

## USO DEL ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES PARA EL ESTUDIO DE LA POROSIDAD DE LA ZONA NO SATURADA DE ARGIUDOLES DE ARGENTINA

M.G. Castiglioni<sup>1</sup>, H.J.M. Morrás<sup>2</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. Buenos Aires, República Argentina, hmorras@cirn.inta.gov.ar

**RESUMEN.** El flujo de agua y solutos en la zona no saturada está fuertemente influido por la macroporosidad del suelo, la cual puede ser evaluada y cuantificada a partir de técnicas micromorfológicas y el análisis de imágenes. Se determinó la superficie ocupada por distintas formas y tamaños de poros mayores a los 50  $\mu\text{m}$  de tres Argiudoles de Argentina, diferenciados en la composición mineralógica de sus arcillas. Se buscó el grado de vinculación entre dicha información y la cantidad y calidad de arcilla, el contenido de carbono orgánico y el movimiento de agua de los tres suelos analizados. Se obtuvieron las imágenes fotográficas de los cortes delgados de los horizontes A, BA/BE, Bt, BC y C de dichos suelos, las que se analizaron con un programa de procesamiento de imágenes, permitiendo la cuantificación de poros por tamaño y forma. Independientemente al suelo y horizonte analizados, la categoría menor a 400  $\mu\text{m}$  fue la que siempre presentó mayor porcentaje de área ocupada. En los horizontes Bt los poros redondeados y aquellos entre 400 y 1000  $\mu\text{m}$ , disminuyeron su presencia con el aumento de la capacidad de contracción de las arcillas. Similar comportamiento mostraron los poros irregulares y mayores a 400  $\mu\text{m}$  de los horizontes BC y C. Los huecos elongados y con tamaños menores a 400  $\mu\text{m}$  estuvieron fuertemente vinculados entre sí, siendo insensibles a la cantidad y tipo de arcilla. En los horizontes argílicos se encontraron correlaciones significativas entre la categoría de poros mayor y el movimiento de agua edáfica. En los horizontes A y BA/BE, la presencia de huecos elongados se da en poros con diámetro superior a 400  $\mu\text{m}$ , estando ambos positivamente relacionados con el contenido de carbono edáfico. El flujo de agua de estos horizontes superficiales se vinculó negativamente con el tamaño de poros entre 100 y 400  $\mu\text{m}$ .

**ABSTRACT.** Flow of water and solute movement in the unsaturated zone are strongly influenced by soil macroporosity, which can be evaluated and quantified following soil micromorphology techniques and by image analysis. The surface occupied by different shapes and sizes of pores of over 50  $\mu\text{m}$  was determined in three Argiudols of Argentina, differentiated by their clay composition. We examined the relationships between this information and the amount and quality of clay, the organic carbon content and the water movement of the analyzed soils. Thin-section images of the A, BA/BE, Bt, BC and C horizons were photographed, and then analyzed with an image processing program. Pores were quantified by size and shape. Independently of the soil and horizon considered, the 50-400  $\mu\text{m}$  pore category was always the largest area occupied. In the Bt horizons the presence of round pores and those

between 400 and 1000  $\mu\text{m}$ , diminished with the increase in clay contraction capacity. Irregular pores and those over 400  $\mu\text{m}$  showed a similar behavior in BC and C horizons. Elongated pores and those with sizes between 50 and 400  $\mu\text{m}$  were strongly correlated, and were insensitive to the amount and clay type. In argilic horizons there were significant correlations between larger pore categories and soil water movement. The presence of elongated pores in A and BA/BE horizons, was associated with the 400-1000  $\mu\text{m}$  category, both of them being positively correlated with the soil carbon content. The water flow within these surface horizons was negatively correlated with pore sizes of between 100 and 400  $\mu\text{m}$ .

---

### 1.- Introducción

El tamaño, forma y continuidad de los poros condicionan muchos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, los que afectan el desarrollo de las plantas, de los microorganismos y de la fauna edáfica (Pagliai y Vignozzi 2003).

Habitualmente, las técnicas utilizadas para la estimación de la distribución de poros en el suelo consisten en la desorción de agua o intrusión de mercurio, mediante las cuales se asume una forma cilíndrica de los huecos. Los resultados de estas mediciones pueden ser incorporados a modelos físicos, con el objetivo de predecir el comportamiento del movimiento de agua en el suelo, o para determinar su estado de aireación. Sin embargo, los resultados obtenidos no son siempre satisfactorios, debido entre otras causas, a que el modelo de asignación de la forma de poros no es el más adecuado (Ringrose-Voase y Bullock 1984).

El desarrollo de la micromorfología junto con el análisis de imágenes, ha permitido una observación más detallada de la porosidad del suelo. Bouma et al. (1977), a partir del análisis de cortes delgados, determinó la importancia de medir el ancho de los "cuellos" formados en los poros elongados, para una buena estimación de la conductividad hidráulica saturada del suelo. Posteriores estudios de este mismo autor (Bouma, 1992), confirmaron la importancia de la información morfológica del sistema de poros, en la realización de modelos de flujo de agua.

La evolución del software para análisis de imágenes, permite la obtención de una información precisa en cuanto a forma, tamaño, continuidad y disposición de los poros del

suelo, dando como resultado la formulación de modelos más simples (Pagliai y Vignozzi 2003).

Los análisis de imágenes tomadas sobre cortes delgados, preparados a partir de muestras inalteradas, permiten la cuantificación de los poros mayores a los 50  $\mu\text{m}$  (Pagliai y Vignozzi 2003). Esta técnica ha sido utilizada en numerosos estudios tendientes a evaluar el impacto de diferentes actividades agrícolas sobre la porosidad del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue el análisis de imágenes, correspondientes a cortes delgados de distintos horizontes de tres Argiudoles de la Pampa Ondulada (Pcia. de Bs.As., Argentina), para determinar la vinculación entre el tamaño, forma y distribución de los poros mayores a 50  $\mu\text{m}$  con la cantidad y calidad de las arcillas y otros parámetros edáficos.

## 2.- Materiales y métodos

Se trabajó a campo y en laboratorio sobre muestras extraídas de cada horizonte de tres Argiudoles ubicados dentro de un sector de unas 450 hectáreas, localizadas en el Partido de Hurlingham, Provincia de Buenos Aires (Argentina), perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). La selección de estos perfiles respondió a su diferente composición mineralógica en la fracción arcilla (Morrás et al. 2004) y a que no habían sido alterados por el uso antrópico durante al menos los últimos 10 años.

De acuerdo a lo mencionado, los contenidos de esmectita de los horizontes A y C disminuyen en el siguiente orden: suelo 2 > suelo 1 > suelo 3. Por el contrario, en los horizontes Bt, el contenido de esta arcilla es mayor en los suelos 2 y 3 respecto al 1. Otros parámetros edáficos (granulometría, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico (CO) y coeficiente de extensividad lineal (COLE), se presentan en Tabla 1.

Para el análisis de imágenes fue necesaria la preparación de los cortes delgados siguiendo la técnica micromorfológica (Stoops, 2003). El procedimiento consistió en tomar muestras inalteradas de cada uno de los horizontes de los tres suelos analizados, usando las herramientas adecuadas y cuidando que la estructura del suelo no sea deteriorada. Una vez secas se impregnaron con resina poliéster bajo vacío. Cuando las muestras se endurecieron, se prepararon cortes delgados de aproximadamente 40  $\text{cm}^2$  de superficie (secciones de 6 cm x 7 cm) mediante los procedimientos de corte, desbaste y pulido (Murphy, 1986). Una vez obtenido el corte se sacaron fotografías de distintos sectores del mismo mediante un microscopio óptico Wild MZ8, utilizándose una combinación de objetivo 0.63 X y ocular 10X. Para efectuar el análisis micromorfométrico mediante el programa IMAWIN de procesamiento de imágenes, las fotos obtenidas fueron escaneadas y su color original transformado en 256 escalas de grises. A partir de la visualización del corte en microscopio, se determinó para cada fotografía la tonalidad de gris a partir de la cual los

objetos eran considerados poros. También, con la ayuda del microscopio se tomaron medidas de distintos elementos del corte, para calibrar las imágenes procesadas y obtener los resultados en escala real.

**Tabla 1:** Distribución de partículas, CIC, CO y COLE de los horizontes analizados

Suelo/ Horiz.	Prof. cm	Arcilla %	Limo %	Arena %	CIC $\text{cmol kg}^{-1}$	CO %	COLE
1A	0-25	24.6	49.3	26.1	20.5	1.72	0.037
1Bt1	25-58	55.9	34.0	10.1	42.0	0.64	0.131
1Bt2	58-90	42.4	40.5	17.1	29.6	0.25	0.080
1Bt3	90-118	39.3	43.7	17.0	27.1	0.10	0.028
1BCK	118-140	32.3	41.5	26.2	23.4	0.08	0.036
1CK	140-160	26.9	47.8	25.3	25.3	0.06	0.050
2A	0-19	29.7	48.9	21.4	22.6	2.29	0.027
2BA	19-30	35.0	48.8	16.2	26.1	1.68	0.068
2Bt1	30-60	52.0	32.2	15.8	44.6	0.68	0.162
2Bt2	60-90	40.2	49.1	10.7	39.0	0.34	0.114
2BCK	90-125	39.8	45.2	15.0	37.7	0.13	0.075
2CK	125-145	40.0	50.5	9.5	40.8	0.09	0.115
3A	0-18	29.0	49.9	21.1	24.3	2.14	0.041
3BE	18-28	36.9	46.7	16.4	22.3	1.43	0.062
3Bt1	28-50	49.7	38.6	11.7	37.6	0.73	0.154
3Bt2	50-65	50.2	37.3	12.5	39.6	0.37	0.145
3BCK3	105-120	30.6	51.1	18.3	31.8	0.04	0.046
3CK1	120-160	25.7	61.5	12.8	32.1	0.05	0.056

Las categorías por tamaño de poro que se establecieron en el análisis fueron: 50 a 100  $\mu\text{m}$ ; 100 a 200  $\mu\text{m}$ ; 200 a 400  $\mu\text{m}$ ; 400 a 800  $\mu\text{m}$  y 800 a 1000  $\mu\text{m}$ . También se obtuvieron resultados de acuerdo a la forma de los poros, la cual fue expresada por la relación área/perímetro<sup>2</sup> ( $A/Pe^2$ ), subdividiéndose en tres grupos de formas: redondeados ( $A/Pe^2 > 0.04$ ); irregulares ( $0.015 < A/Pe^2 < 0.04$ ) y elongados ( $A/Pe^2 < 0.015$ ). El diámetro equivalente de los poros irregulares fue calculado a partir de la siguiente expresión:  $2(\text{área}/\pi)^{1/2}$ , mientras que los anchos de los poros elongados fueron calculados a partir de sus datos de área y perímetro (Bouma et al 1977; Pagliai et al. 1983).

Además, en cada uno de los horizontes se hicieron determinaciones en laboratorio de difusividad y conductividad hidráulica no saturada por el método del flujo de aire caliente (Arya et al. 1975), y mediante el uso de un permeámetro de disco (Lin et al. 1996), se cuantificó a campo la tasa de infiltración de equilibrio.

## 3.- Resultados y discusión

### 3.1. Horizontes argílicos (Bt)

En los horizontes Bt, se registró un porcentaje promedio del 7% de la superficie ocupada por huecos de 50 a 1000  $\mu\text{m}$ , con un intervalo que osciló entre el 5 y 11%. En la siguiente Tabla se detalla como se distribuyó dicha superficie según el tamaño y la forma de los huecos.

**Tabla 2:** Distribución de la superficie ocupada por los distintos tamaños y formas de poros mayores a 50 µm y su coeficiente de variación (C.V.).

Tamaño y forma de poros	Distribución (%)	C.V. (%)
50 a 100 µm	24	26
100 a 200 µm	39	12
200 a 400 µm	30	33
400 a 800 µm	4	56
800 a 1000 µm	3	70
Redondeados	12	28
Irregulares	31	42
Elongados	57	28

Como se observa en la misma los poros entre 50 y 400 µm ocuparon el 93% del espacio vacío total, mientras que las categorías superiores a los 400 µm tuvieron el 7% restante, siendo estas últimas las que presentaron mayor variabilidad. Entre las formas de poros, la menor proporción correspondió a los redondeados, y dentro de estos, los que ocuparon la mayor superficie (64%), fueron los comprendidos entre 50 y 100 µm. La forma elongada fue mayoritaria, siendo el tamaño de 100 a 400 µm el más representativo (81%) dentro de ella. Por su parte, los poros irregulares fueron los que presentaron mayor variabilidad en los resultados, y la categoría de 100 a 400 µm, la que presentó el mayor espacio ocupado por esta forma (59%).

En la Tabla 3 se observa el grado de vinculación entre las distintas formas y tamaños de poro con las propiedades evaluadas en los horizontes Bt.

De su análisis se desprende que los poros elongados de estos horizontes están significativamente vinculados a los menores a 400 µm, mientras que los irregulares y redondeados muestran una tendencia a estar asociados con los de mayor tamaño. Por su parte la variación en el contenido de arcilla, dentro del rango que presentan estos horizontes (Tabla 1), no influyó en el desarrollo de alguna forma particular de poros. A su vez la mayor presencia de arcillas expansibles, evaluado a partir de aumentos en los valores de CIC y COLE, pareciera disminuir la probabilidad de encontrar poros redondeados e irregulares, no estando los elongados influidos por el tipo de arcilla presente. Respecto al movimiento de agua, la presencia de poros redondeados aumentaría significativamente su tasa.

**Tabla 3:** Coeficientes de correlación entre las distintas formas y tamaños de poro con algunas propiedades de los horizontes Bt.

Propiedades	Forma de poros			Tamaño de poros (µm)	
	Red.	Irreg.	Elong.	< a 400	> a 400
Arcilla	-0.40 ns	-0.48 ns	0.29 ns	0.24 ns	-0.37 ns
CIC	-0.83*	-0.50 ns	0.11 ns	0.07 ns	-0.79x
COLE	-0.70 ns	-0.81x	0.40ns	0.35 ns	-0.90*
Difusividad	0.65 ns	0.68 ns	-0.19ns	-0.14 ns	0.84*
Kh no saturada	0.68 ns	0.80x	-0.33ns	-0.28 ns	0.91*
Infiltración	0.88*	0.67 ns	-0.38ns	-0.34 ns	0.84*
< a 400 µm	-0.29 ns	-0.74 x	1**		-0.34 ns
> a 400 µm	0.77x	0.78x	-0.38ns	-0.34 ns	

\*significativo al 0.05 de probabilidad x significativo al 0.10 de probabilidad \*\*significativo al 0.01 de probabilidad ns no significativo

Al analizar los resultados en función del tamaño de poros, se comprobó que la conformación de aquellos mayores a 400 µm estuvo favorecida por la disminución en la actividad de las arcillas, mientras que los menores a dicho tamaño no fueron sensibles a esta propiedad edáfica. Según lo observado también en la Tabla 3, los poros mayores influyen significativamente en el movimiento de agua del suelo, con lo cual la mayor presencia de arcillas expansibles reduciría sus tasas de flujo de agua. Linn et al. (1996) trabajando con Vertisoles e intergrados vérticos, también encontraron una alta correlación en entre su grado de agrietamiento, su macroporosidad y su tasa de infiltración. En el presente trabajo, los menores valores de tasa de movimiento de agua encontrados son el resultado de una menor proporción de poros de conducción rápida, con lo cual disminuyó la velocidad de infiltración, viéndose también reducida la tasa de difusión. Esto último estaría dado por diferencias en la conformación de la matriz edáfica. En este sentido, Castiglioni et al. (2007) al analizar estos mismos horizontes, encontraron que la relación entre la porosidad textural y estructural formada dentro de los agregados, era modificada al variar la conformación mineral de las arcillas. En dicho trabajo, las diferencias en difusividad y conductividad hidráulica no saturada encontradas en estos horizontes, fueron explicadas a partir de modificaciones en dicha relación.

### 3.2. Horizontes BC y C.

Del total de la superficie de suelo evaluada, el 7 % correspondió a poros entre los 50 y 1000 µm, con un intervalo que osciló entre el 5% y 15%. En la Tabla 4 se detalla la proporción del espacio total que ocupó cada tamaño y forma de poro.

**Tabla 4:** Distribución de la superficie ocupada por los distintos tamaños y formas de poros mayores a 50 µm y su coeficiente de variación (C.V.).

Tamaño y forma de poros	Distribución (%)	C.V. (%)
50 a 100 µm	18	39
100 a 200 µm	29	38
200 a 400 µm	26	25
400 a 800 µm	16	48
800 a 1000 µm	11	113
Redondeados	15	25
Irregulares	42	36
Elongados	43	40

De igual manera que en los horizontes argílicos, en la misma se observa que la categoría de 50-400 µm ocupó la mayor superficie (73%), mientras que aquellos entre 400 y 1000 µm, con mayor variabilidad en los resultados, obtuvieron el 27% restante. Las formas de poro irregular y elongada presentaron la misma proporción de ocupación, estando entre los primeros todas las categorías por tamaño similarmente representadas, mientras que entre los elongados, los poros de 100 a 400 µm fueron mayoritarios

(64%). Los huecos redondeados presentaron un 46% del espacio cubierto por poros de 50 a 100 µm.

En la Tabla 5 se observan los coeficientes de correlación entre las distintas formas y tamaños de poro con las propiedades evaluadas de los horizontes BC y C.

**Tabla 5:** Coeficientes de correlación entre las distintas formas y tamaños de poro con algunas propiedades de los horizontes BC y C.

Propiedades	Forma de poros			Tamaño de poros (µm)	
	Red.	Irreg.	Elong.	< a 400	> a 400
Arcilla	-0.13 ns	-0.82*	0.31 ns	0.53 ns	-0.92**
CIC	-0.76*	-0.83*	0.06 ns	-0.04 ns	-0.76*
COLE	-0.70x	-0.86*	0.31 ns	0.33 ns	-0.79*
Difusividad	-0.13 ns	-0.61 ns	-0.41ns	0.05ns	-0.81*
Kh no saturada	0.34 ns	-0.51 ns	-0.41ns	-0.19ns	-0.35ns
< a 400 µm	-0.34ns	-0.35 ns	0.92**		
> a 400 µm	0.29 ns	0.85*	-0.11ns	-0.35ns	

\* significativo al 0.05 de probabilidad x significativo al 0.10 de probabilidad \*\*significativo al 0.01 de probabilidad ns no significativo

De su análisis surge que los poros irregulares de estos horizontes estuvieron negativamente asociados a la cantidad y calidad de arcilla presente, y de igual forma que en los Bt, positivamente vinculados con los de tamaño mayor a los 400 µm. También como en los horizontes argülicos, los poros elongados no mostraron estar afectados por la cantidad y tipo de arcilla, estando significativamente asociados a los menores de 400 µm. No se observaron vinculaciones entre forma de poros y movimiento de agua. Al analizar el comportamiento de los huecos de estos horizontes de acuerdo a su tamaño, se observó que los poros menores y mayores a 400 µm presentaron respuestas a las propiedades analizadas, similares a lo mencionado para los huecos elongados e irregulares, respectivamente.

Analizando en forma conjunta el comportamiento de los horizontes argülicos y aquellos más profundos, surge que los poros elongados están conformados fundamentalmente por aquellos de menor tamaño (Fig. 1), no mostrando una respuesta sensible a la cantidad y calidad de las arcillas.

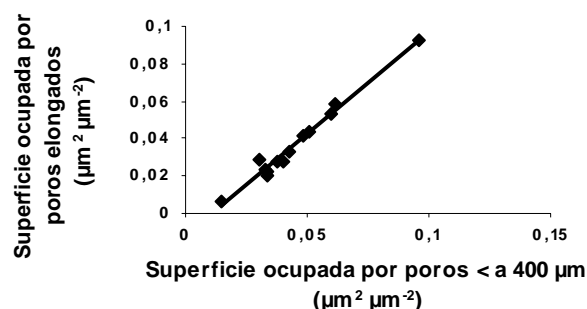
Por otra parte los poros irregulares, que disminuyen con el incremento en la actividad de las arcillas presentes, están más relacionados con aquellos que se encuentran en el intervalo de 400 a 1000 µm, aunque la relación entre estos no fue del tipo lineal como la mostrada para los elongados.

### 3.3 Horizontes A y BA/BE.

De la superficie estudiada, el 6 % correspondió a huecos entre 50 y 1000 µm, con un intervalo que osciló entre el 5% y 8%. En la Tabla 6 se puede observar el porcentaje de superficie correspondiente a cada tamaño y forma de poro.

Como se observa en la misma, en estos horizontes se repite lo visualizado anteriormente en cuanto a que los huecos menores a 400 µm ocuparon la mayor superficie (80%). Aquellos mayores a ese tamaño presentaron una menor proporción y un coeficiente de variación superior. También, igual que en los anteriores horizontes estudiados, los huecos redondeados se distribuyeron en un menor

espacio. A su vez, cada forma de poro presentó diferencias respecto a que tamaño ocupó la mayor superficie. En este sentido, los redondeados tuvieron la mayor superficie de huecos entre los 50 y 100 µm, en los irregulares el 67 % correspondió a aquellos de 100 a 400 µm y los elongados tuvieron a la categoría mayor a 400 µm con un 50% de ocupación.



**Fig. 1:** Relación entre la superficie ocupada por poros elongados y aquellos menores a 400 µm, correspondientes a los horizontes Bt, BC y C.

**Tabla 6:** Distribución porcentual y coeficiente de variación (C.V.) de los poros de acuerdo a su tamaño y forma

Tamaño y forma de poros	Distribución (%)	C.V. (%)
50 a 100 µm	25	11
100 a 200 µm	26	34
200 a 400 µm	28	33
400 a 800 µm	20	74
800 a 1000 µm	0	0
Redondeados	16	37
Irregulares	38	33
Elongados	46	35

En la Tabla 7 se observan los coeficientes de correlación entre las distintas formas y tamaños de poro con las propiedades evaluadas en los horizontes A y BA/BE.

**Tabla 7:** Coeficientes de correlación entre distintos tamaños y formas de poros con algunas propiedades de los horizontes A y BA/BE.

Propiedades	Forma de poros			Tamaño de poros (µm)	
	Red.	Irreg.	Elong.	< a 400	> a 400
Arcilla	0.88*	0.49ns	-0.36ns	0.34ns	-0.39ns
CIC	0.15ns	0.21ns	0.22ns	0.34ns	0.06ns
Carbono orgánico	-0.73ns	-0.32ns	0.98**	0.09ns	0.91*
CO/arcilla	-0.91*	-0.47ns	0.79ns	-0.15ns	0.77ns
COLE	0.76ns	0.40ns	-0.68ns	0.14ns	-0.71ns
Difusividad	0.40ns	0.56ns	-0.17ns	0.52ns	-0.42ns
Kh no saturada	-0.72ns	-0.05ns	0.83x	0.27ns	0.67 ns
Infiltración	-0.52ns	-0.95*	0.26ns	-0.81x	0.61ns
< a 400 µm	-0.01ns	0.91*	0.26ns		-0.24ns
> a 400 µm	-0.50ns	-0.61ns	0.86x	-0.24ns	

\* significativo al 0.05 de probabilidad x significativo al 0.10 de probabilidad \*\*significativo al 0.01 de probabilidad ns: no significativo

En la misma se observa que la forma redondeada de poros fue la única que estuvo condicionada por el contenido de arcilla. Por su parte, y de manera inversa a lo ya visto en los otros horizontes, los poros irregulares estuvieron relacionados en forma negativa con el movimiento de agua del suelo, estando a su vez vinculados con las categorías de huecos menores. A su vez los poros elongados resultaron estar asociados a los de mayor tamaño, aumentando su proporción en aquellos horizontes con mayor contenido de carbono. La presencia de poros mayores a 400  $\mu\text{m}$  también estuvo positivamente condicionada por el contenido de carbono orgánico del suelo.

De acuerdo a lo señalado, la vinculación entre forma y tamaño de los macroporos es diferente según la ubicación de los horizontes en el perfil del suelo. Esto responde a los diferentes factores que les dan origen. En los horizontes profundos, los macroporos mayores son el resultado del proceso de contracción del material del suelo, originado a partir de su elevado porcentaje de arcilla, obteniendo de esta manera una forma irregular de huecos. Por su parte en los horizontes superficiales, la presencia de macroporos está condicionada por factores biológicos como ser el contenido de materia orgánica y la actividad de las raíces y de la fauna edáfica. En un trabajo anterior Castiglioni et al. (2005) determinaron que la capacidad de contracción de los agregados del suelo disminuía con el aumento del contenido de CO, evitando la formación de grandes grietas. Kay & VandenBygaart (2002), también resaltan que las diferentes formas de la materia orgánica estabilizan los poros de diferente tamaño, y por lo tanto incrementan su persistencia cuando son sometidos a distintos tipos de estrés. Es por lo señalado que en los horizontes A y BA/BE del presente trabajo, los macroporos mayores no estuvieron afectados por el tipo de arcilla presente, siendo los de origen biológico (elongados) los de mayor tamaño.

Así mismo, no todos los macroporos afectan el movimiento de agua de la misma manera. Como se ve en la Fig. 2 la tasa de infiltración de los horizontes superficiales estuvo negativamente relacionada con los poros menores a 400  $\mu\text{m}$ , debido probablemente a que estos son de naturaleza irregular y por lo tanto su tortuosidad es mayor. En este sentido Bouma (1992) manifiesta la importancia de los angostamientos de los poros como condicionantes del flujo de agua en el suelo

#### 4. Conclusiones.

En todos los horizontes estudiados, los poros de forma redondeada fueron los que menor superficie de huecos ocuparon, mientras que en los A, BA/BE y Bt, los elongados fueron los que mayor participación presentaron.

Independientemente del suelo y horizonte analizados, la categoría de poros menor a 400  $\mu\text{m}$  fue la que siempre presentó mayor proporción.

En los horizontes Bt los poros redondeados y aquellos entre 400 y 1000  $\mu\text{m}$  mostraron ser sensibles al tipo de arcilla presente, disminuyendo ambos su presencia en la medida que la capacidad de contracción de los materiales aumentaba.

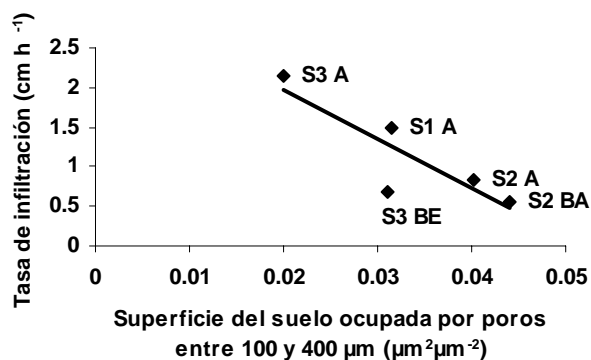


Fig. 2: Relación entre la superficie ocupada por poros entre 100 y 400  $\mu\text{m}$  y la tasa de infiltración de los horizontes A y BA/BE.

En los horizontes argílicos se encontraron correlaciones significativas entre la categoría de poros mayor a 400  $\mu\text{m}$  y el movimiento de agua edáfica.

En los horizontes BC y C, los poros mayores a 400  $\mu\text{m}$  y los irregulares mostraron una dependencia negativa respecto al contenido y actividad de las arcillas.

Se encontró en los horizontes Bt, BC y C, una fuerte relación entre la superficie ocupada por los poros de forma elongada con aquella desarrollada por los huecos de tamaño menor a los 400  $\mu\text{m}$ , siendo ambos insensibles a la cantidad y tipo de arcilla presente.

En los horizontes A y BA se observó una alta correlación entre los poros irregulares y aquellos ubicados en el rango de 50 a 400  $\mu\text{m}$ , mientras que los poros elongados estuvieron asociados a las categorías de mayor tamaño y al contenido de carbono del suelo.

La tasa de infiltración de los horizontes A y BA/BE estuvo relacionada negativamente con la superficie ocupada por los poros entre 100 y 400  $\mu\text{m}$ .

#### Bibliografía

- Arya, L. M., Farrell, D. A., Blake, G. R. 1975. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: 1 Determination of hydraulic properties of the soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:424-430.
- Bouma, J., Jongerius, A., Boersma, O. H., Jager, A., Schoonderbeeck, D. 1977. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:261-264.
- Bouma, J. 1992. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.* 46:1-37.
- Castiglioni, M. G., Morrás, H. J. M., Santanatoglia, O. J., Altinier, M. V. 2005. Contracción de agregados de Argiudoles de la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía de arcillas. *Ciencia del Suelo.* 23(1): 13-22.
- Castiglioni, M. G., Morrás, H. J. M., Santanatoglia, O. J., Altinier, M. V., Tessier, D. 2007. Movimiento de agua en horizontes B y A de Argiudoles de la Pampa Ondulada con diferente mineralogía de arcillas. *Ciencia del Suelo.* En prensa.
- Kay, B. D. y VandenBygaart, A. J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.

- Lin, H. S., McInnes, K. J., Wilding, L. P., Hallmark, C. T. 1996. Effective porosity and flow rate with infiltration at low tensions into a well structured subsoil. *Trans. ASAE* 39(1):131-133.
- Morrás, H.J.M., Altinier, M., Castiglioni, M.G., Tessier, D. 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)
- Murphy, C. P. 1986. Thin section preparation of soils and sediments. *A B Academic Publishers, Heris*. 149 pp.
- Pagliai, M., La Marca, M., Lucamante, G. 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *J. of Soil Sci.* 34:391-403.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. 2003. Image analysis and microscopic techniques to characterize soil pore system. College on Soil Physics. Trieste, Italy. 3 al 21 de marzo 2003. [www.agenda.ictp.trieste.it/agenda/](http://www.agenda.ictp.trieste.it/agenda/)
- Ringose-Voase, A. J., Bullock, P. 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *J. of Soil Sci.* 35:673-684.
- Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. *Soil Sci. Soc. Am.J., Madison*, 184 p.