

## CONFIABILIDAD DE MODELOS DE REGRESIÓN PARA PREDECIR RETENCIÓN DE AGUA EN SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUÁRICO, VENEZUELA

A.E. MORALES GÓMEZ\* y J.A. VILORIA RENDÓN\*

\* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. Apto. Postal 4579. Maracay, Venezuela. E\_mail: alfmoragom@yahoo.com, viloriaj@agr.ucv.ve.

**Resumen:** La medida del agua retenida en suelos a diferentes potenciales hídricos es difícil y costosa en tiempo y dinero. Muchos modelos han sido desarrollados para predecir estas propiedades a partir de datos rutinarios y fáciles de medir. Dada la escasez de información edáfica de la Cuenca Alta del río Guárico, se evaluaron diferentes modelos publicados para predecir la retención de agua a -33 y -1500 kPa en suelos de esta región. La bondad de ajuste de cada modelo fue determinada mediante el error relativo promedio (ERP) y la desviación estándar del error relativo (DER) de los valores predichos. Los valores de estos índices deben aproximarse a cero para indicar exactitud y precisión de las predicciones, respectivamente. Los resultados indican que ninguna de las funciones empíricas probadas genera predicciones satisfactorias. Se requiere mayor información edáfica para desarrollar funciones de predicción locales, mejor adaptadas a las condiciones de estos suelos.

**Palabras claves:** regresión lineal múltiple, potencial de agua, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, Aragua, Carabobo, Guárico, Venezuela.

**Abstract:** The measurement of soil water retentions at different pressure heads tends to be expensive and time consuming. Many models have been developed to estimate these properties from other soil variables which are easier to measure. Since soil data at the high watershed of the Guárico River are limited, some published models were evaluated to predict the soil water retained at -33 kPa and -1500 kPa over this region. The goodness of fit of each model was evaluated through the mean relative error (MRE) and the standard deviation of the relative error (SDRE). Predictions will be more accurate and more precise while the MRE and the SDRE are closer to 0. None of the evaluated empiric functions yielded satisfactory predictions of the retained soil water. It is required more soil information in order to develop local pedotransfer functions, better adjusted to these soils

**Key words:** multiple linear regression, water potential, field capacity, wilting point, Aragua, Carabobo, Guárico, Venezuela.

### INTRODUCCIÓN

La determinación de la retención de agua en el suelo es costosa y consume mucho tiempo. Por esta razón, frecuentemente se intenta aprovechar la influencia de otras propiedades del suelo para desarrollar modelos que permitan predecir la retención de humedad a partir de datos de otros atributos de más fácil medición. Estos modelos son frecuentemente denominados “funciones de

pedotransferencia” (Bouma y Van Lanen, 1987).

La mayoría de las funciones empíricas propuestas para predecir puntos de la curva de retención de humedad consisten en ecuaciones de regresión lineal múltiple (e.g. Rawls *et al.*, 1982; Batjes, 1996; Tomasella y Hodnett, 1998). En Venezuela, se han desarrollado ecuaciones de regresión múltiple para predecir puntos de la curva de

retención de humedad con datos de suelos representativos de deferentes áreas agrícolas (Delgado y Barreto, 1988; Malavé, 1991; Pineda y Viloria, 1997; Rey y Wagner, 2004). Pero, la mayor limitación de las funciones de pedotransferencia es su tendencia a tener un ámbito de aplicación local.

La escasez de información básica de suelos de la Cuenca Alta del río Guárico limita seriamente las investigaciones necesarias para apoyar la elaboración de planes de manejo de esta cuenca, la cual suministra más del 60 % del agua consumida por la ciudad capital (Caracas). Este estudio tiene como propósito evaluar un conjunto de funciones empíricas publicadas en la literatura, para determinar si algunas de ellas predicen en forma confiable el agua retenida a -33 y -1500 kPa, en suelos de esta región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de retención de humedad del suelo considerados en esta evaluación son mostrados en las Tablas 1 y 2. En general, estos modelos han sido desarrollados para suelos de regiones tropicales, con la excepción del modelo de Rawls *et al* (1982) determinado

para los suelos de los Estados Unidos y el de Batjes (1996) para los suelos del mundo. Las ecuaciones de Rawls *et al* (1982), Malavé (1991), Batjes (1996) y Tomasella - Hodnett (1998) estiman contenidos volumétricos de agua retenida en el suelo; mientras que las demás ecuaciones estiman contenidos gravimétricos.

Se utilizaron datos disponibles de los horizontes de 20 perfiles representativos de la variabilidad del suelo en toda la Cuenca Alta del río Guárico (Prada, Ojeda y Viloria, 2003). Las variables consideradas fueron % arena, % limo, % arcilla, % carbono orgánico, % espacio poroso total, % macroporos, % microporos, densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) y contenidos gravimétricos de agua en unidades porcentuales a -33 y -1500 kPa.

Se hizo el análisis de correlación no paramétrico entre los valores de retención de humedad y los de las demás propiedades del suelo, mediante el paquete estadístico SAS (SAS, 1990). Esto es debido a que los datos de % limo, % carbono orgánico, densidad aparente y % macroporos no se ajustaron a la distribución normal, según la prueba de Wilk-Shapiro (SAS, 1990).

Tabla 1. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa

Autor	Ecuación	R <sup>2</sup>
Rawls et al, 1982	$25,76 - (0,2 \text{ b}) + (0,36 \text{ d}) + (2,99 \text{ e})$	0,87
Delgado y Barreto, 1988	$29,06 - (0,290 \text{ b}) - (0,253 \text{ c}) + (0,135 \text{ d}) + (2,56 \text{ e})$	0,79
Malavé, 1991	$23,953 - (0,2228 \text{ b}) + (4,6436 \text{ e})$	0,85
Batjes, 1996	$(0,4600 \text{ d}) + (0,3045 \text{ c}) + (2,0703 \text{ f})$	0,90
Pineda y Viloria, 1997	$57,550 + (1,405 \text{ f}) - (0,559 \text{ b})$	0,77
Tomasella y Hodnett, 1998	$4,046 + (0,426 \text{ c}) + (0,404 \text{ d})$	0,88
Rey y Wagner, 2004	$22,88 - (0,09 \text{ b}) - (9,13 \text{ g}) + (0,29 \text{ i}) + (0,17 \text{ h}) + (59,01 \text{ j})$	0,75

b = arena (%), c = limo (%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = carbono orgánico (%), g = densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), h = macroporos (%), i = microporos (%), j = retención de agua a -1500 kPa ( $\text{g}\cdot\text{agua}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{suelo}$ )

Tabla 2. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) para estimar el contenido de humedad retenido a -1500 kPa

Autor	Ecuación	R <sup>2</sup>
Rawls et al, 1982	1,26 + (0,5 d)+(1,58 e)	0,80
Delgado y Barreto, 1988	16,55 – (0,174 b) – (0,164 c) + (0,154 d) + (1,24 e)	0,87
Malavé, 1991	16,1608 – (0,1877 b) + (1,0528 e)	0,80
Batjes, 1996	(0,3624 d) + (0,1170 c) + (1,6054 f)	0,88
Pineda y Viloría, 1997	3,515 + (1,431 f) – (0,499 d)	0,76
Tomasella y Hodnett, 1998	0,910 +(0,150 c) + (0,396 d)	0,89
Rey y Wagner, 2004	-5,47 + (0,04 b) + (0,24 d) + (38,87 j)	0,73

b = arena (%), c = limo (%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = carbono orgánico (%), g = densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>), h = macroporos (%), i = microporos (%), j = retención de agua a -33 kPa (g agua g<sup>-1</sup> suelo)

La bondad de ajuste de cada modelo fue determinada por medio del error relativo promedio (ERP), calculado como:

donde n es el número total de comparaciones, z<sup>\*</sup>i es el i-ésimo valor estimado de la propiedad y z<sub>i</sub> es el i-ésimo valor medido de la propiedad. El ERP revela el grado de exactitud de la predicción y debe ser igual a cero. La desviación estándar del error relativo (DER) es una medida del grado de dispersión de los errores relativos en torno al error promedio. Por consiguiente, es un indicador del grado de precisión de las predicciones y es mejor a medida que su valor se aproxime a cero.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 indica que la retención de humedad en los suelos de la Cuenca Alta del río Guárico está interrelacionada con la textura, el contenido de carbono orgánico y la porosidad.

Para facilitar la evaluación de los modelos, se han incluido los valores de ERP y DER de las diferencias entre los valores medidos y su promedio general, como patrón de comparación. Los resultados expresados

en la Tabla 4 revelan que el modelo de Rawls *et al* (1982) predice la humedad retenida en el suelo a -33 kPa con mayor exactitud que los otros modelos (ERP = -0,09); pero sus predicciones son menos exactas que las del promedio general de los valores medidos (ERP = 0,04). La Figura 1 compara las predicciones de los modelos de Rawls *et al* (1982) y de Batjes (1996). El primer modelo es más exacto pero menos preciso que el segundo.

Por el otro lado, el modelo de Pineda - Viloría (1997) proporciona las predicciones más exactas del agua retenida en el suelo a -1500 kPa (ERP = 0,04); pero éstas son menos precisas (DER = 0,49) que las del promedio general (DER = 0,42). En la Figura 2, se puede notar que el modelo de Pineda - Viloría (1997) es más exacto pero menos preciso que el de Malavé (1991).

Los modelos de Batjes (1996) y Tomasella - Hodnett (1998) tienden a ser más precisos que el promedio general de los datos para estimar contenidos de agua retenidos a -33 kPa (DER < 0,21) y a -1500 kPa (DER < 0,42); pero sus predicciones son sesgadas.

Estos resultados confirman la necesidad

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Spearman entre retención de humedad y otras características del suelo ( $P < 0,01$ )

Variable	Retención de agua (- 33 kPa)	Retención de agua (- 1500 kPa)
Arcilla (%)	0,134	0,207
Limo (%)	<b>0,589</b>	<b>0,514</b>
Arena (%)	<b>-0,617</b>	<b>-0,642</b>
Carbono orgánico (%)	<b>0,493</b>	<b>0,554</b>
Densidad aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	-0,118	-0,343
Espacio poroso total (%)	<b>0,628</b>	<b>0,602</b>
Macroporos (%)	-0,005	0,302
Microporos (%)	<b>0,644</b>	0,471

Tabla 4. Error relativo promedio (ERP) y desviación estándar del error relativo (DER) asociados con los modelos de estimación de retención de humedad (n indica el número de valores comparados)

Modelo	-33 kPa			-1500 kPa		
	n	ERP	DER	n	ERP	DER
Rawls et al, 1982	24	<b>-0,09</b>	0,22	24	-0,13	0,43
Delgado y Barreto, 1988	54	-0,41	0,28	54	-0,39	0,35
Malavé, 1991	24	-0,14	0,31	24	-0,40	<b>0,21</b>
Batjes, 1996	24	-0,33	<b>0,15</b>	24	-0,31	0,22
Pineda y Viloria, 1997	54	0,35	0,28	54	<b>0,04</b>	0,49
Tomasella y Hodnett, 1998	24	-0,22	0,18	24	0,13	0,35
Rey y Wagner, 2004	23	0,87	0,25	54	-0,22	0,24
Promedio General	54	0,04	0,21	54	0,13	0,42

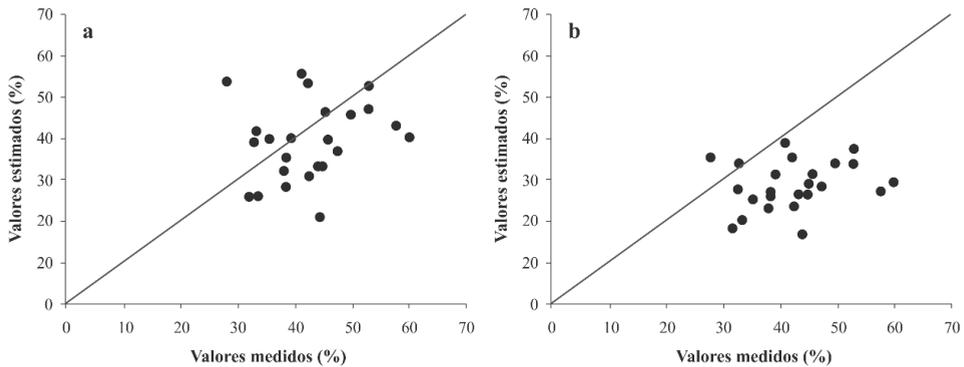


Figura 1. Contenidos de agua estimados versus contenidos de agua medidos correspondientes al potencial mátrico de -33 kPa para los modelos de a) Rawls et al (1982) y b) Batjes (1996). La línea diagonal indica una correspondencia exacta entre los valores estimados y medidos

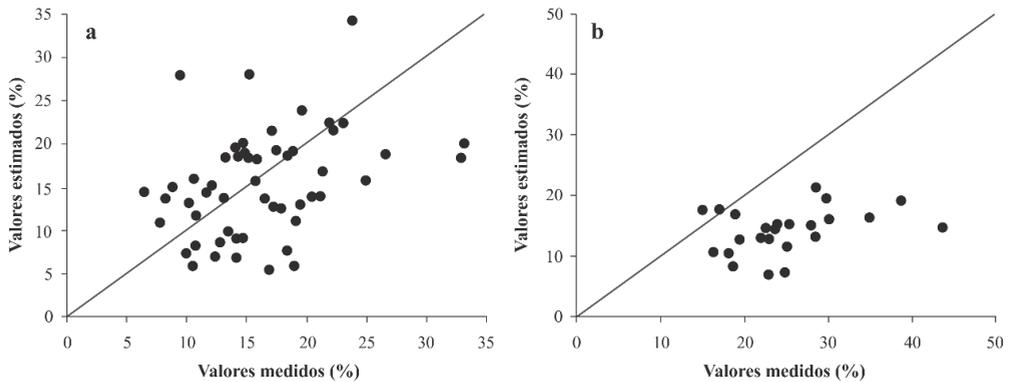


Figura. 2. Contenidos de agua estimados versus contenidos de agua medidos correspondiente al potencial mátrico de -1500 kPa por los modelos de a) Pineda – Viloría (1997) y b) Malavé (1991). La línea diagonal indica una correspondencia exacta entre los valores estimados y medidos.

de evaluar la validez de cada función de pedotransferencia antes de aplicarla a suelos con un origen pedogenético diferente al de los suelos para los cuales el modelo fue desarrollado (Minasny *et al.*, 1999). Así, las funciones de Tomasella y Hodnett (1998) fueron desarrolladas para suelos del Amazonas Brasileño que en general son ricos en arcillas 1:1 (caolinita) y óxidos de hierro y aluminio; en cambio los suelos de la Cuenca Alta del río Guárico son ricos en arcillas 2:1 (vermiculita y esmectita) (Hernández *et al.*, 2004). Por otra parte, las ecuaciones de Delgado – Barreto (1988), Malavé (1991), Batjes (1996), Pineda - Viloría (1997) y Rey - Wagner (2004) proceden de suelos de áreas mayormente planas, mientras que los suelos del área de estudio son generalmente de montaña.

**CONCLUSIONES**

Los indicadores utilizados para estimar la exactitud (ERP) y la precisión (DER) de los modelos de regresión evaluados revelan que ninguno de estos modelos permite predecir adecuadamente los contenidos de

agua retenidos a -33 kPa y -1500 kPa, en suelos de la Cuenca Alta del río Guárico. El promedio general de los valores medidos en el área de estudio produjo predicciones más exactas y precisas de los valores de retención de humedad del suelo, que cualquiera de las funciones empíricas probadas; pero no toma en cuenta la correlación entre la retención de agua y otras propiedades como textura, contenido de carbono orgánico y porosidad. Se requiere mayor información edáfica para desarrollar funciones empíricas locales, que permitan generar predicciones más confiables de la retención de agua en estos suelos.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es producto de la investigación realizada por el Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico, como parte del Proyecto Iniciativa Científica del Milenio, conducido por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) de Venezuela, con financiamiento del Banco Mundial y del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Bolivariana de Venezuela.

## REFERENCIAS

- Batjes, N.H. (1996): Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma*. 71: 31 – 52.
- Bouma, J. y Lanen, J. van. (1987): Transfer functions and threshold values: from land characteristics to land qualities. In: K.J. Beek / (ed.). *Quantified Land Evaluation. Proceedings of a Workshop, ISSS and SSSA. ITC Publications*. Enschede, The Netherlands. pp 106-110.
- Delgado, F. y Barreto, L. (1988): 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.
- Hernández, W., Ospina, A. y Elizalde, G. (2004): Mineralogía de los suelos y materiales parentales de la cuenca alta del río Guárico (Venezuela). XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.
- 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.
- Minasny, B., McBratney, A.B. y Bristow, K.L. (1999): Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma*, 93: 225 – 253.
- Pineda, C. y Viloría, J. (1997): Funciones de pedotransferencia para estimar la retención de humedad en suelos de la cuenca del lago de Valencia. *Venezuelos*. 5(1-2): 39-45.
- Prada, R., Ojeda, E. y Viloría, J. (2003): Caracterización de las propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico. Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa del Milenio
- Rawls, W., Brakensiek, D. y Saxton, K. (1982): Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25: 1316-1320.
- Rey, J.C. y Wagner, M. (2004): Estimación de la retención de humedad de los suelos a partir de propiedades seleccionadas. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. 16 p.
- SAS. (1990): *Procedures Guide*. Version 6. Third Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 705 p.
- Tomasella, J. y Hodnett, M.G. (1998): Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Sci*. 163(3): 190-202.