

MEDICION DE DENSIDAD APARENTE EN SUELO UTILIZANDO SONDA DE RADIACION GAMMA

Liliana B. Di Pietro y Elvira E. Suero

Laquige (FECIC - CONICET), J. R. de Velasco 847 - (1414) Capital Federal,
EERA de INTA, Casilla de Correo 276 - (7620) Balcarce, Buenos Aires, respectivamente.

RESUMEN

Se realiza un análisis de aplicabilidad de la sonda de radiación gamma como estimador de la densidad de los suelos. Se estudian los factores que afectan la respuesta del instrumental y se realiza su calibración.

Palabras claves: densidad aparente, sonda de radiación gamma.

SOIL BULK DENSITY MEASUREMENTS USING A GAMMA RADIATION PROBE

ABSTRACT

The applicability of a gamma radiation probe for bulk density measurements in soils is analysed. The factors affecting the instrumental response are studied and its calibration is obtained.

Key words: soil bulk density, gamma radiation meter.

INTRODUCCION

La utilización de sondas de radiación para medir densidad aparente en suelos ha mostrado tener grandes ventajas frente a los métodos convencionales.

La principal consiste en la posibilidad de disponer mediciones continuadas no destructivas in situ. (Belcher, 1960; Van Bavel, 1959, 1960; Reginato, 1974).

El objeto de este trabajo es calibrar una sonda de radiación gamma para medir densidad aparente en suelos a distintas profundidades y estudiar los parámetros que pueden afectar dicha calibración.

Se determina el radio de acción, el tiempo de respuesta y se analiza la posible influencia sobre las lecturas de elementos tales como el P y el N cuya variabilidad en el suelo afectarían una calibración única.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de la sonda y principio de funcionamiento

Se utilizó un equipo Troxler con medidor de densidad en profundidad, modelo 1351 y escalímetro combinado 2651.

La fuente radioactiva es Cs^{137} (5 mCi). Dicha fuente fundamentalmente emite radiación gamma de 0.661 mev, la cual interactúa por efecto Compton con el medio circundante.

La radiación retrodispersada primariamente por los electrones del medio es captado por el detector. La diferencia de energía entre la radiación retrodispersada y la emitida por la fuente, no es suficiente para per-

mitir que el detector las distinga. Es por eso que entre la fuente y el detector existe un blindaje de plomo. Cuando la densidad del medio aumenta, la probabilidad de "scattering" por colisiones simples aumenta y por lo tanto el número de radiaciones detectadas. Sin embargo, como un aumento de densidad implica la interposición de un mayor número de átomos entre el punto de la primera colisión Compton y el detector, también hay un aumento de la probabilidad de que la radiación sea desviada de su camino por colisiones secundarias. Por lo tanto, el número de fotones detectados aumenta con la densidad, alcanza un máximo y luego decrece.

Factores que afectan la respuesta de la sonda

1) Condiciones de funcionamiento del detector: El voltaje adecuado de la fuente que alimenta el detector se determinó con cuatro lecturas en cada punto variando el voltaje entre 1.000 y 1.500 V con el equipo en la posición standard.

2) Prueba de estabilidad: Para garantizar la estabilidad de las mediciones y por lo tanto su reproducibilidad, se compara la dispersión de la media muestral de la distribución Poisson de emisión de neutrones (σ_p) con la desviación standard de la distribución normal de los errores introducidos por el circuito electrónico (σ_n).

3) Radio de acción: El radio de acción depende de las características del aparato utilizado y de la geometría y material del tubo de acceso.

Para estudiar estos efectos se diseñó una experiencia de laboratorio, que consistió en colocar un tubo de aluminio como los que se utilizan en el campo, dentro de un recipiente cilíndrico conteniendo agua pura. Se tomaron lecturas colocando la fuente a distintas profundidades.

4) Tiempo de respuesta: El tiempo requerido entre la ubicación del emisor y la lectura correspondiente se determinó a campo tomando lecturas a distintos tiempos después de ubicar la sonda dentro del tubo y hasta lograr un número de cuentas estable.

5) Influencia del P y el N en las mediciones: Para estudiar la posible influencia de algunos elementos químicos del suelo sobre la radiación gamma retrodispersada, se diseñó una experiencia de laboratorio en la cual se utilizó una sonda de radiación superficial que posee la misma fuente que la sonda de profundidad y que tiene ventajas de manejo en laboratorio.

Como sustancia de densidad patrón se utilizó un recipiente de agua pura al que se agregaron cantidades crecientes de P y N, obteniéndose lecturas para cada concentración.

Calibración

La dificultad de obtener muestras de suelo de volumen conocido cerca del tubo de medición de sonda, hizo que la calibración se realizara en laboratorio. Se utilizó agua pura y cantidades crecientes de azúcar, en un recipiente cilíndrico de 45 cm de diámetro y 80 cm de altura, con un tubo de aluminio ubicado en el centro. La fuente se colocó en el punto medio de la altura de agua. Las mediciones de actividad de radiación dispersada son normalizadas por la actividad standard de la sonda, que es de 10.696 ± 70 .

RESULTADOS Y DISCUSION

Parámetros que afectan la respuesta de la sonda

Al determinar las condiciones óptimas de trabajo del equipo debe tenerse en cuenta el funcionamiento del detector en su punto óptimo de voltaje y las condiciones de estabilidad.

Comprobar si el sistema es estable es fundamental para conocer la reproducibilidad de una medición. Todos los fenómenos que involucran la producción y detección de partículas provenientes de la desintegración radioactiva están seguidos por la distribución de Poisson. Si $\bar{n}$ es la media muestral, resulta:

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{N} \quad \text{y} \quad \sigma_p(n) = (\bar{n})^{1/2}$$

Si por otro lado se supone una distribución normal en los errores introducidos por el circuito electrónico, se tiene:

$$\sigma_N^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum n^2 - \frac{(\sum n)^2}{N} \right]$$

Al comparar σ_p con σ_N , si el cociente entre ambas se encuentra entre 0,8 y 1,2 se garantiza la estabilidad de las mediciones.

La prueba se realizó tomando veinte mediciones diarias durante cinco días consecutivos y una serie de veinte, dos meses después. Los resultados obtenidos indicaron una buena estabilidad del sistema electrónico y de la sonda.

El punto óptimo de trabajo del detector se obtuvo en 860 ± 10 V, lográndose un "plateau" en el rango de 840-880 V.

El radio de acción (RA) de la sonda se define como el radio de la esfera de suelo alrededor del emisor, en el que se produce la mayoría de las colisiones Comp-

ton que vuelven al detector. Se determinó el RA para el equipo utilizado. Se observó que cuando la fuente se hallaba a menos de 20 cm del fondo del tubo de la parte superior del mismo, los flujos detectados eran menores, indicando que la distribución de fotones es detectable en un radio mínimo de 20 cm, es decir que la medición que se obtiene es un promedio de la densidad de una esfera de ese radio.

Otro parámetro a tener en cuenta en las determinaciones de densidad con sonda es el tiempo mínimo que debe esperarse luego de ubicar el emisor a cada profundidad. Se obtuvo que el tiempo de respuesta es de un minuto.

Debido a que elementos tales como el P y el N tienen una elevada sección eficaz de absorción fotoeléctrica (Bosch, 1970) y que la distribución de estos elementos en el suelo presenta gran variación (en general hasta 500 ppm de P y hasta 3.000 ppm de N), se investigó la influencia de distintas concentraciones de estos elementos en la radiación gamma retrodispersada (datos no presentados). Variaciones de 0 a 500 ppm de P y de 0 a 3.000 ppm de N no introdujeron diferencias de lecturas, por lo que se consideró que estos elementos no afectan las determinaciones de densidad aparente de los suelos, cuando se utiliza la sonda de radiación gamma.

Calibración

Con los valores de densidad de la solución de concentración creciente de azúcar y el número de cuentas normalizadas, se buscó el ajuste con la relación funcional $y = a e^{bx}$. Siendo $y = L/S$ (número de cuentas leídas/número de cuentas standard); $x = \rho$, densidad del suelo húmedo. Mediante una regresión lineal con estimación de cuadrados mínimos se obtuvo

$$y = (7,38 \pm 0,16) e - (0,94 \pm 0,02) \rho ; r^2 = 0,99$$

En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos y en la Figura 1 el ajuste de los mismos.

Mediciones a campo

Se realizaron mediciones en un suelo Argiudol Típico de Balcarce. Se determinó la densidad del suelo para cada horizonte, en el punto medio del mismo.

La densidad aparente (δ) del suelo, se define como la masa de suelo seco en relación al volumen total, de manera que

$$\delta = \rho \cdot m \text{ agua} / V$$

siendo ρ la densidad del suelo húmedo; m agua, la masa de agua en el volumen V .

TABLA 1: Densidad aparente del suelo (g/cm³) Argiudol típico de Balcarce, determinada con sonda de radiación gamma.

Horizonte	Profundidad (cm)	$\rho \pm \Delta\rho$
A	0- 27	1,17 $\pm$ 0,03
B ₁	27- 42	1,21 $\pm$ 0,02
B ₂₁	42- 57	1,26 $\pm$ 0,01
B ₂₂	57- 74	1,35 $\pm$ 0,05
B ₃	74- 94	1,32 $\pm$ 0,04
C	94-106	1,23 $\pm$ 0,02

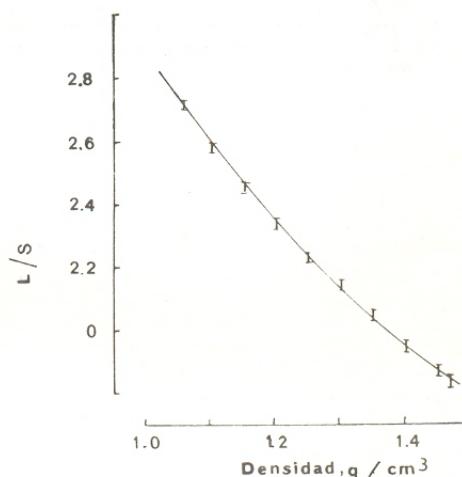


Figura 1: Curva de calibración de la sonda de radiación gamma. Radiación retrodispersada detectada (L/S) en función de la densidad.

Los valores de humedad volumétrica se obtuvieron con sonda de neutrones.

CONCLUSIONES

Del análisis de los parámetros que afectan el funcionamiento de la sonda surge que la determinación del punto de trabajo del detector y de la estabilidad del sistema son pasos fundamentales previos al uso del equipo.

La obtención de un RA de 20 cm implica que con la sonda no pueden obtenerse datos puntuales, si no que los mismos son promedio dentro de una esfera de suelo de ese radio.

El hecho de que la variación de P y N, únicos elementos del suelo que podían causar problemas de detección por tener una gran sección eficaz de absorción de fotones, no tenga influencia en la medición de la sonda es fundamental pues indica que no es necesaria una calibración individual para cada suelo.

Dicha curva de calibración es de la forma $z = c \cdot c^{-dx}$ entre 1,0 y 1,6 g/cm³ aproximadamente. obtenidas con sonda son densidades totales y que para obtener la densidad aparente es necesario conocer la humedad volumétrica que puede obtenerse combinando la medición con una sonda de neutrones. Finalmente es interesante observar que las densidades

BIBLIOGRAFIA

- Belcher, D. J.; Sack, T. R., 1960. The measurement of soil moisture and density by neutron and ray scattering. Technical Development Rep. 127 CCA US Dep. of Commerce.
- Bosch, H., 1970. Interacciones de las radiaciones nucleares con la materia. CAESE. Bs. As. 187 pp.
- Reginato, R., 1974. Gamma radiation measurements of bulk density changes in soil pedon following irrigation. Soil Sci. Am. Proc. 38 (1): 24-29.
- Van Bavel, C. H. M., 1959. Soil Densitometry by transmission. Soil Sci. 87 (1): 50-58.
- Van Bavel, C. H. M., 1960. Soil density measurements with gamma radiation. Proc. Int. Congress Soil Sci. Madison, Wisc. USA.