistance en traction des agrégats terreux: influence de la texture, de la matière organique et de la teneur en eau. *Agronomie*, 8: 379-386.
- Guerif J. 1990. Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil Till. Res.* 16: 167-178.
- INTA. 1978. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360 – 27 y 28, Ramallo. INTA.
- McGarry D, Daniels I G. 1987. Shrinkage curves indices to quantify cultivation effects on soil structure of a Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1575 - 1580.
- McGarry 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, Irurtia C B, Pittaluga A, Vavruska F, de Sardi M E B. 1988. degradación de los suelos en el sector norte de la pampa ondulada. *Ciencia del Suelo* 6: 60 - 66.
- Morrás H J M. 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils for the southern Chaco Region (Argentina). *Geoderma* 64: 281 - 295.
- Pecorari C. 1988a. Características físicas de las fracciones granulométricas de los horizontes superficiales de un Argiudol típico (serie Pergamino). Informe Técnico N° 220. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte, EEA Pergamino.
- Pecorari C. 1988b. Inestabilidad estructural de los suelos en la región de la E.E.A. Pergamino. Informe técnico N° 216. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte, EEA Pergamino.
- Pecorari C, Guerif J, Stengel P. 1990. Fitolitos en los suelos pampeanos argentinos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de los mecanismos elementales de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo* 8: 135-141.
- Pecorari C, Guerif J, Stengel P. 1991. Fitolitos en los suelos pampeanos argentinos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de los mecanismos elementales de la evolución de la estructura. Informe técnico N° 260. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte, EEA Pergamino.
- Peinemann N, Ferreiro E. 1972. Fitolitos: sílica gel natural. *Anales de Edafología y Agrobiología* Tomo XXXI N° 11 y 12. 1011 - 1026. Madrid.
- Senigagliales 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*, Madison, Wisconsin, U.S.A.: 27 - 35.
- Stengel P. 1981. Relations entre le ratriat et le potentiel de l'eau dans des mélanges smectites-limon. *Comptes Rendus des Séances de l'Academie des Sciences (Serie II)* 293:465-468.
- 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: 279 - 290.
- Taboada M. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. *Actas del XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* A.A.C.S. Córdoba, Argentina. 361 - 374.