

## NOTA TÉCNICA

### CALIBRACIÓN DE LA SONDA TDR-300 PARA MEDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO EN SAN RAFAEL DE ONOTO, ESTADO PORTUGUESA\*

Probe calibration for TDR-300 for measurements moisture soil in San Rafael de Onoto, Portuguesa State

José Gabriel Vargas<sup>1</sup>, Rafael España<sup>1</sup> y José Guerrero<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El método de determinación del contenido de agua en el suelo a través de sondas TDR (*Time Domain Reflectometry*) estima el contenido de agua en base a la  $K_a$  (constante dieléctrica) utilizando una ecuación polinomial. Sin embargo, deben realizarse graduaciones *in situ*, que culminen en funciones individuales de calibración para cada tipo de suelo. Con el objeto de calibrar la sonda TDR-300, para ser utilizada en el seguimiento progresivo del contenido de humedad del suelo, en la parcela 2D-18 del municipio San Rafael de Onoto del estado Portuguesa, se realizaron 48 mediciones de la  $K_a$ , utilizando varillas de 7 cm, las cuales se compararon con sus contrastes gravimétricos obtenidos de muestras de suelo en cada punto de medición, para los estratos: superficial ( $E_1$ ), medio ( $E_2$ ) y profundo ( $E_3$ ) a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Se determinó textura, densidad aparente, coeficiente de correlación y curva de calibración para cada estrato. Los coeficientes de correlación fueron de 0,72; 0,43 y 0,46 para  $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ , respectivamente. Se evidenció sobre y sub estimación de la humedad gravimétrica en niveles inferiores a 14% y superiores a 24 % para  $E_1$  y  $E_2$ , mientras que en  $E_3$  no se evidenció algún ajuste. Se concluye que la sonda TDR-300 puede ser utilizada solo en  $E_1$  y  $E_2$ , con valores de  $K_a$  entre 2.500-3.700 y 2.700-4.000 uS/cm, respectivamente.

**Palabras clave:** reflectometría de dominio del tiempo, constante dieléctrica, humedad gravimétrica, humedad volumétrica.

#### ABSTRACT

The method for determining the water content in the soil through probes TDR (*Time Domain Reflectometry*) estimated the water content based on the  $K_a$  (dielectric constant) using a polynomial equation. However, calibrations should be conducted *on site*, leading to roles of individual calibration for each soil type. With the objective to calibrate the probe TDR-300 for use in monitoring the progressive moisture content of soil in the farm 2D-18 at San Rafael de Onoto municipality, Portuguesa State, 48 measurements were made of the  $K_a$ , using 7 cm rods and compared with gravimetric contrast, collected from soil samples in each of the measuring points for the superficial ( $E_1$ ), medium ( $E_2$ ) and deep ( $E_3$ ) layers at depths 0-20, 20-40 and 40-60 cm, respectively. It was determined the texture, bulk density, correlation coefficient and calibration curve for each stratum. The correlation coefficients was 0.72, 0.43 and 0.46, respectively. There was evidence of over and under estimation of gravimetric moisture in humidity levels below 14% and above 24% to  $E_1$  and  $E_2$ , while at  $E_3$  there was not evidence of any adjustment. We conclude that the probe TDR-300 can be used in  $E_1$  and  $E_2$ , with values of  $K_a$  between 2.500-3.700 y 2.700-4.000 uS/cm, respectively.

**Key words:** time domain reflectometry, dielectric constant, gravimetric humidity, volumetric moisture.

(\*) Recibido: 08-10-2010

Aceptado: 29-03-2011

<sup>1</sup> Programa Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare 3350, Po. Venezuela. E-mail: vargasgjoseg@gmail.com.

## INTRODUCCIÓN

En gran parte de la superficie de la tierra, la mayoría de los terrenos agrícolas presentan situaciones intermedias de abundancia y carencia de humedad que podrían ser mejoradas, eliminando los excesos de agua o aplicándola en forma suplementaria en ciertas épocas del año, respectivamente. En este sentido, el conocimiento directo y continuo de la variación espacio temporal del agua en el suelo, resulta de gran valor para las técnicas relacionadas con la agricultura de precisión en general, y el manejo del agua en particular (Cuevas y Osorio 2006).

Por otra parte, el contenido volumétrico de humedad en un punto determinado de un suelo, puede ser estimado en base a la determinación de la velocidad de desplazamiento de los neutrones de alta energía al contactar con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua, además, este contenido puntual de humedad puede ser evaluado mediante un impulso electromagnético de alta frecuencia utilizando métodos de medida en el dominio del tiempo (Folch y Fábrega 1999).

En este sentido, Villafañe (1998) mencionó la reflectometría en el tiempo como un método que mide la constante dieléctrica del suelo en función del tiempo de recorrido de una onda electromagnética introducida en él, a través de dos varillas de acero inoxidable. Mientras que, López *et al.* (2005) aseguran que la sonda TDR es uno de los métodos de medida de la  $K_a$ , que se ha demostrado en íntima relación con su contenido de agua

Sin embargo, García *et al.* (2005) señalaron que al tratarse el suelo de un sistema cuyas propiedades son cambiantes en el tiempo, la señal de las sondas es afectada por factores muy diversos, independientes del contenido de humedad y resaltaron la necesidad de realizar calibraciones *in situ*, las cuales deben efectuarse frente a contrastes gravimétricos, que culminen en funciones individuales de calibración para cada sonda y tipo de suelo. Así mismo, López *et al.* (2005) destacaron que la precisión de las medidas requiere de calibración en cada suelo, independientemente de la distribución de humedad en el mismo.

Para utilizar la sonda TDR-300 en el seguimiento progresivo del contenido de humedad en el suelo, en un ensayo de evaluación de dos métodos de riego en un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el municipio San Rafael de Onoto en el estado Portuguesa, fue necesario su calibración previa, que permita mayor exactitud y practicidad en las evaluaciones, para obtener resultados más precisos, confiables y rápidos.

El presente trabajo se realizó con el objeto de calibrar la sonda TDR-300, para ser utilizada en el seguimiento progresivo del contenido de humedad del suelo, en la parcela 2D-18 del municipio San Rafael de Onoto del estado Portuguesa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó como aporte al ensayo que evaluaría el método de riego por surcos, en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), tomando en cuenta la variante de surcos alternos vs. surcos continuos (tradicional), para lo cual, se realizó el análisis comparativo entre los métodos de determinación de humedad mencionados con anterioridad.

La parcela 2D-18 está ubicada entre las Coordenadas 504314 y 1064077 m y 504052 y 1063788 m (UTM SIRGAS REGVEN), con una altitud de 119 msnm, entre el caserío El Morro y Quebrada Honda del municipio San Rafael de Onoto del estado Portuguesa. Forma parte de la asociación o junta de regantes del canal M5-2 del sistema de riego Las Majaguas, con predominio de suelos tipo arcillo-limoso, asociado a áreas de suelos tipo *Vertisoles*.

La calibración de la sonda TDR-300 se realizó a partir de muestras de suelo de los estratos superficial ( $E_1$ ), medio ( $E_2$ ) y profundo ( $E_3$ ), a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente, recogidas en bolsas de aluminio y selladas herméticamente para evitar la pérdida de humedad, pesadas en húmedo y en seco (estufa a 105 °C por un lapso de 24 a 48 horas), para conocer el contenido de humedad en relación a la masa de las partículas de suelo, a través del método gravimétrico.

Para la determinación del contenido volumétrico de humedad del suelo, se registraron 48 datos de la Ka del suelo emitidos por la sonda TDR-300 para E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub>, en los puntos de muestreo para humedad gravimétrica, utilizando varillas de 7 cm de longitud.

Los valores emitidos por la sonda TDR-300 y los obtenidos a través del método gravimétrico, fueron representados en un *diagrama de dispersión* (Bajpai *et al.* 1981) como puntos de coordenadas (X,Y) respecto a dos ejes perpendiculares entre sí, señalando en ellos una línea de tendencia en función cuadrática. Luego, se aplicó el *análisis de correlación* y posteriormente se determinó la ecuación o función polinómica correspondiente, para la predicción de los valores de humedad gravimétrica, a partir de los valores de Ka emitidos por la sonda TDR-300.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones realizadas por la sonda TDR-300, reflejan un coeficiente de correlación positivo (P<0,05) y apreciable para E<sub>1</sub> de 0,72 y un coeficiente de correlación positivo y mediano para E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub> de 0,43 y 0,46, respectivamente, según lo descrito por Negrín (1982). Sin embargo, estos resultados difieren en gran medida con los obtenidos por Sancho y Villatoro (1996) y López *et al.* (2005), quienes reportaron coeficientes de determinación para la relación lineal entre ambas mediciones de 0,89 en suelos de origen sedimentario y 0,99 en suelos de origen volcánico, respectivamente, aunque utilizaron en ambos casos una sonda TDR modelo TRASE 6050XI de Soil Moisture Equip. Corp.

El ajuste fue hecho a través de ecuaciones polinómicas de 2<sup>do</sup> grado, según Sancho y Villatoro (1996) y López *et al.* (2005), lo que permitió mejorar los valores de contenido de agua en el suelo, y originó las curvas de calibración para cada estrato (Figuras 1, 2 y 3).

Ecuaciones de Regresión polinómicas para los estratos estudiados:

$$\text{Para } E_1 \rightarrow y = -2 \times 10^{-06} X^2 + 0,0191 X - 20,507$$

$$\text{Para } E_2 \rightarrow y = 1 \times 10^{-06} X^2 - 0,0011 X + 12,245$$

$$\text{Para } E_3 \rightarrow y = -1 \times 10^{-05} X^2 + 0,0725 X - 118$$

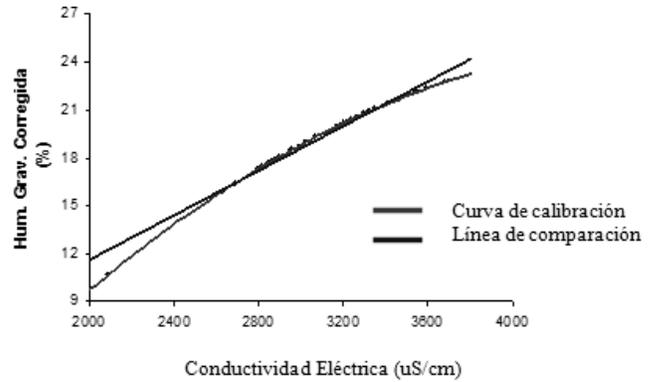


Figura 1. Curva de calibración (E<sub>1</sub>).

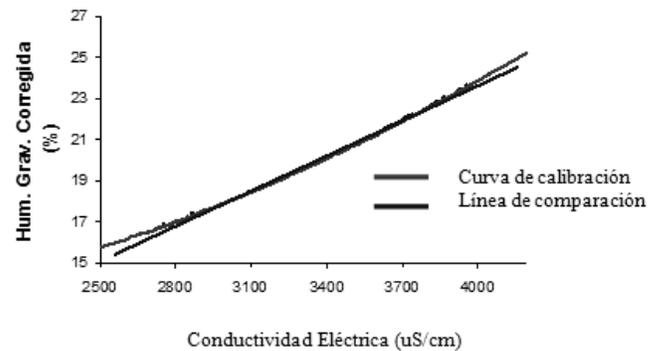


Figura 2. Curva de calibración (E<sub>2</sub>).

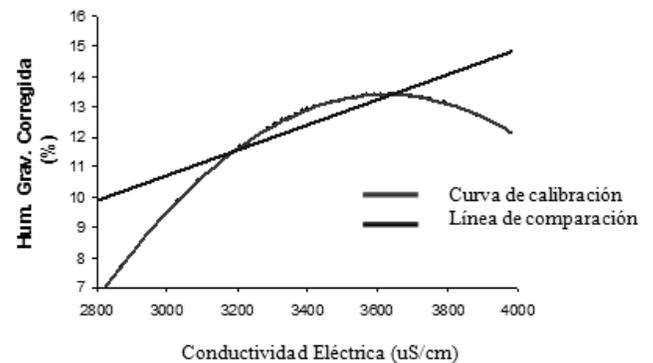


Figura 3. Curva de calibración (E<sub>3</sub>).

En las Figuras 1 y 2 se muestra una tendencia similar de las líneas de calibración polinómicas y las de comparación lineal para ambos casos. Esto revela un ajuste significativo entre 2.500 y 3.700 uS/cm (14,38% y 22,95% de humedad) y desde 2.700 hasta 4.000 uS/cm (16% y 24% de humedad) para E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub>, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los reportados por Rubio *et al.* (2006), quienes observaron que sus ecuaciones describieron una misma sensibilidad al contenido hídrico cuando la humedad está comprendida en un rango entre 15% y 25%, y demostraron sobre y sub estimación del valor de humedad gravimétrico,

cuando el suelo está próximo a condiciones de saturación o punto de marchitez permanente.

Por otra parte, en la Figura 3 se observan serias discrepancias en la tendencia de las líneas de calibración polinómica y las de comparación lineal, lo que sugiere serias limitantes para la estimación del valor de humedad gravimétrica a partir de los valores de  $K_a$  emitidos por la sonda TDR-300 para  $E_3$ . Esta situación puede ser originada, por el alto contenido de arcilla presente en  $E_3$  y por su alta capacidad de retención de humedad, lo que reduce significativamente la precisión de la sonda TDR-300 o por la longitud de las varillas utilizadas, debido a la reducción del tiempo de tránsito de la onda electromagnética.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La determinación del contenido de agua en el suelo a través de sondas TDR-300 presenta ciertas limitaciones, incluso utilizando funciones de calibración específicas, en caso de contenidos extremos de humedad en el suelo, por lo cual, su utilización en trabajos que exigen precisión debe ser restringida. Sin embargo, esta metodología puede ser aplicada en  $E_1$  y  $E_2$ , utilizando las respectivas curvas de calibración o las ecuaciones de conversión siempre que el contenido de humedad en el suelo esté en el rango de agua útil, pero no es aplicable en  $E_3$ , debido a la imprecisión mostrada en su curva de calibración.

La utilización de la misma curva de calibración para más de una situación, representa una simplificación del trabajo pero disminuye la fidelidad de los resultados. Por lo tanto, la calibración sugerida por el fabricante es válida para un reducido intervalo de valores en distintos tipos y condiciones de suelo y no es aplicable en suelos con arcillas expansibles.

Se recomienda la repetición de este trabajo utilizando varillas de mayor longitud.

### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido desarrollo dentro del programa de la Red de Innovación Productiva de uso Eficiente del Agua de Riego, del municipio

San Rafael de Onoto. Manifestamos nuestro agradecimiento a la coordinación de FUNDACITE-Portuguesa y al financiamiento del FONACIT y de la UNELLEZ-Guanare.

### REFERENCIAS

- Bajpai, A., Calus, I. y Fairley, J. 1981. Métodos estadísticos para estudiantes de Ingeniería y Ciencias. Universidad Tecnológica de Loughborough. Editorial LIMUSA, S.A. Primera edición. Balderas, México D.F. pp 488-509.
- Cuevas, J. y Osorio, A. 2006. Uso y calibración de DIVINER-2000. [Documento en línea] en [http://www.siar.cl/docs/protocolos/Usodiviner\\_ejemplos.pdf](http://www.siar.cl/docs/protocolos/Usodiviner_ejemplos.pdf). [Enero 13, 2008].
- Folch, G. y Fábrega, G. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado: Importancia y evaluación. Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bové – Constantí (Tarragona). Instituto de reserva y tecnología Agroalimentaria (I.R.T.A.). [Documento en línea] en <http://carpena.ifas.ufl.edu/ZNS/4canarias/i-02.pdf>. [Enero 13, 2008].
- García, I., Jiménez, J., Muriel, J., Perea, F. y Vanderlinden, K. 2005. Evaluación de sondas de capacitancia para el seguimiento de la humedad de un suelo arcilloso bajo distintas condiciones y tipos de manejo. Estudios de la zona no saturada del Suelo Vol. VII. [Libro en línea] en <http://carpena.ifas.ufl.edu/ZNS/7coruna/c101-107.pdf>. [Enero 13, 2008].
- López A., Crende, P. y Castelao, A. 2005. Uso del TDR en ensayos de movimiento de agua sobre columnas de suelo inalterado. Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VII. [Libro en línea] en <http://carpena.ifas.ufl.edu/ZNS/7coruna/c109-114.pdf> [Enero 22, 2008].
- Negrín, A. 1982. Iniciación a la estadística. Editorial José Martí. Caracas, Venezuela. pp. 307-315.

- Rubio, C., González-Flor, C. y Josa, R. 2006. Monitorización del contenido de agua en los sustratos de restauración minera: calibración de las medidas de TDR en laboratorio y campo. Estudios en la zona no saturada del suelo. Vol VIII. [Libro en línea] en [http://www2.ub.edu/ecoquarry/Rubio\\_Glez\\_Josa\\_2007.pdf](http://www2.ub.edu/ecoquarry/Rubio_Glez_Josa_2007.pdf) [Enero 28, 2008].
- Sancho, F. y Villatoro, M. 1996. Determinación de la humedad de suelos volcánicos mediante el uso de la técnica de Reflectometría de Dominio del Tiempo (TDR). Biblioteca Conmemorativa Orton (IICA / CATIE). Catálogo ORTON. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos. San José, Costa Rica. [Documento en línea] en <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/> [Enero 28, 2008].
- Villafañe, R. 1998. Diseño agronómico del riego. Editorial Ex - libris. Fundación Polar. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. pp. 19-21.