



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Ordenamiento Territorial:
un desafío para la Ciencia del Suelo

TRABAJOS DE INVESTIGACION

Carmen G. Cholaky
José M. Cisneros
(*Compiladores*)

Año del bicentenario de la Independencia Nacional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
27 de Junio al 1 de Julio de 2016



Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto – Córdoba - Argentina



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA SONDA DE CAPACITANCIA (FDR) EN HAPLUSTOLES TÍPICOS DEL DEPARTAMENTO DE RÍO CUARTO

FEDERICO DANIEL MORLA^{1*}; AMERICO JOSÉ DEGIOANNI¹ & JUAN IGNACIO ORTOLANI¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria – Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. 36, km 601. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

* fmorla@ayv.unrc.edu.ar

Palabras clave: Diviner 2000, medición contenido hídrico, textura y estructura del suelo

Resumen

Conocer el agua almacenada en el suelo es una información para tareas de investigación como de gestión de la producción agrícola. Disponer de instrumentos de medición rápidos, confiables y precisos contribuye a este objetivo. Uno de estos instrumentos es la sonda Diviner.2000 (FDR). Mide el contenido de agua del suelo de manera instantánea y en profundidad. Sin embargo, es altamente dependiente de la estructura y propiedades del suelo, por lo que requiere calibración in situ. El objetivo de este trabajo fue calibrar y validar las medidas del contenido hídrico de una sonda Diviner.2000 para *Haplustoles típicos* del Departamento Río Cuarto. Se describió el perfil del suelo, se midió la DAp y las constantes hídricas. Seis tubos de acceso fueron instalados en el suelo con tres niveles de humedad (saturado, húmedo y seco). Se efectuaron lecturas cada 10cm hasta el metro de profundidad. Se extrajeron muestras a esas profundidades y se midió la humedad gravimétrica. Con los datos medidos se parametrizó la ecuación de calibración ($\Theta = ASF^B$) que relaciona el contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ) y la frecuencia a escala medida por la sonda (SF). Se obtuvieron ecuaciones de calibración para todo el perfil y ecuaciones individuales por cada profundidad. En ambos casos el ajuste logrado fue superior a $R^2=0,8$. Las calibraciones individuales de profundidad no presentaron diferencia estadística significativa frente a una única calibración para el perfil entero ($\Theta = 0,3374SF^{0,2917}$), según el test de comparación de pendientes. La validación del procedimiento de medida permitió que el máximo error de lectura del contenido hídrico real del suelo con el medido por la sonda no superara el 15% de error, lo que permitió disminuir a más de la mitad el error de toma de datos respecto a la calibración por defecto del equipo.

Introducción

El agua en el suelo juega un rol crítico en la regulación de la respuesta de los ecosistemas al ambiente físico y su dinámica está regulada por el tiempo meteorológico, la vegetación (tipo y estadio fenológico) y el uso y manejo del suelo (Curto *et al.*, 2014). Para hacer un uso eficiente en cantidad (relación consumo de agua / producto obtenido) y calidad (relación consumo de agua / grado de contaminación), se requiere entender la



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

dinámica del agua en la naturaleza donde el suelo juega un factor clave como “acumulador ecosistémico”. El suelo es un “receptor, captador y entregador” de agua a los cultivos (De Santa Olalla Mañas *et al.*, 2005). Por tanto, conocer los cambios de humedad en el perfil del suelo resulta un dato fundamental a la hora de determinar el consumo y la disponibilidad de agua para los cultivos entre otros aspectos, tanto para tareas de investigación como de gestión eficiente de la producción agrícola.

Los métodos para la determinación de la humedad en el suelo suelen ser clasificados en directos e indirectos. Dentro de los primeros se encuentra el método gravimétrico, y dentro de los métodos indirectos se encuentran las sondas de neutrones, instrumentos electromagnéticos, tensiómetros, psicrómetros, entre los más relevantes (Charlesworth, 2005). Estos se fundamentan en la medida de alguna propiedad física del suelo dependiente del contenido de agua. Calculan la humedad mediante una calibración entre ésta y una propiedad del suelo que es más fácil de medir, por ejemplo: la constante dieléctrica del suelo (Charlesworth, 2005). Sin embargo, estos métodos son altamente dependientes de la estructura y propiedades del suelo, por lo que requiere calibración *in situ* por medio de una curva de ajuste potencial, que consiste en una relación matemática entre las lecturas de frecuencia a escala (SF) y el contenido volumétrico real de agua del suelo, este último determinado por el método gravimétrico y por la densidad aparente (Sentek, 2003).

Calibrada la sonda, además de otorgar valores confiables también demandaría menor tiempo en su ejecución y se podrá a futuro realizar un seguimiento del contenido hídrico del suelo a lo largo del tiempo. Si bien existen antecedentes de calibración de estos equipos a nivel nacional sobre diferentes suelos, no se han encontrado antecedentes para los suelos Haplustoles típicos de la región. En tal sentido, el objetivo de este trabajo es calibrar y validar los resultados de medidas del contenido hídrico de una sonda de capacitancia (Diviner 2000) para *Haplustoles típicos* ubicados en el Departamento Río Cuarto (Córdoba).

Materiales y Métodos

Área de estudio

La instalación de los tubos de acceso fue realizada bajo dos suelos representativos del departamento Río Cuarto, ambos Haplustoles típicos. Los sitios experimentales fueron el Campo de Docencia y Experimentación (CamDocEx) de la Universidad Nacional de Río Cuarto (33°06'26,97"S; 64°18'01,21"O; 233 msnm) y el otro en un campo de producción ubicado al sur de la localidad de Adelia María (33°49'12,81"S; 64°02'27,11"O; 233 msnm). Según el Atlas de Suelos de la provincia de Córdoba los suelos Haplustoles ocupan el 50,65 % de la superficie del Departamento Río Cuarto por lo que son uno de los grandes grupos representativos del mismo (Jarsum *et al.*, 2003). Además, se realizó la descripción morfológica del perfil según guía de reconocimientos de suelos, propuesta por Etchevehere (1976) y se determinaron las contantes hídricas



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

(capacidad de campo CC y punto de marchitez permanente PMP), cada 10 cm de espesor, mediante el método de membrana a presión desarrollada por Richards (1947).

Instalación y Calibración

Seis tubos de acceso de PVC (DE = 56,5 mm y DI = 51 mm) fueron instalados según las recomendaciones del fabricante en diferentes condiciones hídricas: dos tubos bajo la condición de suelo seco, dos en estado de saturación y dos a capacidad de campo (Sentek, 2003). Para llegar a dichas condiciones de humedad se agregaron diferentes cantidades de agua al suelo utilizando anillos de infiltración tal como lo indican Andrade Junior *et al.* (2007). Cada 10 cm y hasta 1 m de profundidad se tomaron lecturas con la sonda del cómputo bruto y se tomaron tres muestras para determinación de humedad volumétrica (y densidad aparente, DAP). Con el dato del cómputo bruto fue posible determinar la escala de frecuencia (SF) utilizando la siguiente ecuación:

$$SF = (Fa - Fs) / (Fa - Fw)$$

Dónde: Fa = es la lectura de frecuencias en el tubo de lectura mientras se encuentra suspendido en el aire, Fs (Cómputo bruto) = el tubo se encuentra instalado en el suelo y la lectura se realiza a una profundidad específica, Fw = es la lectura en el tubo sumergido dentro de agua. Los valores de Fa y Fw fueron fijos en 177303 y 126187, respectivamente.

Con los datos de contenido hídrico volumétrico y SF se obtuvo la ecuación de calibración:

$$\Theta = (a SF^b)$$

Dónde: SF = frecuencia a escala, a y b = coeficientes de calibración dependientes de tipo de suelo, y Θ = contenido hídrico volumétrico.

Para detectar si las curvas obtenidas a diferentes profundidades de suelo eran estadísticamente diferentes, las pendientes y la ordenada al origen de las rectas (del logaritmo natural de las variables analizadas) se compararon mediante el test de paralelismo propuesto por Zar (1984) mediante el programa Graphpad Prism v 5.00 for Windows (GraphPad Software, San Diego California USA).

Para la validación se instalaron, además, tubos bajo condiciones de diferente condición hídrica (riego y seco) y se realizaron mediciones con la sonda y por el método gravimétrico con el fin de comparar (i) la ecuación de calibración de fábrica, (ii) las ecuaciones de calibración obtenidas para cada profundidad individual, y (iii) una única ecuación de calibración para todo el perfil analizado.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Resultados y Discusión

Características generales del suelo

El suelo donde se realizó este trabajo es un Haplustol típico desarrollado sobre un material franco arenoso muy fino. Estos son suelos profundos y bien drenados, asociados a relieves planos o ligeramente ondulados con pendientes del 1% (Jarsum *et al.*, 2003).

A continuación se observa el perfil del Haplustol típico (Adelia María) analizado en este trabajo (Figura 1) y su caracterización morfológica correspondiente.

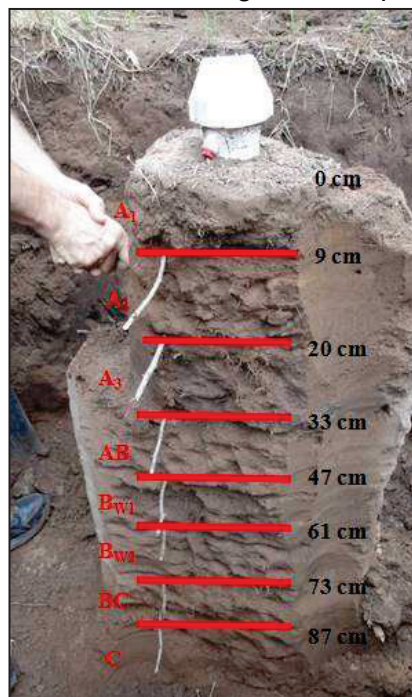


Figura 1. Perfil del suelo, horizontes y profundidades.

Caracterización del perfil.

| Horizonte: | Profundidad: | Descripción: |
|----------------|--------------|---|
| A ₁ | 0-9 cm | Color (10 YR 3/6) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques sub-angulares finos moderados a débiles; límite inferior claro suave. |
| A ₂ | 9-20 cm | Color (10 YR 3/6) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques sub-angulares medios moderados; límite inferior claro suave. |
| A ₃ | 20-33 cm | Color (10 YR 3/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques sub-angulares medios a gruesos moderados; límite inferior claro suave. |
| AB | 33-47 cm | Color (10 YR 5/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura |

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

| | | |
|-----------------|-----------|---|
| | | en bloques sub-angulares medios a finos moderados; límite inferior claro suave. |
| Bw ₁ | 47-61 cm | Color (10 YR 4/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques sub-angulares medios a finos moderados; límite inferior claro suave. |
| Bw ₂ | 61-73 cm | Color (10 YR 4/6) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques angulares medios moderados a fuerte; límite inferior gradual suave. |
| BC | 73-87 cm | Color (10 YR 5/6) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques sub-angulares medios a finos moderados a débil; límite inferior abrupto. |
| C | 87 cm a + | Color (10 YR 5/6) en húmedo; franco-arenoso; masivo. |

La densidad aparente (DAP) obtenida fue de 1,257 g cm⁻³ y varió en un rango de 0,81 g cm⁻³ (en las capas superficiales) a 1,40 g cm⁻³ (el mayor profundidad). La materia orgánica varió desde 0,29% en horizontes más profundos (BC y C) hasta 6,8% en el horizonte A₁.

A continuación (Tabla1) se muestran los valores de contenido hídrico a capacidad de campo (que corresponden a una succión a 0,3 bar) y de punto de marchitez permanente (succión de 15 bar).

Tabla 1. Contenido hídrico (mm)cada 10 cm de espesor según potencial mátrico (0,3-15 bar de succión) a diferentes profundidades.

| Profundidad (cm) | Contenido hídrico (mm) | |
|------------------|------------------------|---------------|
| | PMP (-15 bar) | CC (-0,3 bar) |
| 0-10 cm | 6,80 | 15,39 |
| 10-20 cm | 7,35 | 17,52 |
| 20-30 cm | 7,61 | 17,42 |
| 30-40 cm | 7,15 | 18,46 |
| 40-70 cm | 6,20 | 13,60 |
| 70-100 cm | 6,75 | 14,85 |

Calibración de la sonda

Para la calibración de la sonda se utilizaron un total de 309 muestras inalteradas válidas. En la tabla 2 se muestran los parámetros de la ecuación de calibración de la relación existente entre la frecuencia normalizada (SF) y la humedad volumétrica medida.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 2. Parámetros de la ecuación de calibración para las diferentes profundidades y el perfil entero.

| Profundidad (cm) | Parámetro a | Parámetro b | R ² | n | Cont. Hídrico (m ³ m ⁻³) | |
|------------------|-------------|-------------|----------------|-----|---|-------|
| | | | | | Mín. | Máx. |
| 0-10 | 0,4335 | 0,2058 | 0,7800 | 35 | 0,046 | 0,360 |
| 10-20 | 0,3323 | 0,2929 | 0,8771 | 29 | 0,070 | 0,478 |
| 20-30 | 0,2873 | 0,3538 | 0,8685 | 24 | 0,079 | 0,248 |
| 30-40 | 0,3217 | 0,308 | 0,8343 | 32 | 0,050 | 0,336 |
| 40-50 | 0,3139 | 0,3212 | 0,8687 | 33 | 0,052 | 0,263 |
| 50-60 | 0,2903 | 0,3379 | 0,8837 | 35 | 0,060 | 0,330 |
| 60-70 | 0,3486 | 0,287 | 0,7055 | 29 | 0,074 | 0,266 |
| 70-80 | 0,3622 | 0,2648 | 0,6956 | 32 | 0,063 | 0,299 |
| 80-90 | 0,2335 | 0,4264 | 0,8191 | 32 | 0,073 | 0,270 |
| 90-100 | 0,3761 | 0,2633 | 0,7539 | 28 | 0,116 | 0,237 |
| 0-100 | 0,3374 | 0,2917 | 0,7787 | 309 | 0,046 | 0,478 |

Los niveles de ajustes obtenidos (Tabla 1) son aceptables, con coeficientes de determinación R² medio de 0,8059 (y un rango desde 0,70 a 0,88), en todas las ecuaciones este ajuste fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$), calibraciones realizadas en diferentes tipos de suelos alrededor del mundo reportan niveles de ajustes de la ecuación que van de R²: 0,58 a 0,99 (Sentek, 2003). Por otro lado, el rango de humedad volumétrica que se analizó es muy amplio con valores comprendidos entre 4,6 y 47,8%, esto es importante ya que un bajo rango de humedades analizadas es mencionado como uno de los principales problemas en la calibración de esta sonda (Sentek, 2003).

Al analizar el test de paralelismo de comparación de pendientes (Zar, 1984), se observó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las diferentes ecuaciones de calibración obtenidas para las diferentes profundidades del suelo ($p > 0,99$), por lo cual es posible utilizar una única ecuación de calibración ($\Theta = 0,3374 SF^{0,2917}$) para todo el perfil analizado.

Validación

En la figura 2 se comparan los valores de humedad a diferentes profundidades del perfil en distintos tratamientos, con riego superficial y en secano. En ambas condiciones hídricas, al contrastar las tres calibraciones posibles de utilizar con la humedad medida por gravimetría, se puede observar que en la calibración por defecto provista por el fabricante (valores promedios obtenidos de varios tipos de suelo) se obtienen las mayores diferencias, dándose una marcada sobreestimación de los datos medidos.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

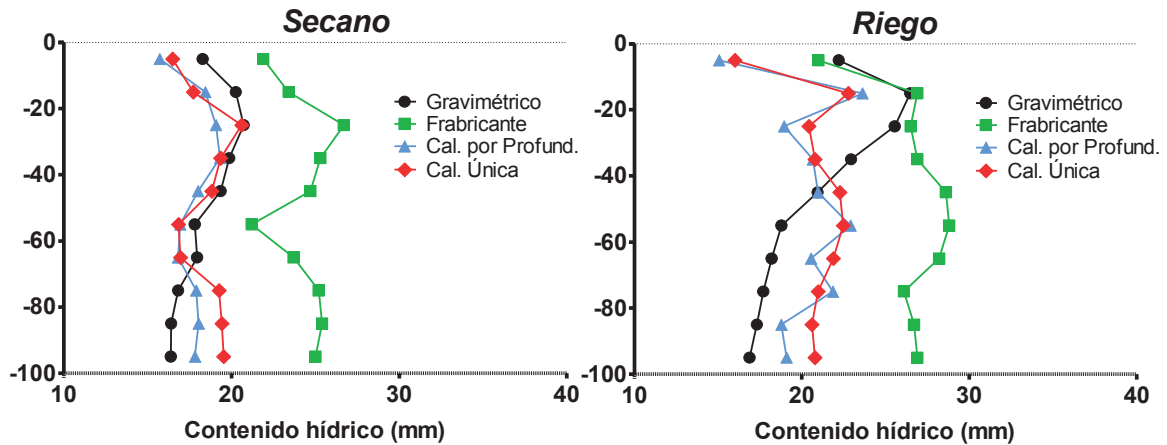


Figura 2. Contenido hídrico del suelo (cada 10 cm de espesor) en un perfil transversal hasta la profundidad de 100 cm medido con gravimetría y con la sonda Diviner 2000 con diferentes calibraciones, para condición de riego y seco.

En cuanto a las calibraciones locales (calibración por profundidad y calibración para el perfil entero) en general arrojaron valores más cercanos al contenido hídrico real que posee el suelo. En general, se pueden señalar tendencias a subestimar el contenido hídrico en las primeras capas del perfil y a sobreestimar estos valores a profundidad. Sin embargo, al analizar la raíz cuadrada del error medio (RCM), esta fue de 6,86 mm para la calibración del fabricante, y de 2,92 y 3,02 mm para las calibraciones por profundidad y una única, respectivamente. Esto significa que se pudo disminuir el error de toma de datos a menos de la mitad, es decir desde un error del 35% en la calibración por defecto a uno del 15% en las calibraciones locales.

A su vez, las diferencias en las capas superficiales del suelo han sido también descritas por otros autores (Andrade Junior *et al.*, 2007; Curto *et al.*, 2014), quienes señalan la alta variabilidad en la DAP en horizontes superficiales como una de las principales fuentes de error. Sin embargo se requiere de un mayor número de muestreos para mejorar los niveles de ajuste de la validación de las ecuaciones encontradas.

Conclusiones

Se logró calibrar una sonda FDR (Diviner 2000) en suelos *Hapustoles típicos* representativo del departamento Río Cuarto obteniéndose ecuaciones para cada profundidad analizada. El test de La comparación de pendientes indicó que no existen diferencias significativas entre los parámetros obtenidos en la ecuación de calibración única del perfil en relación a los obtenidos a cada profundidad, por lo que es posible utilizar una única calibración para todo el perfil del suelo.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Con las ecuaciones de calibración de la sonda encontradas en este trabajo se logró mejorar el nivel de ajuste de los datos medidos con la sonda y aquellos obtenidos por el método gravimétrico, logrando disminuir a más de la mitad en nivel de error de medición (RCEM) en relación a la presentada por los fabricantes (default), lo que permitió lograr una mayor exactitud de las lecturas con la sonda.

Agradecimientos

Los costos de adquisición del equipo y los gastos de este trabajo fueron provistos por el PID-013-2009 “Bases ambientales para el ordenamiento territorial del espacio rural de la provincia de Córdoba”. Ministerio de Ciencia y Tecnología (MinCyT) del Gobierno de Córdoba y del Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la República Argentina.

Bibliografía

- Andrade Júnior, A. S., Silva, C. R. & R. Daniel. 2007. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latos solo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. *Agrária*, 2, 303-307.
- Charlesworth, P. 2005. Soil water monitoring. CSIRO/CRC irrigation futures. Land and Water Australia, Canberra. 96 p.
- Curto, L., Covi, M., Cambareri, M., Della Maggiora, A. & M. I. Gassmann. 2014. Calibración de datos observados de contenidos de agua en el suelo con sensores capacitivos. *Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología*.
- Etchevehere, P. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. INTA. Departamento de Suelos. Public. (152), Castelar, Buenos Aires
- De Santa Olalla Mañas, M. & F. Lopez. 2005. *Agua y agronomía*. 1ra ed. Mundi-Prensa Libros, España. 602 p.
- Jarsún, B., Gorgas, A., Zamora, E., Bosnero, E., Lovera, E. & J.L. Tassile. 2003. Suelos- Nivel de reconocimiento 1: 500.000. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Córdoba (Argentina), 512 p.
- Richards, L. A.. 1947. *Pressure membrane apparatus: construction and use*. *Agricultural Engineering*, 28(10), 451-454.
- Sentek. 2003. Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors. Stepney: Sentek Pty Ltd. 60 p.
- Zar, J.H. 1984. *Bioestatistical analysis*. Department of Biological Sciences, Northern Illinois University. USA. 842 p.