

## **FITOLITOS EN SUELOS PAMPEANOS. INFLUENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DETERMINANTES DE LA EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

C. Pecorari \*; J. Guerif \*\* y P. Stengel \*\*

\* EEA INTA Pergamino, C. C. 31. 2700 Pergamino, Argentina

\*\* INRA Station de Science du Sol d'Avignon, Francia

### **RESUMEN**

A partir de antecedentes locales y mediciones comparativas entre un suelo europeo y uno argentino correspondiente a la serie Pergamino, (Argiudol típico), ambos bajo diferentes manejos, se ha comprobado que los horizontes superficiales (Ap) de los suelos de la región pampeana argentina poseen, entre otras, las siguientes características: a) estructura masiva con valores de densidad aparente bajos debido a su densidad real igualmente baja, pero con porosidad textural elevada y b) capacidad de contracción-dilatación muy limitada a pesar de retener más agua en tensiones próximas a capacidad de campo. Estas propiedades se deben esencialmente a la composición mineralógica consistente en arcilla muy poco expandible, predominantemente de tipo illítico y fracción limo fino constituida en gran parte por fitolitos. La resistencia mecánica a la tracción relativamente baja puede contribuir a incrementar la sensibilidad a la degradación de la estructura por efectos del agua de lluvia y de las labranzas.

Palabras clave: estructura, porosidad textural, fitolitos, resistencia mecánica.

## **PHYTOLITHS IN SOILS OF THE PAMPEAN REGION. INFLUENCE ON THE PHYSICAL PROPERTIES DETERMINING THE ELEMENTARY MECHANISMS OF STRUCTURE EVOLUTION**

### **ABSTRACT**

Physical and mechanical properties of soils from the Argentine Pampean region, and particularly from the Pergamino series (Typic Argiudoll), under different management practices, were compared to European soils. It was concluded that the Ap horizons of the Pampean soils may be massive despite their low bulk density. This appeared to be due to their relatively low particle density. Moreover, these soils seem to have a rather small shrink-swell potential. These properties appeared to be linked to the mineral constitution: the clay mineralogy is mainly illitic with very poor swelling properties and the fine silt fraction is composed in a great proportion of phytoliths. The rather low soil strength, apparently correlated to the presence of phytoliths, may contribute to structure degradation on account of tillage practices and rain.

Key words: structure, textural porosity, phytoliths, soil strength, tensile strength.

## INTRODUCCION

La evolución y degradación superficial de los suelos pampeanos por factores antrópicos es bien conocida, no así las causas cuantificadas que originan este fenómeno a pesar de la gran cantidad de bibliografía especializada. La degradación física de estos suelos se manifiesta principalmente por el incremento de la sensibilidad del horizonte arable (Ap) a formar una estructura masiva con encostramiento superficial y pérdida de porosidad estructural. Esta degradación se acentúa por la combinación de efectos naturales (textura y lluvias; Pecorari, 1988a y 1988b) y antrópicos sumamente agresivos. Los horizontes superficiales de los suelos poseen tendencia a evolucionar hacia capas de estructura continua, sobre todo en lotes provenientes de agricultura sin rotaciones con praderas (Stengel, 1988).

Los ensayos de labranzas de larga duración implantados en la E.E.A. del INTA de Pergamino presentan valores de densidad aparente in situ sumamente bajos, tanto en las parcelas con remoción de suelo como en las correspondientes a labranza cero, respecto a otros materiales europeos de textura similar (Stengel, 1986). Esta propiedad se debe en gran parte a la densidad real excepcionalmente baja de la fracción limo fino (Pecorari, 1988b). A pesar de esto, la porosidad total es elevada como consecuencia de los altos valores de porosidad textural (Stengel, op. cit.; Pecorari, 1988b). El deterioro de la estructura por efectos del agua de lluvia y de las labranzas podría explicarse por dicha característica, teniendo en cuenta la relación inversa que existe entre la resistencia mecánica y la porosidad textural (Guerif, 1990). En los suelos pampeanos, las constantes hídricas se correlacionan con el tenor en limos finos (Pecorari et al., 1988), poniendo en evidencia el efecto del esqueleto sobre la porosidad elemental.

La fracción limo fino posee una densidad real de 2,44, inferior a la del cuarzo (2,65) (Pecorari, 1988b), característica que podría explicarse por la presencia de una proporción importante de sílice amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) de procedencia volcánica de acuerdo al origen de estos suelos (vidrio volcánico), o por sílice originaria de gramíneas. Dicha vegetación posee una concentración alta de sílice en sus órganos foliares que daría como resultado la formación de fitolitos a través de una evolución pedológica (Twiss et al., 1969). La cantidad de fitolitos está correlacionada con el nivel de materia orgánica y con el tipo de vegetación (Bartoli, 1981; Beavers y Stephen, 1958) siendo las praderas de gramíneas las mayores productoras de este tipo de partículas (Bartoli, op. cit.; Witty y Knox,

1964). La mayor concentración se localiza en el horizonte A pero su distribución en el perfil depende del drenaje interno (Jones y Beavers, 1964).

Las características físicas de los fitolitos son muy particulares y poco variables según los diversos autores consultados. Sus formas dependen del tipo y de la especie de vegetación formadora, parámetro de referencia de la clasificación de Twiss et al. (op. cit.) y la de Bertoldi de Pomar (1971) para las gramíneas, la de Klein y Geis (1977) para distintas especies de pináceas y la de Geis (1972) sobre angiospermas. El tamaño es variable pero en general se encuentra dentro de la fracción limo (2-50  $\mu\text{m}$ ) (Bartoli, op. cit.; Verna y Rust, 1968; Jones y Beavers, 1963; Wilding y Dress, 1971). La densidad de los fitolitos se sitúa entre 1,50 como mínimo y 2,30 como máximo (Bartoli, op. cit.; Wilding y Dress, op. cit.; Jones y Beavers, op. cit.; Pease y Anderson, 1969).

La composición química de los fitolitos (5-15 % de agua) presenta un contenido de  $\text{SiO}_2$  de alrededor del 90 % y vestigios de Mg, Ca, Na, K, Mn, Fe y Al (Bartoli y Wilding, 1980; Jones y Beavers, op. cit.) y C orgánico en tenores variables (Bartoli y Wilding, op. cit.).

El objetivo de este trabajo es el estudio del volumen poroso textural, su influencia sobre las propiedades físico-mecánicas y su relación con los contribuyentes minerales.

## MATERIALES Y METODOS

### Suelos

Se trabajó con un suelo de la serie Pergamino (Argiudol típico); presenta un horizonte B2t fuertemente textural que alcanza la profundidad de 100 cm con un espesor variable de 70 cm. El A1, de 25 a 30 cm de espesor, posee textura franco limosa. Dentro de esta serie se eligieron dos situaciones diferentes de manejo: "Labranza Convencional" (L. C.) perteneciente a un lote con agricultura continua, mientras que la otra provenía de una pradera permanente muy antigua denominándose "Pradera" (P).

Como punto de referencia de los parámetros físicos del suelo pampeano, se utilizó un Molisol francés de textura franco limosa denominado "Boigneville". Se muestrearon dos parcelas afectadas por manejos opuestos desde el punto de vista de la remoción de la capa arable, una en siembra directa (S. D.) y otra con labranza convencional.

Con el objeto de estudiar la distribución geográfica de las fracciones minerales livianas en la región pampeana húmeda, se emplearon muestras de



## INTRODUCCION

La evolución y degradación superficial de los suelos pampeanos por factores antrópicos es bien conocida, no así las causas cuantificadas que originan este fenómeno a pesar de la gran cantidad de bibliografía especializada. La degradación física de estos suelos se manifiesta principalmente por el incremento de la sensibilidad del horizonte arable (Ap) a formar una estructura masiva con encostramiento superficial y pérdida de porosidad estructural. Esta degradación se acentúa por la combinación de efectos naturales (textura y lluvias; Pecorari, 1988a y 1988b) y antrópicos sumamente agresivos. Los horizontes superficiales de los suelos poseen tendencia a evolucionar hacia capas de estructura continua, sobre todo en lotes provenientes de agricultura sin rotaciones con praderas (Stengel, 1988).

Los ensayos de labranzas de larga duración implantados en la E.E.A. del INTA de Pergamino presentan valores de densidad aparente in situ sumamente bajos, tanto en las parcelas con remoción de suelo como en las correspondientes a labranza cero, respecto a otros materiales europeos de textura similar (Stengel, 1986). Esta propiedad se debe en gran parte a la densidad real excepcionalmente baja de la fracción limo fino (Pecorari, 1988b). A pesar de esto, la porosidad total es elevada como consecuencia de los altos valores de porosidad textural (Stengel, op. cit.; Pecorari, 1988b). El deterioro de la estructura por efectos del agua de lluvia y de las labranzas podría explicarse por dicha característica, teniendo en cuenta la relación inversa que existe entre la resistencia mecánica y la porosidad textural (Guerif, 1990). En los suelos pampeanos, las constantes hídricas se correlacionan con el tenor en limos finos (Pecorari et al., 1988), poniendo en evidencia el efecto del esqueleto sobre la porosidad elemental.

La fracción limo fino posee una densidad real de 2,44, inferior a la del cuarzo (2,65) (Pecorari, 1988b), característica que podría explicarse por la presencia de una proporción importante de sílice amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) de procedencia volcánica de acuerdo al origen de estos suelos (vidrio volcánico), o por sílice originaria de gramíneas. Dicha vegetación posee una concentración alta de sílice en sus órganos foliares que daría como resultado la formación de fitolitos a través de una evolución pedológica (Twiss et al., 1969). La cantidad de fitolitos está correlacionada con el nivel de materia orgánica y con el tipo de vegetación (Bartoli, 1981; Beavers y Stephen, 1958) siendo las praderas de gramíneas las mayores productoras de este tipo de partículas (Bartoli, op. cit.; Witty y Knox,

1964). La mayor concentración se localiza en el horizonte A pero su distribución en el perfil depende del drenaje interno (Jones y Beavers, 1964).

Las características físicas de los fitolitos son muy particulares y poco variables según los diversos autores consultados. Sus formas dependen del tipo y de la especie de vegetación formadora, parámetro de referencia de la clasificación de Twiss et al. (op. cit.) y la de Bertoldi de Pomar (1971) para las gramíneas, la de Klein y Geis (1977) para distintas especies de pináceas y la de Geis (1972) sobre angiospermas. El tamaño es variable pero en general se encuentra dentro de la fracción limo ( $2-50 \mu\text{m}$ ) (Bartoli, op. cit.; Verna y Rust, 1968; Jones y Beavers, 1963; Wilding y Dress, 1971). La densidad de los fitolitos se sitúa entre 1,50 como mínimo y 2,30 como máximo (Bartoli, op. cit.; Wilding y Dress, op. cit.; Jones y Beavers, op. cit.; Pease y Anderson, 1969).

La composición química de los fitolitos (5-15 % de agua) presenta un contenido de  $\text{SiO}_2$  de alrededor del 90 % y vestigios de Mg, Ca, Na, K, Mn, Fe y Al (Bartoli y Wilding, 1980; Jones y Beavers, op. cit.) y C orgánico en tenores variables (Bartoli y Wilding, op. cit.).

El objetivo de este trabajo es el estudio del volumen poroso textural, su influencia sobre las propiedades físico-mecánicas y su relación con los contribuyentes minerales.

## MATERIALES Y METODOS

### Suelos

Se trabajó con un suelo de la serie Pergamino (Argiudol típico); presenta un horizonte B2t fuertemente textural que alcanza la profundidad de 100 cm con un espesor variable de 70 cm. El A1, de 25 a 30 cm de espesor, posee textura franco limosa. Dentro de esta serie se eligieron dos situaciones diferentes de manejo: "Labranza Convencional" (L. C.) perteneciente a un lote con agricultura continua, mientras que la otra provenía de una pradera permanente muy antigua denominándose "Pradera" (P).

Como punto de referencia de los parámetros físicos del suelo pampeano, se utilizó un Molisol francés de textura franco limosa denominado "Boigneville". Se muestrearon dos parcelas afectadas por manejos opuestos desde el punto de vista de la remoción de la capa arable, una en siembra directa (S. D.) y otra con labranza convencional.

Con el objeto de estudiar la distribución geográfica de las fracciones minerales livianas en la región pampeana húmeda, se emplearon muestras de



horizontes superficiales de Molisoles de: San Pedro, Gral. Villegas, Oliveros, Marcos Juárez y Reconquista. En todas las situaciones mencionadas se efectuaron muestreos compuestos en la capa arable (Ap) y en el A1. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm y entre 2 y 3 mm de diámetro para obtener agregados.

Para la comparación mineral se emplearon limos finos (2-20  $\mu\text{m}$ ) del horizonte B de un Molsol francés procedente de "Versailles" y limos finos y arcilla del horizonte A1 de la situación Pradera de Pergamino.

### Métodos

Los métodos analíticos empleados fueron los siguientes: Granulometría por el método internacional de la pipeta de Robinson; densidad real por medio del picnómetro al agua; curvas de tensión con las cámaras y membranas de Richards (Page, 1982); carbono orgánico total por Anne, (1945); separación densimétrica de las fracciones minerales por medio del licor bromoformo + alcohol a densidades variables (2,0; 2,2; 2,3; 2,4 y 2,6 gr /  $\text{cm}^3$ ); densidad aparente textural (agregados 2-3 mm diámetro) de acuerdo a Monier et al. (1973); resistencia a la tracción por el método de Guerif (1990); curvas de contracción (Haines, 1923) según Stengel, 1981; porosimetría de mercurio según Fiés (1984); análisis químico y estudio morfológico de las partículas minerales livianas por microanálisis con rayos X en microscopio electrónico de barrido (M. E. B.) con la técnica de Passarel (1989).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis del volumen poroso textural

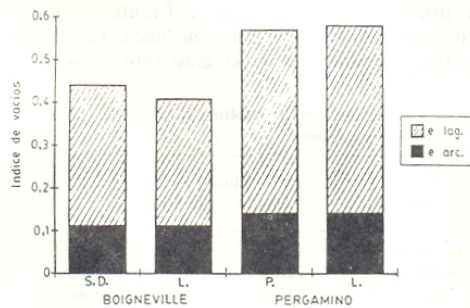


Fig. 1. Distribución del volumen total poral textural de los suelos estudiados.

El análisis detallado del volumen poral a nivel textural se estudió sobre los agregados naturales. Los valores comparativos de porosidad textural de las muestras de los suelos argentino y francés se detallan en la Fig. 1. En el primer caso se presentan los valores de una pradera permanente (Pradera) y de un lote proveniente de agricultura continua con labranza convencional (L. C.). Para el segundo caso, se presentan los valores de porosidad textural en siembra directa (S. D.) y en L. C.

Los valores de densidad real para los diferentes agregados son: 2,53 y 2,61 para P. y L. C. en la serie Pergamino, mientras que en Boigneville son de 2,61 y 2,64 para S. D. y L. C. Dichos valores expresados en índice de vacíos total (eT), varían de 0,44 a 0,41 para Boigneville en S. D. y L. C. y de 0,57 a 0,58 para P. y L. C. en Pergamino. Se consideró conveniente expresar la porosidad en índice de vacíos porque como en las muestras totales y en cada una de las fracciones la densidad real es diferente (Pecorari, 1988b), este índice refleja mejor las relaciones entre las distintas fases (sólido, agua, aire) ya que:

$eT = V_a/V_s$ , donde  $V_a$  = volumen del aire y  $V_s$  = volumen del sólido.

La diferencia de porosidad de la fracción arcilla (e arc.) varía entre 0,10 y 0,14 para los dos tipos de suelos, mientras que la porosidad lagunar (e lag.) pasa de 0,33 a 0,30 en Boigneville, a valores de 0,43 y 0,44 en Pergamino para los diferentes casos presentados respectivamente. Se puede apreciar que en los valores de la porosidad lagunar no interviene el efecto de la materia orgánica (1,42 % y 1,45 % de carbono orgánico total (C. O. T.) en L. C. de Pergamino y Boigneville). (Tabla 1). Se podría explicar esta particularidad mediante la hipótesis sobre la forma del esqueleto y la resultante de la unión de éste con la fracción arcillosa.

Tabla 1. Granulometría y carbono orgánico total (C.O.T.) de las muestras estudiadas (%).

| Muestras       | Arcilla | Limo   | Limo | Arena | Arena  | C.O.T. |
|----------------|---------|--------|------|-------|--------|--------|
|                | Fina    | Grueso | Fino | Fina  | Gruesa |        |
| Boigneville    | 23,4    | 29,7   | 36,9 | 6,9   | 3,1    | 1,45   |
| Pergamino L.C. | 22,2    | 36,6   | 27,1 | 13,0  | 1,1    | 1,42   |
| Pergamino P.   | 21,2    | 33,6   | 29,8 | 15,4  | 0,0    | 2,11   |
| G. Villegas    | 20,4    | 11,7   | 30,4 | 34,8  | 2,7    | 1,83   |
| S. Pedro       | 28,6    | 38,5   | 27,7 | 3,7   | 1,5    | 1,49   |
| Oliveros       | 20,8    | 38,4   | 29,1 | 10,5  | 1,2    | 1,26   |
| M. Juárez      | 25,4    | 33,8   | 32,5 | 8,3   | 0,0    | 1,68   |
| Reconquista    | 21,7    | 32,6   | 27,9 | 12,2  | 5,6    | 1,04   |

### Características generales de las fracciones minerales

Por sedimentación se separaron las fracciones minerales de todas las muestras en estudio. En la correspondiente a Pradera de la serie Pergamino, se determinó la densidad real ( $\rho_s$ ) de cada fracción, obteniéndose los siguientes resultados: arcilla: 2,615; limo fino: 2,445; limo grueso: 2,660 y arenas: 2,671. Se observa que el valor del limo fino es muy bajo respecto al cuarzo; en cambio, es ligeramente inferior en la arcilla con respecto a la illita del Puy (Tessier, 1984).

La observación de limos finos pertenecientes al horizonte A1 de Pergamino, mediante el microscopio óptico ha evidenciado la presencia de importante cantidad de fitolitos que se presentan opacos al pasaje de la luz polarizada.

La presencia de material amorfo en la fracción limo fino podría ser consecuencia del tenor en carbono orgánico sobre dichas partículas a pesar del previo ataque con agua oxigenada. Por consiguiente, se procedió a separar por fraccionamiento densimétrico las partículas componentes del limo fino con el propósito de realizar un análisis de carbono y un estudio morfológico utilizando el M. E. B.

Además, con un licor mezcla de bromoformo y alcohol de densidades 2.00, 2.20, 2.30, 2.40 y 2.60, se separaron de la fracción limo (2-20  $\mu\text{m}$ ) de la muestra denominada Pradera, las partículas de densidad inferior a cada una de éstas. Su distribución y contenido de carbono orgánico se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución densimétrica de la fracción limo fino (Pergamino).

| Densidad del Licor | %     | C.O.T. % |
|--------------------|-------|----------|
| 2.00               | 18.50 | 0.467    |
| 2.20               | 32.95 | 0.377    |
| 2.30               | 41.20 | 0.354    |
| 2.40               | 47.50 | 0.334    |
| 2.60               | 83.50 | 0.233    |

Los valores de carbono orgánico corresponden a los presentados por diversos autores (Bartoli, op. cit.).

La observación de partículas inferiores a 2.30 con M. E. B., permitió apreciar las formas características de las partículas silíceas de origen vegetal (gramíneas) (Bartoli, op. cit., Twiss et al., 1969).

El valor de la densidad real en la fracción in-

ferior a 2.30 de la muestra Pradera de la serie Pergamino, resulta ser de 2.14, situándose dentro del intervalo obtenido por diversos autores.

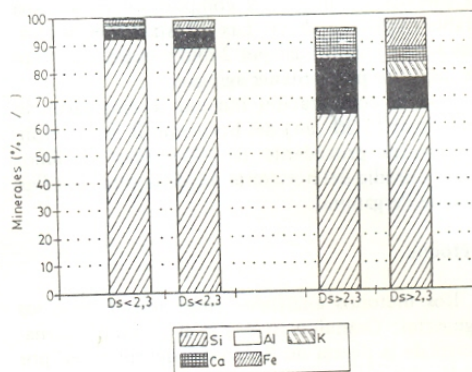


Fig. 2. Composición química de la "fracción fitolitos".

El microanálisis de rayos X en M. E. B. (Fig. 2), muestra que las partículas de densidad inferior a 2.30 poseen elevada cantidad de sílice y vestigios de otros metales. En cambio la fracción de densidad superior a 2.30 posee menor cantidad de sílice y valores más elevados de otros metales (Al, Fe, Ca y K).

### Distribución local y geográfica

Para verificar la presencia de fitolitos en los suelos se utilizó el método densimétrico en las fracciones minerales (limos gruesos y arenas) constatando que solamente los limos poseen esta particularidad en tenores variables. La distribución geográfica dentro de la región pampeana presenta en todos los sitios estudiados, valores diferentes de tenor en fitolitos. En la Tabla 3 se puede observar la distribución geográfica de los fitolitos y su distribución dentro de la fracción limos. La mayor cantidad se presenta en el limo fino y varía de

Tabla 3. Distribución de fitolitos (p/p) de las muestras de suelos pampeanos.

| Suelos<br>(Horizonte A1) | Limo total         |                     | Suelo |
|--------------------------|--------------------|---------------------|-------|
|                          | 2-20 $\mu\text{m}$ | 20-50 $\mu\text{m}$ |       |
| Reconquista              | 17.87              | 7.32                | 7.86  |
| Oliveros                 | 22.67              | 6.81                | 10.69 |
| M. Juárez                | 31.58              | 11.61               | 14.44 |
| Pergamino                | 41.20              | 4.80                | 15.28 |
| San Pedro                | 34.22              | 12.77               | 16.71 |
| G. Villegas              | 26.90              | 16.00               | 8.01  |



17,87 % en Reconquista a 41,20 % en Pergamino. Respecto al contenido en el suelo, éste posee valores de 7,86 % en Reconquista como mínimo llegando a un 16,71 % en San Pedro como máximo.

Los porcentajes son elevados con respecto al suelo en % (p/p) en todos los casos.

**Influencia de la "fracción fitolitos" sobre las propiedades físicas.**

Se procedió a la confección de agregados artificiales constituidos de mezclas entre un 20 % (p/p) de arcilla illita y un 80 % (p/p) de tres esqueletos diferentes: uno compuesto por limo fino (cuarzo) originario de Versailles, otro perteneciente a un limo fino total del horizonte A1 de la serie Pergamino y otro compuesto solamente por fitolitos.

Los valores del volumen poral textural expresados en índice de vacíos total, (eT) siendo éste igual al índice de vacíos lagunar (e lag.) más el índice de vacíos de la fracción arcilla (e arc.), se ilustran en la Fig. 3.

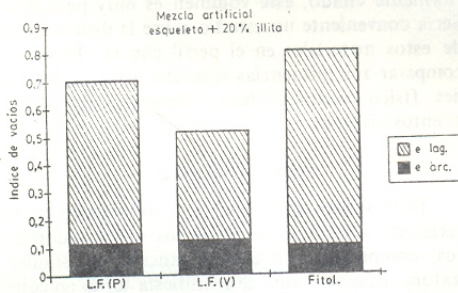


Fig. 3. Porosidad textural de las mezclas artificiales.

La densidad real de la mezcla correspondiente al limo de Versailles es de 2,665, siendo de 2,470 para la del limo del horizonte A1 de Pergamino y de 2,220 para la mezcla illita más fitolitos pura.

El eT varía entre 0,102, 0,122 y 0,114 para la porosidad de la arcilla y de 0,703, 0,395 y 0,592 para la porosidad lagunar de las mezclas fitolitos, Versailles y limo del horizonte A1 de Pergamino, respectivamente.

Las diferencias de porosidad que presentaron anteriormente, indican la necesidad de realizar análisis porosimétricos con mercurio sobre cada uno de los tres esqueletos empleados en las mezclas. El comportamiento es diferente entre el limo fino de Versailles y los restantes, siendo los fitolitos las partículas que dan mayor porosidad al material.

La entrada del mercurio se produce antes en los limos redondeados de Versailles y en los volúmenes porosos de menor diámetro tanto en el limo de Pergamino como en las mezclas con fitolitos. La última parte de la curva, a partir de los poros de 0,1 μm, se presenta diferente en el caso de los limos redondeados que en los otros dos (Fig. 4).

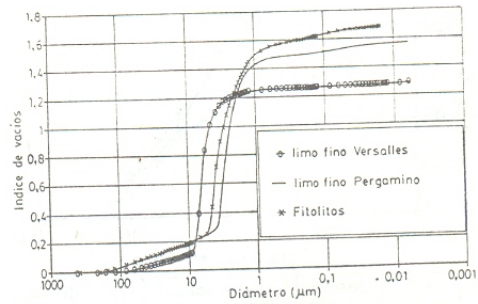


Fig. 4. Porosimetría de los esqueletos en polvo.

Cuando se procede al mismo análisis sobre las muestras (agregados) de las mezclas artificiales (Fig. 5), se observa el efecto de los fitolitos y del limo fino de Pergamino sobre la porosidad. Mientras que el limo fino de Versailles posee valores de eT inferiores respecto a los fitolitos, el limo fino de Pergamino presenta un comportamiento intermedio. El diámetro de los poros de entrada del mercurio es en este caso mayor en los materiales pampeanos que en el francés.

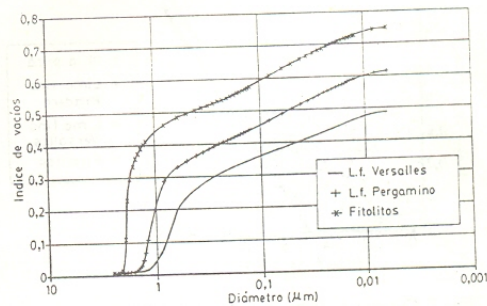


Fig. 5. Porosimetría de las mezclas artificiales.

En la Fig. 6 se presentan los valores relacionados a las tensiones (bares) aplicadas en relación al tenor en agua % (p/p). Se pueden observar los valores superiores de las mezclas de arcilla más fitolitos respecto al limo de Versailles, al igual que el

limo fino del horizonte A1 de Pergamino en tensiones menores a 3 bares. Estos valores concuerdan con los datos anteriormente presentados de porosimetría con mercurio.

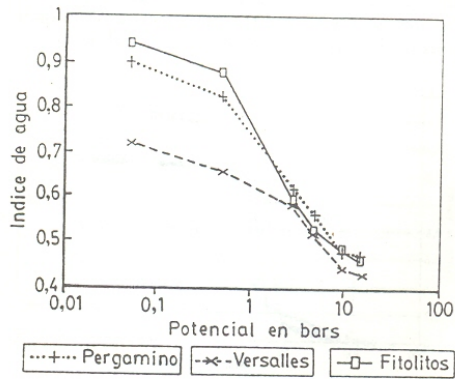


Fig. 6. Relación tensión-índice de agua de las tres mezclas.

La curva de contracción de las diferentes mezclas en relación a la arcilla (illita) que se observa en la Fig. 7, explica la capacidad de dilatación-contracción de los diferentes materiales. En la mezcla de arcilla + limos de Versailles el efecto de contracción es mayor que en la de fitolitos, siendo la arcilla pura y el limo del horizonte A1 de comportamiento intermedio.

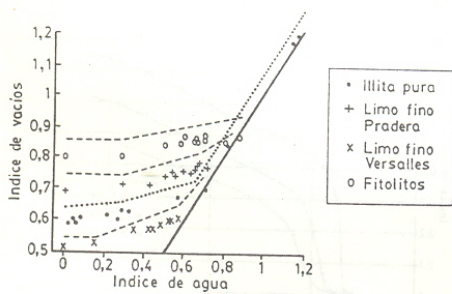


Fig. 7. Curvas de contracción de las tres mezclas.

Los datos del análisis de resistencia mecánica de los agregados artificiales de las distintas mezclas (20 % illita + 80 % esqueletos) que se observan en la Tabla 4, concuerdan con lo expresado por Guerif, 1988, referente a la relación entre resistencia mecánica a la ruptura y la porosidad lagunar.

Tabla 4. Relación entre resistencia mecánica y porosidad textural.

| Mezclas    | nt    | n arc. | n lag. | T     |
|------------|-------|--------|--------|-------|
| Versailles | 35.55 | 7.83   | 27.74  | 17.49 |
| Pradera    | 42.07 | 6.54   | 35.53  | 15.15 |
| Fitolitos  | 45.61 | 5.52   | 40.09  | 10.23 |

T = Resistencia mecánica en 100 K Pa; nt = porosidad textural; n arc. = porosidad de la fase arcilla y n lag. = porosidad lagunar.

Los valores de la resistencia mecánica a la ruptura de los agregados naturales de los suelos de la región pampeana no parecen estar ligados al efecto de la materia orgánica a ese nivel. En cambio, es evidente la relación entre esta propiedad mecánica y el volumen lagunar. Por otro lado, la influencia de los limos sobre la porosidad lagunar resultante de la unión de éstos con la arcilla es manifiesta en los estudios de porosimetría. Este parámetro parecería demostrar de acuerdo a las curvas observadas, la presencia de poros dentro de dichas partículas. A pesar de no poder demostrar lo anteriormente citado, este volumen es muy pequeño. Sería conveniente un estudio sobre la distribución de estos materiales en el perfil con el objeto de comparar sus influencias respecto a las propiedades físico-mecánicas bajo diferentes comportamientos hídricos.

CONCLUSIONES

El volumen poral total es muy elevado en el horizonte superficial (Ap) de los suelos pampeanos, comparado con suelos franceses de similar textura. Esta situación se manifiesta tanto en condiciones de estructura continua como en capas compactadas, siendo la causa de este fenómeno el alto valor de la porosidad textural.

Este valor elevado de porosidad textural se debe principalmente a las características particulares del esqueleto limoso constituido por una proporción importante de material biótico. Alrededor del 50 % de los limos finos del horizonte A1 de la serie Pergamino son partículas de sílice hidratado de origen vegetal (fitolitos).

La arcilla de tipo illítico es también más porosa que las arcillas comunes de los suelos franceses. La débil resistencia mecánica de los materiales pampeanos se explica por el nivel de la porosidad textural de tipo lagunar. Esta contribuye con toda seguridad, a aumentar la sensibilidad de la degradación de la estructura por efectos del agua de lluvia y por las labranzas mecánicas, siendo éste el proyecto de investigaciones futuras.



## REFERENCIAS

- Anne, P., 1945. Dosage du carbone organique du sol. *Annales Agronomiques. Serie A* 165 p.
- Bartoli, F., 1981. Le Cycle Biogéochimique du Silicium sur Roche Acide: Application à Deux Ecosystèmes Forestiers Tempérés (Vosges). Thèse Sciences Naturelles Nancy. 220 p.
- Bartoli, F. y L. P. Wilding, 1980. Dissolution of Biogenic Opal as a Function of its Physical and Chemical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 4: 873-878.
- Beavers, A. H. e I. Stephen, 1958. Some Features of the Distribution of Plant-Opal in Illinois Soils. *Soil Sci.* 86: 1-5.
- Bertoldi de Pomar, H., 1971. Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. *Ameghiniana* 8: 317-322.
- Fies, J. C., 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblage argile-squelettes: comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie* 4: 891-899.
- Geis, J. W., 1972. Biogenic Silica in Selected Species of Deciduous Angiospermes. *Soil Sci.* 116: 113-130.
- Guerif, J., 1988. Détermination de la résistance en traction des agrégats terreux: revue bibliographique et mise au pont technique. *Agronomie* 8: 281-288.
- Guerif, J., 1990. Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil Tillage Res.*, 16: 167-178.
- Haines, W. B., 1923. The volume changes associated with variation of water content in soil. *J. Agric. Sci.*, 13: 296-310.
- Jones, R. L. y A. H. Beavers, 1963. Some mineralogical and chemical properties of plant opal. *Soil Sci.* 96: 375-379.
- Jones, R. L. y A. H. Beavers, 1964. Aspects of Catenary and Depth Distribution of Opal Phytoliths in Illinois Soils. *Division S-5. Soil Sci. Soc. Proc.* 28: 414-416.
- Klein, R. L. y J. W. Geis, 1977. Biogenic Silica in the Pinaceae. *Soil Sci.* 126: 145-156.
- Monnier, G.; P. Stengel y J. C. Fies, 1973. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux, application à l'analyse de porosité du sol. *Annales Agronomiques* 24: 533-545.
- Page, A. L., 1982. Methods of soil analysis. Part. 2. American Society of Agronomy.
- Passerel, M., 1989. Analyse X en Dispersion d'Energie. Microscopie Electronique à Balayage. Microscopie Electronique à Transmission avec S T E M Microanalyse X.
- Pease, D. S. y J. U. Anderson, 1969. Opal Phytoliths in *Bouteloua Eriopoda* Torr. *Roots and Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 321-322.
- Pecorari, C., 1988a. Inestabilidad estructural de los suelos en la región de la E.E.A. Pergamino. Informe Técnico N° 216. E.E.A. Pergamino. 16 p.
- Pecorari, C., 1988b. Características físicas de las fracciones granulométricas de los horizontes superficiales de un Argiudol Típico (Serie Pergamino). Informe Técnico N° 220. E.E.A. Pergamino. 18 p.
- Pecorari, C.; L. Balcaza y E. Frutos, 1988. Relaciones empíricas entre contenidos de agua, textura y materia orgánica en los suelos representativos de la pampa ondulada. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 222. 32 p.
- Stengel, P., 1981. Relations entre le retrait et le potentiel de l'eau dans des mélanges smectites-limon. *C. R. Acad. Sc. Paris* t. 293, série II, 465-468.
- Stengel, P., 1986. Simplification du travail du sol en rotation céréalière: conséquences physiques. Les rotations céréalières intensives. Dix années d'études concertées INRA - ONIC - ITCF, 1973 - 1983. INRA, Paris.
- Stengel, P., 1988. Análisis de la porosidad en horizontes de un suelo Brunizem (Serie Pergamino) en distintas condiciones de manejo y su relación con el crecimiento de las raíces del maíz. Informe Técnico N° 211. E.E.A. Pergamino. 22 p.
- Twiss, P. C.; E. Suess y R. M. Smith, 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 109-115.
- Verma, S. D. y R. H. Rust, 1969. Observations on opal phytoliths in a soil biosequence in southeastern Minnesota. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 749-751.
- Wilding, L. P. y L. R. Drees, 1971. Biogenic opal in Ohio soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35: 1004-1010.
- Witty, J. E. y E. G. Knox, 1964. Grass opal in some chestnut and forested soils in North Central Oregon. *Soil Sci. Soc. Proc.* 685-688.