

TRES MODELOS PARA LA CURVA TENSION-HUMEDAD EN ALGUNOS TIPOS DE SUELOS

María Elena Ruiz Pérez*, Angel Utset Suástegui*, Andrés Lau Quan*, Julián Herrera Puebla**, María Antonia Llanos**

* Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH).

** Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD).

RESUMEN

Se comparan los modelos de retención de agua de Gardner, de Brooks y Corey y de Van Genuchten para diferentes suelos y se obtiene el mejor ajuste para el modelo de Van Genuchten. Se ofrecen los valores de los parámetros para este modelo para algunos agrupamientos cubanos.

ABSTRACT

Water retention models of Gardner; Brooks and Corey and Van Genuchten are compared for different soils. The better adjust is obtained for Van Genuchten model. There are shown the values of the Van Genuchten parameters for some kinds of cuban soils.

INTRODUCCIÓN

La capacidad que tiene el suelo de retener el agua es reconocida como una de sus propiedades que hace posible la vida de las plantas al propiciarle agua necesaria durante el período de tiempo que media entre las lluvias o los riegos.

Esta propiedad puede explicarse de forma sencilla por el hecho de que el suelo constituye un medio poroso que, desde el punto de vista físico, está formado en primera aproximación por un conjunto de tubos capilares o también llamados "cuellos de botellas" (Dullien y col., 1974) de diferentes diámetros; estos tubos (poros) en virtud de los fenómenos de capilaridad y tensión superficial, retienen el agua. Si se ejerce en el suelo una succión dada, el agua va abandonando los poros de mayor radio hasta un cierto límite, y en dependencia del valor de dicha succión y del volumen de los poros de radio menores que ese cierto límite, en el suelo quedará una humedad determinada.

El valor de la succión (tensión) puede obtenerse experimentalmente mediante aparatos tales como el tensiómetro y la prensa Richards, y el de la humedad por método gravimétrico o mediante la sonda de neutrones. Con el conjunto de valores de tensiones y humedades es posible construir un gráfico que recibe el nombre de curva tensión-humedad o curva característica, la cual expresa la influencia de la estructura, la porosidad, la distribución de poros y la adsorción sobre el agua en el suelo (Hillel, 1971).

El ajuste de un modelo analítico a la curva tensión-humedad permite estimar valores no medidos experimentalmente y por tanto la determinación de magnitudes tales como la capacidad de campo, la microporosidad, el agua aprovechable, la conductividad hidráulica no saturada y otras.

Por otra parte, las funciones tensión-humedad, cada una de las cuales expresa analíticamente un modelo, y la conductividad hidráulica, permiten a partir de la ecuación de Richards (Richards, 1931) estimar y/o predecir procesos como la infiltración, el drenaje, la evaporación y otros.

En el presente trabajo se exponen los modelos de Gardner (1970), Brooks y Corey (1964; 1966) y Van Genuchten (1980) valorándose el ajuste a los datos experimentales de cada uno a partir de la suma de cuadrados residual media. Finalmente se brindan los valores de los parámetros del modelo de Van Genuchten para algunos agrupamientos de suelos cubanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El primer modelo considerado en este estudio para la curva tensión-humedad es el de Gardner (1970) cuya ecuación es

$$\theta = a h^{-b} \quad [1]$$

donde a y b: parámetros para el ajuste a los datos experimentales.

θ : humedad

h: tensión

Este modelo ha sido empleado por Herrera y col., (1985) y resulta un caso particular del planteado por Brooks y Corey (1964; 1966) para cuando la humedad residual θ_r se considera cero.

El modelo de Brooks y Corey plantea

$$\theta = \begin{cases} \theta_r + (\theta_s - \theta_r) (h/h_b)^{-\lambda} & \text{para } h/h_b \geq 1 \\ \theta_s & \text{para } h/h_b < 1 \end{cases} \quad [2]$$

donde

θ_r : humedad residual (humedad resultante para tensiones muy altas),

θ_s : humedad de saturación,

h : tensión,

h_b : tensión de burbujas (tensión para la cual el aire comienza a desplazar el agua en los poros del suelo,

λ : parámetro de distribución de poros.

Como se observa, esta función plantea una variación brusca de θ con h para $h = h_b$. Según Van Genuchten y Nielsen (1985) esto no se observa para curvas tensión-humedad obtenidas "in situ" en las cuales las variaciones de θ con h resultan suaves y continuas.

La humedad residual θ_r resulta indispensable para la utilización de [2]; sin embargo, en la práctica sólo se dispone de una parte de la curva tensión-humedad. Mualem (1976) propone un algoritmo para su estimación.

Como segundo modelo a analizar está el que emplea la ecuación [2] estimado θ_r según Mualem (1976). Para la determinación de λ , h_b y θ_r se elaboró un programa en lenguaje Turbo Pascal soportado sobre MS-DOS para microprocesadores IBM compatibles.

El tercer modelo. (Van Genuchten, 1978; 1980) emplea una función sigmoideal para la curva tensión-humedad la cual contempla variaciones continuas y suaves de θ con h para todo el rango de humedades en la zona cercana a la saturación. La expresión analítica correspondiente es

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad [3]$$

donde α , m y n : parámetros para el ajuste a los datos experimentales.

Para la determinación de los parámetros y de θ_r se utilizó el programa SOHYP (Van Genuchten, 1978) en lenguaje FORTRAN IV adaptado para su empleo en microprocesador IBM compatible.

Un total de 97 conjuntos de datos tensión-humedad para suelos Ferralíticos, Aluviales, Pardos, Arenosos y Oscuros Plásticos, ubicados en diferentes provincias del país fueron obtenidos en una prensa Richards y facilitadas por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD).

Como criterio de ajuste y comparación se utilizó la suma de cuadrados residual media (SCRM) definida por

$$SCRM = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{est} - \theta_{exp})^2}{n'} \quad [4]$$

donde

- n' : número de pares de datos tensión-humedad,
- θ_{est} : valor de humedad estimado por el modelo,
- θ_{exp} : valor de humedad determinado experimentalmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan los valores medios SCRM correspondientes a los tres modelos para los agrupamientos de suelos utilizados y cuando se consideran todos los casos.

Tabla 1. Valores de SCRM obtenidos para los tres modelos.

Agrupamiento	Van Genuchten (VG)*	Gardner (G)*	Brooks y Corey (BC)*
Ferralíticos	0.815	1.754	5.061
Aluviales	5.604	14.910	15.630
Pardos	3.081	1.935	5.376
Arenosos	1.938	7.189	2.430
Oscuros	2.750	8.330	20.430
Todos	2,470	6.062	11.350

* Todos los valores deben multiplicarse por 0.0001

Para cada uno de los agrupamientos fue realizado un análisis de varianza entre los valores de SCRM correspondiente a los tres modelos tomándolos por pares. En la mayoría de los casos el valor de SCRM para el modelo de Van Genuchten no resultó significativamente diferente de los restantes como puede observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza realizado entre los modelos VG-G, VG-BC y G-BC (95 % de probabilidad).

Agrupamiento	VG-G	VG-BC	G-BC
Ferralíticos	S	S	S
Aluviales	S	S	NS
Pardos	NS	NS	S
Arenosos	S	NS	S
Oscuros	S	S	S
Todos	S	S	S

Posteriormente no se hizo distinción entre los agrupamientos, considerando el total de las 97 curvas; en este caso se encontró que existían diferencias significativas entre los tres modelos, observándose un menor valor de SCRM para el modelo de Van Genuchten, lo cual significa un mejor ajuste del modelo a los datos experimentales. Por otra parte, para el modelo de Brooks y Corey con θ_r estimada según Mualem (1976), se obtuvo el mayor valor de SCRM y por tanto el peor ajuste a los datos experimentales.

En la Tabla 3 se muestran los valores medios de los parámetros del modelo de Van Genuchten para los agrupamientos de suelos utilizados.

Tabla 3. Valores de los parámetros del modelo de Van Genuchten.

Agrupamiento	θ_r fracción pss	α cm-1	n	m
Ferralíticos	0.1828	0.0093	1.6011	0.3754
Aluviales	0.1882	0.0125	1.8656	0.4640
Pardos	0.1662	0.0086	1.7214	0.4191
Arenosos	0.1165	0.0197	1.9110	0.4767
Oscuros	0.3187	0.0061	1.8243	0.4518
Todos	0.2204	0.0093	1.7407	0.4255

Como se observa, el menor valor de θ_r corresponde a los arenosos, resultado lógico dado que estos son los que menos agua retienen, por su parte a los Oscuros Plásticos les corresponde el mayor valor.

A partir de la expresión [3] se puede notar que el valor del parámetro "n" determina que las variaciones de la humedad a medida que aumenta la

tensión, sean más o menos bruscas. Para los suelos arenosos se obtuvo el mayor valor de "n", lo cual concuerda con el hecho de que estos suelos, como ya fue señalado, pierden rápidamente su humedad. Sin embargo, para otros agrupamientos la interpretación de los valores de "n" no queda clara, por ejemplo, la semejanza entre los valores obtenidos para Aluviales y Oscuros Plásticos. Dado que estos valores medios se calcularon con todos los datos de cada agrupamiento para todas las profundidades, es posible que esto influya en los resultados, por tanto, se hace necesario un estudio teniendo en cuenta la profundidad y en especial qué tipo de horizonte le corresponde.

CONCLUSIONES

El modelo de Van Genuchten en general logra un mejor ajuste a los datos experimentales de la curva tensión-humedad en comparación con los modelos de Gardner y de Brooks y Corey, en los suelos del país estudiados, ubicados en distintas provincias.

REFERENCIAS

- Brooks, R.H. y A.T. Corey (1964). Hydraulic properties of porous media. Colorado State Univ. Hydrology Paper No. 3, p. 27.
- (1966). Properties of porous affecting fluid flow. J. Irrig. Drain Div., Am Soc. Civ. Enf., 92:61-88.
- Herrera, P.J., C. Greco, M.A. Llanos (1986). *Curvas tensión-humedad para algunos suelos cubanos. Suelo y agua. Actas del Seminario de La Haba. Orstom. París.*
- Hillel, D. (1971). Soil an Water. Physical Principles and processes. Academic Press. N.Y. p. 288.
- Mualem, Y. (1976). *A new model for predicting the hydraulica conductivity of unsaturated porous media.* Water Resoour. Res. 12(3): 513-522.
- Nielsen, D.R., K. Reichardt, P. Wieeranga (1983). Characterization of field -measured soil- water properties. In isotope and Radiation techniques in soil physics and irrigation studies, IAEA:55-78.
- Van Genuchten, M. Th. (1980). A closes-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.
- Van Genuchten, M. Th. y D.R. Nielsen (1985). *On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils.* Annale Geophysicae 3(5):615-628.
- Van Genuchten, R. (1978). Calculating the unsaturated hydraulica conductivity with a new closes form analytical model. Research Report 78-WR-08 Dept. of Civil Eng., Princeton, New Jersey, p. 63.