

## VOLUMEN DE POROS EN SUELOS ARCILLOSOS DE HOLGUIN Y SANTIAGO DE CUBA

Livia Fernández Pérez, Andrés Lau Quan y Alejandro González Álvarez  
Departamento de Física, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias  
de La Habana

### RESUMEN

Se determina el volumen de poros y la distribución de sus radios en muestras de suelo pertenecientes a las áreas cañeras de las provincias de Holguín y Santiago de Cuba, por el método de porosimetría de mercurio utilizando un porosímetro de mercurio Carlo Erba, cuyo funcionamiento se basa en la depresión capilar y está regido por la ecuación de Young-Laplace.

### ABSTRACT

It was determined the pores volumen and the distribution of their radii and the porosity of four profiles of the soils in the areas where sugar cane is grown in Holguín and Santiago de Cuba Provinces, by mercury porosimetric method, using Carlo Erba's mercury porosimeter which function is based on the capillary depression and the application of the Young-Laplace's equation.

### INTRODUCCIÓN

Los suelos Oscuros Plásticos (Vertisuelos) se encuentran entre los principales suelos para los cuales se proyectan actualmente medidas de recuperación y mejoramiento.

La conformación del suelo por partículas de diferentes tamaños lleva implícito la presencia de espacios porosos a causa de los intersticios entre las partículas del suelo y de los existentes en la superficie de las propias partículas; su determinación es fundamental al estar la fertilidad de los suelos relacionada con los fenómenos de superficie y no bastar un medio nutricional adecuado para lograr la transformación. Para ciertos elementos nutricios es preciso contar con la mayor superficie posible, siendo evidente que la accesibilidad a estos sitios activos es favorecida por la distribución del radio de poros (8),

Entre los trabajos de porosimetría aplicando las técnicas tradicionales realizadas en los suelos Oscuros Plásticos del país se reportan; Agafonov y col (1) realizaron determinaciones de la porosidad total y de aireación en estado seco y con una humedad próxima a la capacidad de campo; Klimes y col (10) se dirigieron fundamentalmente al estudio de la porosidad diferenciada y, Cairo y col (2), estudiaron el problema de la aireación de los suelos pesados junto a otras propiedades del suelo, entre ellas la porosidad.

En el presente trabajo se determina por primera vez en el país aplicando las técnicas de porosimetría de mercurio, la estructura porosa de perfiles representativos de los suelos Oscuros Plásticos de las provincias de Holguín y Santiago de Cuba, dedicados al cultivo de la caña de azúcar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron cuatro perfiles de suelos clasificados (7) como:

Oscuro Plástico Gleyzoso negro (849), Holguín.

Oscuro Plástico Gleyzado gris (850), Holguín.

Oscuro Plástico no Gleyzado pardo oscuro (885), Santiago de Cuba.

Oscuro Plástico Gleyzoso gris amarillento (1241), Holguín.

Las descripciones de estos perfiles fueron reportadas por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (6).

Los análisis realizados fueron:

Densidad real por el método picnométrico (9).

Composición granulométrica por el método de Kachinskii (8).

Porosimetría de mercurio con un porosímetro automático Carlo Erba modelo 820 en el rango 1-80 MPa sobre la presión atmosférica, para determinar el volumen de poros de las muestras para radios comprendidos entre  $9,3 \cdot 10^{-9}$  y  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m. Se considera que los poros de las muestras de suelos son cilíndricos,  $\gamma = 480$  mN/m (13,3, 14) y  $\theta = 141,3^\circ$  (3).

La distribución del radio de poros para la unidad de masa (gramo) fue obtenida por las variaciones del volumen de mercurio, que penetra a

diferentes presiones cada vez mayores en las muestras peletizadas y secadas durante 2 h a un vacío de 10,6 Pa.

Las variaciones en el volumen de mercurio se midieron directamente usando un porosímetro para poros de diámetro  $9,3 \cdot 10^{-9}$  a  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m y representa la porosidad medida. El volumen de los poros de diámetro menores que  $9,3 \cdot 10^{-9}$  m no se determinó, por lo que los valores de porosidad calculados representan solamente el volumen total de poros mayores que  $9,3 \cdot 10^{-9}$  m y no la porosidad total.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Washburn (14) propuso por primera vez utilizar el mercurio para determinar el tamaño de poros de las estructuras porosas fundamentándose en la ecuación de Young-Laplace:

$$P_b - P_a = \gamma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

donde

$P_b = P_{Hg}$ : presión en la fase líquida del mercurio.

$P_a = P_g$ : presión en la fase gaseosa.

$r_1$  y  $r_2$ : radios del menisco.

$\gamma$ : coeficiente de tensión superficial del líquido.

Para poros cilíndricos, donde  $r_p$  sea el radio de poros:

$$r_1 = r_2 = r_p \cos \theta$$

$\theta$ : ángulo de contacto.

y tras pequeñas transformaciones, Washburn obtuvo la ecuación:

$$r_p = \frac{-2\gamma \cos \theta}{\Delta p}$$

donde

$$\Delta p = P_{Hg} - P_g$$

La determinación del tamaño de los poros por la penetración del mercurio se fundamenta en el comportamiento de los líquidos que no mojan los capilares. Un líquido no penetra espontáneamente en poros pequeños con ángulo de contacto de más de  $90^\circ$  a causa de la tensión superficial (depresión capilar); esta resistencia se vence ejerciendo una determinada presión externa la cual será función del tamaño de los poros.

En 1945, Ritter y Drake (13) publicaron por primera vez la descripción del método y propusieron un equipo construido por ellos para su determinación a altas presiones.

En la actualidad se utilizan porosímetros automáticos para la determinación de las estructuras porosas por inclusión de mercurio, pudiéndose determinar (5), los tamaños de los poros de radios comprendidos entre  $1,5 \cdot 10^{-9}$  m hasta aproximadamente  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m para un rango de presiones de 500 MPa sobre la presión atmosférica.

Olson (12), realizó la determinación en suelos arenosos ejerciendo presiones de hasta 10,35 MPa para determinar radios de poros de  $1,7 \cdot 10^{-7}$  m a  $2,0 \cdot 10^{-4}$  m.

Los suelos investigados son suelos arcillosos a lo largo del perfil como evidencia la composición granulométrica que se muestra en la Tabla 1; no existen variaciones bruscas de la textura en los perfiles genéticos y sólo se observa en ocasiones un incremento en la fracción arcilla y en la arcilla física en los horizontes intermedios, tal y como ocurren en casi todos los suelos vérticos del mundo y de Cuba.

Los volúmenes de poros de los horizontes A (Tabla 2) presentan valores variados pero se cumple tanto para los poros mayores y menores que  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m, que los volúmenes de poros de los suelos Oscuros Plásticos:

No Gleyzado pardo oscuro > Gleyzado gris > Gleyzoso negro > Gleyzoso gris amarillento.

La Figura 1 muestra la relación entre el volumen de los poros ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) y el radio de los poros de las muestras estudiadas para  $9,3 \cdot 10^{-9}$  m < r <  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m y r >  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m y la Figura 2 para r >  $9,3 \cdot 10^{-9}$  m.

Como se observa, la contribución al volumen de poros de los poros de radios mayores de  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m es insignificante al compararse con los menores de  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m (Figura 1); la totalidad de la porosidad de las muestras está determinada por poros con esos radios. Además, los perfiles estudiados muestran una tendencia al aumento de esta porosidad en los horizontes C respecto a los A.

Las Figuras 3 y 4 nos permiten afirmar que para el rango de los poros estudiados en los horizontes A y C, la estructura porosa de las muestras estudiadas es polidispersa, por presentar varios máximos, facilitando los procesos de difusión que ocurren en el interior de las partículas (11). El comportamiento de las muestras es similar con excepción del perfil gris amarillento, por el predominio de poros de radios de 3 a  $4 \cdot 10^{-8}$  m, dado que los datos de la mineralogía primaria (4) y de los análisis granulométricos en la Tabla 1, no muestran diferencias que lo justifiquen; puede suponerse que presentan un comportamiento de *cuello de botella*, tal y como encontraron Dullien y col (citado por Gregg y Sing, (5)), en las arenas estudiadas por el método estereoscópico y por el método de porosimetría de mercurio cuyos picos resultaban ser muy amplios.

Tabla 1. Composición granulométrica

Perfil	Horizonte	Profundidad (m)	Límites de los diámetros de las partículas (mm)						
			1,00-0,05	0,05-0,02	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	$\Sigma < 0,01$	
Por ciento de cada fracción									
Gleizado negro (849)	A	0,00-0,25	2,42	14,36	5,66	8,29	61,67	75,62	
	B	0,25-0,50	1,58	12,54	2,75	8,49	69,17	80,41	
	C	0,63-0,95	0,52	4,47	3,27	4,76	60,31	68,34	
Gleizado gris (850)	Ao	0,00-0,21	15,81	3,13	4,95	3,90	57,25	66,10	
	A1	0,21-0,45	0,37	8,78	5,42	6,07	54,73	66,22	
	AB	0,45-0,90	0,35	8,30	5,31	13,24	48,88	67,43	
	C	0,90-1,10	0,38	12,88	5,17	11,00	45,36	61,53	
No Gleizado pardo oscuro (885)	A	0,00-0,20	2,86	4,63	2,83	18,96	64,29	86,08	
	B	0,20-0,45	2,16	7,46	2,36	19,26	65,47	87,09	
	C	0,45-1,05	3,49	5,36	6,70	15,14	60,25	82,09	
Gleizado gris amarillento (1241)	A	0,00-0,28	1,36	5,06	0,02	9,89	73,75	83,66	
	AB	0,28-0,67	0,89	4,04	0,61	11,40	72,69	84,70	
	B	0,67-1,12	0,85	4,38	1,10	11,07	57,13	69,30	
	BC	1,12-1,47	0,00	0,69	4,06	13,99	57,98	76,03	
C	1,47-1,90	0,11	0,43	4,40	12,11	61,04	77,55		

Tabla 2. Volúmenes de poros en el horizonte A (cm<sup>3</sup>/g)

Suelo	Horizonte	Profundidad (m)	Volúmenes de poros		
			r < 7 500 nm	r > 7 5 00 nm	Total
Gleyzoso negro (849)	A	0,00-0,25	0,0652	0,0015	0,0667
Gleyzado gris (850)	Ao	0,00-0,21	0,0993	0,0021	0,1014
No Gleyzado pardo oscuro (850)	A	0,00-0,20	0,1063	0,0030	0,1093
Gleyzoso gris amarillento (1241)	A	0,00-0,28	0,0269	0,0006	0,0275

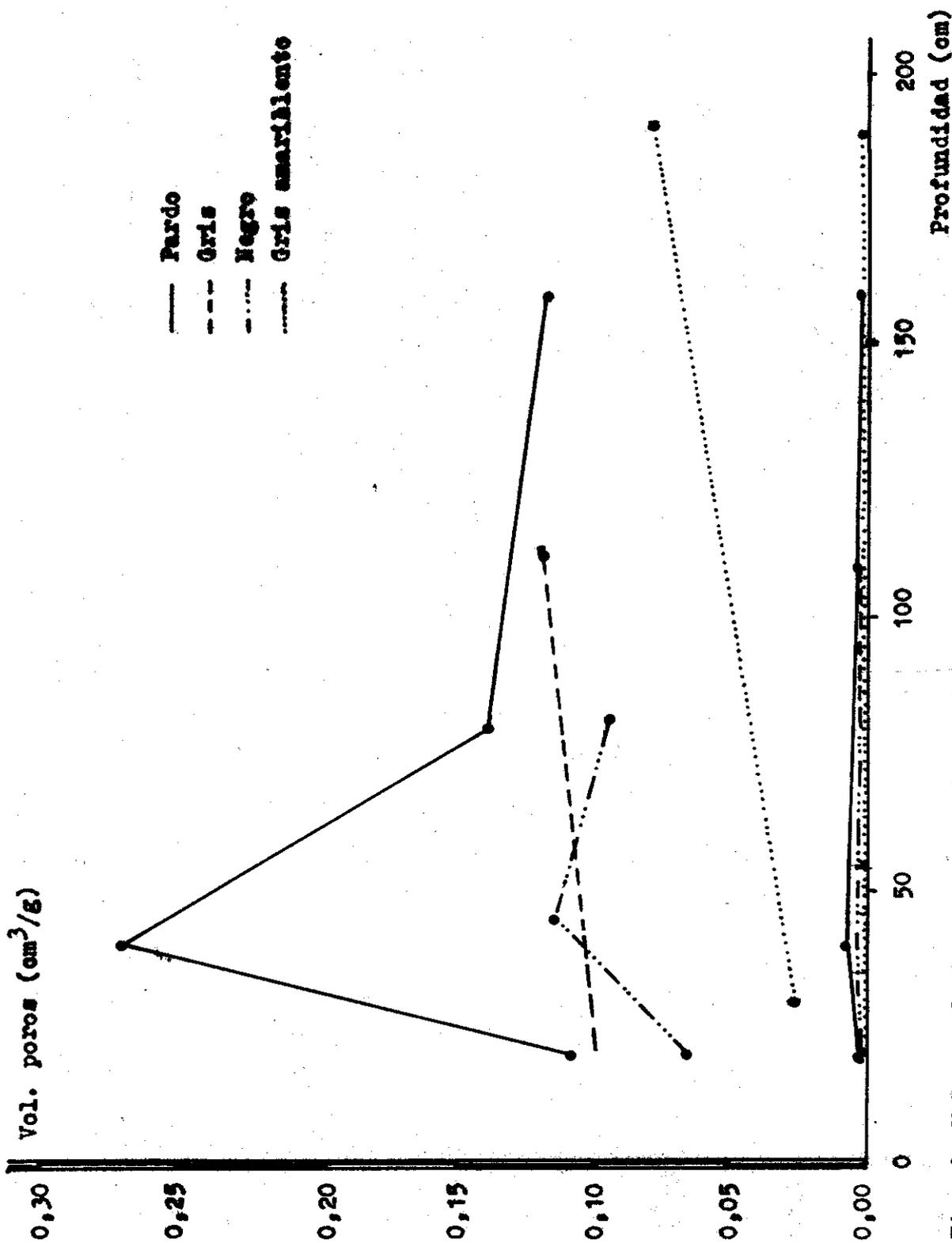


Fig. 1. Volumen de los poros en los intervalos:  
 $9,3 \cdot 10^{-9} \text{ m} < r < 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  . (grupo superior de curvas)  
 $r < 9,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  . (grupo inferior de curvas)

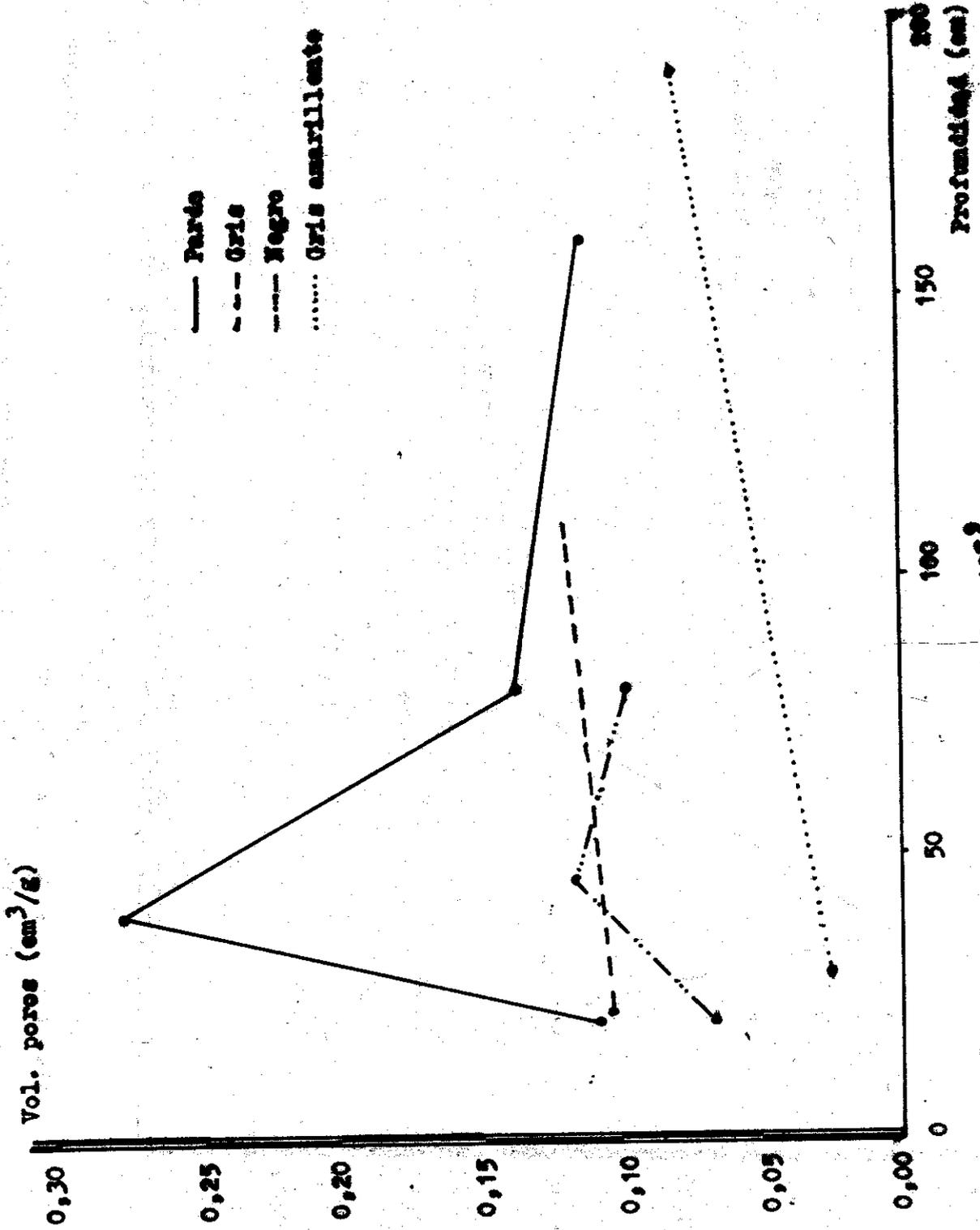
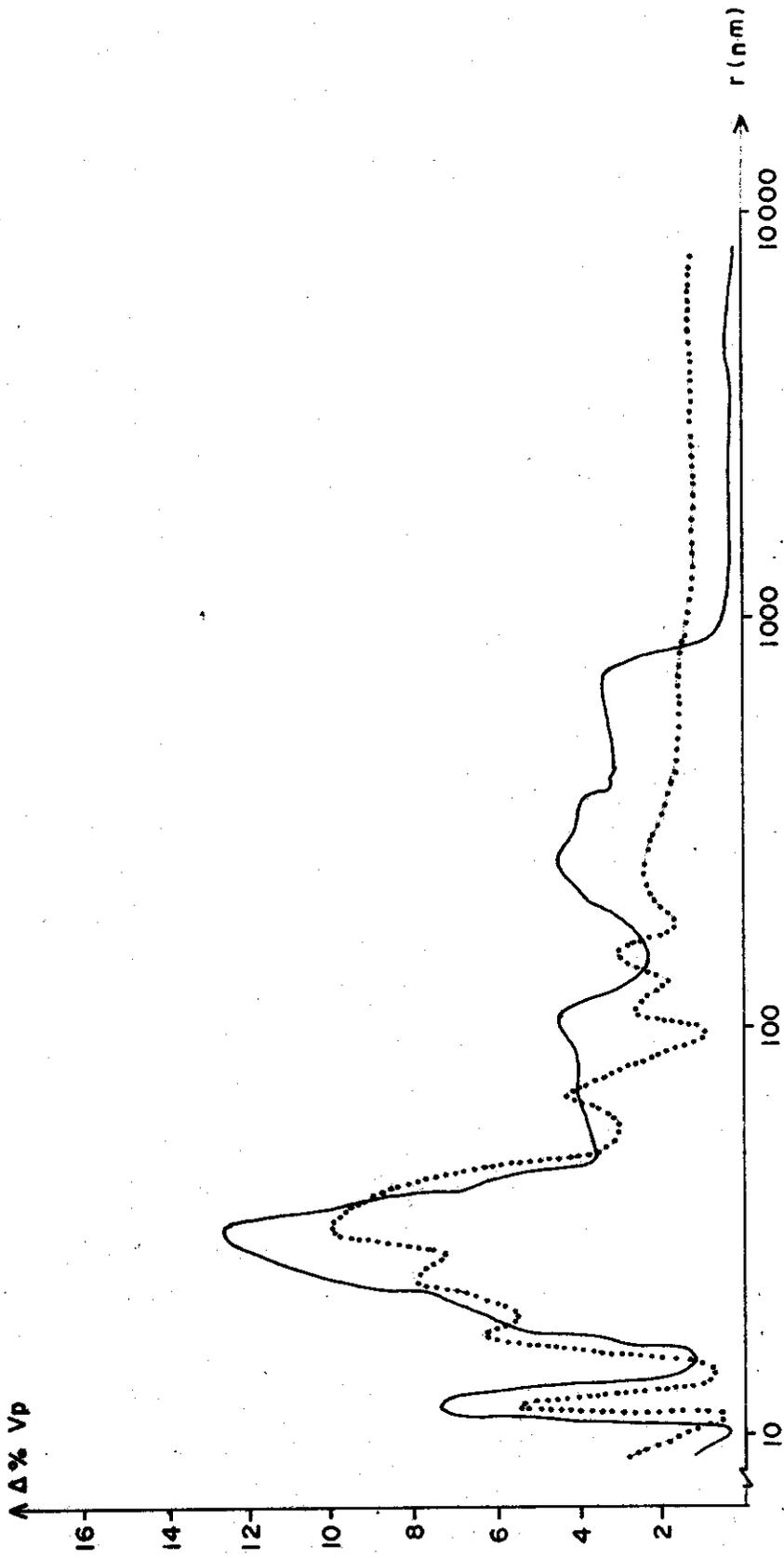
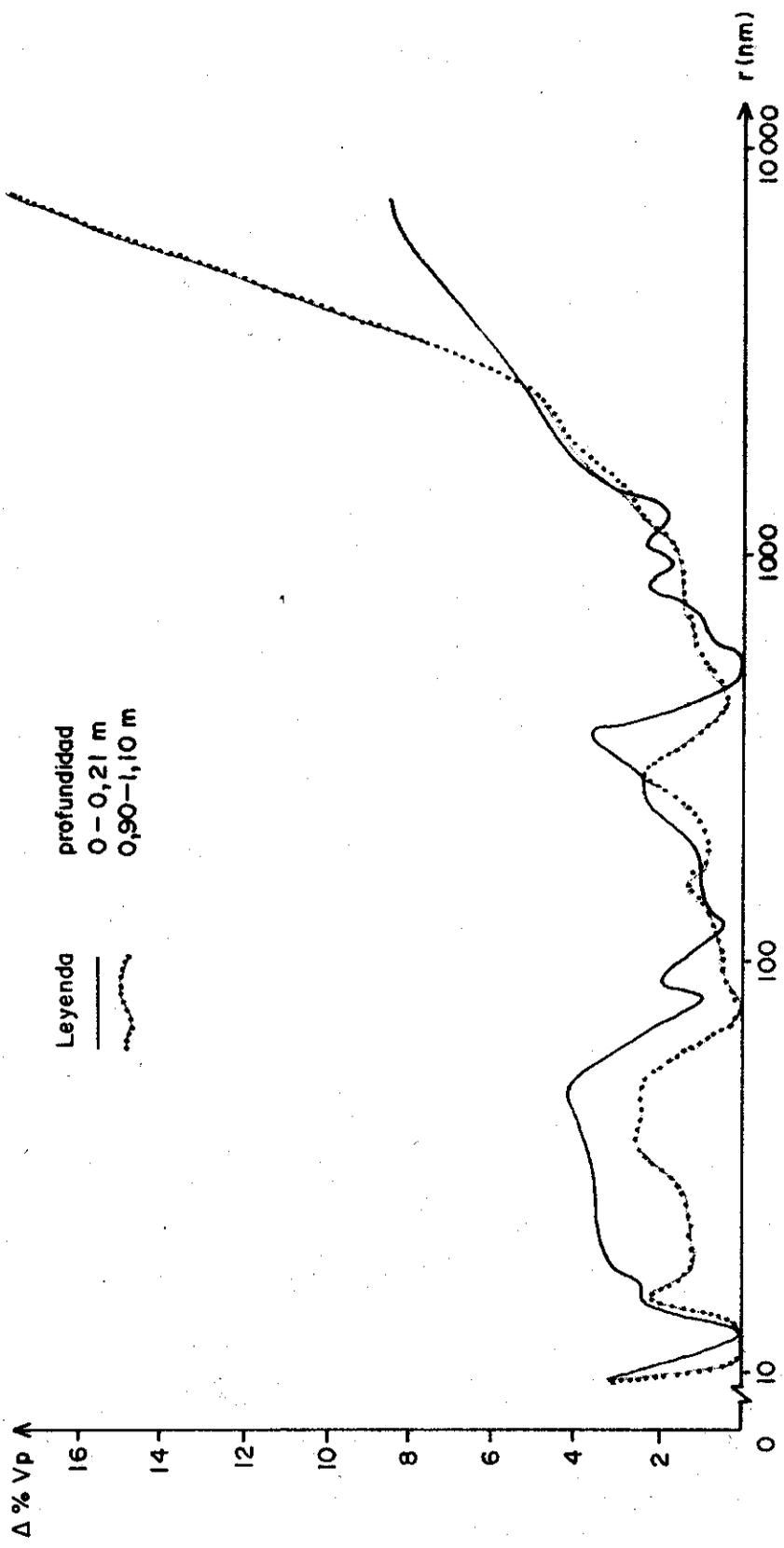


Fig. 2. Volumen total de poros,  $r > 9,3 \times 10^{-9}$  m.

Leyenda: Profundidad (m.)  
— 0-0,28  
..... 1,47-1,90



Distribución del radio de poros, Oscuro Plástico Gleyoso Gris Amarillento.



Leyenda  
 — 0-0,21 m  
 ..... 0,90-1,10 m

Distribución del radio de poros, Oscuro Plástico Gleyzado gris (850)

En las microfotografías de las muestras de Gregg y Sing (5) se ven claramente franjas amplias con sus entradas más estrechas; esto significa que por porosimetría de mercurio se determina no el radio de las franjas sino el de las entradas o del  *cuello de botella*.

Los horizontes A y C investigados tienden a una disminución en la variación ( $\Delta$ ) del % del volumen de poros en el rango de 1 a  $7,5 \cdot 10^{-5}$  m para los perfiles Oscuros Plásticos en sus variantes no Gleyzado pardo oscuro y Gleyzoso negro, mientras que para los perfiles gris amarillento y gris ocurre un incremento para este rango de radio de poros.

## CONCLUSIONES

En los suelos Oscuros Plásticos, el mayor volumen de poros lo tienen los no Gleyzado pardo oscuro, siguiéndoles en orden decreciente, el Gleyzado gris, el Gleyzoso negro y el Gleyzoso gris amarillento.

Para radio de poros mayores que  $9,3 \cdot 10^{-9}$  m, en los horizontes A y C, la estructura porosa de las muestras es polidispersa.

La porosidad total de las muestras está dada por los poros de radios menores que  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m.

## REFERENCIAS

- (1) Agafonov, G.; R. Delgado; L. Rivero; G. Tatevosian  
Propiedades físicas de los Vertisuelos de Cuba relacionadas con las particularidades de su génesis. Cienc. Agri., 2: 47-80, 1975.
- (2) Cairo, P.; C. Vela; N. Ramírez  
El problema de la aireación en los suelos pesados y su vinculación con otras propiedades. Centro Agrícola 9 (3): 49-61, 1982.
- (3) Carlos Erba  
Definitions and Testing Procedures 29 p., 1975.
- (4) Fernández, Livia; Alina Fundora; Yanet Ruiz; A. Obregón  
Composición mineralógica de la fracción arenosa de los principales suelos Oscuros Plásticos de la región oriental de Cuba cultivados con caña de azúcar. VI Seminario Científico, I.N.C.A., 1987.
- (5) Gregg, S.J.; K.S. Sing  
Adsorption, Surface Area and Porosity. Moscú, Mir, 310 pp., 1984.
- (6) Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Departamento de Suelos: Descripción de perfiles de la red geográfica experimental; Ministerio del Azúcar, 1986.
- (7) Instituto de Suelos  
2. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Rev. Agr. 8(1): 1-8, 1975.

- (8) Kachinskii, N.A.  
Preparation of soil for microaggregate and texture analysis.  
Mechanical and Microaggregate composition of soils, ANSSSR,  
Moscú, 1958.
- (9) Kaurichev, I.S.; N.P. Panov; M.V. Stratonovic; I.P. Grechin;  
V.I. Savich; N.F. Ganzhara; A.P. Mershin  
Prácticas de Edafología, Ed. Mir, Moscú 287 p: 1984.
- (10) Klimes Szmick, A.; O. Suárez; A. Mora; J. Peña  
Suelos de Cuba, Tomo II, Ed. Orbe, La Habana, 303 p., 1980.
- (11) Miquel, J.; M. Hernández; J. Herce  
Bases para la preparación y empleo de catalizadores sólidos.  
Universidad Autónoma de México, 243 p., 1983.
- (12) Olson, K.  
Characterization of pore size distributions within soils by  
mercury intrusion and water-release methods. Soil Science.  
Vol. 139, No. 5, 400-404; 1985.
- (13) Ritter, H.L.; D.L. Drake  
Pore size distribution in porous materials. Ind. Eng. Chem.  
Analytic. Ed. 17, 782-791, 1945.
- (14) Wasburn, E.W.  
Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 7, 115, 1921.