

Nota técnica

MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD VOLUMÉTRICA DEL SUELO

Ricardo Radulovich*

Palabras clave: Agua, suelos tropicales, riego, tecnología apropiada.

Keywords: Water, tropical soils, irrigation, appropriate technology.

Recibido: 22/10/08

Aceptado: 06/01/09

RESUMEN

Se presenta un procedimiento simple, acompañado de la descripción del cilindro muestreador, para determinar por peso el contenido volumétrico de agua del suelo (A_{vol}), directamente en el campo. A_{vol} se determina muestreando y pesando cilindros con volumen conocido de suelo sin disturbar, comparando ese peso con el de una muestra similar con A_{vol} ya conocido, el cual debe ser preestablecido como referencia para el mismo campo y profundidad. Se sugiere 2 tipos de referencia, que equivalen a diferentes aplicaciones: a) peso seco absoluto, que se establece de previo termogravimétricamente, cuyo uso permite conocer por diferencia en peso el A_{vol} absoluto de una muestra; y, b) referencias relativas, que requieren preestablecer el peso de cilindros de referencia a niveles escogidos de humedad del suelo, permitiendo determinar por peso la diferencia en A_{vol} entre la muestra y la referencia, que indica, respectivamente, cuánta agua se debe regar para llevar el suelo de vuelta a capacidad de campo o cuánta agua queda en el suelo para consumir antes de tener que regar. Se utilizó un cilindro de acero, para contener una muestra de suelo de 0,5 m de profundidad, para un volumen de 0,001 m³. Se determinó los valores de A_{vol} para 3 suelos de Costa Rica. Estos valores no fueron significativamente diferentes de, y sí fueron significativamente correlacionados a, determinaciones termogravimétricas estándar de contenido de humedad convertidas a A_{vol} .

ABSTRACT

Gravimetric method to determine volumetric soil water content in situ. A simple procedure and corresponding soil corer to determine volumetric soil water content (VSWC) by weight, directly in the field, is described. VSWC is determined by sampling and weighing an undisturbed soil core of known volume, then comparing this weight to that of a similar core of known moisture content, which needs to be pre-established for the same field and soil depth as a reference. Two types of reference cores, and thus applications, are suggested: a) dry weight or absolute reference, established thermogravimetrically, the use of which allows to know by difference in weight the absolute VSWC value of a sample; and, b) relative references, which require to pre-establish the weight of reference cores at chosen levels of soil moisture, e.g. field capacity or a "need-to-irrigate" low level, allowing to determine by weight the difference in VSWC between a sample and that of the reference. Using this procedure and a locally built steel corer containing a 0.5 m deep soil core with a volume of 0.001 m³, a sizable sample that reduces variability, VSWC values determined for 3 tropical soils in Costa Rica were not significantly different from, and were significantly correlated to, standard thermogravimetric determinations of soil moisture converted to VSWC using bulk density, thus contributing to validate the method.

* Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: rrad@fing.ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

La medición oportuna del contenido de agua del suelo es una herramienta esencial para manejar la agricultura, de riego o de secano. La dinámica hídrica requiere de mediciones rápidas y confiables para la toma de decisiones. Sin embargo, particularmente para áreas rurales alejadas o en situaciones de bajos recursos, el equipo requerido no es costeable o su manejo se vuelve difícil. Incluso el método más simple, la determinación termogravimétrica, que es considerado como estándar, no solamente requiere de un horno de relativamente alto costo y de determinaciones confiables de la densidad aparente del suelo; sino que además, los resultados son obtenidos tras 2 días de secado de las muestras, lo cual es inaceptable para tomar decisiones sobre riego.

La necesidad de contar con la capacidad de medir el contenido de agua del suelo in situ, en las condiciones descritas, llevó a diseñar y validar un método simple y de bajo costo para medir directamente el contenido volumétrico de agua del suelo, el cual es presentado aquí junto con la descripción del equipo necesario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del método

El contenido volumétrico de agua del suelo (A_{vol}) puede ser medido directamente en el campo, muestreando y pesando cilindros con volumen conocido de suelo sin disturbar, comparando su peso al de cilindros de referencia de igualmente conocido volumen de suelo sin disturbar, cuyo A_{vol} es conocido o representativo de una condición de campo de interés e identificable.

Así, previo a su aplicación, el método requiere establecer el peso de los cilindros de referencia, el cual debe ser obtenido a contenidos de agua de interés en el mismo suelo y a la misma profundidad que la muestra.

Se considera 2 tipos de cilindros de referencia:

Referencia de peso seco absoluto: que se establece termogravimétricamente de previo una vez, cuyo uso permite conocer por diferencia en peso el A_{vol} absoluto de una muestra. Para ello, el peso seco/volumen del cilindro de referencia debe ser predeterminado utilizando el criterio aceptado de secar la muestra a peso constante o durante 48 h a 105°C (Topp y Ferré 2002), lo cual rinde un valor para suelo seco con 0 contenido de agua y cualquier diferencia de peso con una muestra será debida al contenido de agua. De hecho, esta referencia de peso seco absoluto es equivalente a la densidad aparente del suelo. Conociendo esto, el A_{vol} de cualquier cilindro muestreado puede ser obtenido comparando su peso/volumen al peso seco/volumen de la referencia. Así, y utilizando para conversión la densidad del agua, A_{vol} como fracción (directamente equivalente a $m \cdot m^{-1}$ o $m^3 \cdot m^{-3}$) es determinado como sigue:

$$A_{vol} = \left[\frac{\text{peso}_{\text{muestra}}}{\text{volumen}_{\text{muestra}}} - \frac{\text{peso seco}_{\text{referencia}}}{\text{volumen}_{\text{referencia}}} \right]$$

Ec. 1

donde el peso es tomado en kg y el volumen en m^3 o, como sucede generalmente por los equipos disponibles, en g y ml. Un ejemplo de este cálculo con datos directamente del equipo utilizado, para una referencia de peso seco absoluto de 1 $g \cdot ml^{-1}$ y un valor de peso $\text{muestra} / \text{volumen}_{\text{muestra}}$ de 1,4 $g \cdot ml^{-1}$, se obtiene por diferencia un $A_{vol} = 0,4$ $g \cdot ml^{-1}$, que por el valor unitario de la densidad del agua se convierte a un $A_{vol} = 0,4$ $ml \cdot ml = 0,4$ $m \cdot m^{-1} = 0,4$ $m^3 \cdot m^{-3} = 40\%$ humedad volumétrica.

Referencias relativas: que requiere preestablecer el peso de cilindros de referencia a niveles escogidos de humedad del suelo, e. g. a capacidad de campo o un nivel bajo que indica la necesidad de regar, permitiendo determinar por peso la diferencia en A_{vol} entre la muestra y la de la referencia, las cuales indican, respectivamente, cuánta agua se debe regar para llevar el suelo de vuelta a capacidad de campo o cuánta agua queda en el suelo antes de tener que regar. Para ello, el peso de un cilindro muestreado a cualquier A_{vol}

es referenciado al peso de un cilindro obtenido cuando el suelo está en un contenido clave de humedad, particularmente a capacidad de campo (e. g. determinada como indican Cassel y Nielsen 1986) o un nivel más empírico como sería una condición de alto contenido de humedad al cual el suelo debe ser llevado con cada riego, o un valor bajo como sería una condición que indica la necesidad de regar y dispara el riego una vez que es aproximada. Así, $A_{vol,relativo}$, o sea la diferencia en A_{vol} entre la muestra y la referencia relativa que se utilice (también en $m \cdot m^{-1}$ o $m^3 \cdot m^{-3}$), puede ser directamente determinado como sigue:

$$A_{vol,relativo} = \left[\frac{\text{peso}_{muestra}}{\text{volumen}_{muestra}} - \frac{\text{peso}_{referencia\ relativa}}{\text{volumen}_{referencia\ relativa}} \right] \quad \text{Ec. 2}$$

donde el valor de $A_{vol,relativo}$ obtenido, por ejemplo en $m \cdot m^{-1}$, indica la fracción de metros de agua en que difiere la muestra (valor positivo o negativo) por cada metro de profundidad de suelo para equiparar la condición de referencia. Este valor es directamente aplicable a riego o a cálculos de consumo de agua por un cultivo.

Puede verse que mientras que los resultados de la Ec. 1 son valores absolutos de A_{vol} , aquellos derivados de la Ec. 2, obtenidos de una referencia relativa que ha sido predeterminada de acuerdo a necesidad, son directamente aplicables a decisiones in situ.

Prueba del método

Las herramientas requeridas para determinar A_{vol} por peso son un cilindro muestreador y una balanza. Se requiere un horno una vez si se quiere establecer la referencia de peso seco absoluto, lo cual además conlleva determinar la densidad aparente del suelo. El cilindro muestreador, ilustrado en la figura 1, fue hecho localmente utilizando un tubo de acero de pared delgada con 0,05 m de diámetro interno, el cual no es diferente en principio a muestreadores para densidad aparente y es similar a muestreadores utilizados para toma de sedimentos. El cilindro se diseñó para muestrear los 0,5 m superficiales de un

suelo, por lo que se cortó de 0,525 m de largo a lo cual se agregó un extremo inferior removible, punta atornillable, que añade 0,025 m. El extremo superior de 0,025 m, que es dejado fuera del suelo al muestrear, fue reforzado con un anillo de acero para resistir mejor la fuerza aplicada al empujar o martillar y para permitir mejor la remoción del cilindro conteniendo la muestra. La punta atornillable, que tiene un borde inferior externo afilado para mejorar la penetración, se remueve tras muestrear para permitir un corte limpio en el extremo inferior del cilindro, dejando así dentro del tubo de acero una muestra de 0,5 m de largo ocupando un volumen de 0,00098 m^3 (Figura 1).

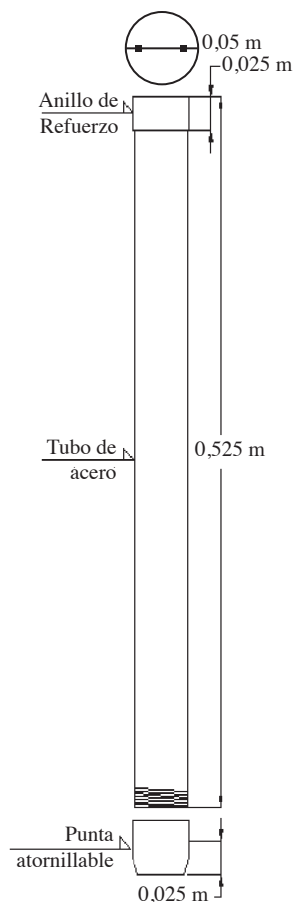


Fig. 1. Cilindro para la toma de muestras de suelo.

Las paredes internas del tubo de acero fueron cubiertas con una capa fina de aceite mineral para facilitar la penetración. La balanza utilizada fue una balanza digital portátil (Ohaus, Scout); sin embargo, también se utilizó sin diferencias significativas una balanza mecánica guindante (Chatillon, de resorte).

El método fue probado contra determinaciones termogravimétricas de contenido de humedad, las cuales fueron convertidas a A_{vol} utilizando valores de densidad aparente determinados para este propósito utilizando los mismos cilindros. Tres suelos de Costa Rica fueron muestreados durante las estaciones de lluvia de 2004 y 2005: un Typic Haplustand sembrado con café, un Oxic Humitropept sembrado con banano, y un Dystric Haplustalf sembrado con maíz y frijol secuenciales. Estos 3 suelos tropicales tienen valores de densidad aparente inferiores a 1 t.m^{-3} y fueron relativamente fáciles de muestrear hasta la profundidad de 0,5 m. El muestreo fue hecho a 2 contenidos de humedad diferentes para 2 de los suelos. Para disminuir el efecto de la variabilidad espacial, en cada muestreo se tomó 8 muestras pareadas totalmente al azar, en las cuales cada muestra para A_{vol} por peso tenía su testigo para determinación termogravimétrica tomado a una distancia de 0,2 m. Los valores de A_{vol} fueron obtenidos utilizando la ecuación 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los valores de A_{vol} obtenidos por peso para cada suelo y contenido de agua fueron extremadamente similares y no difirieron significativamente de aquellos obtenidos utilizando termogravimetría estándar (Cuadro 1). También, cuando todos los datos fueron analizados juntos, se obtuvo una correlación altamente significativa ($r=0,96$, significativo a $p=0,01$) siguiendo un patrón 1:1 expresado por la ecuación $A_{vol,por\ peso} = 0,98A_{vol,termogravimétrico} + 0,088$. Estos resultados, aunque no sorprenden ya que en un sentido ambos métodos son equivalentes, mientras que permiten probar el diseño validan el concepto detrás de medir A_{vol} por peso directamente en el campo.

Cuadro 1. Comparación de contenido volumétrico de humedad del suelo (A_{vol}) determinado termogravimétricamente y por peso para suelos y contenidos de humedad diferentes.

Suelo	A_{vol} ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) Termogravimétrico	A_{vol} ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) Por peso
Typic Haplustand	0,465 ¹	0,469
	0,366	0,359
Oxic Humitropept	0,544	0,549
Dystric Haplustalf	0,415	0,410
	0,321	0,328

1 Las medias en cada fila no son significativamente diferentes entre sí de acuerdo a prueba t pareada, $p=0,05$, $n=8$.

La mayor ventaja del método presentado aquí es que permite la medición de A_{vol} confiablemente y a bajo costo, directamente en el campo. Además, se contribuye a disminuir los efectos de la variabilidad espacial al utilizar una muestra considerablemente más grande que aquellas normalmente utilizadas para determinaciones termogravimétricas, las cuales por lo demás con frecuencia adolecen de pobre determinación de densidad aparente para convertir humedad gravimétrica en volumétrica. Así, el método descrito aquí es conceptualmente sólido, relativamente fácil de usar, y el cilindro muestreador utilizado puede ser construido localmente por cualquiera interesado y su aplicación modificada según las necesidades.

LITERATURA CITADA

- CASSEL D.K., NIELSEN D.R. 1986. Field capacity and available water capacity, pp. 901-926. In: A. Klute (ed). Methods of soil analysis part 1 physical and mineralogical methods. 2^a ed., Nr. 9 (Part 1), American Society of Agronomy, Madison.
- TOPP G.C., FERRÉ P.A. 2002. Thermogravimetric determinations using convective oven-drying, pp. 422-424. In: J.H. Dane and G.C. Topp (eds). Methods of soil analysis. part 4, physical methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison.