

VARIABILIDAD EN LAS MEDICIONES DE HUMEDAD EDAFICA OBTENIDAS POR EL METODO GRAVIMETRICO Y LA SONDA DE NEUTRONES*

R.A. del Barrio y A. Troha (1)

Recibido: 26-8-86

Aceptado: 9-1-87

RESUMEN

Se estudió para un suelo Argiudol vértico, la variabilidad de las mediciones de humedad edáfica obtenidas por el método gravimétrico y el número mínimo de repeticiones a realizar por el mismo de acuerdo a distintos niveles de aceptabilidad en situaciones de suelo saturado e insaturado.

Se analizaron para el caso de mediciones de humedad edáfica con sonda de neutrones los errores de calibración, posición y conteo determinando el error total cometido por este método.

SOIL MOISTURE MEASUREMENTS VARIABILITY ACHIEVED BY GRAVIMETRIC METHOD AND NEUTRON MOISTURE METER

SUMMARY

It was studied soil moisture measurement variability on a saturated and non saturated vertic Argiudoll soil using gravimetric method and it was assessed the minimum number of replications based on different levels of acceptability.

The inaccuracies of measurements of soil water content made with neutron moisture meter including calibration, location and counting errors were analyzed and the total error was determined.

INTRODUCCION

El contenido de agua en el suelo ha sido motivo de estudio e investigación desde mucho tiempo atrás debido, fundamentalmente, a la importancia que el conocimiento de la variación temporoespacial de este elemento tiene en la planificación del uso del agua por los diversos ecosistemas (Holmes, 1964; Sartz, 1972).

Las determinaciones de humedad del suelo utilizando el método gravimétrico tuvieron y aún tienen amplia difusión, especialmente por su mayor precisión. Sin embargo, es un método engorroso en cuanto a su aplicación ya que debe realizarse la extracción de las muestras, provocando además la consiguiente alteración del suelo (Forte Lay et al., 1985).

Es por ello que se ha tendido a utilizar métodos no destructivos para

* Trabajo aceptado para su presentación en el XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Neuquén, Setiembre 1986.

(1) Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CONICET) Serrano 669, (1414) Buenos Aires -ARGENTINA-

determinar la humedad del suelo, siendo de amplia difusión la sonda de neutrones por su rapidez, buena precisión y multiplicidad de aplicaciones (Belcher et al., 1950; Van Bavel, 1958, 1962; Bell, 1969). Sin embargo, para una buena estimación de la humedad del suelo por medio de la sonda de neutrones es necesaria su calibración, especialmente en suelos arcillosos, mediante determinaciones simultáneas con el método gravimétrico. De allí que todo error cometido en este método es acumulado al método radioisotópico.

Además, la exactitud de las determinaciones *in situ* de la humedad edáfica se ve dificultada por la heterogeneidad de los suelos dentro del área experimental. Es por ello que resulta de sumo interés conocer y cuantificar los componentes de variación que influyen las mediciones de humedad a campo.

Los estudios de variabilidad en las mediciones de humedad de suelo, ya sea obtenidos por el método gravimétrico o empleando la sonda de neutrones, son numerosos en el ámbito internacional (Hewlet et al., 1964; Sartz 1972; Sinclair y Williams, 1979; Schudel, 1983).

Sin embargo, a pesar de la importancia del tema no existen antecedentes de relevancia en la Argentina. La Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires ha realizado un estudio sobre variabilidad por la aplicación del método gravimétrico en el campo experimental del Observatorio Agrometeorológico de Castelar (INTA), sobre un suelo Argiudol vértico saturado (Szentivanyi, 1984) y no saturado de humedad (Smith, 1982).

Una parte de los datos obtenidos en dicho estudio son analizados en el presente trabajo, adicionándoles observaciones gravimétricas propias realizadas en el mismo predio e incluyendo un análisis de variabilidad en las mediciones de humedad de suelo obtenidas con la sonda de neutrones.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en el campo experimental del Observatorio Agrometeorológico de Castelar (INTA) sobre el mismo suelo.

a) Método gravimétrico

Para estudiar la variabilidad de las mediciones obtenidas por el método gravimétrico se analizaron las observaciones efectuadas por la Cátedra arriba citada que corresponden a contenidos de humedad de suelo cada 10 cm hasta 1 m de profundidad en suelos saturados e insaturados. Se efectuaron 36 repeticiones por profundidad, advirtiéndose una variabilidad muy marcada en los primeros 20 cm de un suelo saturado y en todo el perfil de un suelo no saturado.

En el presente trabajo se efectuaron mediciones de humedad de suelo por el método gravimétrico de los primeros 20 cm de profundidad en un suelo saturado (36 repeticiones por profundidad) y hasta 1 m de profundidad en suelo insaturado. En este último caso se efectuaron 13 repeticiones por profundidad por ser materialmente imposible realizar más en un mismo día.

Se realizó un análisis de varianza de doble entrada para detectar variabilidad entre repeticiones en una misma profundidad y entre profundidades para una misma repetición.

Para cada profundidad se obtuvo el contenido de humedad medio y el desvío típico de ese valor.

Aceptando que el intervalo de confianza del 95% para el contenido medio de humedad del suelo (\bar{X}_i) de cada profundidad (*i*) está dado por:

$$\bar{X}_i \pm 2\sqrt{S_e}$$

es decir, $\bar{X}_i \pm 2\sqrt{S_i^2/n}$, siendo S_i el desvío típico del contenido medio de humedad \bar{X}_i y *n* el número de muestras. La amplitud del intervalo de confianza del 95% \bar{X}_i a \bar{X}_i está dado

por:

$$4\sqrt{\frac{S_1^2}{n}} \quad (1)$$

Para cada profundidad se establecieron tres niveles de error $\bar{X}_i \pm 5\%$; $\bar{X}_i \pm 7,5\%$ y $\bar{X}_i \pm 10\%$ cir:

$$\bar{X}_i \pm 5\%; \bar{X}_i \pm 7,5\% \text{ y } \bar{X}_i \pm 10\% \quad (2).$$

Aplicando (1) desde $n=1$ hasta n , y relacionando los resultados con los niveles de aceptabilidad dados en (2), se determinaron para cada profundidad y , dentro de ellas, para cada nivel de aceptabilidad, el número mínimo de muestras de suelo a tomar por el método gravimétrico.

b) Sonda de neutrones

Para la realización del presente trabajo, se utilizó un equipo Troxler modelo 1255, previamente calibrado.

Para estudiar la variabilidad de los resultados obtenidos por la utilización de esta metodología, se efectuaron 13 repeticiones de observaciones de humedad de suelo cada 10 cm hasta 1 m de profundidad, en un suelo insaturado a partir de los 20 cm.

Se trabajó sobre suelo no saturado por ser, de las dos alternativas posibles, la que había mostrado mayor variabilidad al aplicar el método gravimétrico. Por ende, sus resultados son aplicables al caso de un suelo saturado con mucha mayor seguridad.

Se estudiaron tres tipos de errores potencialmente cometibles al emplear la sonda de neutrones como medidor de la humedad edáfica (Rouse y Wilson, 1971/72):

1. Error de conteo (E_{co}) debido a variaciones al azar del flujo de neutrones. Puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$\text{donde: } E_{co} = (d^2 \cdot CR / t \cdot y^2)^{1/2}$$

d : número apropiado de desviaciones típicas para el nivel de probabilidad requerido. En este trabajo se tomó como nivel de probabilidad suficiente el 95%,

CR : relación del número de cuentas a un contenido de humedad dado,

y : pendiente de la curva de calibración para un contenido de humedad determinado,

t : tiempo utilizado para cada repetición a una misma profundidad (30 segundos).

2. Error de calibración (E_{ca}), constante en 1,96 veces el valor del error de estimación de la curva de calibración.

3. Error de localización vertical (E_{lo}), debido a la posición inadecuada de la fuente de emisión dentro del tubo de acceso. En el presente trabajo se tomó arbitrariamente un error de colocación de la fuente de +10mm. Entonces:

$$E_{lo} = \left[|(Lz - Lz - 10)| + |(Lz - Lz + 10)| \right] / 2$$

donde: Lz ; $Lz - 10$ y $Lz + 10$ son los contenidos de humedad volumétrico a la profundidad;

z ; $z - 10$ mm y $z + 10$ mm, respectivamente.

Finalmente, a una profundidad dada, el error total en el contenido de humedad volumétrico está dado por:

$$E_{hv} = (E_{co}^2 + E_{ca}^2 + E_{lo}^2)^{1/2}$$

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Método gravimétrico

La gran variabilidad observada en los trabajos de Smith (1982) y Szentivanyi (1984), pudo deberse especialmente a que en dichos trabajos la extracción de muestras fue realizada por numeroso personal no entrenado previamente en esa clase de tareas.

En el presente trabajo se realizó sobre dichos datos el análisis de varianza anteriormente detallado, obte-

niéndose diferencias significativas sólo entre mediciones de distinta profundidad.

Además, se estudió el número mínimo de muestras necesarias para los nive-

les de aceptabilidad del 10, 15 y 20% para ambas situaciones de suelo. En el Cuadro N° 1 se observan los resultados correspondientes.

Cuadro N°1. Número mínimo de repeticiones necesarias utilizando el método gravimétrico, para 3 niveles de aceptación en suelos saturados e insaturados, de acuerdo al muestreo realizado por Smith-Szentivanyi y por del Barrio-Troha.

profundidad (cm)	error aceptable (%)	Número mínimo de repeticiones			
		Smith-Szentivanyi suelo		del Barrio-Troha suelo	
		saturado	insaturado	saturado	insaturado
0-9,9	10	30	20	6	6
	15	14	9	3	3
	20	8	5	2	2
10-19,9	10	11	36	6	7
	15	5	17	3	3
	20	3	10	2	2
20-29,9	10	3	27		9
	15	2	12		4
	20	1	7		3
30-39,9	10	10	22		11
	15	5	10		7
	20	3	6		4
40-49,9	10	8	8		6
	15	4	4		3
	20	2	2		2
50-59,9	10	4	9		3
	15	3	4		2
	20	2	3		1
60-69,9	10	5	16		2
	15	3	8		1
	20	2	5		1
70-79,9	10	3	14		2
	15	2	7		1
	20	1	4		1
80-89,9	10	2	13		2
	15	1	6		1
	20	1	4		1
90-99,9	10	5	13		3
	15	3	6		2
	20	2	4		1

A partir de dichos resultados puede detectarse que el número de repeticiones a realizar en las capas superiores de un suelo saturado es muy elevado; por lo tanto, se procedió a repetir el muestreo por ambos autores para las dos primeras profundidades, efectuándose 36 repeticiones en cada caso. En el Cuadro N° 1 puede visualizarse los resultados obtenidos.

Cuando se analizó el suelo insaturado, el número mínimo de repeticiones a realizar es muy grande a lo largo de todas las profundidades consideradas, repitiendo el ensayo ambos autores y efectuando 13 repeticiones para cada profundidad (Cuadro N° 1).

Es de hacer notar que tanto en un suelo saturado como insaturado la variabilidad del fenómeno estudiado aumenta significativamente para la profundidad de 30 a 50 cm. Esto es debido muy posiblemente a que en dicha zona se produce la transición abrupta entre el horizonte B_1 y el B_{2t} variable en su profundidad de un punto de muestreo a otro.

Por otra parte, se verifica que la variabilidad del muestreo gravimétrico efectuado sobre un suelo saturado es generalmente menor que el efectuado sobre un suelo insaturado.

b) Sonda de neutrones

Al seguir la metodología propuesta por Rouse y Wilson (1972), se determinaron los tres errores potencialmente cometibles al utilizar la sonda de neutrones en determinaciones de humedad de suelo. Los resultados de los mismos, incluyendo el error total cometido en las mediciones, se encuentran detallados en el Cuadro N° 2.

Es de hacer notar que en orden decreciente los errores se dispondrían de la siguiente manera: error de calibración, error de localización y error de conteo.

El error total cometido oscila entre 1 y 1,5%. Es de destacar que al estar calibrado el instrumento por el método gravimétrico, los errores cometibles por el método radioisotópico son acumulativos al primero.

CONCLUSIONES

1. La variabilidad en las mediciones de humedad de suelo por el método gravimétrico es generalmente mayor en suelo insaturado que en saturado

Cuadro N° 2. Errores de conteo, localización, calibración y totales en la medición de humedad del suelo por el método de la sonda de neutrones.

profundidad (cm)	errores de medición (%)			
	conteo	localización	calibración	total
20-29,9	0,14	0,88	0,98	1,32
30-39,9	0,17	0,92	0,98	1,36
40-49,9	0,12	0,42	0,98	1,07
50-59,9	0,09	0,98	0,98	1,39
60-69,9	0,11	0,13	0,98	0,99
70-79,9	0,13	0,45	0,98	1,15
80-89,9	0,15	0,28	0,98	1,03
90-99,9	0,16	0,08	0,98	1,00

2. En ambas condiciones de humedad de suelo pueden establecerse dos etapas de muestreo: a) 0-40 cm y b) 40-100 cm de profundidad. En suelo insaturado el número mínimo de muestras a tomar en la etapa (a) serían de 17, 8 y 5; en la etapa (b): 6, 3 y 2 para niveles de error aceptable del 10, 15 y 20%, respectivamente. En suelo saturado el número mínimo de muestras a tomar en la etapa (a) serían 10, 5 y 3; en la etapa (b): 8, 4 y 2, respectivamente.
3. La variabilidad o error total cometido en las mediciones de humedad edáfica obtenidas con la sonda de neutrones oscila entre 1 y 1,5%.
4. De las tres fuentes de error probable por la aplicación del método radioisotópico, los mayores errores corresponden a la calibración y los menores a errores de conteo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las autoridades del Observatorio Agrometeorológico de Castelar (INTA) por facilitar el uso de sus instalaciones y a los Ings. Agrs. J.A. Forte Lay y R.O. Rodríguez por la colaboración brindada en la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BELL, J.P., 1969. A new design principle for neutron moisture gauges: Walling-ford neutron probe. *Soil Sci*, 108:160-164.
- 2) BELTCHER, D.J.; T.R. CUYKENDALL and A.S. SACK, 1950. The measurement of soil moisture and density by neutron and gamma-ray scattering. Civil Aero. Tech. Dev. Rep. 127. Washington D.C.
- 3) FORTE LAY, J.A.; A. TROHA y M.M. VILLAGRA, 1985. Calibración de la sonda de neutrones para un Hapludol típico y un Argiudol vértico de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*, 3(1-2):166-172.
- 4) HEWLETT, J.D.; J.E. DOUGLAS and J.L. CLUTTER, 1964. Instrumental and soil moisture variance using the neutron scattering method. *Soil Sci*. 97:19-24.
- 5) HOLMES, J.W., 1964. Aspects of soil moisture measurement with reference to arid soils. Div. Soil CSIRO Rep. 1:295-299.
- 6) ROUSE, W.R. and R.G. WILSON, 1972. A test of the potential accuracy of the water budget approach to estimating evapotranspiration. *Agric. Met.* 9:421-446.
- 7) SARTZ, R.S., 1972. Anomalies and sampling variation in forest soil water measurement by neutron probe. *Soil Sci. Sec. Am. Proc.* 36:148-152.
- 8) SCHUDEL, P., 1983. The accuracy of measurements of soil-water content made with a neutron moisture meter calibrated gravimetrically in the field. *J. of Hydrology*, 62:355-361.
- 9) SINCLAIR, D.F. and J. WILLIAMS, 1979. Components of variance involved in estimating soil water content and water content change using a neutron moisture meter. *Austr. J. Soil Res.*, 17:237-247.
- 10) SMITH, G.T., 1982. Variabilidad de la humedad del suelo y su efecto en la autenticidad de sus valores por el método gravimétrico. Trabajo de intensificación para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 124 p.
- 11) SZENTIVANYI, M.C., 1984. Variabilidad de la humedad del suelo y su efecto en la autenticidad de sus valores por el método gravimétrico. Trabajo de intensificación para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 112 p.
- 12) VAN BABEL, C.H.M., 1958. Measurements of soil moisture content by the neutron method. *ARS* 41-42. *Agric. Res. Serv.*
- 13) VAN BABEL, C.H.M., 1962. Accuracy and source strength in soil moisture neutron probes. *Soil Sci*. 26:405-409.