

EVALUACIÓN DEL AGUA ÚTIL A PARTIR DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE HUMEDAD Y CURVAS DE INTRUSIÓN DE Hg.

M^a J. FERNÁNDEZ RUEDA, A. PAZ & E. VIDAL

Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. Campus de A Zapateira s/n. 15071
A Coruña, España – Tel: (+34) 981 167 000 – Fax: (+34) 981 167 065
E-mail: tucho@udc.es

Resumen. La distribución equivalente del tamaño de poro puede describirse mediante diversos métodos, siendo las curvas características de humedad, el método más comúnmente empleado. Alternativamente, se puede usar la porosimetría de intrusión de Hg. El objetivo de este trabajo es comparar el contenido en agua útil del suelo estimado mediante estas dos técnicas en suelos con un amplio rango de texturas.

Las curvas características de humedad se midieron con un equipo de Richards, equilibrando las muestras a los potenciales de -5, -10, -50, -100, -300, -1000 y -1500 kPa. Las curvas de intrusión de Hg se determinaron con un porosímetro Micromeritics 9310. Ambas determinaciones se efectuaron en agregados de 2-3 mm de diámetro de 20 muestras de suelos de cultivo. El agua útil se obtuvo por diferencia entre el agua retenida a -10 kPa y a -1500 kPa y se comparó con la porosidad de almacenamiento.

En las muestras de textura media se obtuvo una correlación significativa entre el agua útil evaluada con estos dos métodos. En las muestras de textura arcillosa la porosimetría de intrusión de Hg subestimaba el agua útil, mientras que en las de textura arenosa la sobreestimaba. El análisis del sistema poroso en húmedo (curvas de pF) y en seco (intrusión de Hg) permitió comprobar que al aumentar el contenido en materia orgánica se acrecienta el volumen de los poros de almacenamiento, cuya función esencial es la retención de agua útil.

Palabras clave: curvas de pF, intrusión de Hg, porosidad diferencial, agua útil.

Abstract. Soil pore-size distributions are described using different methods, but water retention characteristic curve is the most widely used method. As an alternative mercury intrusion porosimetry may also be performed in order to assess pore-size distributions. The aim of this work was to compare soil available water as obtained by both techniques in soil samples with a wide range of textures.

Soil water retention curves were measured by means of a Richards apparatus, at water potentials of -5, -10, -50, -100, -300, -1000 and -1500 kPa. Mercury intrusion porosimetry curves were measured by means of a Micromeritics 9310 porosimeter. Both determinations were performed on 2-3 mm diameter aggregates for 20 soil samples. Available water obtained as the difference between water content at -10 kPa and at -1500 kPa was compared with storage porosity.

Medium textured soil samples a significant relationship was obtained between available water measured with these two different methods. Mercury intrusion porosimetry underestimates available water in clay textured soil samples, whereas it was overestimated in coarse textured samples. Soil porosity system as assessed both in the wet state (pF curves) and in the dry state (mercury porosimetry) indicates that increasing soil organic matter content increases mesoporosity (storage porosity), i.e. pore-sizes which are responsible for available water storage.

Key Words: pF curves, Hg intrusion, differential porosity, available water.

INTRODUCCIÓN

La porosidad total del suelo y la distribución del tamaño de poro son atributos esenciales para analizar las fases líquida y gaseosa así como la movilidad de ambas, al tiempo que permiten efectuar una evaluación de la estructura. Dicho de otro modo, cuando el objetivo experimental es el estudio del flujo de agua, solutos o gases, conviene caracterizar la estructura del suelo en términos de la geometría del espacio poroso. La geometría del espacio poroso viene caracterizada tanto por la distribución del tamaño de poro, como por la continuidad del mismo (Fiès, 1984, Stengel, 1990; Fernández Rueda, 1997).

La distribución del tamaño de poro del suelo puede ser descrita mediante métodos muy diferentes, siendo considerada la micromorfología en conjunción con el análisis de imagen la técnica que proporciona mejores resultados. Entre los numerosos métodos indirectos de evaluación de la distribución del tamaño de poro se puede mencionar la estimación a partir de curvas características de retención, curvas de intrusión de Hg, permeabilidad o infiltración, sortividad, difusividad, permeabilidad al aire y difusión gaseosa.

Las curvas características de humedad se determinan generalmente en fase de desecación y pueden proporcionar una estimación de la distribución del tamaño de poro generalmente en fase de desecación. La precisión de esta estimación depende sobre todo de la capacidad de contracción y expansión del suelo. En el caso de suelos con poca capacidad de expansión, la estimación resultará bastante precisa, ya que la distribución del tamaño de poro equivalente resulta relativamente independiente del contenido hídrico.

La porosimetría de intrusión de mercurio es una técnica relativamente rápida que permite evaluar la distribución de tamaño de poro en un rango superior a cuatro órdenes de magnitud y que se verifica en muestras secas, que, por lo

tanto, presentan valores de volumen específico y de porosidad total mínimos.

Sin duda, la medida de las curvas características de humedad, en fase de desecación, es el método indirecto más comúnmente empleado para describir la distribución equivalente del tamaño de poro. Entre las técnicas que se pueden usar alternativamente, para evaluar dicha distribución, la porosimetría de intrusión de Hg se lleva a cabo a partir de muestras que han sufrido la máxima retracción posible, tras la desecación, para la eliminación total del agua del sistema poroso. En consecuencia, para comparar el volumen del espacio poroso determinado por intrusión de mercurio y a partir de las curvas características de humedad es necesario tener en cuenta los fenómenos de expansión-retracción. El objetivo de este trabajo es comparar el contenido en agua útil del suelo estimado mediante estas dos técnicas en muestras de suelos con un amplio rango de texturas y caracterizados por la ausencia o la presencia de pequeñas cantidades de materiales hinchables.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las determinaciones de distribución de tamaño de poro se llevaron a cabo en 20 muestras de suelos de cultivo (Fernández Rueda, 1997). Las muestras estudiadas se pueden considerar representativas de dos de las principales comarcas de la Comunidad Autónoma de Galicia como son Terra Cha (Lugo) y la zona del Complejo de Ordenes (La Coruña). Además, se analizaron suelos desarrollados sobre calizas procedentes de la comarca de Mondoñedo (Lugo) y sobre sedimentos de la comarca de Celanova (Orense). Los suelos estudiados se caracterizaban por la presencia de la caolinita como arcilla dominante y la ausencia total o la presencia en muy pequeñas cantidades de arcillas expandibles.

La mayor parte de las muestras analizadas se tomaron en horizontes superficiales, a una profundidad comprendida entre 0 y 20 cm.

También se tomó una muestra en un horizonte subsuperficial de textura arcillosa.

TABLA 1. Información general sobre los suelos estudiados.

Nº	Localidad y símbolo	Material original	Uso del suelo
1	SIP - Sigüeiro	Esquisto pelítico	Prado permanente
2	SIC - Sigüeiro	Esquisto pelítico	Cultivo
3	MAP - Mabegondo	Esquisto pelítico	Prado permanente
4	MAC - Mabegondo	Esquisto pelítico	Cultivo
5	LSP - La Silva	Gabro	Prado temporal
6	LSC - La Silva	Gabro	Cultivo
7	MOP - Monforte	Sedimento arcilloso	Prado temporal
8	MOC - Monforte	Sedimento arcilloso	Cultivo
9	BOP - Bonxe	Sedimento arcilloso	Cultivo
10	BOC - Bonxe	Sedimento arcilloso	Cultivo
11	CAP - Castro	Sedimento	Cultivo
12	CAC - Castro	Sedimento	Cultivo
13	RAP - Raigoso	Sedimento arcilloso	Prado permanente
14	RAC - Raigoso	Sedimento arcilloso	Cultivo
15	BAP - Barreiro	Caliza	Prado temporal
16	BAC - Barreiro	Caliza	Cultivo
17	COP - Croa	Sedimento arcilloso	Prado temporal
18	COC - Croa	Sedimento arcilloso	Prado temporal
19	TUP - Tumbo	Sedimento arcilloso	Prado permanente
20	ARB - Arneiro	Sedimento arcilloso	H. subsuperf. (Bg)

En la tabla 1 se presenta información acerca del origen de los suelos estudiados. Las muestras incluían un amplio rango de texturas, gruesas, medias y finas, si bien predominaban las muestras de textura media, franca, franco-arenosa y franco-limosa. En ambos casos el tamaño de los agregados individuales usados en las medidas era de 2-3 mm.

La distribución del tamaño de poro en seco se determinó con la técnica de intrusión de Hg. La medida se llevó a cabo en alicuotas de 1,7-2g formados por agregados de 2-3 mm. Se utilizó un porosímetro modelo Micromeritics 9310 con dos unidades, una para macropo-

ros y otra para microporos, que permite operar desde 3×10^{-3} hasta 200 mPa (Fiès y Bruand, 1990).

Asumiendo que los poros son cilíndricos, el diámetro equivalente medio, d , se calcula a partir de la presión, P , ejercida para forzar la entrada de Hg, la tensión superficial, σ , y el ángulo de contacto, Θ según:

$$d = -\frac{4\sigma \cos\Theta}{P} \quad (1)$$

Con este dispositivo empleado se miden diámetros equivalentes entre 415 μm y 60 nm; para efectuar los cálculos se empleó un valor

medio de $\Theta = 130^\circ$, y $\sigma = 0,484 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$.

Para efectuar la medida, la muestra de suelo se introduce en un dilatómetro y se lleva a la unidad de macroporos en donde se realiza el llenado con Hg, una vez eliminado el aire mediante vacío. La unidad de macroporos permite ir aplicando presiones crecientes hasta alcanzar la presión atmosférica y de esta forma se analizan los poros de diámetro comprendido entre 415 y 4 μm . Posteriormente el dilatómetro, con la muestra embebida en Hg, se lleva a la unidad de microporos en donde la presión máxima que se alcanza es de 2 Kg cm^{-2} y en consecuencia permite medir poros de hasta 60 nm de diámetro. Los datos finales se elaboran mediante un programa de ordenador, a partir del cual se obtienen las siguientes variables: volumen total de poro, radio del mismo y distribución de poros según tamaños.

Las curvas características de humedad se determinaron en fase de desecación. Previamente a la determinación, los agregados se saturaron a vacío parcial (-70 kPa), utilizando un aparato de Richards modificado. Después de la saturación, las muestras de suelo se equilibran durante 48 horas a cada uno de los siguientes potenciales: -5, -10, -50, -100, -300, -1000, -1500 kPa.

A partir de las curvas características de humedad, el agua útil se obtuvo por diferencia entre el contenido hídrico a -10 kPa y a -1500 kPa. Paralelamente, el agua útil se evaluó a partir de las curvas de intrusión de Hg por diferencia entre la porosidad de diámetro equivalente comprendido entre 50 y 2 μm o porosidad de almacenamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del espacio poroso en seco : porosimetría de Hg

En la bibliografía se encuentra un número muy elevado de diferentes clasificaciones con terminología variable para separar los distintos entornos de tamaño de poro del suelo de

acuerdo con las funciones que estos cumplen (Kubierna *et al.*, 1963; Brewer, 1964; Scheffer y Schachtschabel, 1970; Smart, 1975; Greenland, 1977). Es sorprendente que todavía no exista una terminología aceptada internacionalmente.

Por su interés en relación con la retención de agua, destaca la de Scheffer y Schachtschabel (1970), quienes establecen tres tipos de poros según su función: drenaje rápido ($>$ de 50 μm), retención de agua útil (50-2 μm) y retención de agua no utilizable ($<$ de 0,2 μm).

Otra clasificación utilizada con frecuencia es la de Greenland (1977), quien distingue las siguientes categorías de poros: de transmisión (500-50 μm), de almacenamiento (50-0,5 μm) y residuales ($<$ de 0,5 μm).

Ejemplos de distribución de tamaño de poro obtenida por intrusión de Hg se pueden observar en la Fig. 1, en la que se representa tanto el volumen acumulativo de Hg inyectado en función del diámetro de poro, como la pendiente de la curva anterior, es decir, la distribución de frecuencias del Hg en cada entorno de tamaño. Se aprecia un claro predominio de una sola fase de entrada de Hg, de modo que la distribución del tamaño de poro podría describirse como unimodal. Sin embargo se observaron excepciones en algunos suelos (Fernández Rueda, 1997).

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los datos de porosimetría, que incluyen tanto el volumen total de Hg que ocupa los poros de cada una de las muestras, como la cantidad del mismo que corresponde a los diversos intervalos de tamaño de poro, según la clasificación de Greenland (1977); también figura en esta tabla el diámetro equivalente medio, calculado por ponderación a partir de las curvas de porosimetría.

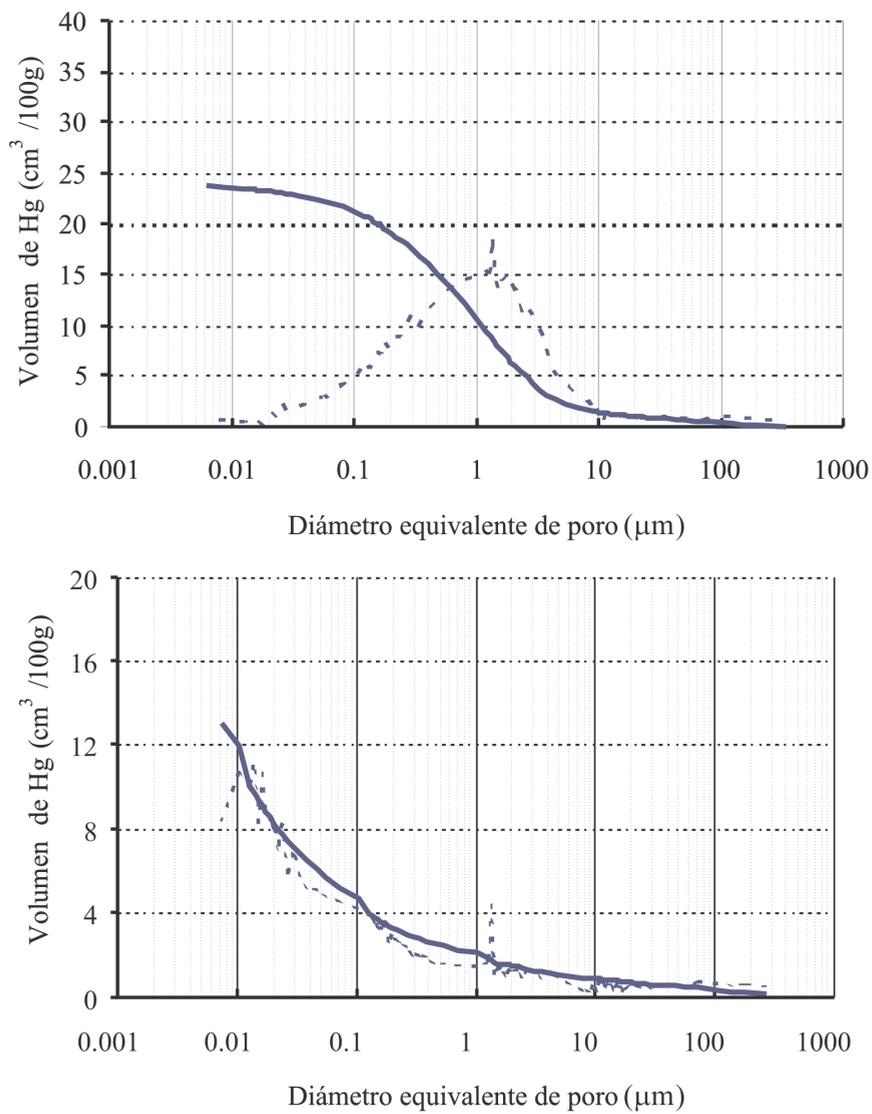


FIGURA 1. Ejemplos de curvas de intrusión de Hg de un suelo de textura media (superior) y en un suelo de textura arcillosa (inferior).

TABLA 2. Composición de los horizontes estudiados ((1) = pH en H₂O; (2) = pH en KCl; C = carbono; M. O. = materia orgánica; A G = arena gruesa; A F = arena fina; L G = limo grueso; L F = limo fino; P = arcilla; T = Textura).

Nº	pH (1)	pH (2)	C (%)	M. O (%)	A G (%)	A F (%)	L G (%)	LF (%)	P (%)	T
1 SIP	5,1	4,1	2,24	3,85	25,9	28,3	10,7	20,2	14,9	fa
2 SIC	4,9	4,0	2,83	4,87	27,3	30,7	11,7	15,9	14,4	fa
3 MAP	5,0	4,2	4,39	7,55	3,1	8,0	10,7	57,4	20,8	fl
4 MAC	5,1	4,2	2,02	3,47	9,2	14,3	18,4	41,7	16,4	fl
5 LSP	5,1	4,6	5,96	10,2	24,8	15,4	13,4	34,0	12,4	f
6 LSC	4,9	4,6	7,58	13,0	26,6	14,9	13,5	31,3	13,7	f
7 MOP	5,6	4,3	1,48	2,25	14,0	25,8	20,2	27,0	13,1	f
8 MOC	7,5	6,7	1,18	2,03	12,5	23,1	21,4	29,1	18,0	f
9 BOP	5,2	4,3	3,78	6,50	21,3	28,2	13,5	19,0	18,1	f
10 BOC	5,1	4,2	2,79	4,80	21,4	28,6	12,7	19,2	16,5	f
11 CAP	5,4	4,5	7,14	12,2	34,3	22,5	10,3	16,4	16,5	fa
12 CAC	5,6	4,9	3,80	6,50	34,3	26,9	11,9	13,7	13,2	fa
13 RAP	4,0	3,5	4,63	7,96	4,0	8,5	17,2	49,3	21,0	fl
14 RAC	4,3	3,5	3,55	6,11	10,3	10,1	20,4	42,1	17,1	fl
15 BAP	7,4	7,2	1,99	3,42	27,1	20,6	18,2	25,0	9,1	f
16 BAC	7,2	6,5	1,70	2,92	22,9	22,6	19,0	26,8	8,7	f
17 COP	5,0	4,7	1,95	3,35	5,6	7,1	5,4	16,5	65,4	p
18 COC	4,4	4,3	2,16	3,72	4,9	4,8	5,7	17,8	66,8	p
19 TUP	5,3	4,7	3,22	5,54	15,9	23,4	13,3	22,4	25,0	f
20 ARB	5,3	4,3	0,39	0,67	26,1	11,3	6,9	15,9	39,8	fp

La serie de datos estudiada permitió analizar el efecto de la composición del suelo, contenido en materia orgánica y textura sobre la distribución de tamaño de poro.

En relación con la materia orgánica se observaron las siguientes relaciones, al comparar pares de muestras tomadas en parcelas vecinas con distinto uso del suelo:

1) En pares de muestras con textura idéntica y contenidos similares en materia orgánica (Sigüeiro, Bonxe y A Croa), el volumen total de Hg intruido también resultó ser del mismo orden de magnitud.

2) En pares de muestras con textura similar y contenidos en materia orgánica diferentes,

la muestra con mayor contenido en materia orgánica presenta mayor porosidad total. Así ocurre en La Silva, Monforte, Bonxe y Castro.

El volumen total de poros y las distintas fracciones granulométricas no presentaron una correlación significativa. Este resultado, resulta digno de reseñar teniendo en cuenta la amplia gama de textura de los suelos estudiados. Sin embargo, si se consideran únicamente los suelos de texturas gruesas y medias (muestras número 1 a 16) se aprecia que la materia orgánica es una variable que explica, en buena parte, la varianza del volumen total, ya que se obtiene un coeficiente de correlación ($r^2 = 0,45$), significativo para un nivel de $P < 0,05$.

TABLA 3. Porosidad total, de transmisión, almacenamiento, residual y diámetro equivalente de 20 horizontes, de acuerdo con los datos obtenidos por intrusión de Hg (Porosidad total y para distintos intervalos en $\text{cm}^3/100\text{g}$; Diám. equi., es el diámetro equivalente en μm).

	Total	> 50 μm	50 a 0,5 μm	< 05 μm	Diám. equi. (μm)
1 SIP	29,3	1,0	17,6	10,7	2,10
2 SIC	28,5	0,7	17,2	10,6	1,61
3 MAP	32,6	0,5	21,9	10,2	1,14
4 MAC	27,2	0,5	15,5	11,2	0,90
5 LSP	31,8	0,9	18,7	12,2	2,37
6 LSC	43,3	1,3	31,8	11,2	3,64
7 MOP	21,2	0,5	14,3	6,4	1,15
8 MOC	17,9	0,5	9,7	7,7	0,99
9 BOP	34,0	1,0	24,2	8,8	2,37
10 BOC	23,8	0,9	14,2	8,7	2,19
11 CAP	41,0	3,7	30,0	7,3	7,38
12 CAC	35,7	2,4	27,2	5,8	4,95
13 RAP	50,2	2,2	33,9	14,1	3,58
14 RAC	36,5	0,7	22,2	13,6	1,73
15 BAP	24,8	2,3	19,4	3,1	5,59
16 BAC	24,7	1,2	19,9	3,6	2,95
17 COP	12,0	0,7	2,3	9,0	0,65
18 COC	13,5	0,5	1,9	11,1	0,49
19 TUP	24,4	1,1	11,9	11,4	2,93
20 ARB	11,9	0,4	1,2	10,3	0,59

En relación con los datos de diámetro equivalente, consignados en la Tabla 3, hay que destacar el hecho de que pares de muestras tomadas en la misma localidad, bajo distinta dedicación del suelo, presenten siempre diferencias importantes entre ellas; esto se cumple incluso cuando el contenido en materia orgánica y la porosidad total, obtenida por intrusión de Hg, son similares. Por esta razón, el diámetro equivalente parece ser un parámetro más adecuado que la porosidad total para caracterizar el efecto global de la dedicación, y por lo tanto de distintos contenidos en materia orgánica, sobre la organización de los agregados a escala textural.

El volumen que ocupan los poros de

transmisión, almacenamiento y residuales (tabla 3) presenta una relación de dependencia con la textura y la composición orgánica. La importancia de los poros de transmisión es escasa; en una de las muestras (la de Castro, bajo pradera) su volumen llega a alcanzar $4,7\text{g}/100\text{g}$, pero en 13 de las 20 muestras analizadas la porosidad de transmisión es igual o inferior a $1\text{g}/100\text{g}$.

En los agregados de los suelos estudiados predomina bien la porosidad de almacenamiento (cuando la textura es franca, franco-arenosa y franco-limosa) o bien la porosidad residual (en las muestras de textura arcillosa); en el suelo de Tumbo, por último, el volumen ocupado por los poros de almacenamiento y re-

siduales es similar. La porosidad de almacenamiento disminuye con el contenido en arcilla; el coeficiente de correlación entre ambas variables, si se considera el conjunto de 20 horizontes con datos de intrusión de Hg, ($r^2 = 0,45$) resulta significativo ($P < 0,05$). La porosidad de almacenamiento también está correlacionada con el carbono total, siendo el valor del coeficiente de correlación, ($r^2 = 0,46$), muy similar al anterior.

Comparando pares de muestras con granulometría similar se pone de manifiesto que un aumento del contenido en materia orgánica determina que se acreciente el volumen ocupado por los poros de almacenamiento (La Silva, Monforte, Bonxe, Castro y A Croa). Se comprueba por tanto, en un conjunto de suelos con una amplia gama de texturas, el importante efecto de materia orgánica sobre los poros cuyo entorno de tamaños cumple la función de almacenamiento.

La porosidad residual, por el contrario, se hace más importante (en términos relativos) conforme aumenta el contenido en arcilla. En los suelos estudiados oscila entre 3,1g /100g (en el horizonte de Barreiro dedicado a prado) y 14,1g /100g (en el horizonte de Raigoso dedicado a prado); en valores relativos puede llegar a alcanzar un 12,5% (en el horizonte B del suelo de Arneiro). En pares de muestras de la

misma localidad la porosidad residual se mantiene relativamente constante, no apreciándose diferencias significativas cuando varía el contenido en materia orgánica.

De acuerdo con un modelo propuesto por Fiès (1984) y ampliamente aceptado, la disminución de porosidad lagunar es el resultado de un aumento del contenido en arcilla. En los suelos estudiados se aprecian importantes diferencias de porosidad lagunar que no corresponden a una variación de textura significativa. En particular destaca la oscilación de la porosidad lagunar para muestras con contenidos en arcilla similares, es decir entre pares de muestras obtenidas en parcelas vecinas con distinta dedicación y, por lo tanto, diferentes en cuanto a su estatus orgánico.

Por contra, no se apreciaron modificaciones de la porosidad asociada a la fase arcillosa entre muestras con distinta dedicación y similar textura. Por lo tanto, diferencias de contenido en materia orgánica no parecen afectar a este entorno de tamaños de poro.

Caracterización del espacio poroso en húmedo: curvas de pF

Las curvas características de humedad, que se determinaron entre condiciones próximas a saturación (0,3 kPa) y punto de marchitez (1.500 kPa).

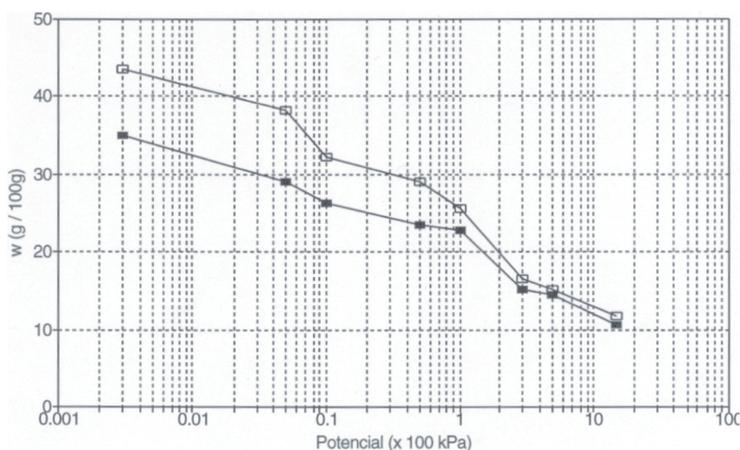


FIGURA 2. Ejemplos de curvas características de humedad.

Se presenta un ejemplo en la Fig. 2, para muestras procedentes de la misma localidad y con distinta dedicación y contenido en materia orgánica. En la tabla 4 se presentan, los resultados de contenido hídrico a saturación, capacidad de campo (10 kPa), punto de marchitez (1.500 kPa) así como el agua útil, obtenida por diferencia entre estos dos límites, para los 20 horizontes estudiados.

Al comparar pares de horizontes con similar textura y distinta dedicación, también se aprecia el efecto de la materia orgánica incrementando la reserva de agua útil. En muestras con textura similar y diferencias significativas de materia orgánica, la oscilación de agua útil se cifra entre 2,2g / 100g en el suelo de Monforte y 4,8g / 100g en el suelo de Bonxe. Sin embargo, aún cuando el contenido en materia orgánica no sea muy diferente, se pueden observar, como ocurre en Sigüeiro, diferencias de agua útil entre dedicaciones de hasta 4g / 100g. Cuando oscila entre pares de muestras no sólo el contenido de materia orgánica sino también la cantidad de arcilla, como en Mabegondo y

Raigoso, las diferencias en las reservas de agua útil son mucho más elevadas, fijándose en 12,9g / 100g y 14,3g / 100g respectivamente.

En síntesis, a la escala estudiada, el agua útil de los horizontes analizados oscila entre 6g / 100g en el horizonte B de A Croa y 32,4 en el suelo de pradera de Raigoso. Se aprecian dos grupos de horizontes con reservas de agua útil relativamente poco importantes a esta escala: por una parte, los suelos de textura arcillosa (A Croa, horizonte B de Arneiro) y, por otra, algunos horizontes superficiales de textura ligera (Arneiro, Matodoso y Castro) que incluso pueden presentar contenidos en materia orgánica elevados.

Evaluación del agua útil a partir de intrusión de Hg y curvas de pF

Al comparar el volumen de agua útil con el volumen ocupado por la porosidad de almacenamiento obtenida por intrusión de Hg, se aprecia un comportamiento diferente según la textura del suelo, como ponen en evidencia los resultados presentados en la Fig. 3.

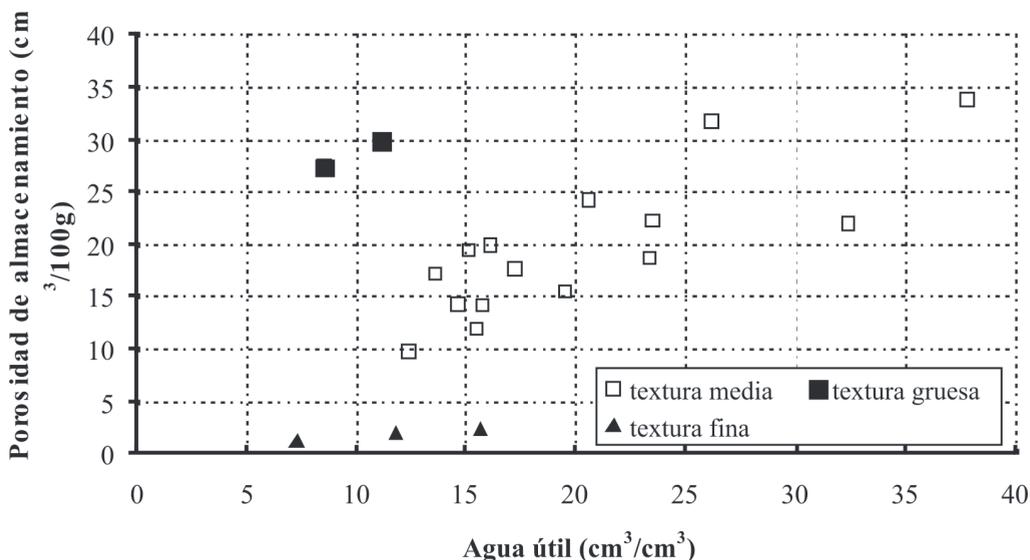


FIGURA 3. Relación entre el agua útil obtenida por intrusión de Hg y curvas características de humedad.

En efecto, en los tres suelos de textura arcillosa el volumen de agua útil es muy superior al ocupado por los poros de almacenamiento; estas diferencias se explican teniendo en cuenta que la porosidad obtenida por intrusión de Hg se determina en seco, mientras que las curvas de pF se determinan en húmedo. Se constata, por tanto, que en los suelos arcillosos el volumen de agua útil es muy superior al ocupado por los poros de almacenamiento; estas diferencias se explican, en parte, teniendo en cuenta que la porosidad obtenida por intrusión de Hg se determina en seco, mientras que las curvas de pF se determinan en húmedo. En húmedo, es necesario tener en cuenta el efecto de la expansión de los agregados que disminuye el volumen específico y aumenta la porosidad, mientras que en la muestra seca la porosidad disminuye.

También se observa que en las dos muestras de textura ligera por el contrario la porosidad de almacenamiento es más elevada que el volumen ocupado por el agua útil lo que puede estar en relación con diferencias importantes de textura entre los agregados redondeados utilizados para la determinación en seco y los agregados usados para la determinación en húmedo.

En síntesis, para las 15 muestras de textura media se aprecia una correlación significativa entre el volumen del espacio poroso obtenido con dos medidas ($r^2 = 0,64$), lo que contrasta con la baja correlación, no significativa, ($r^2 = 0,29$), cuando se consideran 20 muestras.

CONCLUSIONES

En suelos de cultivo de textura media, el volumen de agua útil determinado a partir de las curvas características de humedad y la porosidad de almacenamiento obtenida por intrusión de mercurio presentaron una correlación significativa. Por el contrario el agua útil resultó ser muy inferior a la porosidad de almacenamiento en muestras de textura gruesa y

más elevada en muestras de textura fina.

En muestras de textura similar, el volumen ocupado por los macro- y mesoporos, tanto si se evalúa mediante porosimetría de intrusión de Hg como a partir de las curvas de pF, aumenta conforme lo hace el contenido en materia orgánica.

REFERENCIAS

- Brewer, R., (1964). Fabric and mineral analysis of soil. Jhon Wiley and Sons. New York.
- Fernández Rueda, M^a.J., (1997). Características físicas y mecánicas de suelos de cultivo. Tesis doctoral. Universidad de La Coruña. 283 pp.
- Fiés, J., (1984). Analyse de la répartition du volume des pores dns les assemblages argile-squelettes: comparaison entre un modèle d'espace poral tectural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4: 891-899.
- Fiés J. and Bruand, A., (1990). Textural porosity analysis of silty clay soil using pore volume balance estimation, mercury porosimetry and quantified backscattered electron scanning image (BESI). *Geoderma*, 47: 209-219.
- Greenland, D. J., (1988). Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent. *Phil. Trnas. Roy. Soc. Ser. B*, 281: 193-208.
- Kubiena, W., (1963). Micromorphometric studies of soil pores. *An. Edafol. Agrobiol.*, 22: 551-567.
- Scheffer, R. L. and Schachtschabel, P., 1970. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Enke Verlag, Stuttgart. 186 pp.
- Smart, P., (1975). Soil microstructure. *Soil Sci.*, 199: 384-393.
- Stengel, P., (1990). Caractérisation de l'état structural, objectifs et méthodes. In: Boiffin, J., and Marin La Fleche, A.,

(Eds), La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques et maîtrise par l'agriculteur. Colloques de l'INRA. pp. 15 - 36.