

MEDIDA DE CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD EN LABORATORIO Y SU ESTIMACION

MARTINEZ-FERNANDEZ, J.

Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca.
Cervantes 3. 37007 - SALAMANCA.

Resumen

Se expone un diseño experimental y metodológico que permite, a partir de la medición en laboratorio de nueve puntos de la relación $\theta(pF)$, el cálculo de la curva de retención de humedad, y su estimación completa mediante un modelo paramétrico. Se lleva a cabo la medición y estimación de curvas de retención en diferentes tipos de suelos y materiales, así como la posibilidad de analizar el fenómeno de la histéresis.

Introducción

La relación entre el contenido de humedad, θ , y la succión, ψ (potencial matricial), necesaria para extraerla, es una propiedad básica del suelo, de una importancia tal que justifica el nombre de humedad característica, como en ocasiones se le denomina. La curva de retención hídrica, $\theta(\psi)$, refleja la capacidad de un suelo, o cualquier otro medio poroso, para retener el agua en función de la succión (tensión) ejercida. Se expresa también como $\theta(pF)$, siendo pF el logaritmo del potencial matricial, expresado en centímetros de carga hidráulica equivalente y en valores absolutos. Esta relación es fuertemente no-lineal y está afectada por el fenómeno de la histéresis (Koorevaar, *et al.*, 1983).

Las curvas de retención de humedad se utilizan principalmente para (Stakman, 1980): determinar un índice de humedad disponible en el suelo, es decir, la porción de agua que puede ser absorbida por las plantas; estimar determinados valores de humedad característicos de la relación suelo-agua-planta, como la capacidad de campo o el punto de marchitamiento permanente; clasificar los suelos; detectar cambios en la estructura del suelo; y determinar la relación entre la tensión de la humedad del suelo y otras propiedades físicas.

La curva de retención de agua se puede determinar en el campo o en el laboratorio. La experimentación, en el primer caso, requiere la instalación de psicrómetros o tensiómetros, para el control del potencial del agua en el suelo, y de un dispositivo de medida de la humedad en el mismo punto, debiendo tener ambos un volumen de suelo de referencia similar.

En cuanto a la medida de la humedad, no presenta grandes dificultades, ya que el avance tecnológico y teórico en esta materia ha generado métodos adecuados y precisos (sonda de neutrones, TDR, etc.). Sin embargo, el control del potencial del agua del suelo reviste una mayor complejidad. Las medidas psicrométricas conciernen únicamente a la fase gaseosa de un medio poroso (Bruckler, 1984), por lo tanto, tiene que existir un equilibrio perfecto entre las fases gaseosa e hídrica. Si bien este método permite mediciones de potencial en un rango amplio (pF 2.7 a 4.8), no abarca toda la gama de valores presentes en el suelo, sobre todo, con elevados contenidos de humedad.

El uso de tensiómetros también presenta inconvenientes y restricciones. Estas provienen, sobre todo, de lo limitado de su rango de funcionamiento (de pF 0 a 2.9). Esto hace imposible su uso en medios deficitarios en agua. El fenómeno de la histéresis plantea también un problema de incertidumbre en cuanto a la medición *in situ* de curvas estrictamente de drenaje o humedecimiento (Kutilek & Nielsen 1994).

La medición de la curva de retención de agua en el campo, tiene como principal ventaja el estudio del proceso en condiciones naturales. Sin embargo, las dificultades técnicas y teóricas mencionadas, así como la gran cantidad de tiempo necesaria para su realización, hacen que no siempre sea viable.

La determinación de la curva de retención de agua en el laboratorio se presenta, pues, como una alternativa que pretende soslayar parte de las dificultades anteriormente citadas. Las restricciones de esta alternativa pueden ser más asumibles, debido al control que se tiene sobre las variables que intervienen. En el presente trabajo se expone una metodología que permite el trazado de la curva de retención de agua a partir de la medida de un número apropiado de puntos de la misma. Se trata de un dispositivo experimental que permite trabajar con bastantes muestras de suelo simultáneamente, consiguiendo con esto que las necesidades de tiempo, considerables en procesos de este tipo, sean mucho más ponderadas.

Material y método

Para la medición de la relación $\theta(\psi)$ en laboratorio se ha empleado el método del recipiente de tensión hídrica, combinado con la membrana a presión. El citado método se basa en el principio del medio poroso, que consiste en la aplicación de una succión al suelo a través de un medio poroso, variable en función de la tensión ejercida (Baver *et al.*, 1972; Hillel, 1984). Se fundamenta en la equiparación de la tensión de la humedad del suelo a una presión (negativa o positiva), aplicada a un medio poroso saturado en agua, con el que se encuentra en estrecho contacto (Stakman, 1980).

Existen diversos tipos de recipientes de tensión hídrica. A partir de los primeros diseños (Stakman *et al.*, 1969), han ido apareciendo distintas versiones con nuevas soluciones técnicas (Varallyay & Minorenko, 1979; Topp & Zebchuk, 1979; Viville & Ambroise, 1982; Ball & Hunter, 1988). En este trabajo se ha empleado la batería de recipientes desarrollada en el Laboratorio de Geomorfología de la Universidad de Murcia, tomando como base las soluciones técnicas propuestas por Viville y Ambroise (1982), con diversas modificaciones (Martínez-Fernández, 1990).

Este dispositivo permite medir simultáneamente en varias decenas de muestras con estructura conservada, los valores de la curva de retención de humedad de pF 0 a pF 2.7. El resto hasta pF 4.2 (15 Atm.), se completa con la utilización de la membrana a presión (Richards, 1947). Para valores extremadamente bajos de potencial (por encima de pF 4.2) se puede emplear un desecador. Sin embargo, las curvas obtenidas mediante ese aparato no pueden conectarse a las determinadas mediante recipientes de tensión o membrana a presión (Kutilek & Nielsen, 1994).

En total, este método permite medir hasta nueve puntos de la curva de retención, número más que suficiente para afrontar la estimación de la curva completa, que es el objetivo final. Para esto último se ha utilizado el modelo de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

donde h es la carga hidráulica (o potencial), θ , θ_s y θ_r son el contenido de humedad del suelo en función de h , a saturación y el residual, respectivamente; α , n y m son parámetros a estimar. Se ha empleado la modificación sugerida por Van Genuchten y Nielsen (1985), por la que $m = 1 - 1/n$, reduciendo así a dos el número de parámetros. Para realizar el ajuste se ha utilizado el algoritmo no lineal de optimización de parámetros de Freyer (1990).

Se han medido y estimado 83 curvas de retención de humedad, correspondientes a perfiles de suelos de distintos lugares del SE español, sobre diferentes materiales y tipos de suelos (Tabla 1).

Discusión y resultados

Las curvas medidas han sido agrupadas por localidades y se ha calculado la curva media para cada una de ellas. La capacidad de retención, es una propiedad de los suelos que presenta una baja o moderada variabilidad espacial (Martínez-Fernández, 1992). En los casos

estudiados queda patente esta cualidad, ya que, a excepción de la localidad Coloraos, en ningún caso se supera el 20% de coeficiente de variación (Tabla 1).

Nombre	Localización	Material	Suelo	N°	CV** (%)
Abanilla	Cuenca Río Chúcaro (Murcia)	margas	Regosol	5	8.7
Coloraos	Cuenca Río Chúcaro (Murcia)	margas, yesos	Regosol	4	21.9
Guillermo	Cuenca Rambla Salada (Murcia)	margas, arenas	Regosol	15	14.3
Petrer	Cuenca Río Vinalopó (Alicante)	margas	Regosol	15	17.7
Revelaos	Cuenca Rambla de Perca (Murcia)	coluvios calizos	Xerosol	10	5.7
Yéchar	Cuenca Rambla de Perca (Murcia)	margas	Regosol	12	4.0
Ardal	Cuenca Rambla de Perca (Murcia)	coluvios calizos	Xerosol	18	11.9
Petrocálcico	Cuenca Rambla de Perca (Murcia)	h. petrocálcico	---	2	---
Marga	Cuenca Rambla de Perca (Murcia)	margas	---	2	---

* - N = número de curvas

** - CV = coeficiente de variación

Tabla 1.- Localización y características de los casos analizados.

No es extraño encontrar análisis de la capacidad de retención hídrica de suelos, mediante la medición únicamente de dos puntos (1/3 y 15 Atm.), algo que resulta, cuando menos, incompleto. Con la metodología utilizada se obtienen experimentalmente nueve valores de la relación $\theta(pF)$. Se trata de un número suficiente para conseguir una idea precisa del aspecto de la curva, y analizar el comportamiento de esta propiedad hídrica. El conjunto de valores obtenidos para cada curva permitiría, incluso, la posibilidad de interpolar los datos para una aproximación más detallada (Voltz & Goulard, 1994).

Sin embargo, para el análisis de la dinámica hídrica de los suelos y su modelización, es necesario conocer la curva de retención de humedad completa. De ahí que el siguiente paso haya sido ajustar los valores experimentales al modelo paramétrico citado.

En todos los casos estudiados (Fig. 1) se observa un buen ajuste entre valores medidos y estimados, incluso entre curvas de materiales que se comportan de manera bien diferente como las margas o los coluvios calizos. En la tabla 2 aparece el valor estimado de cada uno de los parámetros del modelo, así como los estadísticos de la bondad del ajuste. El error de estimación es sumamente reducido en todos los casos, aún teniendo en cuenta aspectos que varían tanto de un caso a otro, como la pendiente de la curva o sus inflexiones.

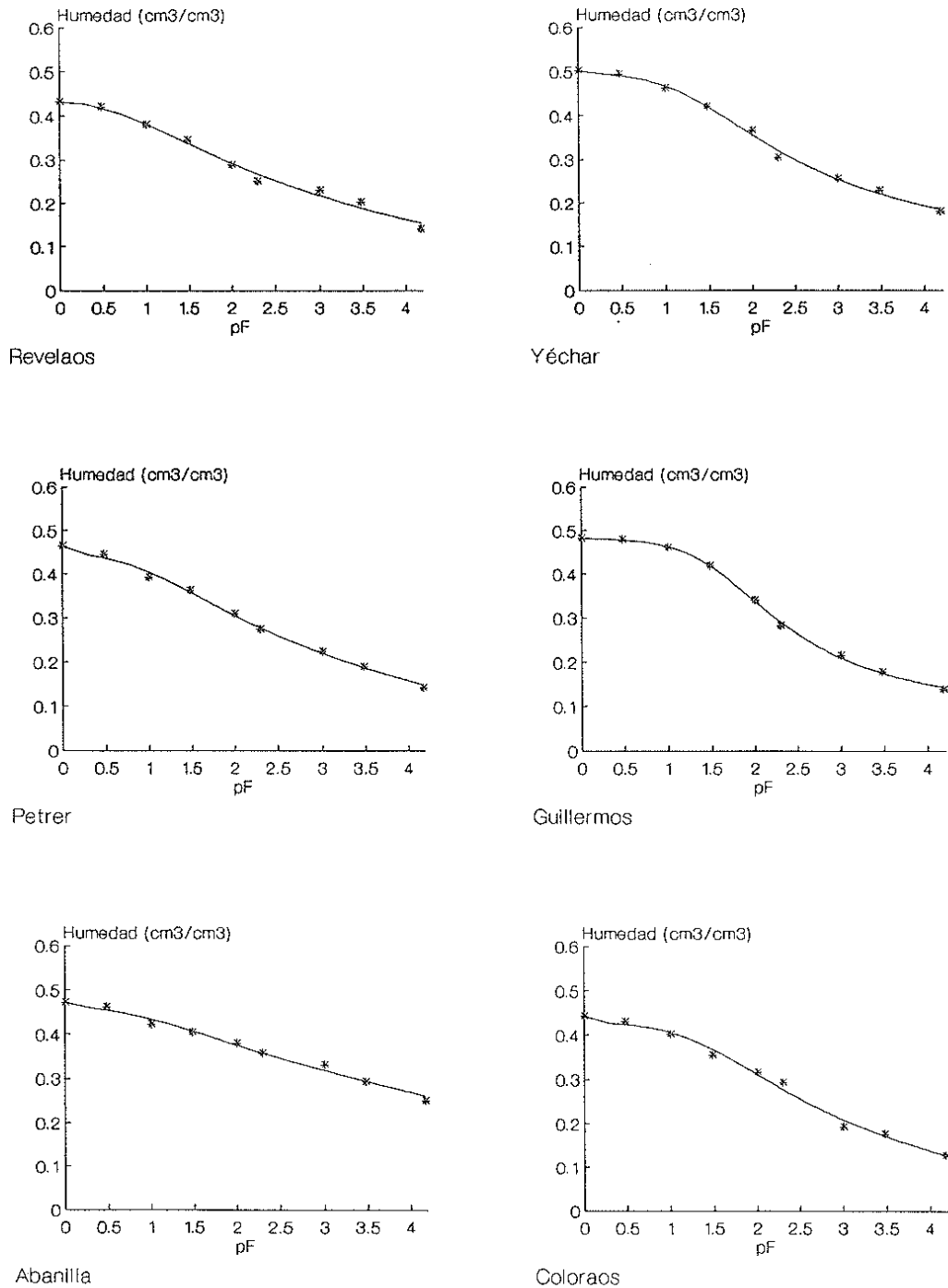


Figura 1.- Curvas medias de retención de humedad medidas (símbolos) y estimadas (líneas) de diferentes lugares del SE español.

La versatilidad del método permite medir las curvas de retención de diferentes tipos de materiales, aunque no sean estrictamente edáficos, a pesar de haberse diseñado específicamente para éstos. Son susceptibles de ser analizados diferentes materiales, teniendo como restricción casi única su velocidad de respuesta, en función de las características del espacio poroso de los mismos.

Curva pF	α^*	n^*	cuadrado residuos**	error estándar**
Abanilla	0.222	1.072	0.0004	0.004
Coloraos	0.054	1.180	0.0007	0.005
Guillermo	0.033	1.362	0.0001	0.002
Petrer	0.149	1.146	0.0003	0.003
Revelaos	0.255	1.129	0.0009	0.005
Yéchar	0.064	1.234	0.0005	0.004
Ardal	1.001	1.236	0.0002	0.002
Petrocálcico	0.004	1.047	0.0001	0.005
Marga	0.325	1.170	0.0029	0.026

* - α, n = parámetros de ajuste del modelo de Van Genuchten.

** - $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$

Tabla 2.- Estadísticos y parámetros del ajuste de las curvas a los datos experimentales.

En la figura 2 se muestran las curvas de retención de tres materiales distintos. Se trata de un suelo (Xerosol) del Campo Experimental de El Ardal (Murcia), el horizonte petrocálcico situado debajo y una margas miocenas procedentes de un afloramiento próximo a dicho campo. La experiencia fue llevada a cabo para analizar la diferente aptitud para almacenar agua, de los materiales presentes en el área, en un medio que, por sus condiciones ambientales semi-áridas, es muy sensible a la disponibilidad o no de agua.

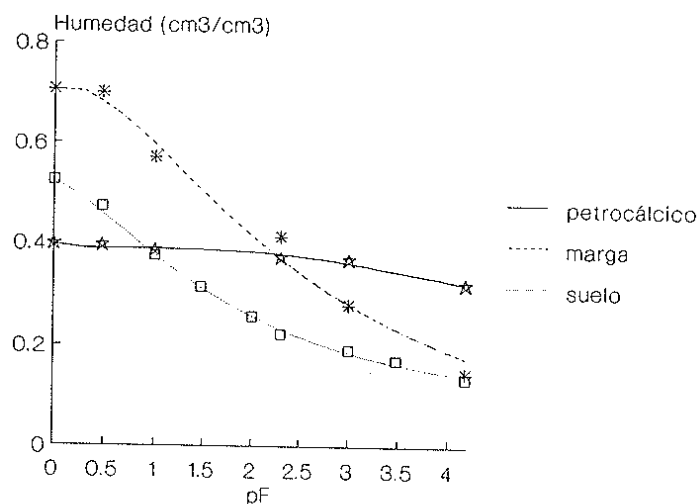


Figura 2.- Medida y estimación de la curva de retención de humedad en diferentes materiales: suelo, horizonte petrocálcico y marga.

El interés radica principalmente en la dinámica hídrica del horizonte petrocálcico, cuya presencia es muy común bajo los suelos calizos de los medios semi-áridos. Desde el punto de vista experimental, la única

diferencia radica en el tiempo necesario en cada medio poroso, para alcanzar el equilibrio con la tensión ejercida. Para los tres materiales el resultado ha sido satisfactorio (Tabla 2). Únicamente en el caso de la marga el ajuste ha sido algo más deficiente, aunque dentro de unos límites aceptables.

La principal consecuencia que se extrae de la experiencia, es la notable capacidad de retención de humedad del petrocálcico, aun en condiciones de elevado potencial (en términos de pF). Este comportamiento, fruto de una porosidad muy equilibrada, refleja una buena aptitud para el almacenamiento de agua aprovechable, en condiciones bioclimáticas de déficit hídrico.

Operando con una batería de recipientes de tensión hídrica, es decir, uno para cada valor de potencial, es posible analizar, también, el fenómeno de la histéresis en la capacidad de retención de humedad de un suelo. Únicamente hay que medir las curvas que resultan de iniciar el proceso a partir de una misma muestra saturada y posteriormente drenada. La medición de esta propiedad en el campo es extremadamente compleja, por la dificultad que entraña determinar con precisión cuando una curva es de drenaje o de humedecimiento. Además, se produce una reducción en la magnitud de la variación de θ , cuando la absorción se interrumpe y comienza el drenaje y viceversa (Kutilek y Nielsen, 1994).

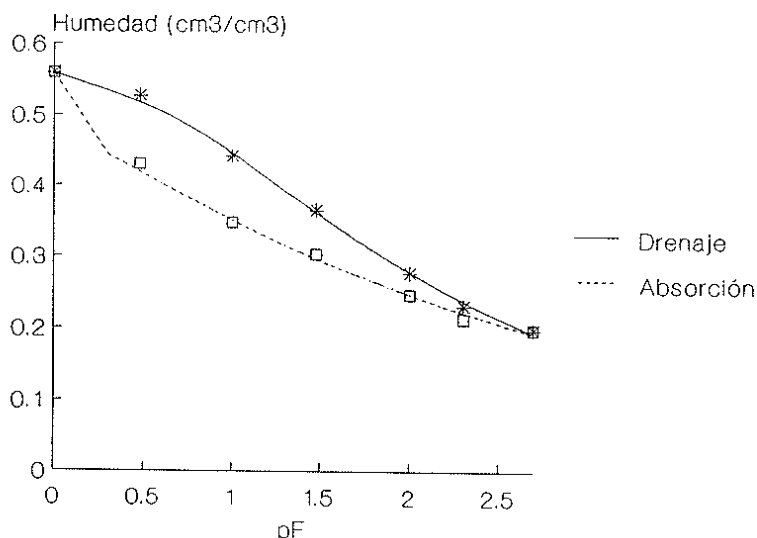


Figura 3.- Estimación de la histéresis. Curvas de drenaje y absorción entre pF 0 y 2.7 de un suelo (Xerosol) del Campo Experimental de El Ardal (Murcia).

Si bien el diseño experimental no permite la medición de las curvas principales, es posible, al menos, la determinación de la magnitud del fenómeno entre pF 0 y 2.7. Se trata, por tanto, de un rango que sobrepasa el que va entre el contenido de humedad a saturación y a capacidad de campo. En la figura 3 se muestra un ejemplo característico de las curvas de histéresis de un suelo del Campo Experimental de El Ardal (Murcia). En este caso, las curvas presentan un mismo valor de

humedad para pF 2.7, algo que no ocurre en la realidad. Esto se debe a que se ha situado en ese punto el final del drenaje y el inicio de la absorción, de ahí la coincidencia entre ambos valores.

Conclusiones

Con el dispositivo experimental y el diseño metodológico expuesto, es posible llevar a cabo la medición y estimación de la curva de retención de humedad del suelo completa. La combinación del recipiente de tensión hídrica con la membrana a presión, permite obtener experimentalmente un número suficiente de puntos de la curva, para calcularla en toda su extensión de una manera adecuada y precisa.

Materiales bastante distintos, y no necesariamente edáficos, pueden ser objeto de modelización de su comportamiento hídrico en condiciones no saturadas, mediante la metodología utilizada. Asimismo, es posible abordar algo tan complejo e inédito como el fenómeno de la histéresis.

Referencias

- BALL, B.C. & HUNTER, R. (1988). The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. *Geoderma*. 43. 195-212.
- BAVER, L.D., GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. (1972). *Soil Physics*. Ed. J. Wiley & Sons. 495 pp.
- BRUCKLER, L. (1984). Utilisation des micropsychromètres pour la mesure du potentiel hydrique du sol en laboratoire et in situ. *Agronomie*. 4. 171-182.
- FREYER, J.I. (1990). *Simplex: Non-linear curve fitting algorithm*. F.G.B.L. University of Amsterdam. Report no. 39. 17 pp.
- HILLEL, D. (1984). *L'Eau et le Sol. Principes et Processus Physiques*. Ed. CABAY. 288 p.
- KOOREVAAR, P., MENELIK, G. y DIRKSEN, C. (1983). *Elements of Soil Physics*. Elsevier Ed. 227 pp.
- KUTILEK, M. y NIELSEN, D.R. (1994). *Soil Hydrology*. Catena Verlag. 370 pp.
- MARTINEZ-FERNANDEZ, J. (1990). Estudio de las características hidrodinámicas de los suelos: El método del recipiente de tensión hídrica. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*. Teruel. Vol. II. 699-708.
- MARTINEZ FERNANDEZ, J. (1992). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo. Cuenca de la Rambla de Perea, Murcia*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 232 pp.
- RICHARDS, L.A. (1947). Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agric. Eng.* 28. 451-454.
- STAKMAN, W.P. (1980). Measuring soil moisture. In: *Drainage Principles and Applications*. Vol. III. ILRI. Wageningen. 221-251.
- STAKMAN, W.P., VALK, G.A. & VAN DER HARST, G.G. (1969). *Determination of soil moisture retention curves. I. Sand box apparatus. Range pF 0 to 2.7*. I.C.W. 19 pp.
- TOPP, G.C. & ZEBCHUK, W.D. (1979). The determination of soil water desorption curves

- for soil cores. *Canadian J. of Soil Sci.* 59. 19-26.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44. 892-898.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. & NIELSEN, D.R. (1985). On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Annales Geophysicae.* 3. 615-628.
- VARALLYAY, G. & MIRONENKO, E.V. (1979). Soil-water relationships in saline and alkali conditions. *Agrokémia es Talajtan.* 28 (Suppl.) 33-82.
- VIVILLE, D. & AMBROISE, B. (1982). Détermination des courbes de rétention hydrique des sols par la méthode du bac à sable et à kaolin ($pF \leq 2.7$). *Rech. Géographiques à Strasbourg.* 19-21. 253-256.
- VOLTZ, M.; GOULARD, M. (1994). Spatial interpolation of soil moisture retention curves. *Geoderma.* 42. 109-123.

