

Estimación del agua disponible para las plantas en suelos cubanos en función de la textura predominante

Estimation of Water Available for Plants in Cuban Soils as a Function of Prevailing Texture



<http://opn.to/a/y1i9r>

Greco Cid- Lazo^{1*}, Julián Herrera-Puebla¹, Teresa López-Seijas¹, Felicita González-Robaina¹

¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es determinar a partir de la información disponible para los suelos de mayor importancia agrícola de Cuba, la disponibilidad total del agua y la reserva fácilmente utilizable para las plantas en función de la textura predominante, como herramienta que facilite la programación eficiente del riego. Se dispuso de datos de 131 subtipos y 11 agrupamientos de suelos, según la base de datos del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) de Cuba. La profundidad considerada fue de 0,5 m y se asignó a cada perfil de suelo un valor de tamaño de partícula predominante según su textura. Se ajustaron los valores con un análisis de regresión logarítmica de las humedades gravimétricas y volumétricas correspondientes al punto de capacidad de campo (Cc) y punto de marchitez permanente (PMP). Se cuantificaron los valores del Agua total Disponible en el suelo (ADP) y la Reserva Fácilmente Utilizable (RFU) para las plantas. Las relaciones obtenidas permiten predecir en más del 90%, la variación de los límites de estas reservas en función del tamaño de partícula predominante en la textura del suelo. Los rangos de variación de estos límites son superiores a los definidos a nivel internacional para las clases texturales de limo y arcilla, lo que se asocia a las características de la arcilla predominante en muchos suelos cubanos. Los resultados tienen un alto valor práctico para la programación eficiente del riego de los cultivos y permiten disminuir el engorroso trabajo de campo y laboratorio implicado en estos estudios.

Palabras clave: composición textural, límites del agua disponible, reserva fácilmente utilizable.

ABSTRACT: The objective of this work is to determine the total soil water availability and easily usable reserve for plants as a function of predominant soil texture. That will be done from information existing for the most important Cuban soils. It will be used as a tool that facilitates efficient irrigation programming. Data were available from 131 soil subtypes and 11 soil groupings, according to the database of the Agricultural Engineering Research Institute (IAgric) of Cuba. The soil depth considered was 0.5 m and a predominant particle size value was assigned to each soil profile according to its texture. Values were adjusted with a logarithmic regression analysis of the gravimetric and volumetric soil water content corresponding to the point of field capacity (Cc) and permanent wilting point (PMP). The values of the Total Available Water in the Soil (ADP) and the Easily Usable Reserve (RFU) were also quantified. The obtained relationships allow predicting in more than 90%, the variation of the limits of these soil water reserves, based on the predominant particle size in its textural composition. The ranges of variation of these limits are higher than the ranges defined at international level for silt and clay, which is associated with the characteristics of the predominant clay in many Cuban soils. The results have a high practical value as a basis for the efficient programming of crop irrigation and allow reducing the hard field and laboratory work involved in these studies.

Keywords: soil textural composition, soil available water limits, easily usable soil water reserve.

*Autor para correspondencia: Greco Cid- Lazo. e-mail: dptoambiente1@iagric.cu

Recibido: 25/01/2018

Aceptado: 11/09/2018

INTRODUCCIÓN

Los suelos pueden almacenar diferente cantidad de agua dependiendo fundamentalmente de sus propiedades físicas básicas que son la textura y la estructura, y en ello también influye de manera particular el contenido de materia orgánica. La cantidad total de agua disponible en el suelo para las plantas (ADP) es la diferencia entre las láminas de agua almacenadas al límite máximo de retención o almacenamiento conocido como “Capacidad de Campo” (Cc) y el límite mínimo de almacenamiento, denominado como “Punto de Marchitez Permanente” (PMP), ambas consideradas hasta la profundidad de interés para las plantas o profundidad radical efectiva (Zr) ([Gardner, 1988](#); [Hillel, 1998](#); [Reichardt y Timm, 2004](#); [U.S. Department of Agriculture, 2005](#); [Allen et al., 2006](#)).

Una fracción de agotamiento del agua desde la capacidad de campo hasta un punto definido fundamentalmente por las características del cultivo, entre otros factores, representa el “agua o reserva fácilmente disponible para las plantas” (RFU). La adecuada selección de este punto implica la definición del criterio operativo ideal para la planificación del riego ([Allen et al., 2006](#)).

Los primeros trabajos realizados en Cuba sobre el agua disponible para las plantas en los suelos cubanos se remontan a la década de 1960 y tuvieron como base la clasificación morfológica de los suelos vigente en Cuba en esos momentos. Se utilizaron solo métodos destructivos de procesamiento de muestras y diferentes conceptos de energía de retención del agua en el suelo. En este sentido se destacan los trabajos de [Nakaidze y Simeón \(1972\)](#); [Simeon \(1979\)](#); [Klimes et al. \(1980\)](#) y otros.

Posteriormente en la década de 1980, asociados a los trabajos para la confección del mapa de suelos de Cuba a escala 1:25 000 y a la aplicación generalizada del pronóstico del riego [Rey et al. \(1982\)](#), se realizaron estudios más profundos de la disponibilidad del agua para las plantas en diferentes suelos cubanos, donde participaron diferentes entidades científicas y técnicas del país liderados por el antiguo Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería

Agrícola (IAgric). Estos estudios se hicieron tomando como base la Clasificación Genética de los suelos cubanos vigente

La continuidad y actualización de esos estudios se ha venido realizando hasta la fecha a partir de diferentes trabajos de tesis de maestría, doctorado y proyectos de investigación nacionales e internacionales, así como servicios científico técnicos prestados por investigadores y especialistas del IAgric a diferentes entidades del país, lo que ha generado una base de datos con información de propiedades físicas de los principales tipos de suelos del país, teniendo en cuenta además correlaciones con la última clasificación genética de los suelos cubanos ([Cid et al., 2011](#)).

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar a partir de la información disponible para los suelos de mayor importancia agrícola de Cuba, la disponibilidad del agua total y la reserva fácilmente utilizable para las plantas en función de la textura predominante, como herramienta que facilite la programación eficiente del riego.

MÉTODOS

Bases de Datos

Para la investigación se dispuso de la base de datos con que cuenta el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) del Ministerio de la Agricultura de Cuba.

Se obtuvieron datos de 131 subtipos de suelos pertenecientes a 11 agrupamientos, según la última clasificación de suelos vigente en Cuba ([Hernández et al., 2015](#)). Los suelos estudiados pertenecen a los agrupamientos: Alíticos, Ferrítico, Ferralítico, Fersialítico, Pardo Sialítico, Húmico Sialítico, Vertisol, Hidromórfico, Halomórfico, Fluvisol e Histosol. Solo faltaron suelos pertenecientes a los Agrupamientos Ferrálicos, Histosoles, Poco Evolucionados y Antrosoles de esta última clasificación mencionada.

Las propiedades físicas de los suelos consideradas y los métodos empleados para su determinación aparecen en la [Tabla 1](#).

Procesamiento de los datos

La capa seleccionada para realizar los estudios de cada perfil de suelo fue de 0 hasta 0,5 m, teniendo en cuenta la profundidad que alcanzan

TABLA 1. Propiedades físicas e hidrofísicas estudiadas y métodos utilizados

Propiedades	Método de determinación
Textura	Método de la pipeta
Capacidad de Campo	Método de la plazoleta
Punto de Marchitez Permanente	Método de la membrana (tensión 15 atm.)
Densidad Aparente	Método del anillo (muestras inalteradas)
Humedad del suelo	Gravimétrico

las raíces de la mayoría de los cultivos de importancia económica bajo regadío en Cuba ([Chaterlán et al., 2010](#); [Zamora et al., 2014](#)).

Se organizaron los datos de cada perfil de suelo evaluado asignando al mismo un valor de tamaño de partícula predominante y considerando los rangos establecidos para la clasificación textural en el manual de interpretación de los suelos cubanos ([MINAG, 1984](#)).

Los valores intermedios se ajustaron según un análisis de regresión logarítmica entre los valores de humedad gravimétrica correspondientes al punto de capacidad de campo (Cc) y punto de marchitez permanente (PMP), y el tamaño de partícula predominante.

Un análisis de regresión logarítmica similar se realizó también para los valores de humedad volumétrica correspondientes, calculados según la expresión ([Cid et al., 2011](#)):

$$W_v = W_g \cdot D_a \quad (1)$$

donde:

W_v - humedad volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

W_g - humedad gravimétrica ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

D_a - densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

La calidad de las regresiones se analizó a partir del estadígrafo *Coefficiente de Determinación*, R^2 .

Se calcularon además las láminas correspondientes a los límites superior (LSAD) e inferior (LIAD) del Agua total Disponible en el Suelo para la Planta (ADP), según lo definido por [Allen et al. \(2006\)](#), considerando los valores medios de humedad volumétrica a capacidad de campo $W_{V_{Cc}}$ y al punto de marchitez permanente $W_{V_{PMP}}$, expresados en porcentaje (%) de volumen hasta la profundidad radical de $Z_r = 0,5$ m, como sigue:

$$LSAD = W_{V_{Cc}} \cdot Z_r \quad (2)$$

$$LIAD = W_{V_{PMP}} \cdot Z_r \quad (3)$$

Por último se cuantificaron para cada perfil los valores del Agua total Disponible en el Suelo

para la Planta (ADP), y la Reserva Fácilmente Utilizable (RFU). Para el cálculo de la RFU se tuvo en cuenta los resultados de estudios antecedentes que definen que los máximos rendimientos bajo riego se obtienen para los tratamientos donde se mantiene la humedad alrededor del 85% de la capacidad de campo que se corresponde con el 50% de la humedad aprovechable en el suelo ([Chaterlán et al., 2010](#); [Zamora et al., 2014](#)).

Los cálculos se realizaron según lo definido por ([Allen et al., 2006](#)), a partir de las expresiones siguientes:

$$ADS = LSAD - LIAD \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

$$RFU = 0,5 \cdot ADS \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Figura 1](#) (A y B) se presenta el resultado del análisis de regresión efectuado entre los valores de las humedades gravimétrica y volumétrica a capacidad de campo, Cc, y punto de marchitez permanente, PMP, y los tamaños de partículas predominantes en el suelo.

Como se puede apreciar se obtuvieron en todos los casos ecuaciones logarítmicas con altos valores del coeficiente de determinación R^2 , lo que permite afirmar que las ecuaciones definidas para cada caso permiten explicar más del 95% de las variaciones en la humedad gravimétrica en función de las variaciones texturales del suelo y más del 80% de las variaciones para el caso de la humedad volumétrica.

La disminución de la precisión de las regresiones con las humedades volumétricas se puede asociar a la variabilidad de los valores de densidad aparente, que no solo está asociada a los cambios texturales sino a cambios estructurales que se puedan dar en un mismo tipo de suelo ([Cid et al., 2011](#); [López et al., 2016](#)).

Se recomienda para el uso práctico de estas ecuaciones utilizar las obtenidas para la humedad gravimétrica y convertir después los valores a

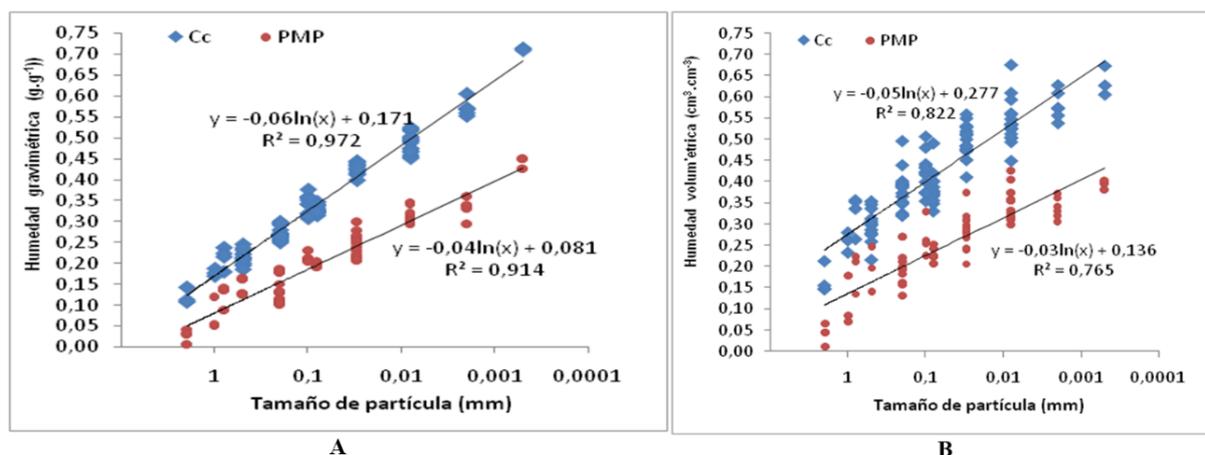


FIGURA 1. Relaciones encontradas entre los valores de humedad a capacidad de campo, Cc, y punto de marchitez permanente, PMP, y los tamaños de partículas predominantes en el suelo: A- para las humedades gravimétricas; B- para las humedades volumétricas.

humedades volumétricas utilizando los datos de densidad aparente específicos para cada sitio.

Otros autores también han apuntado a las posibles relaciones que pueden establecerse entre la variación del tamaño de las partículas predominantes en los suelos que caracterizan su textura y las humedades correspondientes a distintos valores de tensión o la conductividad hidráulica. A estas relaciones se les ha denominado ecuaciones de pedotransferencia y pueden citarse como ejemplos las funciones desarrolladas para suelos europeos por [Wösten et al. \(1998\)](#); [Jarvis et al. \(2002\)](#) y [Zotarelli et al. \(2013\)](#).

En Cuba, [Ruiz et al. \(2006\)](#), definen las funciones de pedotransferencia entre los métodos empleados para determinar las propiedades hidráulicas de los suelos. En particular [Medina et al. \(2002\)](#) definieron funciones de pedotransferencia para estimar los valores de la curva tensión-humedad a partir de propiedades físicas básicas, pero solo para un tipo de suelo (Ferralítico).

El aporte fundamental de este trabajo a esos estudios antecedentes está fundamentalmente en que involucra un rango amplio de tipos de suelos y que permite la estimación directa a partir de una sola propiedad física básica del suelo (el tamaño de partícula predominante), de las humedades que definen los límites de la reserva de agua total disponible en el suelo para las plantas, importantes para la programación del riego.

Los parámetros de las ecuaciones logarítmicas encontradas se utilizaron para representar la tendencia de la variación de las humedades y las láminas de agua correspondientes a los parámetros que definen la disponibilidad del agua para las plantas, en función de la variación de las clases texturales de los suelos ([Figura 2](#)).

En este caso se han representado las distintas clases texturales que pudieran tenerse de un análisis textural de laboratorio, según lo definido en el *Manual de interpretación de los suelos cubanos* ([MINAG, 1984](#)).

Estas figuras resultan útiles para tener una aproximación rápida a los valores que pueden esperarse de la disponibilidad del agua para las plantas según la clasificación textural del suelo.

Una comparación de este resultado con el esquema clásico presentado por [Hillel \(1998\)](#), para estas relaciones (ver [Figura 3](#)) permite definir que los rangos de variación de las humedades a Cc y PMP estimados para los suelos cubanos son superiores, fundamentalmente para las clases texturales correspondientes al limo y la arcilla. Esto puede estar asociado a las características de la arcilla predominante en muchos suelos de Cuba que presentan cantidades considerables de smectita y vermiculita lo que hace que tiendan a dilatarse y contraerse de acuerdo al nivel de humedad presente ([Cid et al., 2004](#)).

Los resultados resumidos en la [Figura 2](#) tienen un valor práctico importante ya que resultan una herramienta simple que puede ser utilizada por técnicos y productores para la definición de la

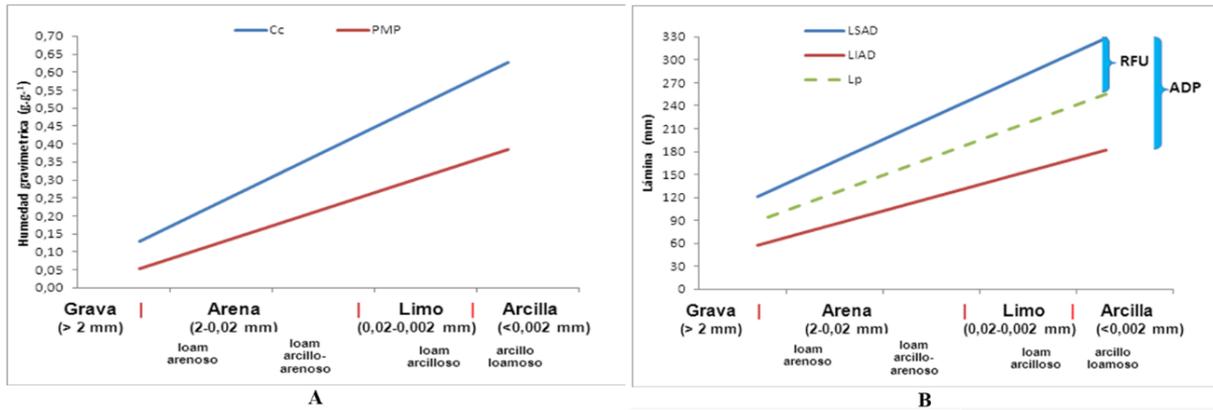


FIGURA 2. Tendencia de la variación de los parámetros que definen la disponibilidad del agua para las plantas en función de la textura del suelo: A- expresados en humedades gravimétricas; B- expresados en láminas de agua .

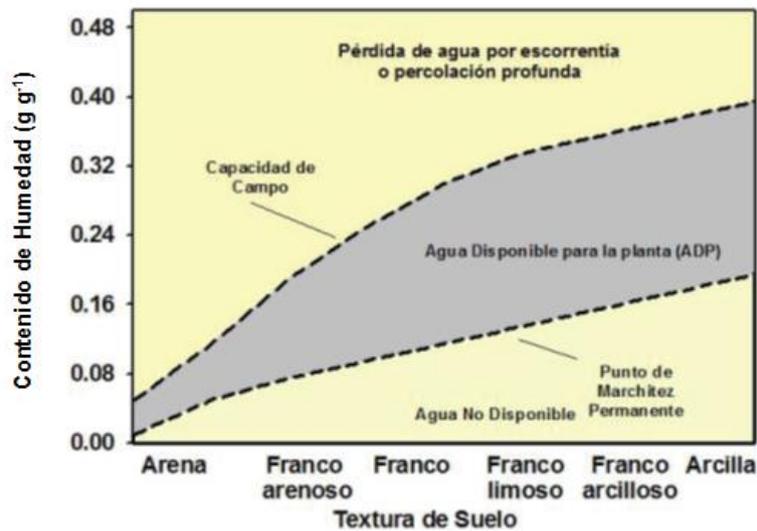


FIGURA 3. Relación general entre el agua disponible para la planta y la clase de textura del suelo presentado por Hillel (1998).

programación del riego de los cultivos, sobre todo la definición del cuándo y cuánto regar, a partir del conocimiento de la textura predominante en el suelo hasta la profundidad de 0,5 m, lo cual puede ser definido a partir de estudios de suelos anteriores o precisado con un análisis textural específico para el sitio en estudio.

No obstante, estos resultados imponen para la extensión de su aplicación en la práctica productiva, de un fortalecimiento del análisis textural del suelo que se realiza en diferentes laboratorios del país por diferentes entidades, para que pueda ser precisado con mayor exactitud el tamaño de partícula predominante. En este sentido se recomienda usar un promedio ponderado del tamaño de partícula teniendo en

cuenta los porcentajes de partículas presentes en cada fracción textural.

Recomendaciones para su implementación práctica

- Aprovechar las potencialidades que se tienen a partir de proyectos internacionales y programas nacionales para fortalecer los análisis texturales de los laboratorios de suelo y de otras entidades del sistema.
- Capacitar al personal técnico directamente relacionado con la actividad de suelo y riego en la base productiva para el uso práctico de estas relaciones.
- Utilizar las relaciones obtenidas como parte de las herramientas incluidas y los Servicios de Asesoramiento a Regantes y en particular para el pronóstico del riego.

- Realizar validaciones de campo de estas relaciones a partir del seguimiento de la humedad del suelo en campos controles utilizando técnicas actuales de fácil utilización como las sondas electromagnéticas (TDR).

CONCLUSIONES

- Las relaciones determinadas para los suelos de mayor importancia agrícola de Cuba permiten predecir con una precisión de más del 95%, la variación de los límites de las reservas de agua total y fácilmente utilizable para las plantas en función del tamaño de partícula predominante en su composición textural.
- Los rangos de variación de las humedades a capacidad de campo, C_c y punto de marchitez permanente, **PMP**, estimados para los suelos cubanos son superiores a los rangos definidos por estudios a nivel internacional, fundamentalmente para las clases texturales correspondientes al limo y la arcilla, lo que se asocia a las características de la arcilla predominante en muchos suelos cubanos.
- Los resultados obtenidos tienen un alto valor práctico como base para la programación eficiente del riego de los cultivos y permiten disminuir el engorroso trabajo de campo y laboratorio que implican estos estudios así como pueden tributar a la planificación más precisa de los recursos hídricos que dispone el país para la irrigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. Food & Agriculture Org., @FAO ed., vol. 56, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- CHATERLÁN, D.Y.; DUARTE, D.C.; LÓPEZ, S.T.; PAREDES, P.; PEREIRAS, L.S.: “Determining of crop coefficients for horticultural crops in Cuba through field experiments and water balance simulation”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 90-95, 2010, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; ELENA RUIZ, M.: “Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- CID, L.G.; HERRERA, P.J.; SIERRA, O.L.; LÓPEZ, S.T.: “Gestión del agua en el manejo integral de los vertisuelos bajo diferentes agroecosistemas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(3): 1-5, 2004, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- GARDNER, E.A.: *Understanding Soils and Soil Data*, Soil Conservation Research Branch ed., vol. Chapter 10, Soil Water, Queensland, 153-184 p., 1988.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.J.M.; BOSCH, I.D.; CASTRO, S.N.: *Clasificación de los suelos de Cuba*, Ed. Ediciones INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HILLEL, D.: *Environmental Soil Physics*, Ed. Academic Press, USA, 346 p., 1998.
- JARVIS, N.J.; ZAVATTARO, L.; RAJKAI, K.; REYNOLDS, W.D.; OLSEN, P.-A.; MCGECHAN, M.; MECKE, M.; MOHANTY, B.; LEEDS, H.P.B.; JACQUES, D.: “Indirect estimation of near-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information”, *Geoderma*, 108(1-2): 1-17, 2002.
- KLIMES, A.S.; SUÁREZ, O.; MESA, A.; PENA, J.: *Suelos de Cuba*, Ed. Orbe, Tomo II. Física del suelo ed., La Habana, Cuba, 328 p., 1980.
- LÓPEZ, S.T.; RUÍZ, P.M.E.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.; HERRERA, P.J.: “Actualización de herramientas disponibles para la precisión de balances hídricos del suelo en trabajos experimentales”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 18-25, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- MEDINA, H.; TARAWALLY, M.; DEL VALLE, A.; RUIZ, M.E.: “Estimating soil water retention curve in rhodic ferralsols from basic soil data”, *Geoderma*, 108(3-4): 277-285, 2002, ISSN: 0016-7061.
- MINAG: *Manual de Interpretación de los Suelos cubanos*, ser. Ed. Científico-Técnica, Inst.

- Ministerio de la Agricultura (MINAG), La Habana, Cuba, 133 p., 1984.
- NAKAIDZE, E.K.; SIMEÓN, F.R.: “Características generales de las propiedades hidrofísicas de los principales suelos de Cuba”, *Voluntad Hidráulica*, (23): 33-40, 1972, ISSN: 0505-9461, E-1999-2750.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C.: *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*, Ed. Manole Ltda., Barueri, SP, Brasil, 478 p., 2004, ISBN: 85-204-1773-6.
- REY, R.; HERRERA, J.; ROQUE, R.; LAMELA, C.: “El pronóstico de riego en Cuba.”, *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje*, 5(1): 10-15, 1982, ISSN: 0138-8487.
- RUIZ, P.M.E.; MEDINA, H.; HERRERA, P.J.: “Métodos empleados en Cuba para determinar las propiedades hidráulicas de suelos”, *Terra Latinoamericana*, 24(3): 311-318, 2006, ISSN: 0187-5779.
- SIMEON, F.R.: “Características de las propiedades hidrofísicas de los principales suelos agrícolas de Cuba”, *Voluntad hidráulica*, 16(49-50): 16-23, 1979, ISSN: 0505-9461, E-1999-2750.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE: *Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Handbook, title 430-VI. Soil Properties and Qualities (Part 618), Available Water Capacity (618.05) [en línea]* 2005, USA, Disponible en: <http://soils.usda.gov/technical/handbook> , [Consulta: 17 de diciembre de 2017].
- WÖSTEN, J.H.M.; LILLY, A.; NEMES, A.; LE BAS, C.: *Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning*, Ed. Report, WinandStaring Centre, *Greco Cid- Lazo*, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoambientel@iagric.cu
Julián Herrera-Puebla, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu
Teresa López-Seijas, e-mail: directoradjunta@iagric.cu
Felicita González-Robaina, e-mail: dptoambiente5@iagric.cu
- Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.
- Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
- La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.
- SC-DLO, Wageningen ed., vol. 156, Netherlands, 106 p., 1998.
- ZAMORA, H.E.; CARMEN, D.C.; CUN, R.; PÉREZ, R.; LEÓN, M.: “Coeficientes de cultivos (Kc) en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola* , 4(3): 16-22, 2014, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- ZOTARELLI, L.D.; DUKES, Y.; MORGAN, T.: *Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad, [en línea]*, Inst. Universidad de Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica, Servicio de Extensión Cooperativa, USA, 2013, Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu> , [Consulta: 17 de diciembre de 2017].