

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA CAPA ARABLE DEL SUELO EN ZONAS SEMIÁRIDAS

J. Gutiérrez-Ravé Caballero¹, J. Párraga Martínez¹ y J. L. Díaz Hernández²

¹Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, C/ Campus Universitario de Cartuja s/n, 18071 Granada

²Centro de Investigaciones Agrarias, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Camino de Purchil s/n, Apdo. 2027, 18080 Granada, josel.diaz@juntadeandalucia.es

RESUMEN. La determinación de la humedad del suelo con sonda de neutrones se realiza en volúmenes importantes de suelo, en especial si los contenidos de humedad son bajos: este motivo confiere a estas mediciones gran representatividad. Sin embargo cuando se efectúan estas determinaciones en el horizonte superior del suelo, esta ventaja se torna en incertidumbre al quedar gran parte de la esfera de influencia en el aire.

En el presente trabajo se estima este efecto en las medidas de humedad del horizonte más superficial (0-10 cm), y se evalúan los errores cometidos en comparación con los horizontes infrayacentes. Se concluye que pueden llevarse a cabo las mediciones de humedad de este horizonte por este método siempre que se realicen las calibraciones de modo independiente de las demás.

ABSTRACT. Soil moisture assessment by neutron probe is carried out on large volumes of soil, especially when the moisture content is low, giving highly representative measurements. Nevertheless, when the moisture of the top soil horizon (0-10 cm) is measured, this advantage is lost since part of the sphere of influence remains in the air.

This paper discusses the effect of air on moisture readings carried out on the top soil horizon and evaluates possible errors. We conclude that, using this method, measurements can be carried out on the top horizon providing that this is calibrated independently of the rest.

hace adecuado para estos fines, ya que el volumen de suelo (esferoide de influencia) implicado en estas evaluaciones es grande, lo que otorga a este método una gran representatividad. Sin embargo, cuando se determina la humedad en los horizontes más epidérmicos del suelo, este radio de influencia (que es variable en función del estado de humectación del suelo, y por tanto adquiere su máximo tamaño en los horizontes más epidérmicos) emerge del suelo y afecta en gran parte al aire, produciendo distorsiones en las mediciones (Van Bavel et al., 1956; Visvalingam y Tandy, 1972; Evett y Steiner, 1995).

Es conveniente realizar calibraciones específicas del aparato de medida en las condiciones de cada área de trabajo (Halvorson, 1986), dejando en un segundo plano las calibraciones que los fabricantes incorporan a estas sondas (Troxler Electronic Laboratories, 1983). Sin embargo estas calibraciones se realizan frecuentemente, salvo contados casos, de modo rutinario y uniforme para cada área, sin considerar la problemática asociada a los horizontes conflictivos como es el caso de los más superficiales (Panda et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es conocer la magnitud de las distorsiones originadas por esta causa en la determinación de la humedad de los horizontes más superficiales del suelo (capa arable) para, en función de estas variaciones, decidir llevar a cabo calibraciones específicas.

1. Introducción

La restauración ecológica de áreas degradadas o marginales del ecosistema mediterráneo debe tener presente la disponibilidad del recurso agua en el suelo, en aras de un mayor conocimiento de la relación suelo-agua-planta (Jordan et al., 1987; Meyer y Turner II, 1994; Dobson et al., 1997). Por ello la valoración de la humedad del suelo se convierte en una tarea importante para el éxito de dicha restauración (Díaz Hernández y Simón, 1997).

Uno de estos métodos de valoración está basado en la dispersión de neutrones, cuya eficiencia y versatilidad le

2. Material y métodos

2.1. Caracterización del área de trabajo

Se escogió como área de trabajo el barranco del Aljibe, (Depresión de Guadix), cuyas características climáticas se han tratado en diversos estudios (Guillamón, 1933; MAPA (1989); ITGME-DPG, 1990).

Dicha zona presenta el mínimo pluviométrico de la provincia de Granada, y es uno de los más bajos de la Península Ibérica (precipitación media anual de 300 mm en el sector central, y casi 400 mm en los márgenes de la Depresión (ITGE-DPG, 1990). Se carece de estaciones con registros largos de temperatura: la temperatura media

anual es de 14.8 °C para la estación de Benalúa de Guadix (1995–2001), y 15.1 °C para la de Esfiliana (1942–1963).

La estación de Benalúa de Guadix (37° 21' N y 3° 10' E, con una altitud de 870 m snm) presenta una evapotranspiración potencial anual según Thornthwaite de 781.6 mm. Esto marca un déficit hídrico, que no es cubierto por las precipitaciones en los meses invernales.

Los suelos estudiados se asientan sobre materiales de la Formación Guadix (Vera, 1970), o Grupo Guadix (Peña, 1985), estructurados en tres términos litológicos dominantes (IGME, 1979), en el área de trabajo predominan las lutitas estratificadas en bancos medios y finos, con intercalaciones de arenas y conglomerados, que muy localmente pueden presentar materiales carbonatados.

Los principales Grupos de Suelos (FAO–UNESCO, 1998): Calcisoles en el glacis, Kastanozems en el pie de los escarpes, Regosoles tanto calcáricos como eútricos en las zonas de pendiente más suave situada entre los escarpes y las ramblas, y Fluvisoles en las ramblas.

El presente trabajo se ha realizado en la unidad de los Regosoles eútricos, suelos que en superficie presentan un contenido en materia orgánica muy bajo (0,34 % de media y 0,15 de desviación típica).

El área corresponde a terrenos agrícolas abandonados que han soportado una notable presión humana, y han podido perder la horizonación original (Consejería OPT, Junta de Andalucía, 2000).

2.2. Metodología

La humedad se determinó con la sonda de neutrones Troxler 3300, a diversas profundidades. Para la instalación del dispositivo de medida se siguieron las instrucciones y recomendaciones del manual de uso del fabricante de la sonda (Troxler Electronic Laboratories, 1983).

Se seleccionaron 42 puntos de estudio de la rambla del Aljibe de forma que quedaron cubiertas todas las áreas de cultivos abandonados; la distancia entre puntos extremos fue del orden de un kilómetro y el espaciado entre ellos de unas decenas de metros. Una vez escogidos los puntos, se procedió a realizar los sondeos con una barrena manual (Amoozegar et al. 1989) tipo Veihmeyer, extrayendo en cada punto 4 muestras cada 10 cm. En estas muestras se determinó la densidad aparente teniendo en cuenta el radio del cilindro interno de la barrena y su altura (10 cm).

Las calibraciones se realizaron por el método gravimétrico: se obtuvo la humedad de la muestra por diferencia de peso entre la muestra de campo y la misma después de secar a 105 °C, refiriendo dicha humedad a la parte activa del suelo (tierra fina < 2mm). A continuación de extraer las muestras, se realizaron las lecturas de humedad con sonda utilizando los mismos intervalos de profundidad. La primera lectura se obtuvo siempre tras enrasar la fuente radiactiva con la superficie del terreno.

El contenido medio en grava de estos horizontes fue del 13%, con una desviación típica de 9,4.

El anterior conjunto de datos se sometió a un proceso de depuración: los outliers que se detectaron se omitieron, y se corrigieron diversas anomalías originadas durante el

proceso de manipulación de las muestras. En conjunto estos valores incoherentes fueron escasos aunque importantes porque influían en gran medida en el proceso de calibrado.

3. Resultados y discusión

Con objeto de obtener las ecuaciones de calibración, se representaron todos los pares de valores humedad del suelo–lectura de sonda (Figura 1).

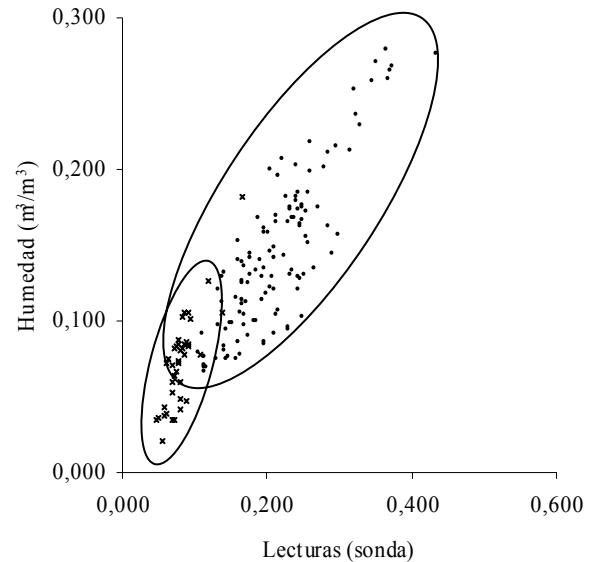


Fig. 1. Distribución de los datos de humedad y lectura. Se indican los dominios con tendencia similar.

Se observa en esta distribución dos tendencias: los puntos pertenecientes a la capa superior del suelo (0–10 cm) presentan las lecturas más bajas (nube más restringida y próxima al origen); los restantes puntos (distribución de puntos más dilatada) pertenecen al conjunto de puntos situados entre 10–40 cm, sin que se aprecien, a simple vista, otras tendencias.

Para definir las ecuaciones de estas distribuciones se realizaron dos tipos de ajustes: ajustes lineales y ajustes polinómicos de segundo grado; los primeros resultaron los más fiables. Estas regresiones se realizaron independientemente para cada uno de los horizontes considerados de la capa arable (0–10, 10–20, 20–30 y 30–40 cm). La Tabla 1 muestra los estadísticos más representativos de este análisis.

Tabla 1. Estadísticos de las ecuaciones de calibración de todos los horizontes considerados.

Profundidad (cm)	Ecuaciones de regresión	R ²	p	n
0-10	y = 1,133 x - 0,018	0,69	<0,0001	40
10-20	y = 0,779 x - 0,008	0,66	<0,0001	42
20-30	y = 0,818 x - 0,033	0,73	<0,0001	42
30-40	y = 0,773 x - 0,035	0,84	<0,0001	38

El p-valor indica que la relación existente entre las variables estudiadas es altamente significativa. Sin embargo, el parámetro R^2 muestra oscilaciones acusadas, dentro de valores que se consideran aceptables, a pesar de que la capa arable del suelo presenta fuertes heterogeneidades, tanto naturales (gravas) como originadas por el laboreo (especialmente huecos grandes). También se constata que los valores de R^2 son más bajos en las dos capas más superficiales, en cuyo fenómeno concurre, además de las heterogeneidades indicadas, el bajo contenido en agua (el radio de influencia es mayor y la sonda explora puntos de características muy diferentes).

Finalmente se puede indicar que el término independiente de cada ecuación debería ser teóricamente cero. Pero esto nunca se cumple ya que el material geológico y las características del medio ejercen también un efecto ralentizador de neutrones.

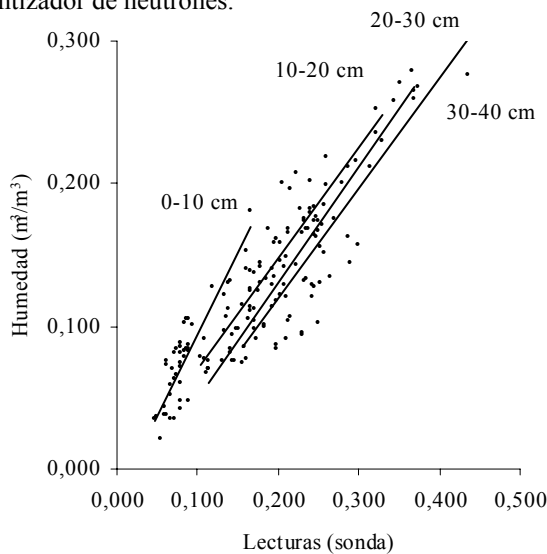


Fig. 2. Representación de las ecuaciones de correlación para cada una de las capas consideradas en la Tabla 1.

La Figura 2 muestra la gráfica de las ecuaciones definidas anteriormente. Se comprueba que la tendencia que define la capa más superficial es netamente distinta de las demás tendencias, que adoptan directrices paralelas debido a su progresivo aumento del contenido de humedad con la profundidad. Ello pone de manifiesto la hipótesis de partida: las mediciones de humedad de la capa 0–10 cm presentan parte de la esfera de influencia de la sonda en el aire, por lo que la atenuación de neutrones no responde al mismo patrón definido para los otros horizontes, cuyo frenado de neutrones se ajusta más estrictamente al contenido hídrico del suelo.

Tabla 2. Estadísticos de las ecuaciones de calibración agrupados según niveles homogéneos (0-10 y 10-40 cm), y ecuación global.

Profundidad (cm)	Ecuaciones de regresión	R^2	p	n
0-10	$y = 1,133 x - 0,018$	0,69	<0,0001	40
10-40	$y = 0,684 x - 0,002$	0,78	<0,0001	122
0-40	$y = 0,625 x + 0,014$	0,82	<0,0001	162

Por tanto, dadas las afinidades que se observan entre sí, se pueden aglutinar las ecuaciones de tendencia paralela en una sola ecuación que represente la tendencia de los horizontes 10–40 cm; de modo independiente se debe considerar una ecuación para el horizonte más epidérmico (Tabla 2 y Figura 3). Hay que añadir que el aparente mejor ajuste de las ecuaciones para los niveles 10–40 cm y 0–40 cm puede tener su causa en el mayor número de datos utilizado.

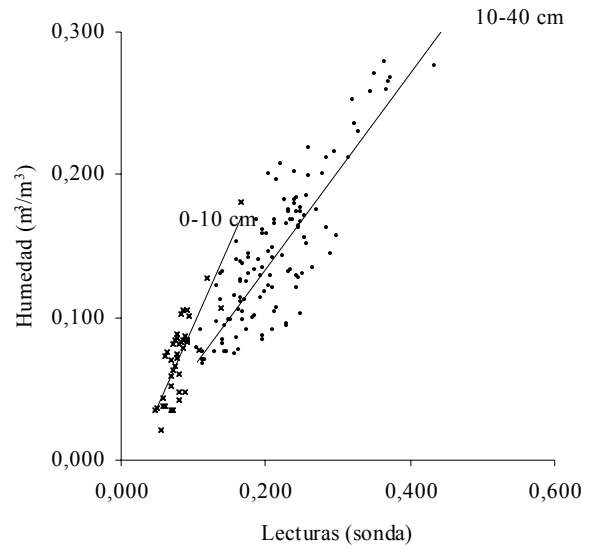


Fig. 3. Tendencias observadas para las capas 0–10 cm y 10–40 cm.

La Tabla 3 expresa los errores que se producirían usando como ecuación de predicción de la humedad la ecuación obtenida con todos los datos (intervalo de profundidad 0–40 cm). Se observa que si se utiliza como estimador la ecuación global (la obtenida uniendo todos los niveles), los errores introducidos son elevados aunque su coeficiente de regresión sea el más alto. Estos errores son más elevados en el horizonte superficial, y se hacen progresivamente más importantes al aumentar el contenido en agua. Para los horizontes más profundos (considerando siempre la capa arable) estos errores son mucho menores, de signo negativo, con tendencia a disminuir con la profundidad.

Tabla 3. Errores introducidos en tres intervalos de lectura usando las ecuaciones de calibración definidas para cada intervalo de profundidad.

Error / Lectura	Intervalos de profundidad		
	0-10	10-40	0-40
0,100	95,02	66,56	76,42
%	24,33	-12,90	
0,150	151,67	100,77	107,67
%	40,87	-6,41	
0,200	208,32	134,97	138,91
%	49,97	-2,83	

4. Conclusiones

En la evaluación del contenido hídrico de la capa arable de zonas semiáridas se pueden cometer importantes errores si se utiliza como estimador una única ecuación:

de este modo se minusvalora el contenido de agua del horizonte superficial, con errores que llegan a alcanzar el 50 % en algún caso, siendo frecuentes errores del 20 %. Por ello es conveniente considerar el horizonte superficial independientemente del resto, y realizar para él un proceso de calibrado específico.

Referencias

- Amoozegar, A., Martin, K. C. y Hoover, M. T. (1989): Effect of access hole properties on soil water determination by neutron thermalization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: pp. 330–335.
- Consejería OPT (Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía) (2000): Mapa topográfico 1:10.000 de la provincia de Granada. CD-ROM.
- Díaz Hernández, J. L. y Simón Navarrete, E. (1997): Estudio comparativo de diferentes sistemas de preparación del suelo ante la conservación de la humedad. I Congreso Forestal Hispano-Luso, Pamplona, mesa temática 6: pp. 39–44.
- ITGME-DPG (Diputación Provincial de Granada), (1990): Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada. 4 mapas, memoria: 107 pp.
- Dobson, A. P., Bradshaw, A. D. y Baker A. J. M. (1997): Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science*, 277: pp. 512–522.
- Evetts, S. R. y Steiner, J. L. (1995): Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: pp. 961–968.
- FAO–UNESCO (1998): World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports* n° 84, Roma, 91 pp.
- Guillamón, F. G. (1933): *El clima de Granada*. 71 pp.
- Halvorson, G. A. (1986): Neutron moisture meter calibration for minespoils containing coal. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: pp. 496–498.
- IGME (1979): Hoja geológica 993. Escala 1:50.000. Proyecto MAGNA. 1 mapa, memoria: 64 pp.
- Jordan, W.R., Gilpin, M.E. y Aber, J.D. (1987): *Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 342 pp.
- MAPA (1989): *Caracterización agroclimática de la provincia de Granada*. Ediciones de la secretaria general del MAPA, 197 pp.
- Meyer, W.B. y Turner II, B.L. (1994): *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 537 pp.
- Panda, R.K., Behera, S.K. y Kashyap, P.S. (2003): *Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions*. Agricultural Water Management: in press.
- Peña, J.A. (1985): *La Depresión de Guadix–Baza. Estudios Geológicos*. Madrid, t.4: pp. 33–46.
- Troxler Electronic Laboratories (1983): *Manual of operations and instructions, model 3330 moisture probe*. Troxler Electronic Lab., Research Triangle Park, NC., 50 pp.
- Van Bavel, C. H. M., Underwood, N., y Swanson, R. W. (1956): Soil moisture measurement by neutron moderation. *Soil Sci.*, 82: pp. 29–41.
- Vera, J. A. (1970): Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix–Baza. Boletín del IGME. Madrid, t. LXXXI (5), pp. 429–462.
- Visvalingam, M. y Tandy, J. (1972): The neutron method for measuring soil moisture content: a review. *Journal Soil Sci.*, 23: pp. 499–511.