

Calibración de sonda reflectométrica para la estimación de la humedad de suelos ferralíticos rojos

Calibration of TDR probe for the estimate of typical red ferralitic soils moisture



<http://opn.to/a/fdgG1>

Dr.C. Santiago Cabrera-Moreira[✉], Ing. Néstor Concepción-Bonachea, M.Sc. Osbel Julio Batista-Charles, Ing. Iosvany Palmero-Venegas

Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. El método dieléctrico de estimación de la humedad de los suelos se fundamenta en la relación estrecha existente entre ésta y la permitividad dieléctrica de los mismos. La reflectometría del dominio en el tiempo (TDR, por sus siglas en inglés: Time Domain Reflectometry) es una técnica indirecta de estimación de la humedad del suelo basada en la relación mencionada dada por polinomios de diferentes rangos e insertados en estos equipos. Sin embargo, las ausencias de generalización de estos modelos para convertir los datos de los sensores en lecturas de humedad de suelos diferentes hacen necesaria la obtención de curvas de calibración sitio-específicas. El objetivo del presente trabajo consiste en la calibración de una sonda TDR 300 modelo 6430FS para su uso en suelos ferralíticos rojos típicos de la provincia Ciego de Ávila, Cuba.

Palabras clave: Método dieléctrico, humedad gravimétrica, reflectometría en el dominio del tiempo, ecuación empírica de calibración.

ABSTRACT. The dielectric method to estimate the soil moisture content is based in the existent closed relationship between the dielectric permittivity and the water content. The time-domain reflectometry (TDR) is an indirect technique to estimate the soil water content based on the mentioned relationship given by polynomials of different ranges inserted in the equipment. However, the absence of generalization of these models to transform the data of the sensors into readings of moisture content of different soils makes necessary the obtaining of the place-specific calibration curves. The objective of the present work consists on the calibration of a probe TDR 300 model 6430FS for its use in typical red ferralitic soils of Ciego de Ávila, Cuba.

Keywords: Dielectric method, gravimetric moisture, time domain reflectometry, empirical calibration equation.

[✉] Autor para correspondencia: Santiago Cabrera-Moreira. E-mail: santiagoc@unica.cu, scmoreira53@gmail.com

Recibido: 12/09/2017

Aceptado: 11/06/2018

INTRODUCCIÓN

Actualmente alrededor del 70% del agua potable total de la Tierra se utiliza en labores agrícolas, 20% en la industria y un 10% en labores domésticas (Baroni *et al.*, 2007). En Cuba, según González *et al.* (2015), el 59,7% del volumen total del líquido es utilizado por la agricultura. Siendo un recurso limitado a escala planetaria, resulta evidente la necesidad de su uso eficiente, con énfasis en la agricultura.

La mayor parte de los usos agrícolas del agua parte de la determinación de su contenido en el suelo. Su medición debería ser uno de los indicadores en la evaluación de la necesidad de aplicar agua para el riego (FAO, 2015). Desde el punto de vista hidrológico, sólo es posible establecer balances de agua en el suelo si se tiene información fiable de la variación del contenido de agua y de la variación del almacenamiento en el perfil considerado (Cornelissen *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2016). Además, la determinación de la variación del contenido de agua en el suelo es necesaria para el cálculo de la recarga y del flujo tanto saturado como no saturado, a través del suelo y la zona no saturada y permite conocer los mecanismos principales de transporte de solutos (Vereecken *et al.*, 2014; Miller y Chanasyk, 2015).

Con sólo estas consideraciones resulta obvia la importancia de la aplicación de métodos fiables, económicos y respetuosos del medio ambiente para la medición de la humedad de los suelos y sus variaciones, así como la respuesta de estas variaciones a diferentes condiciones del contorno.

Todos los métodos de medición del contenido de humedad del suelo utilizan una propiedad física de una muestra que varía con el contenido de agua en él: la masa en el caso del método gravimétrico; la resistencia o conductividad en el caso del método eléctrico, etc. En la práctica internacional y en Cuba, el método gravimétrico sigue el siendo el de referencia y más usado en la práctica agrícola e ingeniera a pesar de sus insuficiencias evidentes (Zhao *et al.*, 2016). Es un método directo laborioso, alto consumidor de tiempo y energía además de ser destructivo. Otros métodos resultan altamente costosos o poco fiables y no han sido ampliamente extendidos en la práctica agrícola e investigativa. Sin embargo, el método dieléctrico, basado en la relación directa existente entre el volumen de agua en este medio y el valor de su permitividad dieléctrica relativa, últimamente destaca por su divulgación y potencialidades para la determinación de la humedad del suelo y la descripción de su estado físico (Suchorab *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2016). Las sondas reflectométricas de dominio en el tiempo constituyen un ejemplo práctico de dicho método. Es una técnica indirecta, rápida y no destructiva para estimar el contenido de humedad basada en su relación directa con la permitividad dieléctrica relativa del suelo (Chen, 2014; Zhao *et al.*, 2016). Sin embargo, su aplicabilidad en suelos específicos ha sido cuestionada en varias investigaciones Ponizovsky *et al.* (1999); Bravo-Espinosa *et al.* (2009), dado que este tipo de equipamiento utiliza modelos matemáticos Topp *et al.* (1980), de relación humedad-permitividad dieléctrica del suelo que privilegian el papel del contenido de agua en el sistema en detrimento de la influencia de otras propiedades del mismo tales como la composición mecánica y de agregados, contenido de materia orgánica, densidad, etc. Es por ello que varios autores subrayan la necesidad de modelos de calibración de estos equipos para cada suelo (Cichota, 2003; Zhao *et al.*, 2016).

En la literatura extranjera se reporta un gran número de trabajos que investigan el tema (Bravo-Espinosa *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2016). En Cuba, Ustariz (2017), reporta la obtención de curvas de calibración específica para una sonda TDR en suelos ferralíticos de las provincias Artemisa y Pinar del Río en tanto López *et al.* (2006), presentan un estudio que caracteriza un equipo similar en determinaciones del contenido de agua del suelo en condiciones de organopónico. Por su parte Cabrera *et al.* (2017), obtuvieron las relaciones empíricas entre la permitividad dieléctrica del suelo y su contenido de humedad en suelos ferralíticos rojos de la provincia Ciego de Ávila y discuten sobre la idoneidad de la reflectometría de dominio temporal para la estimación de este parámetro en los mismos suelos. Los autores citados reconocen las ventajas de esta técnica para la estimación y seguimiento de este parámetro del suelo, aunque alertan sobre las condiciones necesarias a considerar para su uso efectivo.

El presente trabajo tiene como objetivo la obtención de los modelos de calibración de la sonda TDR 300 Modelo 6430FS de la firma Spectrum Technologies para suelos ferralíticos rojos típicos de la provincia Ciego de Ávila.

MÉTODOS

En el trabajo se estudia un Suelo Ferralítico Rojo Típico (SFRT) según la última clasificación de suelos vigente en el país, (Hernández *et al.*, 1999). Para ello se tomaron muestras en cuatro campos diferentes de la provincia Ciego de Ávila: Jardín Botánico y Estación Experimental “Juan Tomás Roig”, de la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, ubicada en el km. 9 1/2 de la carretera a Morón, municipio Ciego de Ávila y las Cooperativas de Producción Agropecuaria “El Tezón”, ubicada en Ceballos y “La Carolina”, municipio Venezuela.

Para el estudio de campo del SFRT fue utilizada la sonda TDR 300 Modelo 6430FS de la firma estadounidense Spectrum Technologies mostrada en la [Figura 1](#).



FIGURA 1. Sonda TDR 300, modelo 6430FS, utilizada en la determinación de humedad del suelo.

Las mediciones simultáneas de humedad *in situ* con ayuda de la sonda TDR y las muestras de suelo para el método gravimétrico fueron realizadas en las capas de suelo 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 y 0,40-0,60 m. La densidad aparente del suelo fue determinada con ayuda del método de los cilindros en tanto la fracción mecánica menor de 0,002 mm se obtuvo mediante el método de Bouyoucos ([Vadiunina y Korchaguina, 1986](#)).

Para valorar la efectividad del equipo TDR para diferentes contenidos de agua del suelo, se obtuvieron tres perfiles comparativos de humedad hasta profundidades de 0,60 m con ayuda de ambos métodos. En cada campo fueron seleccionados 4 puntos al azar. En cada uno de ellos y de cada profundidad fueron tomadas cuatro muestras de suelo para el análisis gravimétrico e igual número de lecturas de la sonda. Del análisis estadístico de estos valores fueron eliminados aquellos excesivamente alejados de los valores medios en cada caso.

Para la obtención de los modelos matemáticos fue utilizado el programa Microsoft Office Excel 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Algunas características del suelo investigado

La [Tabla 1](#) muestra los valores de algunas de las propiedades físicas del SFRT investigado. La densidad aparente del suelo en la capa superficial es relativamente baja dada la capacidad de la materia orgánica y el hierro, de formar microagregados estables en esta parte del perfil. Su tendencia es al incremento con la profundidad como consecuencia de la disminución del contenido de materia orgánica y el proceso de compactación que se manifiesta con mayor fuerza en la capa 0,20–0,40 m donde generalmente está presente el llamado del piso de arados. Con todo, estos valores son inferiores a los reportados por [Cid et al. \(2011\)](#), lo que puede estar relacionado con diferencias en los tenores de materia orgánica y las tecnologías de manejo de los suelos. Con valores típicos de densidad de la fase sólida el volumen total de poros es alto y propio de suelos arcillosos. Los valores de la fracción mecánica menor de 0,002 mm son altos y tienden a aumentar en las capas inferiores con la pérdida de la estabilidad de los agregados a consecuencias del decremento de la materia orgánica.

TABLA 1. Algunas características físicas del SFR investigado

Profundidad, m	Densidad aparente, (Mg/m ³)	Densidad de la fase sólida (Mg/m ³)	Porosidad Total, (% V)	Fracción, d < 0,002 mm
0,00-0,10	0,97	2,62	62,97	71
0,10-0,20	1,01	2,67	62,17	70
0,20-0,40	1,10	2,71	59,40	73
0,40-0,60	1,08	2,72	55,37	78

Perfiles de humedad del suelo SFRT

La [Figura 2](#) muestra tres perfiles de humedad obtenidos simultáneamente con ayuda de la sonda TDR y por gravimetría. Los valores utilizados representan las medias de las estimaciones realizadas por ambos métodos en los tres campos seleccionados de la provincia.

Las curvas son ilustrativas de la respuesta de la sonda ante diferentes contenidos de humedad del suelo y arcillamiento. Para valores relativamente bajos de contenido de agua este dispositivo subestima el valor real del parámetro. Sin embargo, ocurre lo contrario para valores altos de este parámetro. Destaca el gráfico correspondiente a “La Carolina” por los elevados valores de contenido de agua reportados en correspondencia con la época lluviosa y el alto grado de humedecimiento del suelo. Bajo estas condiciones, la sonda TDR sobreestima los contenidos del líquido, alcanzando valores de hasta el 50 cm³/cm³. Un resultado similar reportan [García y Oliveira \(2001\)](#), al investigar cinco suelos diferentes de la región de Piracicaba, Brasil. Para valores de contenido de agua por encima de 0,30 m³/m³, el equipo TDR sobreestimó estos valores en relación a los reportados por gravimetría. Los autores coinciden con [Robinson et al. \(2003\)](#), al afirmar que los resultados muestran que el uso de TDRs en suelos arcillosos, tienden a estimar valores imprecisos que dependen del tipo de arcillas.

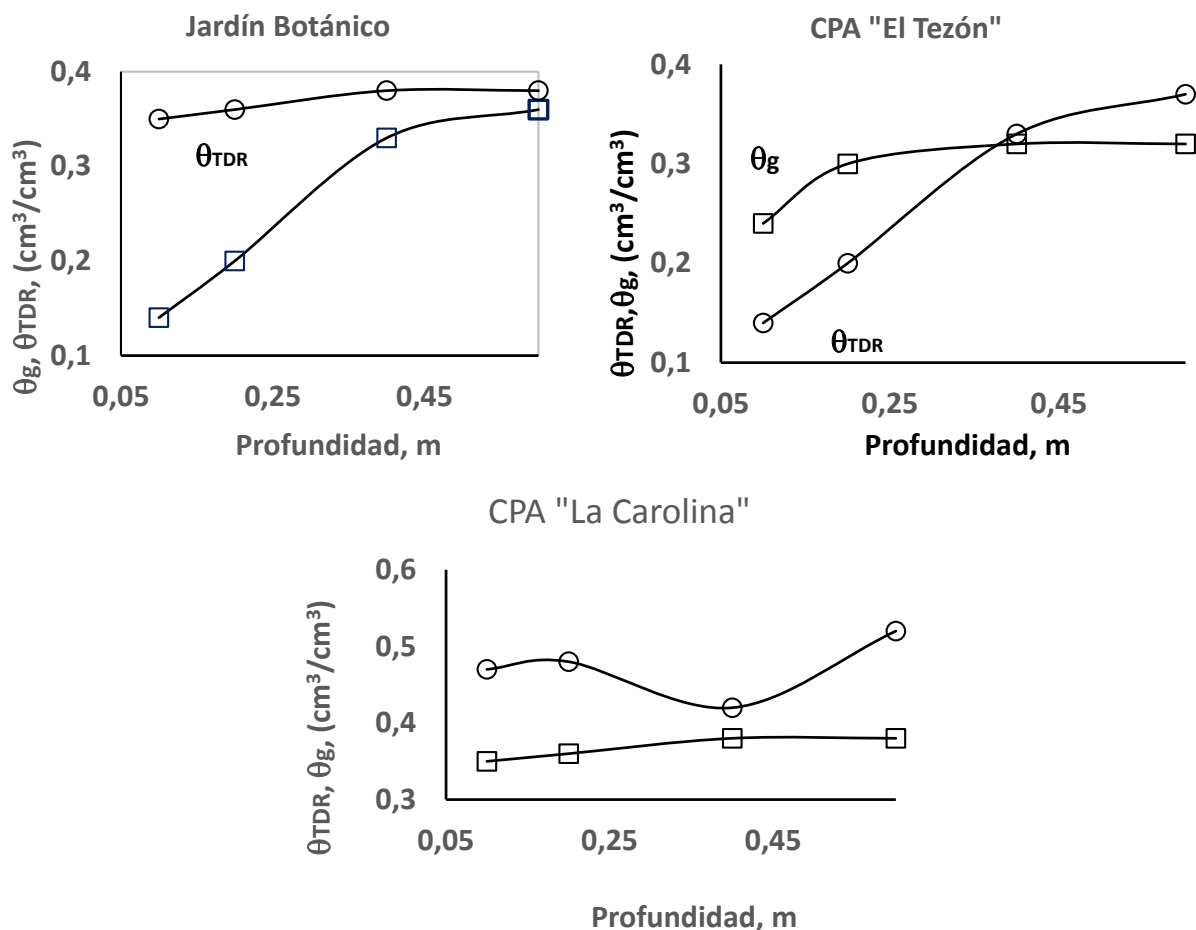


FIGURA 2. Perfiles de humedad del SFRT investigado.

Según [Zhao et al. \(2016\)](#), varios estudios mostraron que la ecuación empírica de [Topp et al. \(1980\)](#), tiene una alta precisión para suelos inorgánicos pero es inaplicable para suelos orgánicos, de textura fina y arcillosos ([Dasberg y Hopmans, 1992](#); [Yu et al., 1997](#)).

En opinión de los autores de este trabajo, las imprecisiones del mencionado modelo pueden deberse, entre otros factores, a que la permitividad dieléctrica caracteriza como un todo al sistema policomponente y polifásico que es el suelo. De ahí que su valor está relacionado, en mayor o menor medida, con todas las propiedades del sistema y no solo con una en particular, el contenido de agua, hecho en que se basa el mencionado modelo universal. Considerando este hecho [Zhao et al. \(2016\)](#), han propuesto un nuevo modelo que considera el efecto adicional sobre la permitividad dieléctrica de propiedades del suelo tales como su tipo, la densidad aparente, la energía de compactación, la conductividad porosa de fluidos y la temperatura.

De este modo, los estudios realizados indican que las generalizaciones como las de [Topp et al. \(1980\)](#), han resultado no ser tan universales como se esperaba y que la determinación confiable del contenido de humedad del suelo con la técnica reflectométrica requiere de calibraciones sitio-específicas del equipo ([Suchorab et al., 2014](#); [Almeidas et al., 2017](#)).

Modelos de calibración de la sonda TDR 300 Modelo 6430FS para SFR de la provincia Ciego de Ávila

Es necesario tener en cuenta que los modelos empíricos son solo relaciones funcionales entre variables y no necesariamente existe significado físico para la relación encontrada. Es por ello que tienen aplicabilidad limitada a los datos que le dieron origen y pueden eventualmente ajustarse bien a otros datos provenientes de condiciones semejantes.

A continuación, en la [Figura 3](#), se muestran modelos de calibración (humedad gravimétrica θ_g en función de las lecturas del TDR θ_T) para una sonda TDR 300 de la firma estadounidense Spectrum Technologies obtenidos en suelos ferralíticos rojos no disturbados de la provincia Ciego de Ávila con determinaciones de las capas de suelo de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 y 0,40-0,60 m de profundidad.

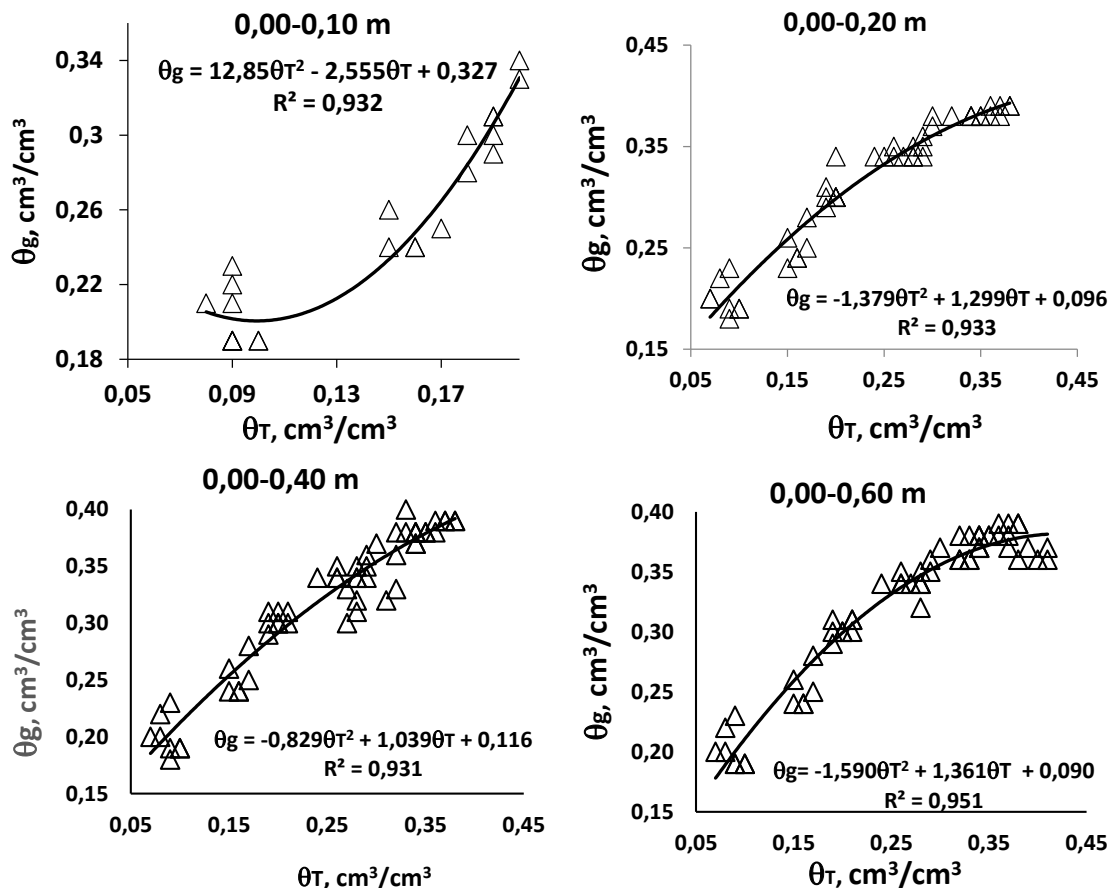


FIGURA 3. Curvas de calibración para diferentes profundidades del SFRT investigado.

Como se observa, todos los modelos responden a polinomios de segundo grado con buenos ajustes de acuerdo a los coeficientes de determinación situados por encima de 0,93. [Ustariz \(2017\)](#), reporta un modelo lineal para una sonda TDR ML2X en suelo Ferralítico Rojo compactado de la provincia de Artemisa con un buen ajuste al mismo tiempo que señala que la utilización de la ecuación interna de la sonda para estas condiciones de estudio implicaría una subestimación de la humedad del suelo en un 10% como promedio comparado con el uso de la calibración específica con sus implicaciones negativas, entre ellas, el cálculo inadecuado de la lámina de riego. Por su parte [Vera et al. \(2016\)](#), investigando suelos franco arcillosos de Murcia, España, también reporta relaciones lineales de los contenidos de agua en el suelo dados por ambos métodos de medición y señala posibles sobrestimaciones del valor del parámetro entre 55% y 200% si no se utilizan las ecuaciones específicas para cada sitio. Todos los autores citados coinciden en resaltar la importancia de la calibración sitio-específica de este equipamiento.

CONCLUSIONES

- Los modelos matemáticos insertados en la sonda TDR 300 Modelo 6430FS provocan imprecisiones significativas en la estimación de la humedad del SFRT investigado lo que sugiere la obtención de las curvas de calibración correspondientes.
- En los SFRT de la provincia Ciego de Ávila, los modelos de calibración responden a polinomios de segundo grado con ajustes satisfactorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDAS, K.S.S.; SILVA, S.L.; SILVA, P.V.P.; COELHO, F.M.A.; HOLZAPFEL, E.: “Modelos para estimativa da umidade em diferentes horizontes de argissolo amarelo com uso da TDR”, *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4): 1726-1736, 2017, ISSN: 1679-0359, DOI: 10.5433/1679-0359.

- BARONI, L.; CENCI, L.; TETTAMANTI, M.; BERATI, M.: “Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems”, *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(2): 279, 2007.
- BRAVO-ESPINOSA, M.; SERRATO-BARAJAS, B.; FREGOSO-TIRADO, L.; MEDINA-OROZCO, L.: “Evaluación empírica de la reflectometría de dominio temporal para estimar la humedad en dos suelos de origen volcánico”, *Terra Latinoamericana*, 27(3): 171–176, 2009.
- CABRERA, M.S.; PÉREZ, O.C.; RODRÍGUEZ, V.K.: “Medición del contenido de humedad de un suelo ferralítico con método dieléctrico”, *Universidad & Ciencia*, 6(Esp.): 140-149, 2017, ISSN: 2227-2690.
- CHEN, Y.M.: “A fundamental theory of environmental geotechnics and its application”, *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 36(1): 1-46, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.11779/CJGE201401001>.
- CICHOTA, R.: *Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo.*, Universidade de São Paulo, PhD Thesis, 2003.
- 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.
- CORNELISSEN, T.; DIEKKRÜGER, B.; BOGENA, H.R.: “Significance of scale and lower boundary condition in the 3D simulation of hydrological processes and soil moisture variability in a forested headwater catchment”, *Journal of hydrology*, 516: 140–153, 2014.
- DASBERG, S.; HOPMANS, J.W.: “Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soils”, *Soil Science Society of America Journal*, 56(5): 1341–1345, 1992.
- FAO: “Guía de la FAO para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos”, 18 de octubre de 2015, Disponible en: <http://agricultureros.com/guia-de-la-fao-para-la-determinacion-de-las-necesidades-de-agua-de-los-cultivos/>, [Consulta: 14 de enero de 2018].
- GARCIA, T.J.; OLIVEIRA, S.B.: ““Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solo” - Buscar con Google”, [en línea], En: 2001, Disponible en: <https://www.google.com/search?q=%E2%80%9CCalibra%C3%A7%C3%A3o+de+um+equipamento+de+TDR+para+medida+de+umidade+de+solo%E2%80%9D&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab>, [Consulta: 8 de mayo de 2018].
- GONZÁLEZ, R.F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, T.S.; CID, L.G.; DIOS, P.R.; HERNÁNDEZ, R.M.; SALAZAR, A.W.; ROMERO, S.A.: “Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba”, *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1): 95-114, 2015, ISSN: 2410-7980.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, ed. L.L. Barcaz, vol. 1, La Habana, Cuba, 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- LIN, G.; WANG, T.; ZHENG, X.: “Assessing effects of soil hydraulic properties on the temporal stability of absolute soil moisture content and soil moisture anomaly under different climatic conditions”, *Environmental Earth Science*, 75: 143-150, 2016, ISSN: 1866-6280, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4968>.
- LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, B.F.; G. CID: *Particularidades de la utilización de sondas electromagnéticas para la determinación de la humedad de los suelos y la cuantificación de balances hídricos*, AgrIng, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2006.
- MILLER, J.J.; CHANASYK, D.S.: “Unsaturated water flux at mid and lower slope positions within an inclined landscape of the Dark Brown soil zone in southern Alberta”, *Canadian Journal of Soil Science*, 95(1): 27-36, 2015, ISSN: 0008-4271, DOI: [org/10.4141/cjss-2014-058](http://dx.doi.org/10.4141/cjss-2014-058).

- PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S.M.; PACHEPSKY, Y.A.: "Performance of TDR calibration models as affected by soil texture", *Journal of Hydrology*, 218(1-2): 35-43, 1999, ISSN: 0022-1694, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00017-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00017-7).
- ROBINSON, D.A.; JONES, S.B.; WRAITH, J.M.: "A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry", *Vadose Zone Journal*, 2(4): 444-475, 2003, ISSN: 1539-1663, DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/vzj2003.4440>.
- SUCHORAB, Z.; MARCIN, K.; WIDOMSKI, K.M.; ŁAGÓD, G.; BARNAT, H.D.; SMARZEWSKI, P.: "Methodology of moisture measurement in porous materials using time domain reflectometry", *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*, 19(1-2): 97-107, 2014, DOI: 10.1515/cdem-2014-0009.
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P.: "Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission", *Water Resour. Research*, 16: 574-582, 1980, ISSN: 0043-1397.
- USTARIZ, P.A.: *Calibración de sondas electromagnéticas para el seguimiento de la dinámica de la humedad del suelo para estudios de riego en diferentes zonas agrícolas*, Universidad Agraria de La Habana, Tesis (en opción al título de Ingeniero Agrícola), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 50 p., 2017.
- VADIUNINA, A.F.; KORCHAGUINA, Z.A.: *Mietodi isliedovanua fizicheskij svoistv pochb*, Ed. Agropromizdat, Moscú, Rusia, 416 p., 1986.
- VERA, J.; ABRISQUETA, J.M.; QUEZADA, R.; MUNGUÍA, J.; CALLEJAS, R.; GÁLVEZ, R.A.; ABRISQUETA, I.; RUIZ, S.M.C.: *Calibración de sondas capacitivas para estimar la humedad del suelo en condiciones de campo: efecto de la pedregosidad*, [en línea], abril de 2016, Disponible en: www.plasticos-agricoles.com/wp-content/uploads/2016/06/Irrigation-07.pdf, [Consulta: 21 de marzo de 2018].
- VERECKEN, H.; HUISMAN, J.A.; PACHEPSKY, Y.; MONTZKA, C.; KRUK, J.V.D.; BOGENA, H.; WEIHERMÜLLER, A.M.; HERBSTA, M.; MARTINEZ, B.G.; VANDERBORGHTA, J.: "On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale", *Journal of Hydrology*, 516: 76-96, 2014, ISSN: 0022-1694, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.01.060.
- YU, C.; WARRICK, A.W.; CONKLIN, M.H.; YOUNG, M.H.; ZREDA, M.: "Two and three parameter calibrations of time domain reflectometry for soil moisture measurement", *Water Resouces Research*, 33: 2417-2421, 1997, ISSN: 0043-1397.
- ZHAO, Y.; LING, D.; WANG, Y.; HUANG, B.; WANG, H.: "Study on a calibration equation for soil water content in field tests using time domain reflectometry", *Journal of Zhejiang University Science*, 17(3): 240-252, 2016, ISSN: 1673-565X.

Santiago Cabrera-Moreira, Prof. Tit. Universidad de Ciego de Ávila, Carretera de Morón km 9, Ciego de Ávila, Cuba, E-mail: santiagoc@unica.cu, scmoreira53@gmail.com

Néstor Concepción-Bonachea, E-mail: nestorc@unica.cu

Osbel Julio Batista-Charles, E-mail: jobatista@unica.cu

Yosvany Palmero Venega, E-mail: palmero@unica.cu

NOTAS

*Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

*Este artículo de 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.