

DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE POROS, POROSIDAD TOTAL Y SU VARIABILIDAD CON LA DEDICACION EN EL HORIZONTE ORGANICO DE UN CAMBISOL GLEICO

A. Paz y E. Benito

Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela.

RESUMEN

Se determinó la densidad aparente en cilindros de 100 cm³. Con este dato y la densidad real se calculó la porosidad total. Se midió la distribución del tamaño de poros a diámetros equivalentes inferiores a 100 μm por intrusión de mercurio en agregados y la densidad aparente de éstos se determinó por desplazamiento con mercurio. La proporción de poros mayores de 100 μm se deduce por diferencia. Se analizaron muestras del horizonte orgánico de un cambisol gleico, recogidas en tres fechas a lo largo del año, en parcelas con distinta dedicación.

Se aprecia que el distinto uso del suelo no modifica esencialmente el entorno de poros con tamaños inferiores a las 10 μm; sin embargo, el volumen que ocupan los macroporos es significativamente mayor en muestras procedentes de una pradera semipermanente que en suelos dedicados a policultivo. Se analizan las consecuencias de la reducción de la macroporosidad en el horizonte superficial.

Palabras clave: Porosidad total y diferencial. Porosimetría por intrusión de mercurio. Muestreo estacional. Suelo de cultivo. Cambisol gleico.

SUMMARY

PORE SIZE DISTRIBUTION, TOTAL POROSITY AND ITS VARIABILITY WITH THE USAGE IN THE ORGANIC HORIZON OF A GLEYIC CAMBISOL

The bulk density of 100 cm³ soil rings was obtained. With this and the density of soil solids, total porosity was then calculated. Pore size distribution was measured by mercury intrusion for equivalent diameters less than 100 μm in soil aggregates and its bulk density determined by mercury displacement. Pores larger than 100 μm are thus derived as a difference. Samples from the organic horizon of a gley cambisol, obtained on three separate dates throughout the year in plots with a different soil tillage system, were analyzed.

At pore sizes with diameters less than 10 μm any main modification through soil use was found. However, the macropores volume is significantly greater on samples taken from a meadow soil than on those from a mixed cropping soil. The consequences of decreasing macroporosity at the surface horizon are discussed.

Key words: Total porosity and pore size distribution. Mercury-intrusion porosimetry. Seasonal sampling. Cropped soil. Gley cambisol.

INTRODUCCION

La densidad aparente y la porosidad, contrariamente a otras variables físicas, han sido consideradas como características "estáticas" en los suelos naturales, ya que su valor evoluciona lenta y progresivamente bajo la acción de factores climáticos como la precipitación, la evaporación, y, en su caso, el efecto del hielo y deshielo. Sin embargo, durante las labores agrícolas, estas variables pueden oscilar en el horizonte superficial de un modo abrupto, alterándose la estructura de éste como consecuencia de las deformaciones ejercidas (Burke *et al.*, 1986).

A esta variación temporal que puede ocurrir en períodos breves hay que añadir una variación espacial, más importante cerca de la superficie, cuya distancia umbral es pequeña comparada con las dimensiones de una parcela (Stengel, 1990).

Por estas razones, el análisis del sistema poroso está limitado por el tamaño de la muestra, así como por las condiciones de medida, según que éstas se efectúen en el laboratorio o en el campo. El estudio de este espacio poroso puede considerarse complementario de la descripción de la estructura y permite evaluar el efecto de las acciones externas, climáticas y mecánicas, sobre el suelo. Se admite que éstas afectan sobre todo al entorno de tamaño de poros de mayor diámetro, es decir a la porosidad estructural (Guidi *et al.*, 1985; Guidi *et al.*, 1988 a; Guerif, 1987), habiéndose

confirmado estos resultados mediante estudios micromorfológicos (Boone *et al.*, 1976; Pagliai *et al.*, 1983; Shipitalo *et al.*, 1987).

Dado que el diámetro equivalente de los poros del suelo oscila entre valores de menos de $10 \mu\text{m}$ y más de 1 cm, según una escala del orden de 10^7 , su reparto relativo en una muestra no puede estudiarse mediante un sólo método. En el entorno de tamaños comprendidos entre 10^2 y $10^{-2} \mu\text{m}$ se han utilizado con frecuencia técnicas indirectas como la extracción de agua (Arrué *et al.*, 1979) o la intrusión de mercurio (Lawrence, 1977; Guidi *et al.*, 1988 b) para la descripción del espacio poroso.

En este trabajo se presentan datos de porosidad total y diferencial medidos por intrusión de mercurio, de muestras tomadas en una explotación con un importante índice de mecanización. El muestreo se efectuó en tres épocas distintas a lo largo del año en parcelas cuya dedicación se conocía con precisión en las últimas décadas. Los objetivos del trabajo son los siguientes:

1) Medida de la porosidad total y de la proporción relativa de los diferentes tamaños de poro en el horizonte superficial de un suelo de cultivo y análisis de la variabilidad de estos datos.

2) Evaluación de las acciones mecánicas externas sobre la porosidad textural y estructural en un horizonte orgánico de granulometría arenosa.

MATERIAL Y METODOS

Suelo y sistema de laboreo

Las muestras se recogieron durante el año 1989 en cinco parcelas con distinto índice de mecanización de la granja Gayoso-Castro, en C. de Ribeiras de Lea (Lugo). El suelo es policíclico y se desarrolla sobre sedimentos terciarios-cuaternarios. Como en otros suelos similares estudiados por Castelao (1989), el ciclo actual ha originado un cambisol gleico Ap/Bw, con un horizonte Bw en el que predominan las gravas, siendo la textura de la tierra fina arcillo-arenosa; en profundidad se aprecia un horizonte 2Btg, más arcilloso. La intensidad de los fenómenos hidromórficos es variable, dependiendo de la posición fisográfica.

Se tomaron muestras en febrero, junio y octubre de 1989, siendo la humedad del suelo superior, del mismo orden e inferior a capacidad de campo respectivamente en cada fecha. Se compararon entre sí parcelas sometidas a diferentes sistemas de explotación:

— La parcela 1 es una pradera semi-permanente hidromorfa; el nivel freático llega con frecuencia a los 30 cm. La mecanización es poco intensa, de modo que en cada año agrícola las únicas labores son una fertilización y la siega; a ello hay que añadir la renovación ocasional de la pradera habiéndose realizado la última siembra en el año 1984.

— La parcela 2 es una antigua tierra de monte transformada en cultivo, que ocupa una posición fisográfica similar a la anterior y, por tanto, muy hidromorfa. Se estudiaron

muestras de suelo roturado en 1985 (parcela 2 a) y en 1987 (parcela 2 b); en los dos casos se siembra desde 1987 un cereal de invierno y al efectuar la recolección el suelo queda a barbecho. La muestra de febrero se tomó 5 meses después de la siembra del cereal de invierno, la de junio poco antes de su recolección y la de octubre inmediatamente después de la nueva siembra con que se inicia otro ciclo.

— La parcela 3 está dedicada a policultivo. En la rotación se intercala cada 3 o 4 años un cultivo de maíz y a veces patatas. Se trata de antiguos suelos de cultivo en los que la intensidad de las acciones mecánicas se ha acrecentado desde la década de los cincuenta debido al aumento progresivo del peso y potencia de las máquinas empleadas. Se tomaron muestras en dos fases de la rotación: una pradera sembrada en 1987 y dedicada a pastoreo y siega (parcela 3a) y un cultivo de maíz (parcela 3b). En esta última parcela, la primera muestra se tomó una vez roturado el suelo, la segunda poco después de la siembra y la tercera es ya posterior a la cosecha de maíz y la siembra de la pradera con que continúa la rotación.

En cada una de las parcelas se acotó una zona de 10 × 10 m y dentro de ella se recogieron en dos sitios distintos unos 5 kg de suelo de los primeros 20 cm, mezclándose a continuación las dos submuestras. Una vez seco al aire se seleccionaron agregados de aproximadamente 2 a 3 g para llevar a cabo las medidas de porosimetría. Una por-

ción de cada muestra se tamizó a 2 mm, separando las gravas de la tierra fina, efectuándose en ésta última las determinaciones analíticas generales.

Determinaciones generales

El carbono total, pH en H₂O, pH en KCl y la granulometría se determinaron según describen Gutián y Carballas (1976).

Porosimetría por intrusión de mercurio

Se estudiaron mediante esta técnica 19 muestras del horizonte Ap; en 15 se emplearon agregados individuales con un peso entre 1.7 y 2.2 g, y en las 4 restantes varios agregados de algunos mm hasta obtener un peso similar al anterior.

La distribución del tamaño de poros y la densidad aparente se midieron según describen Guidi *et al.* (1988 b) mediante un porosímetro Carlo Erba, serie 2.000. Se registra la presión necesaria para introducir el mercurio en los poros, así como el volumen de mercurio que entra a cada presión; el diámetro equivalente de poro se calcula mediante la ley de Jurin utilizando-

do un valor de ángulo de contacto de 141.3° y de tensión superficial de 480 dinas cm⁻¹. La densidad aparente de los agregados se calculó a partir de la cantidad de mercurio desplazada por la muestra de suelo.

Densidad aparente en cilindros

Se utilizaron cilindros de 100 cm³, determinándose la masa seca en estufa a 105 °C. En cada profundidad se efectuaron dos determinaciones.

Densidad real

Las muestras fueron previamente molidas y luego disgregadas mediante ultrasonidos, determinándose la densidad por picnometría.

Porosidad total

Se calculó con la expresión:

$$V_o = \frac{Dr - Da}{Da}$$

en donde, Vo es la porosidad total, y Dr y Da son las densidades real y aparente respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos analíticos generales

La Tabla 1 recoge los datos referentes a textura, carbono total, materia orgánica y pH de las diferentes parcelas para cada fecha de muestreo.

Los datos texturales ponen en evidencia la pobreza en arcilla del horizonte Ap, que contrasta con el subsuelo, ya que en el horizonte

Bw esta fracción supone como mínimo un 30% sobre la tierra fina (datos no publicados).

Se puede constatar que la proporción de gravas en el horizonte Ap depende del sistema de cultivo, siendo mayor en las parcelas más frecuentemente aradas durante los últimos años con relación a la pra-

TABLA 1

Características generales de las muestras de suelo estudiadas.

Núm. Parcela	Fecha de muestreo	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	% C	Mat. orgánica	Gravas	Arena	Limo	Arcilla
						%	%		
1	Febrero	5.14	4.71	7.87	13.57	9.2	60.5	15.9	23.6
	Junio	4.99	4.69	6.24	10.76	11.9	59.7	20.9	19.4
	Octubre	5.47	4.88	7.13	12.29	9.5	64.7	21.2	14.1
2a	Febrero	4.40	4.30	6.78	11.69	27.6	57.5	23.8	18.7
	Junio	4.42	4.32	5.80	10.00	37.9	65.9	18.8	15.3
	Octubre	4.68	4.54	5.17	8.91	26.9	59.2	28.2	12.6
2b	Febrero	4.58	4.21	8.39	14.46	35.0	67.5	17.3	15.2
	Junio	4.94	4.19	6.22	10.72	30.5	62.1	15.8	22.1
	Octubre	5.21	4.91	5.43	9.36	28.6	59.0	25.4	15.6
3a	Febrero	5.55	5.17	4.77	8.22	16.3	57.3	18.6	24.1
	Junio	5.63	5.23	7.83	13.50	44.3	59.3	20.8	18.9
	Octubre	5.52	5.16	3.80	6.55	32.4	59.0	24.3	16.5
3b	Febrero	5.46	5.03	4.86	8.38	29.2	61.8	18.3	19.9
	Junio	5.83	5.72	5.50	9.48	39.7	64.7	20.3	15.0
	Octubre	5.90	5.61	4.80	8.28	42.2	63.6	18.6	17.8

dera semipermanente. Esto es el resultado de la mezcla del horizonte orgánico y el mineral determinada por la profundidad cada vez mayor a la que tienen lugar las acciones mecánicas, alterando la estratificación natural e incrementando la heterogeneidad en la capa superficial. De hecho es frecuente apreciar en superficie lentejones de material procedente del horizonte Bw, cuyo color contrasta intensamente con los tonos oscuros y negruzcos propios de un Ap muy rico en materia orgánica. En el conjunto de las muestras analizadas la proporción de arcilla osciló entre 12.6 y 24.1 %, siendo siempre importantes las diferencias dentro de cada parcela, independientemente del sistema de cultivo.

Las determinaciones de materia orgánica en las muestras de fechas sucesivas ponen en evidencia una vez más la variabilidad de composición no sólo entre sistemas de cultivo, sino también dentro de cada parcela. Los resultados medios indican que la cantidad de carbono

es mayor bajo pradera semipermanente que en las parcelas aradas.

Los datos de pH presentan diferencias que se pueden atribuir a las enmiendas calizas efectuadas, y que se ordenan de acuerdo con la secuencia: cultivo > pradera > monte transformado. Las diferencias poco importantes entre el pH en H_2O y en KCl son indicativas de cargas netas de poca magnitud.

Porosidad total

Los datos de densidad aparente a tres profundidades medidas en la primavera de 1989 se presentan en la Tabla 2.

La densidad real se midió en dos muestras con distinto contenido en materia orgánica efectuándose tres determinaciones en cada una. Los valores obtenidos fueron 2.508 g cm^{-3} para una muestra con un 7.14% de carbono y 2.530 g cm^{-3} para una con un 3.8% de carbono; en los cálculos se utilizó la primera de estas cifras.

Los datos medios de densidad

TABLA 2

Densidad aparente (g cm^{-3}), medida en cilindros de 100 cm^3 en la primavera de 1989.

Parcela	Profundidad			
	2 - 6 cm	7 - 11 cm	12 - 16 cm	Media
1	0.81	1.00	1.11	0.97
2a	1.01	1.13	1.01	1.05
2b	0.89	1.00	1.11	1.00
3a	1.05	0.86	0.99	0.97
3b	1.06	1.01	0.85	0.97

aparente son muy similares, de modo que la porosidad calculada a partir de ellos es de $60 \pm 2\%$ en las distintas parcelas, pero se aprecia en la capa arable la heterogeneidad vertical. Con frecuencia el nivel superficial es más denso que los inferiores, como consecuencia de evolución que sufre el horizonte Ap con posterioridad a las acciones mecánicas.

En la primavera de 1990 se midió la densidad aparente en las parcelas a policultivo en rotación; los resultados fueron de 1.10 y 1.26 g cm⁻³ de densidad media en las 3a y 3b respectivamente ($n = 9$ en cada sitio). Se aprecia así el incremento de la compacidad en función del tiempo, de modo que en este horizonte la porosidad total puede reducirse hasta cifras próximas al 50% en volumen en el intervalo de un año.

La estimación del volumen total de poros en el horizonte Ap proporciona cifras muy altas, como corresponde a suelos arenosos, pero este tipo de evaluación no indica nada acerca de la distribución por tamaños. Debido al carácter hidromorfo de los suelos de la cuenca en que se sitúa la explotación estudiada (Gutiérn Ojea, 1974) es importante conocer la incidencia del sistema de cultivo sobre el volumen de los distintos entornos de tamaño de poro y en particular determinar en qué condiciones se produce una reducción de la proporción de macroporos responsables del drenaje.

Curvas de entrada de mercurio

Si bien el espacio poroso es continuo, con frecuencia se subdivide atendiendo a la función que se le

asigna a cada intervalo. No existe un acuerdo general en la bibliografía sobre los límites entre las distintas categorías. Así, a los macroporos se les asigna un límite inferior con diámetros variables entre 60 y 30 μm (-5 a -10 kPa); por el contrario el límite entre meso y microporos se fija generalmente a 0.2 μm . Una clasificación muy utilizada en los últimos años es la de Greenland (1977) el cual diferencia entre poros de transmisión (500-50 μm), de almacenamiento (50-0.5 μm) y residuales ($< 0.5 \mu\text{m}$). Al estudiar los suelos agrícolas conviene separar la porosidad de origen textural, relacionada con la constitución del material (Stengel, 1979; Fiès, 1984), y la estructural que viene determinada por acciones externas y está sujeta a variaciones temporales rápidas.

En la Tabla 3 se consignan los datos de densidad aparente, volumen total de poros y porosidad diferencial, según los criterios de Greenland y entre 50 y 0.2 μm , así como el diámetro medio de poro para las 19 muestras estudiadas del horizonte superficial.

La densidad de los agregados osciló entre 1.05 y 1.42 g cm⁻³ y es inversamente proporcional al volumen de mercurio total que ocupa el espacio poroso; el coeficiente de correlación entre estas dos variables es de 0.82 ($n = 19$). La pendiente de la recta de regresión es negativa lo que confirma que en este suelo las propiedades mecánicas de los agregados, y particularmente aquéllas de las que depende la compacidad de éstos son un factor que limita la entrada de mercurio.

El diámetro equivalente medio de

TABLA 3

Datos de densidad aparente, porosidad y diámetro medio de los agregados correspondientes a las muestras del suelo estudiado mediante la técnica de porosimetría por intrusión de mercurio.

Muestra núm.	Parcela núm.	Fecha de muestreo	D. aparente (g cm ⁻³)	Porosidad (cm ³ 0.01 g ⁻¹)					Diámetro medio (μ)
				Total	>0.5 μ	>5 μ	>50 μ	50-0.2 μ	
A G R E G A D O S 2 - 3 cm									
1	1	Febrero	1.229	38.42	30.70	17.56	4.76	28.71	38.56
2	1	Junio	1.228	38.41	33.05	23.70	6.80	28.67	38.76
3	1	Junio	1.305	38.41	29.82	21.00	6.71	25.20	33.59
4	1	Octubre	1.294	33.72	29.54	19.43	4.05	27.46	38.79
5	2a	Febrero	1.188	34.05	28.99	12.14	0.47	31.09	1.98
6	2a	Junio	1.341	24.86	26.64	17.89	2.26	21.26	34.03
7	2a	Junio	1.352	31.07	21.96	13.56	2.02	26.36	3.09
8	2a	Octubre	1.130	42.61	38.87	31.58	5.19	35.31	23.57
9	2b	Junio	1.241	31.32	28.41	21.35	3.18	26.62	19.50
10	2b	Octubre	1.301	33.84	30.44	20.68	3.70	28.49	3.10
11	3a	Junio	1.421	25.44	22.29	13.66	1.66	22.24	3.08
12	3a	Octubre	1.386	28.24	23.17	13.72	2.38	22.94	3.08
13	3b	Febrero	1.381	29.86	25.71	16.51	1.72	25.96	3.08
14	3b	Junio	1.220	37.29	31.07	22.37	2.84	30.39	38.51
15	3b	Octubre	1.313	33.18	28.20	19.20	6.10	23.84	—
AGREGADOS MILIMETRICOS									
16	1	Febrero	1.210	36.51	30.15	17.78	2.72	29.95	3.84
17	1	Junio	1.052	47.58	42.08	32.30	7.58	36.92	43.21
18	2b	Junio	1.238	39.55	34.51	21.35	4.21	32.27	7.34
19	3b	Octubre	1.339	29.65	24.48	14.13	1.83	24.82	2.97

los poros, obtenido por ponderación, oscila en algunas muestras alrededor de las $30 \mu\text{m}$ y en el conjunto restante alrededor de $3 \mu\text{m}$, situándose por lo tanto en el intervalo propio de los mesoporos.

El espacio poroso responsable del almacenamiento de agua es, sin duda, mucho más importante que el residual y su valor oscila entre 21.26 y $36.92 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ (28.51 y $38.84 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ en volumen). Ello supone cifras muy elevadas para un suelo de esta granulometría, lo que pone de manifiesto el papel de la materia orgánica aumentando el volumen de los mesoporos.

En la figura 1 se representan los valores máximos, mínimos y medios del volumen ocupado por el mercurio, acumulado en función del tamaño de poro para las 19 muestras estudiadas. La cantidad total varía

notablemente, para el conjunto, entre un mínimo de $24.85 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ en los agregados más compactos y un máximo de $47.58 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ en los más porosos. Las curvas muestran una fase principal de entrada para diámetros comprendidos entre 100 y $1 \mu\text{m}$, de modo que en este entorno de tamaño de poro la ocupación por el mercurio supone una cifra muy elevada, próxima al 80% del total.

En esta figura se aprecia ya que el volumen de macroporos es muy variable. Por el contrario el volumen de mesoporos que presentan los agregados menos denso y más compacto de la serie estudiada es muy similar; en efecto, las diferencias entre los valores máximos y mínimos de acuerdo con el tamaño de poro, evolucionan como sigue:

<i>Diámetro equivalente (μm) . . .</i>	<i>30</i>	<i>10</i>	<i>1</i>	<i>0.1</i>	<i>0.06</i>
<i>Diferencias ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$) . . .</i>	<i>15.7</i>	<i>20.2</i>	<i>19.1</i>	<i>21.0</i>	<i>22.8</i>

Lo que confirma que es el espacio poroso de diámetros superiores a las $10 \mu\text{m}$ el principal responsable de la variabilidad; en el entorno de tamaños medios, por el contrario, las diferencias máximo-mínimo se mantienen relativamente constantes.

En la bibliografía existen pocas referencias acerca de la relación entre la intensidad de la presión aplicada al suelo durante las labores agrícolas y la deformación del espacio poroso medido por intrusión de mercurio en suelos de textura arenosa. Fiès *et al.* (1982) concluyen que solamente los horizontes con una proporción importante de arena son susceptibles de sufrir modifica-

ciones de la porosidad textural como consecuencia de las acciones mecánicas externas.

En el suelo arenoso analizado en el presente trabajo, los valores prácticamente constantes del volumen de mesoporos muestran que la porosidad de origen textural apenas se ve modificada con la dedicación; estos resultados pueden atribuirse a la proporción elevada de materia orgánica en relación con la del suelo estudiado por los autores antes mencionados.

Para poner en evidencia la variación espacial y temporal del sistema poroso estructural a corto plazo,

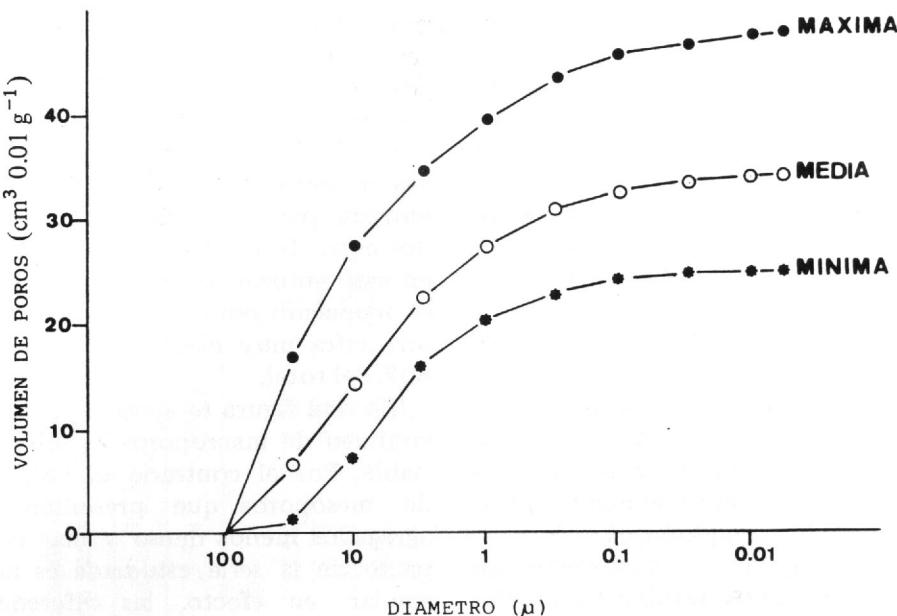


FIG. 1.—*Variabilidad de las curvas de entrada de mercurio de las muestras de suelo estudiadas.*

sería necesario comparar entre sí pares de muestras atendiendo a criterios como la dedicación de la parcela o la fecha de muestreo. De este modo Guidi *et al.* (1988 a) describen una oscilación estacional del estado físico del suelo, caracterizado por el volumen de poros, en un suelo homogéneo. Sin embargo, en el suelo estudiado, dada la heterogeneidad del contenido en materia orgánica y del porcentaje de arcilla en muestras procedentes de la misma parcela, y teniendo en cuenta que ésta podría reproducirse en agregados procedentes de la misma muestra, la comparación de los resultados obtenidos en pares de muestras, para el estudio de la evolución a corto plazo del sistema

poroso en respuesta a acciones externas, se ve limitada.

A título de ejemplo, entre las muestras 2 y 3, tomadas en la misma fecha y parcela, el volumen total de poros no varía prácticamente, y sí lo hace la densidad. Si se examinan los números 6 y 7 se invierten estos resultados. Por tanto no existe una relación unívoca entre estado de agregación y porosidad total medida por intrusión de mercurio, de modo que diferentes formas de asociación de las partículas sólidas pueden originar espacios porosos que ocupan volúmenes similares.

Uso del suelo y variabilidad de la porosidad diferencial

Además de la variabilidad espacial

originada por las sucesivas labores agrícolas, tanto el contenido hídrico al tomar la muestra, como la técnica de secado pueden influir en los resultados de porosimetría medidos por intrusión. Por ello, para analizar si el distinto uso del suelo modifica a largo plazo la distribución del tamaño de poro se seleccionaron, en las diferentes dedicaciones, muestras tomadas en la misma fecha, comparando las números 1 a 4 de la Tabla 3 (pradera semipermanente) con las 5 a 8 (antiguo monte) y las 11 a 14 (cultivo).

En la Tabla 4 se presentan los coeficientes de variación de estas series homogéneas, y la del conjunto de las 19 muestras estudiadas. Se aprecia que éstos son mayores en el antiguo monte que en la pradera o policultivo.

Se confirma que la entrada de mercurio en los poros $> 10 \mu\text{m}$ pre-

senta una acusada variabilidad, que ésta se atenúa entre 10 y $0.1 \mu\text{m}$ y que por debajo de $0.1 \mu\text{m}$ aumenta de nuevo.

Al representar las curvas de entrada de mercurio obtenidas a partir de los datos medios (Fig. 2) se observa que el volumen de poros se reduce de acuerdo con la secuencia: pradera semipermanente $>$ antiguo monte $>$ policultivo. Las diferencias más importantes se encuentran entre la pradera semipermanente y el cultivo para diámetros equivalentes mayores que $25 \mu\text{m}$.

Por otro lado, las diferencias medianas de la densidad aparente de agregados procedentes de suelos con distinto uso no son en ningún caso significativas.

En definitiva, con las muestras estudiadas en el presente trabajo no se pone en evidencia una relación entre la evolución de la porosidad

TABLA 4

Coeficientes de variación en relación con el diámetro equivalente de series de muestras con distinto uso del suelo y del conjunto estudiado.

Diámetro de poro (μm)	Coeficientes de variación (%)			
	Pradera semiper. (n = 4)	Monte transfor. (n = 4)	Cultivo (n = 4)	Conjunto estudiado (n = 19)
$> - 30$	21.0	76.6	19.5	57.8
30 - 10	12.2	39.0	39.2	32.7
10 - 3	14.1	17.0	15.5	17.0
3 - 1	15.6	36.7	3.2	23.4
1 - 0.3	13.0	28.9	9.0	19.7
0.3 - 0.1	10.0	24.5	16.0	18.3
0.1 - 0.03	44.2	20.6	25.9	39.0
0.03 - 0.01	36.7	98.9	80.2	68.9
0.01 - 0.006	5.8	19.3	14.5	16.6

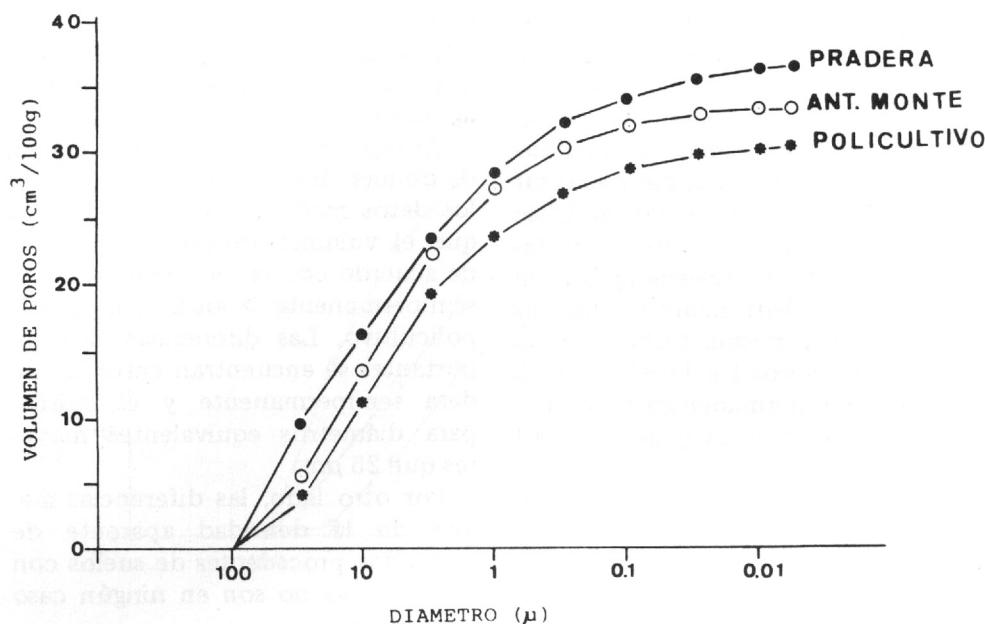


FIG. 2.—Curvas de entrada de mercurio acumulativas para distintas dedicaciones en el horizonte Ap. (Media de 4 determinaciones).

estructural y la dedicación; del mismo modo que tampoco se ha podido demostrar, con la técnica de la intrusión por mercurio, la oscilación estacional del volumen ocupado por los macroporos que señalan otros autores.

Finalmente, en el dominio de la porosidad textural se puede considerar una fracción lagunar, con diámetros del orden de los mesoporos, y otra propia de la fase arcillosa en el entorno de los microporos; en el suelo estudiado, contrariamente a lo que ocurre con la porosidad lagunar, la porosidad interna de la fracción fina es muy variable, aunque sus valores absolutos sean siempre muy pequeños, inferiores a $4 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, considerando como límites los diámetros equivalentes de

0.05 y 0.006 m; la importancia de esta fracción es obvia dada la relación que presenta la microporosidad con la fertilidad química.

Estimación del volumen de macroporos

La porosidad estructural o espacio vacío interagregados, no se puede medir, en su mayor parte, mediante la técnica de la porosimetría, ya que utiliza muestras con un volumen del orden de 1 cm^3 . El volumen de macroporos, sin embargo puede estimarse por diferencia entre los datos proporcionados por las muestras recogidas en cilindros y los obtenidos por intrusión de mercurio.

En el suelo estudiado esta diferencia es muy importante, como se

deduce de la figura 3 en que se comparan la distribución de frecuencias de la densidad aparente determinada en cilindros y en agregados, independientemente de la dedicación de la parcela.

Se aprecia que la densidad es tanto más elevada cuanto más pequeño es el volumen de la muestra, o lo que es lo mismo que la porosidad media disminuye conforme el fragmento

estudiado se hace más pequeño, alcanzándose un límite que correspondería la porosidad textural (Stengel, 1990).

Para conocer la variación de las sucesivas fracciones del espacio poroso, incluyendo los macroporos, con la dedicación, se ha efectuado una estimación del volumen relativo ocupado por éstas y por la fase sólida; el balance resultante se presenta en

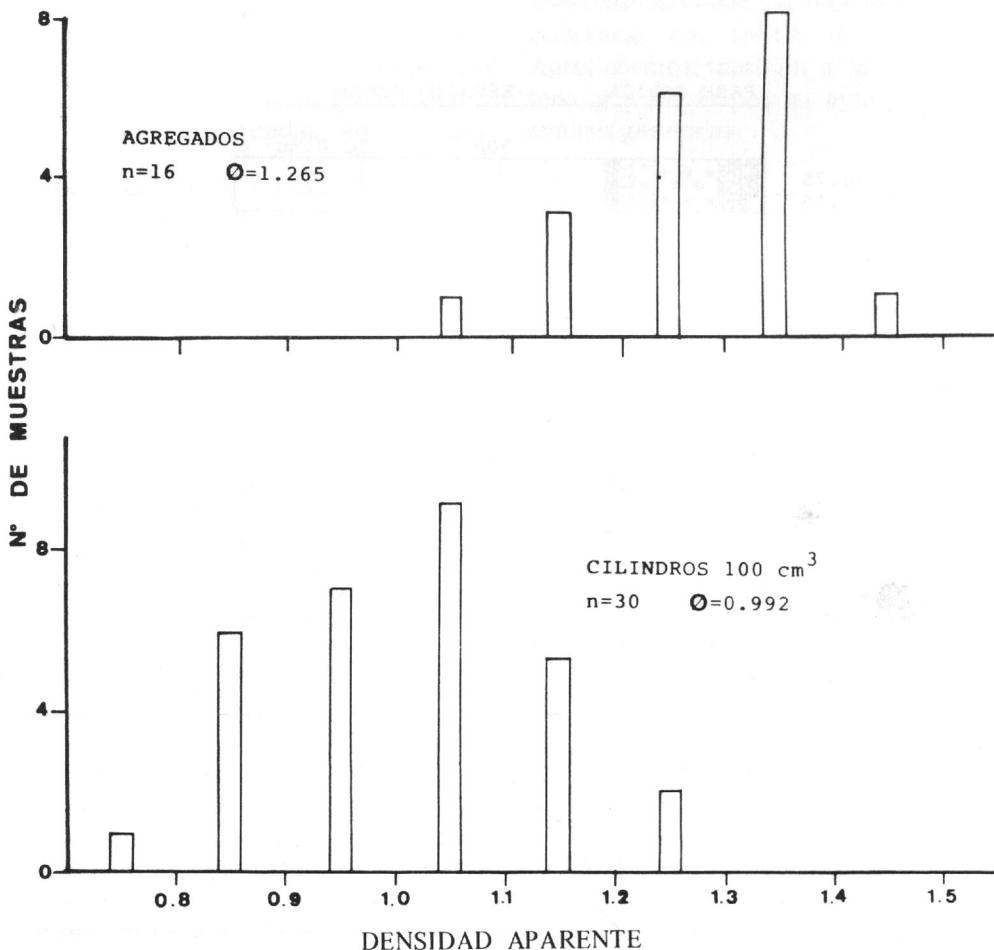


FIG. 3.—Distribución de frecuencias de las determinaciones de densidad aparente en agregados y en cilindros de 100 cm³

la figura 4. Los cálculos se efectuaron considerando tres valores de densidad aparente en muestras de 100 cm^3 , de 0.75 , 1.0 y 1.25 g cm^{-3} , así como las curvas de entrada de mercurio para los valores mínimo, medio y máximo, respectivamente, de la figura 1.

Se observa de este modo que el entorno de tamaños de poro que proporcionalmente más se reduce con el aumento de la densidad es aquél con diámetros equivalentes $> 50 \mu\text{m}$. Para densidades aparentes

de 1.25 g cm^{-3} , este tipo de poros presenta ya, a pesar de la textura arenosa y el contenido alto en materia orgánica del horizonte superficial estudiado, valores que se pueden considerar limitantes para procesos como la difusión de O_2 . Interesa destacar, por tanto, la importancia de mantener un volumen máximo de porosidad de transmisión para favorecer el drenaje de agua de este horizonte, dadas las características de baja permeabilidad en los niveles subyacentes.

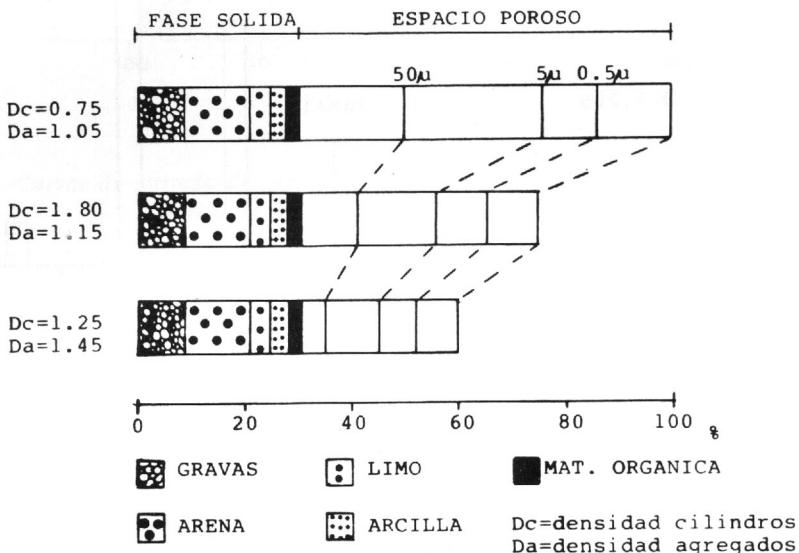


FIG. 4.—*Distribución de distintas fracciones de la fase sólida y el espacio poroso del suelo estudiado.*

CONCLUSIONES

En el horizonte superficial estudiado de granulometría arenosa, el volumen total de poros ocupados por intrusión de mercurio pre-

senta oscilaciones importantes. La heterogeneidad es mayor en la fracción de los macroporos, mientras que el volumen de meso-

poros, y en consecuencia la porosidad textural, se mantiene prácticamente constante, siendo independiente de la dedicación.

La distribución de frecuencia de la densidad aparente determinada a escala textural en agregados individuales es significativamente mayor que la medida en cilindros, lo que pone de manifiesto la importancia

del volumen ocupado por la porosidad estructural o interagregados en este suelo. Teniendo en cuenta los datos proporcionados por estas dos técnicas de medida, se comprueba que los esfuerzos mecánicos ejercidos por las labores agrícolas son susceptibles de reducir la porosidad estructural del horizonte de cultivo hasta valores críticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Dr. G. V. Guidi, por permitir la realización de los análisis de porosimetría y a A. Scotto por la ayuda prestada en las determinaciones efectuadas en el ‘Isti-

tuto per la Chimica del Terreno’ de Pisa. Al Dr. P. Stengel por las medidas de densidad real en el laboratorio del INRA de Avignon. Agradecemos también a M. J. Montero y a M. López su ayuda en los análisis generales.

BIBLIOGRAFIA

- ARRUE, J. L. y MARTIN ARANDA, J., 1979. Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. An. Edafol. Agrobiol., 38: 881-897.
- BOONE, F. R., SLAGER, S., MIEDEMA, R. and ELEVeld, R., 1976. Some influences of zero tillage on the structure and stability of a fine textured river levee soil. Neth. J. Agric. Sci., 24: 105-109.
- BURKE, W., GABRIELS, D. and BOUMA, J., 1986. Soil structure assessment. Balkema. Rotterdam. Boston.
- CASTELAO GEGUNDE, A., 1989. Aportación al estudio de la hidromorfia de los suelos de Terra Cha y su influencia sobre la génesis y la capacidad productiva. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- FIES, J. C. et STENGEL, P., 1981. Densité texturale de sols naturels. Agronomie. 1: 651-658.
- FIES, J. C. et ZIMMER, D., 1982. Etude expérimentale des modifications de l'assemblage textural d'un matériau sabloargileux sous l'effet des pressions. Bulletin du GFHN, 12: 39-54.
- FIES, J. C., 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette. Comparaison entre un modèle d'espace poral et les données fournies par la porosimétrie au mercure. Agronomie, 4: 891-899.
- GREENLAND, D. J., 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent?. Phil. Trans. Roy. Soc. (London) B, 281: 193-208.
- GUERIF, J., 1987. L'analyse de la porosité: Application à l'étude du compactage du sol. In: Soil compaction and regeneration. (Eds. Monnier, G., and Goss, M. J.). Balkema. Rotterdam. 1-13.

- GUIDI, G., POGGIO, G. and PETRUZELLI, G., 1985. The porosity of soil aggregates from bulk soil and from soil adhering to roots. *Plant and Soil.*, 87: 311-314.
- GUIDI, G., PINI, R. and POGGIO, G., 1988 (a). Porosity in a puddled rice soil as measured with mercury-intrusion porosimetry. *Soil. Sci.*, 145: 455-460.
- GUIDI, G., e PINI, R., 1988 (b). Uso del porosimetro a intrusione di mercurio e technique a luce lasser nell'analisi del suolo. Giornate di studio sull'analisi del suolo. Verona: 332-352.
- GUITIAN OJEA, F. y CARBALLAS, T., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- GUITIAN OJEA, F., 1974. Itinerarios de suelos de Galicia. Pub. Universidad de Santiago de Compostela.
- LAWRENCE, G. P., 1977. Measurement of pore sizes in fine textured soils: a review of existing techniques. *J. Soil Sci.*, 28: 527-540.
- OLSON, K. R., 1987. Method to measure soil pores outside the range of mercury intrusion porosimeter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 132-135.
- PAGLIAI, M., LA MARCA, M. and LUCAMANTE, G., 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *J. Soil Sci.*, 34: 391-403.
- SHIPITALO, M. M. and PROTZ, R., 1987. Comparison of morphology and porosity of a clay under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 445-456.
- STENGEL, P., 1979. Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. *Ann. Agron.*, 30: 27-51.
- STENGEL, P., 1990. Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et Méthodes. Les Colloques de l'INRA. n. 53: 15-36.

Recibido: 27-11-91.

Aceptado: 4-12-91.