
FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA ESTIMAR LA RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

Pedotransfer functions to estimate water retention of alluvial soils in the Valencia Lake Basin

Corina Pineda¹ y Jesús Viloria²

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Postgrado en ciencia del suelo, Apartado 4579, Maracay.

² Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Apartado 4579, Maracay; E-mail: edafo@telcel.net.ve

Resumen

La capacidad de retención de humedad del suelo es necesaria para interpretar las relaciones suelo-agua; pero su determinación es lenta y costosa. Una alternativa más económica es estimarla por medio de ecuaciones de regresión lineal, a partir de otras características del suelo. Una muestra constituida por 489 horizontes de suelos aluviales de la Depresión del Lago de Valencia fue sometida a análisis de correlación y regresión, dando como resultado las siguientes ecuaciones para estimar la humedad retenida en el suelo a -33 kPa: $w = 57,550 + 1,405 (\% \text{ C.O.}) - 0,559 (\% \text{ arena})$, y a -1500 kPa: $w = 3,515 + 1,431 (\% \text{ C.O.}) + 0,499 (\% \text{ arcilla})$. Estas ecuaciones fueron comparadas con otros pares de ecuaciones reportadas en la literatura, aplicándolas a una muestra de 45 horizontes seleccionados al azar. Para cada ecuación se determinó el error cuadrático medio (ECM) de estimación como el promedio del cuadrado de las diferencias entre el valor medido y el valor estimado. El ECM de las ecuaciones desarrolladas en esta investigación resultó inferior al de las otras ecuaciones, demostrando que cada modelo de regresión es específico para un conjunto de suelos determinado y no debe ser extrapolado a otros suelos sin una validación previa.

Palabras claves: regresión lineal múltiple, retención de humedad, textura, materia orgánica, lago de Valencia, suelos aluviales, Aragua, Carabobo.

Abstract

A knowledge of the water holding capacity is required to predict soil-water interactions; but its measurement is expensive and time consuming. A cheaper option is to estimate this soil property from other soil characteristics, by means of a linear regression. A sample of 489 alluvial soil horizons from the Valencia Lake basin was used to develop the following equations which estimate the amount of water hold by the soil at -33 kPa as $w = 57,550 + 1,405 (\% \text{ Organic carbon}) - 0,559 (\% \text{ sand})$, and at -1500 kPa as $w = 3,515 + 1,431 (\% \text{ Organic carbon}) + 0,499 (\% \text{ clay})$. These equations and some others reported in the literature were applied to a sample of 45 soil horizons randomly selected from the same region. The mean squared error (MSE) of estimation was calculated for each equation as the average of the squared differences between the estimated and the measured values. The MSE of the equations produced by this research were smaller than the MSE for the other equations, demonstrating that regression models are specific for a given set of soils and their extrapolation to other sets of soils without prior validation should be avoided.

Key words: lineal regression, water holding capacity, soil texture, organic matter, Valencia lake, alluvial soils, Aragua, Carabobo.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la capacidad de retención de agua del suelo es importante para la realización de diversas investigaciones e interpretaciones de las relaciones suelo-agua. La misma afecta directamente la infiltración, el flujo de agua, el drenaje, el transporte de solutos, la trabajabilidad del suelo, el manejo de riego y la disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos (Puckett *et al.*, 1985; Williams *et al.*, 1992; Kern, 1995).

Convencionalmente se acepta que el agua en el suelo

aprovechable por la plantas es el agua retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente; pero la determinación exacta de estos contenidos de humedad es difícil. En consecuencia, en su lugar se utiliza, frecuentemente, la cantidad de agua retenida a -33 y -1500 kPa, suponiendo que la misma equivale a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente. A pesar de que esta inferencia es arbitraria, la misma representa una alternativa para realizar evaluaciones en forma sencilla y práctica (Pla, 1977).

El uso de los valores de retención de humedad a -33 y

-1500 kPa para estimar capacidad de campo y punto de marchitez permanente aún deja pendiente un problema por resolver, porque su medición es lenta y no puede ser realizada en todos los sitios de muestreo. Queda como alternativa estimar estos valores a partir de variables relacionadas, de más fácil medición. Por ejemplo, la retención de humedad está directamente relacionada con los contenidos de arena, limo y arcilla (Russel, 1973; Kern, 1995). También puede ser afectada por el contenido de materia orgánica y la densidad aparente del suelo (Williams *et al.*, 1992; Tietje y Tapkenhinrichs, 1993). Los valores de estas variables, por lo general, son más fácilmente disponibles porque son determinados en análisis de rutina. Por esta razón, frecuentemente se toman en cuenta para la estimación indirecta de la humedad retenida en el suelo, a un potencial mátrico determinado (Saxton *et al.*, 1986).

Distintos modelos han sido desarrollados para estimar la retención de humedad a distintas tensiones. La mayoría de ellas consisten en ecuaciones de regresión, mientras que otras consisten en modelos de simulación. Bouma y van Lanen (1987) han propuesto el término "funciones de pedotransferencia" para referirse a estos modelos.

El éxito de un modelo de simulación usado como función de pedotransferencia depende del cumplimiento de los supuestos subyacentes al modelo (Bouma y Van Lanen, 1987), y de la disponibilidad de datos sobre los parámetros de entrada al modelo (Tietje y Tapkenhinrichs, 1993).

Los modelos basados en ecuaciones de regresión son usados con mayor frecuencia. Sin embargo, cada ecuación de regresión puede describir adecuadamente la relación entre la variable dependiente y las variables independientes, sólo dentro del universo de suelos representado por la muestra empleada para desarrollar el modelo. Esto es, cada modelo de regresión es específico para un conjunto de suelos o una localidad determinada y no es extrapolable. Consecuentemente, un modelo de regresión estimado en función de datos obtenidos en sitios de muestreo en la misma localidad estimará los valores de retención de humedad en forma más segura que aquellos modelos generales o modelos extrapolados desde otras condiciones.

Este trabajo desarrolla un modelo basado en dos ecuaciones de regresión lineal multivariada para predecir la humedad retenida a -33 y -1500 kPa, respectivamente, en suelos aluviales de la depresión del lago de Valencia, y compara su capacidad predictiva con la de otros modelos reportados en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

La investigación fue realizada utilizando datos generados por el estudio semidetallado de suelos de la depresión del lago de Valencia, realizado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (publicado sólo parcial-

mente). Todos los datos disponibles de horizontes de suelo con determinaciones de textura, carbono orgánico, densidad aparente y retención de humedad a -33 y -1500 kPa, fueron agrupados en dos clases: a) suelos aluviales y b) suelos lacustrinos. Esta subdivisión fue realizada porque las características hidrológicas de estas clases de suelos son completamente diferentes. Sólo los datos de origen aluvial fueron utilizados en este estudio.

Análisis exploratorio de datos

El conjunto de datos de suelos aluviales fue sometido a un análisis exploratorio, siguiendo el procedimiento propuesto por Tukey (1977) para determinar la presencia de valores atípicos. Este procedimiento consiste en determinar los siguientes valores para cada variable:

$$\begin{aligned} \text{Diferencia inter-cuartil} &= 3^{\text{er}} \text{ cuartil} - 1^{\text{er}} \text{ cuartil} \\ \text{Primer umbral} &= 3^{\text{er}} \text{ cuartil} + \text{diferencia inter-cuartil} \\ &\text{y} = 1^{\text{er}} \text{ cuartil} - \text{diferencia inter-cuartil} \\ \text{Segundo umbral} &= 3^{\text{er}} \text{ cuartil} + 2(\text{diferencia inter-cuartil}) \\ &\text{y} = 1^{\text{er}} \text{ cuartil} - 2(\text{diferencia inter-cuartil}) \end{aligned}$$

El análisis exploratorio de datos permitió identificar, aquellos valores ubicados más allá del segundo umbral, como lo ilustra la figura 1, y eliminarlos de la base de datos después de corroborar que los mismos no eran lógicos.

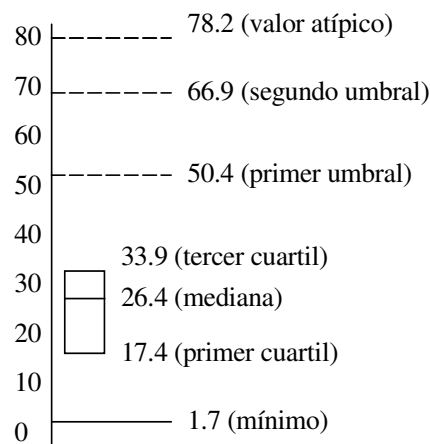


Figura 1. Ejemplo de identificación de valores atípicos para la variable retención de humedad a -33 kPa

De los 489 horizontes de suelo disponibles, una vez realizado el análisis exploratorio, 45 horizontes fueron seleccionados aleatoriamente para realizar posteriormente la validación del modelo y los 444 horizontes restantes fueron usados para desarrollar el modelo. El cuadro 1 muestra los datos usados para la validación de los modelos.

Determinación de las ecuaciones de regresión

Inicialmente se realizó un análisis de correlación entre los valores conocidos de retención de humedad a -33 y a -1500

kPa, por una parte, y los valores de todas las características del

Cuadro 1. Datos utilizados para la validación de los modelos.

Pedón	Capa	C.O. (%)	W (-33kPa) (%)	W (-1500kPa) (%)	Da (Mg.m ⁻³)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
HA070	1	1,80	29,8	12,3	1,3	19,80	57,40	22,80
HA081	1	0,38	10,2	3,6	1,4	59,30	30,40	10,30
HA088	3	0,18	12,1	4,6	1,4	39,00	55,20	5,80
HA107	3	0,16	12,9	7,1	1,5	63,80	26,20	10,00
HA129	1	1,53	18,9	11,7	1,5	57,30	17,00	25,70
HB004	1	1,93	37,7	26,4	1,6	35,30	21,20	43,50
HB056	1	1,24	16,7	11,9	1,5	48,00	21,50	30,50
HB058	3	0,62	39,1	20,6	1,5	13,00	55,30	31,70
HD004	4	0,66	21,6	9,4	1,2	40,30	43,70	16,00
HD020	2	0,92	26,2	9,5	1,5	45,80	34,20	20,00
HD022	3	0,41	10,5	3,3	1,6	67,00	25,50	7,50
HD036	2	1,94	42,4	25,1	1,3	12,30	41,50	46,20
HD054	2	2,10	20,5	13,0	1,4	65,00	13,70	21,30
HD056	2	1,02	18,0	15,6	1,5	45,00	22,50	32,50
HF059	3	0,81	44,6	26,9	1,2	5,00	56,30	38,70
HF062	2	1,83	33,1	22,7	1,4	18,70	35,10	46,20
HH005	3	0,32	18,9	7,3	1,5	45,00	37,50	17,50
HJ003	2	0,82	28,3	13,2	1,4	45,00	25,00	30,00
HK003	1	3,20	14,0	9,8	1,5	73,70	11,30	15,00
HK011	2	1,34	28,2	12,8	1,5	33,70	36,30	30,00
HL007	4	0,93	31,7	14,4	1,5	17,50	47,50	35,00
HL016	1	1,60	38,2	25,9	1,3	7,50	23,80	68,70
HL024	4	1,08	27,1	16,4	1,5	37,50	28,80	33,70
HM004	2	0,07	17,7	12,3	1,3	48,70	20,10	31,20
HM008	2	1,00	20,2	12,2	1,4	58,70	18,80	22,50
HM013	3	0,33	15,2	12,2	1,0	46,20	17,60	36,20
HH014	1	2,81	28,6	16,3	1,3	25,00	35,00	40,00
HB039	3	0,42	34,4	24,7	1,5	7,50	22,30	70,20
HD029	1	1,69	41,0	17,6	1,2	26,80	44,50	28,70
HD049	1	2,38	26,9	20,0	1,3	45,00	20,00	35,00
HF018	1	1,45	23,5	13,8	1,4	59,80	18,50	21,70
HL003	2	1,35	32,3	21,3	1,3	17,50	42,50	40,00
HM012	1	0,97	10,7	8,3	1,4	71,20	6,30	22,50
HL029	3	0,37	29,1	11,4	1,5	40,00	38,70	21,30
HL020	1	1,94	37,6	26,3	1,2	12,50	42,30	46,20
HL013	2	1,95	26,7	13,8	1,3	38,70	31,30	30,00
HK007	1	2,47	26,7	13,3	1,4	46,20	31,30	22,50
HK008	3	0,20	6,7	3,4	1,6	80,00	11,30	8,70
HJ006	2	0,48	28,4	17,9	1,5	42,50	18,80	38,70
HJ012	3	0,50	27,0	17,0	1,3	30,00	26,30	43,70
HH016	3	0,43	27,9	15,9	1,7	26,20	25,10	48,70
HH008	4	0,35	15,6	6,6	1,4	48,70	35,10	16,20
HH001	1	2,06	40,8	23,4	1,1	18,70	35,10	46,20
HF009	2	1,33	34,3	10,8	1,4	31,00	45,00	24,00
HD040	2	0,62	24,4	7,8	1,5	44,50	42,00	13,50

suelo presentes en la base de datos, por la otra. Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal multivariada utilizando el sistema de análisis estadístico SAS (1989) para estimar el contenido gravimétrico de agua (w) retenida en el suelo a -33 y a -1500 kPa respectivamente, utilizando como variables independientes aquellas características del suelo con mayor

coeficiente de correlación.

Validación de modelos

Las ecuaciones de regresión obtenidas fueron aplicadas a cada uno de los 45 horizontes seleccionados aleatoriamente.

Igualmente, se aplicó a estos horizontes cada uno de los modelos descritos en los cuadros 2 y 3, reportados en la literatura.

El modelo de Gupta-Larson (1979) fue desarrollado usando análisis de regresión a partir de datos de 43 pedones de 10 localidades del oeste y centro de Estados Unidos. El modelo de Rawls *et al* (1982) fue desarrollado a partir de 5320 datos de horizontes de 1323 sitios en 32 estados de Estados Unidos basado también en un análisis de regresión lineal. El modelo de Delgado y Barreto (1988) fue desarrollado a partir de 160 determinaciones de suelo de los altos Llanos Occidentales de Venezuela. El modelo de Malavé (1991) fue desarrollado para diez suelos de distintos órdenes, en su mayoría de los Llanos Occidentales, la cuenca del lago de Valencia y Quíbor, tomados como representativos de áreas agrícolas de Venezuela.

Las ecuaciones de Gupta-Larson (1979), Rawls *et al*

(1982) y Malavé (1991) estiman contenidos volumétricos de humedad; mientras que las ecuaciones de Delgado-Barreto (1988), y las obtenidas en este trabajo, estiman contenidos gravimétricos. Estos últimos fueron multiplicados por la densidad aparente para realizar todas las comparaciones sobre una base volumétrica.

La capacidad predictiva de los diferentes modelos se determinó por medio del error cuadrático medio (ECM) calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ECM = \sum [z_i^* - z_i]^2 / n$$

donde z_i^* = valor estimado de retención de humedad para la muestra de validación i , z_i = valor real para la misma muestra, y n es el número total de muestras de validación, es decir, 45.

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R^2) para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa.

Autor	Ecuación	R^2
Gupta-Larson, 1979	$(3,075 \times b) + (5,886 \times c) + (8,039 \times d) + (2,208 \times e) - (14,340 \times f)$	*
Rawls <i>et al</i> , 1982	$0,2576 - (0,0020 \times b) + (0,0036 \times d) + (0,0299 \times e)$	0,87
Delgado y Barreto, 1988	$29,06 - (0,290 \times b) - (0,253 \times c) + (0,135 \times d) + (2,56 \times e)$	0,79
Malavé, N. 1991	$23,953 - (0,2228 \times b) + (4,6436 \times e)$	0,85

b = arena (%), c = limo (%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = densidad aparente ($Mg.m^{-3}$); * Sin coeficiente

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R^2) para estimar el contenido de humedad retenido a -1500 kPa.

Autor	Ecuación	R^2
Gupta-Larson, 1979	$(-0,059 \times b) + (1,142 \times c) + (5,766 \times d) + 2,228 \times e - (2,671 \times f)$	*
Rawls <i>et al.</i> , 1982	$0,01260 + (0,0050 \times d) + (0,0158 \times e)$	0,80
Delgado y Barreto, 1988	$16,55 - (0,174 \times b) - (0,164 \times c) + (0,154 \times d) + (1,24 \times e)$	0,87
Malave, N., 1991	$16,1608 - (0,1877 \times b) + (1,0528 \times e)$	0,80

b = arena (%), c = limo(%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = densidad aparente ($Mg.m^{-3}$); * Sin coeficiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos, después de la remoción de datos atípicos, presentan una distribución normal confirmada por la prueba de Wils-Shapiro (SAS, 1989). Los coeficientes de correlación de las diferentes variables con respecto a la retención de humedad a -33 kPa y -1500 kPa, respectivamente, son reportados en el cuadro 4. La probabilidad de que estos coeficientes de correlación sean iguales a cero es de 0,001. Las ecuaciones de regresión lineal multivariada que resultaron con mayor coeficiente de determinación para estimar esos valores de retención de humedad son presentadas en el cuadro 5.

Los coeficientes de correlación para %arena y %arcilla resultaron altamente significativos, lo cual pone de manifiesto la relación existente entre la capacidad de retención de hume-

dad y la textura del suelo. Las ecuaciones obtenidas permiten predecir la retención de humedad del suelo a -33 kPa y a -1500 kPa a partir de la textura y el contenido de materia orgánica del suelo.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre retención de humedad y otras características del suelo

Variable	Retención de humedad -33 kPa	Retención de humedad -1500 kPa
Carbono orgánico	0,47	0,47
Densidad aparente	-0,35	-0,34
Arena	-0,90	-0,83
Limo	0,63	0,30
Arcilla	0,71	0,88

Las ecuaciones desarrolladas para la cuenca del Lago de Valencia, a pesar de presentar un coeficiente de determinación menor (Cuadro 5), muestran un error cuadrático medio menor que las otras ecuaciones (Cuadro 6). El coeficiente de determinación es sólo una medida de la proporción de la varianza de los datos utilizados para el desarrollo de la ecuación de regresión, que es explicada por el modelo. En cambio, el error cuadrático medio (ECM) es una medida del error cometido por estimar la humedad retenida a -33 kPa o -1500 kPa por medio de la ecuación de regresión, en lugar de medirla directamente en el conjunto de datos utilizado para validación.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R^2) para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa y -1500 kPa.

Potencial mátrico	Ecuación	R^2
- 33 kPa	$w = 57,550 + 1,405 (\% \text{ C.O.}) - 0,559 (\% \text{ arena})$	0,77
- 1500 kPa	$w = 3,515 + 1,431 (\% \text{ C.O.}) + 0,499 (\% \text{ arcilla})$	0,76

y = contenido volumétrico de humedad

La magnitud de los valores obtenidos de ECM sigue un orden lógico. Es mayor para las ecuaciones de Gupta-Larson (1979) y Malavé (1991) las cuales fueron desarrolladas a partir de un número menor de datos. Por otra parte, el valor menor del ECM correspondió a las ecuaciones determinadas para los suelos aluviales de la depresión del Lago de Valencia, aunque las mismas proceden de un número de datos considerablemente menor que las ecuaciones de Rawls *et al.*, (1982). Esto confirma que las funciones de pedo-transferencia, basadas en ecuaciones de regresión, tienden a ser específicas para un conjunto de suelos determinado.1

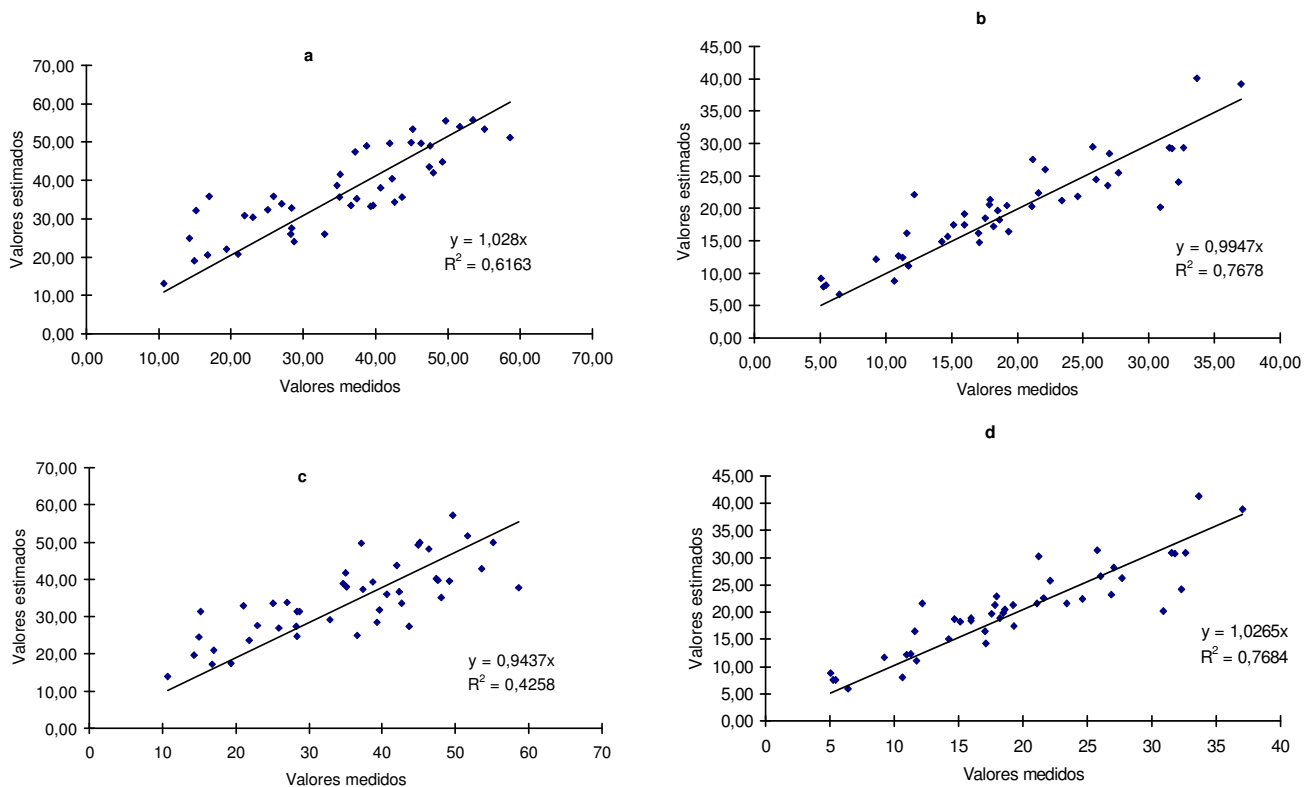


Figura 2. Comparación entre valores medidos de retención de humedad y valores estimados, por las ecuaciones de Pineda y Vilorio (1997) para a) -33 kPa y b) -1500 kPa y las ecuaciones de Rawls *et al.* (1982) para c) -33 kPa y d) -1500 kPa.

Cuadro 6. Error cuadrático medio (ECM) estimado para las ecuaciones usadas en el proceso de validación.

Modelo de regresión	- 33 kpa	- 1500 kpa
Gupta-Larson, 1979	2043,58	492,28
Rawls <i>et al.</i> , 1982	99,73	27,19
Delgado <i>et al.</i> , 1988	535,45	252,14
Malavé, N., 1991	360,21	195,09
Pineda-Viloria, 1997	82,1	26,01

La figura 2 compara los valores de retención de humedad estimados por las ecuaciones de Pineda-Viloria (1997) y Rawls *et al.*, (1982) con los valores medidos del conjunto de datos usados para la validación. A estos diagramas de dispersión se les ha ajustado una ecuación de regresión con intercepto igual a cero y pendiente igual a uno. Los valores de r^2 confirman que el error de estimación de retención de humedad a -1500 kPa es menor que a -33 kPa. Asimismo, confirman que la ecuación de Pineda-Viloria (1997) predice en forma más confiable la retención de humedad a -33 kPa que la ecuación de Rawls *et al.*, (1982). Sin embargo, la figura muestra que ambas ecuaciones tienden a sobrestimar la retención de humedad θ a -33 kPa cuando ésta es menor de 30 cm.

Con cada uno de los modelos probados, la estimación de la cantidad de agua retenida a -33 kPa originó un error cuadrático medio mayor que la estimación de agua retenida a -1500 kPa. Este resultado se explica por la forma típica de la curva de retención de humedad. Pequeñas variaciones de potencial mátrico en el punto de la curva correspondiente a -33 kPa conducen a grandes diferencias en el contenido de humedad, consecuentemente, los errores de estimación del agua retenida a este potencial pueden ser considerables. Por el contrario, la curva de retención de humedad alrededor de -1500 kPa tiende a ser asintótica y, como resultado, pequeñas diferencias en potencial mátrico no conducen a grandes cambios en el contenido de humedad. Por esta razón, las estimaciones del contenido de humedad a este potencial son más confiables, a pesar que el punto de marchitez permanente depende más del cultivo y del clima (Pla, 1977).

CONCLUSIONES

Los modelos de regresión lineal constituyen una alternativa válida para estimar la retención de humedad del suelo en forma económica. Sin embargo, el poder de predicción de cada ecuación de regresión depende del universo de suelos representado por la muestra utilizada para su determinación y del volumen de datos incluidos en el modelo. Por esta razón, debemos evitar la extrapolación, sin previa validación, de ecuaciones de regresión establecidas para suelos desarrollados en ambientes diferentes a nuestro entorno de trabajo. En particular, se debe tener especial cuidado al estimar la cantidad de agua retenida a capacidad de campo, porque en esta parte de la curva de retención de humedad pequeñas variaciones de potencial mátrico están asociadas a grandes cambios en el contenido de humedad.

De acuerdo a Bouma y Van Lanen (1986) la decisión de medir directamente una propiedad del suelo o estimarla indirectamente por medio de una función de pedo-transferencia depende de un análisis comparativo entre el costo de medición, por una parte, y el error de estimación, por la otra. El coeficiente de determinación de una ecuación de regresión desarrollada para un conjunto dado de suelos, no permite predecir cuál será el error de estimación al aplicar esa ecuación a otro conjunto de suelos. En consecuencia, se debe medir la retención de humedad del suelo en un número suficiente de muestras para determinar el error de estimación de funciones de pedo-transferencia ya existentes o para desarrollar una nueva función de pedo-transferencia, específica para los suelos investigados.

En el caso de la depresión del Lago de Valencia, este trabajo demuestra que las ecuaciones de regresión lineal basadas en contenido de carbono orgánico y textura, que hemos desarrollado para suelos aluviales, estiman la retención de humedad a -33 kPa y -1500 kPa con mayor exactitud que otras ecuaciones de regresión reportadas en la literatura, con las cuales se hizo la comparación.

LITERATURA CITADA

- Bouma, J. y J. Van Lanen** . 1987. Transfer functions and threshold values: from land characteristics to land qualities. In: K.J. Beek *et al.* (ed.). Quantified Land Evaluation. Proceedings of a Workshop, ISSS and SSSA. ITC Publications. Enschede, The Netherlands. p.106-110.
- Delgado, F., y L. Barreto.** una aproximación matemática para la elaboración de curvas de retención de humedad en suelos representativos de Los Llanos Occidentales. Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología 6 (1-2):45-50.
- Gupta, S., y W. Larson.** 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resour. Res. 15:1633-1635.
- Kern, J.** 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1134-1141.
- Malavé, N.,** 1991. Estudio preliminar de las relaciones entre características de retención de humedad y distribución de tamaño de partículas, materia orgánica y densidad aparente. Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología. 92 p.
- Pla, I.** 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Comisión de Estudios para Graduados. Maracay 84 p.

- Puckett, W., J. Dane, B. Hajek.** 1985. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:831-836.
- Rawls, W., D. Brakensiek, y K. Saxton.** 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25:1316-1320
- Russel, E.** 1973. *Soil conditions and plant growth.* London and New York. Editorial Longman. pp. 429-447.
- SAS INSTITUTE INC.** 1989. *SAS/STAT User's guide version 6.* Fourth edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N. C., U.S.A. 846 p.
- Saxton, K., W. Rawls, J. Romberger y R. Papendick.** 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1031-1036.
- Snedecor, G., y W. Cochran.** 1980. *Statistical methods.* The Iowa State University Press. Amex, Iowa, U.S.A. 507 p.
- Tietje, O., y M. Tapkenhinrichs.** 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1088-1095.
- Tukey, J.** 1977. *Exploratory data analysis.* Addison - Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts. 506 p.
- Williams, R., L. Ahuja y J. Naney.** 1992. Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density, and limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 153:172-184.
-