

CALIBRACION DE LA SONDA DE NEUTRONES PARA UN HAPLUDOL TIPICO Y UN ARGUDOL VERTICO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

J. A. Forte Lay (1), A. Troha (1) y M. M. Villagra (2)
CIBIOM - CONICET - Serrano 669 - (1414) Buenos Aires

INTRODUCCION

Las determinaciones de humedad del suelo por el método gravimétrico tuvieron y aún tienen amplia difusión debido, fundamentalmente, a su mayor precisión. Sin embargo, es uno de los más engorrosos en cuanto a su aplicación, pues al realizar la extracción de las muestras se provoca una alteración del suelo. Por ello, es que se tiende a utilizar métodos no destructivos para determinar la humedad del suelo. Uno de ellos es el de la sonda de neutrones, de amplia difusión en el mundo por su rapidez, buena precisión y multiplicidad de aplicaciones.

El empleo de esta forma de determinación del contenido de agua en el suelo fue iniciado por Beltcher (1950) y ha tenido amplia difusión en el mundo como lo demuestran los numerosos trabajos que al respecto se han realizado hasta la fecha. Así pueden citarse las calibraciones realizadas por Van Bavel (1955) y Kurantz (1959). Además, se realizaron las correcciones a la curva de calibración en suelos con horizontes bien diferenciados por Maertens (1965) y Holmes (1956) y las correcciones debidas a las variaciones de densidad aparente por Luebs (1968) y Olgaard (1968). Numerosas experiencias han demostrado que el grado de asociación entre la humedad volumétrica y la relación de cuentas varía según los tipos de suelos analizados (Babaloba, 1978, Shizari, 1975, Koshi, 1966).

En nuestro país, Fagioli (1972) fue el primero en realizar estudios sobre este tema, explicando el uso y

calibración de la sonda en la Estación Experimental de Anguil (INTA). También se puede citar otras calibraciones como las realizadas por Garay y Suero (1978); Zeljovich (1980) y Di Pietro y Suero (1983).

El objeto del presente trabajo es la calibración de la sonda de neutrones bajo diversas situaciones hídricas y su comparación con la curva original de fábrica para dos suelos característicos de la pradera pampeana. Sobre los mismos se está realizando además, un estudio sobre la dinámica del agua en el suelo según distintos tratamientos culturales.

De esta manera se podrá determinar con mayor rapidez y precisión el almacenaje de agua en el suelo para distintas fases de los cultivos y se podrá mejorar la estimación de agua mediante el cálculo de balances hídricos. Además se verificará la posibilidad de aplicar el método en suelos de características similares.

MATERIALES

Descripción de los suelos

Serie "San Claudio"

El suelo estudiado se halla ubicado en el establecimiento "San Claudio" perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, cuyas coordenadas geográficas son: 35° 27' S, 61° 14' W y cuya cota es de 90 m.s.n.m.; se encuentra ubicado en el partido de Carlos Casares

1) Investigadores Adjuntos del CONICET.

2) Profesional Asistente del CONICET.

(provincia de Buenos Aires), dentro de la región denominada Pampa arenosa. El mismo se desarrolla en la parte positiva del relieve (lomas arenosas) y presenta las siguientes características: horizonte A1 de 35-40 cm de espesor, textura franco-arenosa, estructura en bloques subangulares medios, débiles a granulares (2 por ciento de M.O.). Subyace un horizonte intermedio AC hasta 75 u 80 cm, de estructura en bloques débiles a masivo, que apoya sobre un C que alcanza los 130 cm o más de profundidad.

Del mapa de suelos del establecimiento se desprende que el perfil analizado pertenece a la serie San Claudio, subgrupo Hapludol típico (Brunizem sin Bt), correspondiéndole la clase I de capacidad de uso (Cat. Manejo y Conservación, FA - UBA. Inédito).

Serie "Ramallo"

El suelo citado se encuentra en el establecimiento "Los Patricios" también perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, está ubicado en el partido de San Pedro (provincia de Buenos Aires), siendo las coordenadas del mismo: 33° 50' S, 59° 46' W y su altura de 40 m.s.n.m., se halla dentro de la zona denominada Pampa ondulada. Esta serie es un suelo oscuro, pesado, muy profundo y moderadamente bien drenado, cuya pendiente no supera el 0,5 por ciento.

El horizonte superficial se extiende hasta 25-30 cm; es franco-arcillo-limoso y de color pardo grisáceo oscuro. Está bien provisto de materia orgánica y tiene abundantes raíces, la transición hacia el horizonte arcilloso B2t es gradual y suave. Las mediciones efectuadas en esta serie abarcaron los horizontes B1, B21t y B22t cuyos porcentajes de arcilla son 34,1; 56,0 y 40,3 por ciento respectivamente. El B2t es de gran es-

pesor y se extiende desde los 40 cm hasta 1,30 m. El sustrato de este suelo (Horizonte C), que se encuentra a 2 m de profundidad, es un sedimento loésico franco-limoso. Cuando se seca el perfil se agrieta hasta más de 1 m de profundidad. La serie Ramallo es un Argiudol vértico (Brunizem máximo, grumosólico, con horizonte B2t potente y pesado). Se le asignó la subclase IIe de capacidad de uso (INTA, 1973).

METODO

Para la realización del presente trabajo, se utilizó un equipo Troxler modelo 1255 y un escalímetro modelo 2681.

Para la instalación de los tubos de acceso necesarios para las mediciones se realizaron previamente en ambos establecimientos calicatas para determinar la ubicación exacta de las 2 series a analizar. Los tubos utilizados fueron de aluminio de 5 cm de diámetro y 1 mm de espesor por 2 m de profundidad.

La calibración consiste en relacionar el número de cuentas leídas en el escalímetro (número de neutrones retrodispersados en el suelo), normalizadas a un valor de referencia (número de neutrones retrodispersados dentro del blindaje), con el contenido de humedad en el suelo. Las lecturas se realizaron cada 10 cm de profundidad con 3 repeticiones por capa y el tiempo utilizado fue de 1 minuto para mayor exactitud y con una variabilidad aceptada menor al 1 por ciento. Se expresó la humedad en lámina de agua.

Los valores de humedad, utilizados como referencia, se obtuvieron extrayendo muestras mediante el uso de barrenos y procesándolas por el método gravi-

TABLA 1: Densidad aparente y capacidad de campo para las dos series analizadas.

Prof. cm	SERIE SAN CLAUDIO			SERIE RAMALLO		
	D. ap.	Cap. Campo		D. ap.	Cap. Campo	
	g/cm ³	mm/dm.	mm. ac.	g/cm ³	mm/dm.	mm. ac.
0-10	1,14	34	34	1,27	38	38
10-20	1,09	30	64	1,27	35	73
20-30	1,25	33	97	1,27	46	119
30-40	1,25	31	128	1,27	51	170
40-50	1,22	28	156	1,26	50	220
50-60	1,24	27	183	1,33	50	270
60-70	1,27	27	210	1,36	45	315
70-80	1,30	28	238	1,41	39	354
80-90	1,30	27	265	1,45	36	390
90-100	1,32	27	292	1,43	32	422

métrico. Dichas muestras fueron tomadas alrededor de los tubos de acceso, a una distancia suficiente como para que las lecturas no fueran afectadas; las mismas se realizaron paralelamente con las lecturas, cada 10 cm de profundidad, hasta el metro con 3 repeticiones.

Por otra parte, se determinaron el contenido de humedad en capacidad de campo y la densidad aparente de las distintas capas en ambos suelos (Tabla 1).

Las observaciones, en número de 16, comenzaron el 15 de junio de 1982 y se extendieron hasta el 6 de octubre de 1983. Los intervalos entre las observaciones se determinaron a partir del valor de la evapotranspiración potencial (ETP) en las distintas épocas del año; es decir, en invierno se tomaron cada 30-40 días considerando que la ETP es baja, y en verano, por el contrario, el período fue de 15-20 días.

RESULTADOS

Serie "San Claudio"

En la Fig. 1a se han representado los valores de humedad (mm/dm) en función de CR (número de neutrones retrodispersados en el suelo sobre el número de neutrones tomados como referencia), donde cada punto representa la intersección entre el valor gravimétrico y el valor leído por sonda de neutrones para cada profundidad y en las 16 fechas de medición (128 observaciones).

También se ha representado la función cúbica que ajusta a dichos puntos, cuyos coeficientes figuran en la Tabla 2. Por otro lado se ha graficado también la curva de ajuste propuesta por el fabricante para este

equipo. Alrededor de la primera curva se observa cierta dispersión entre los puntos, aunque la misma puede ser explicada por variaciones del suelo debidas al muestreo gravimétrico. Sin embargo dicha variabilidad puede considerarse aceptable debido a la buena correlación obtenida y al bajo valor del error standard de estimación que se pueden observar en la Tabla 2.

Con respecto a la curva propuesta por el fabricante se puede observar que coincide prácticamente con la anterior hasta los 20 mm/dm de lámina de agua. A partir de allí, para el mismo valor de CR la curva subestima el valor de la humedad presente en el suelo.

En la Tabla 2 se pueden observar, además de los coeficientes de correlación anteriormente citados, los coeficientes de las funciones de ajuste de tercer grado.

Serie "Ramallo"

En la Fig. 1b se han representado los valores de humedad medida en función de CR, cuyos puntos también representan los valores obtenidos para cada profundidad en 15 oportunidades (120 observaciones).

La función cúbica que ajusta a dichos puntos ha sido representada, al igual que la función propuesta por el fabricante. En la Tabla 2 figuran los valores de los coeficientes encontrados para esta calibración. Puede observarse que la dispersión de los puntos alrededor de la curva de ajuste es mayor que en el caso de la serie San Claudio. Esto puede deberse a la característica de las arcillas de expandirse y contraerse a distintos contenidos de humedad, lo que hace que la densidad aparente se modifique y por lo tanto se alteren los resultados de las mediciones gravimétricas, las cuales fueron referidas a una densidad aparente considerada constante para cada profundidad.

Además puede observarse un mayor alejamiento de

TABLA 2: Correlación y regresión (según función cúbica) para las dos series de suelos.

	Serie Ramallo (San Pedro)	Serie San Claudio (Carlos Casares)
Nº observaciones	120	128
R ²	0,738	0,904
S _{yx}	± 3,127	± 1,782
R	0,859	0,951
lim. P = 0,95	0,803	0,931
	0,900	0,965
a	- 395,5289432	4,58598048
b	1.126,745352	10,50162491
c	- 1.014,899468	3,064149387
d	312,4106973	16,00516704

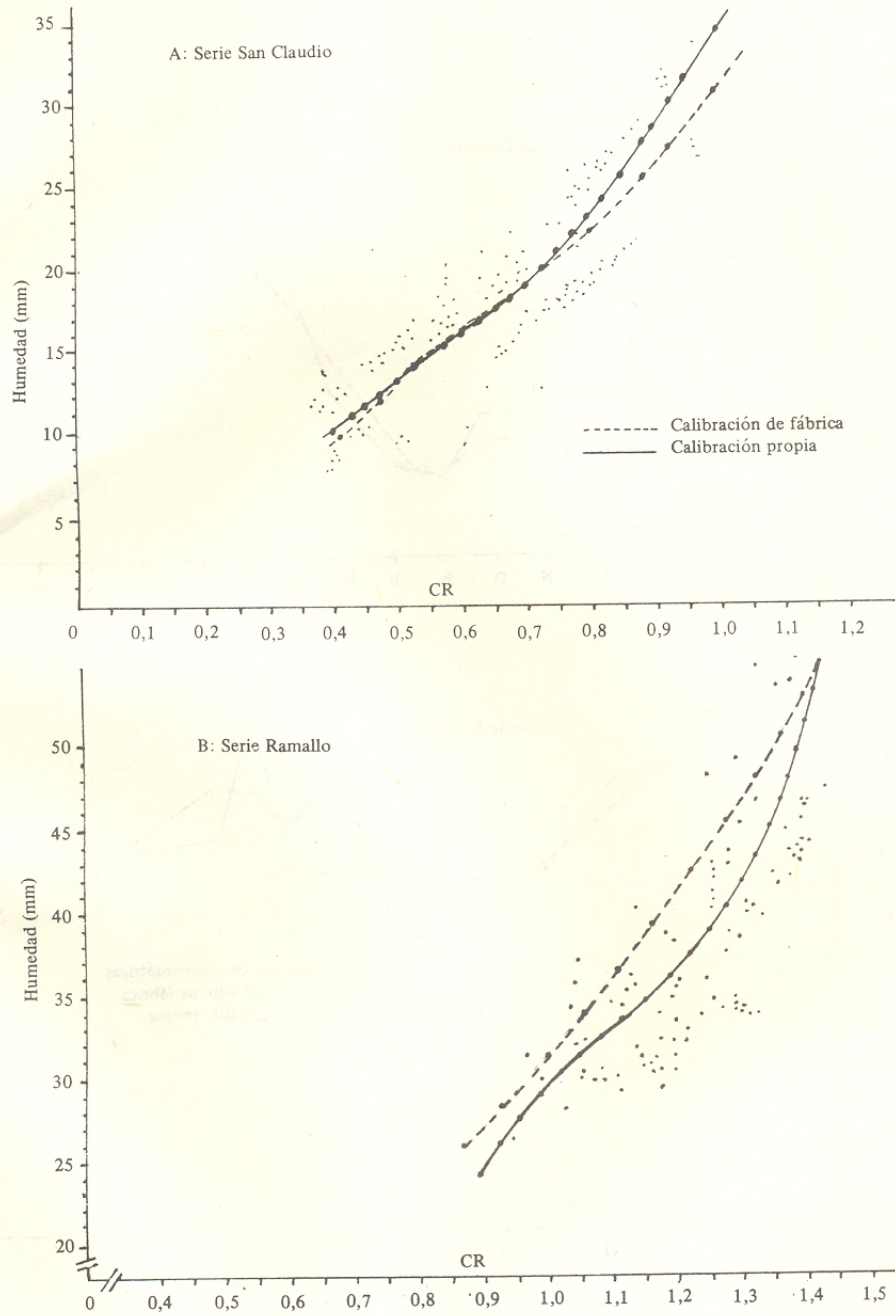


Figura 1: Relación entre los valores de humedad medidos gravimétricamente y el CR, con los ajustes según las funciones de tercer grado propia y propuesta por el fabricante.

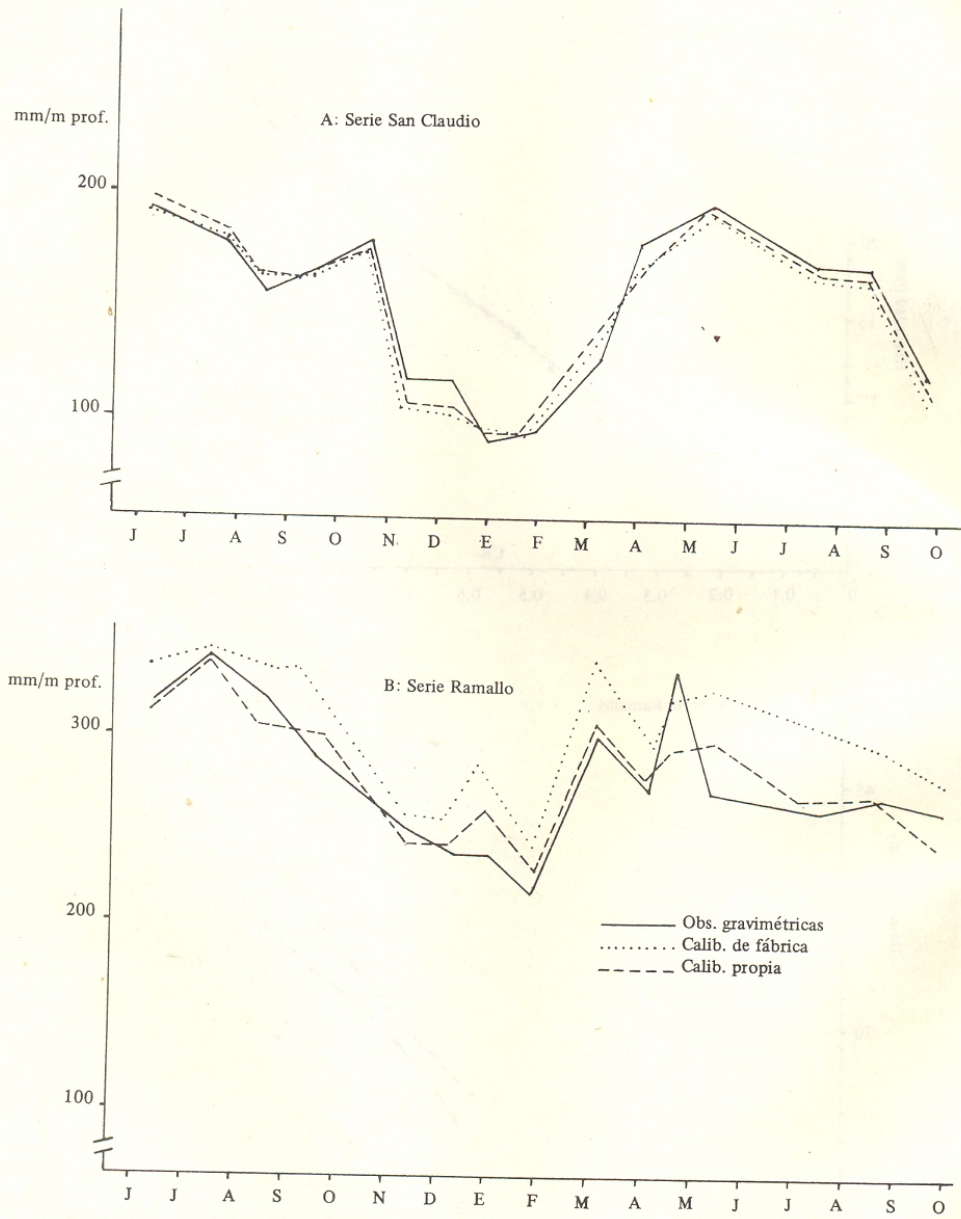


Figura 2: Marcha de la humedad edáfica almacenada hasta el metro de profundidad durante el período analizado según estimaciones realizadas con sonda de neutrones y la medición gravimétrica de referencia.

la curva de ajuste obtenida respecto de los valores propuestos por el fabricante, para la gama de mediciones de humedad en que oscilan este tipo de suelos; ello implicaría, en caso de usar valores de la tabla de fábrica, una manifiesta sobreestimación de la humedad real del suelo. Esto es probablemente debido a que la calibración de fábrica ha sido hecha para un suelo de características muy diferentes de las de este perfil.

Como se puede observar en la Tabla 2 el coeficiente de correlación obtenido es inferior al calculado para la serie San Claudio.

En los gráficos de las Figs. 2a y 2b se ha representado la variación de la humedad de los perfiles de suelo explorados por la sonda de neutrones, representativos de las capas que se encuentran entre 20 y 100 cm de profundidad, ya que para medir en las capas superficiales hace falta una sonda especial adaptada a ese fin.

Durante el período de observaciones se pudo determinar una gama amplia de situaciones de humedad edáfica, con valores altos, del orden de la capacidad de campo y bajos, del orden del punto de marchitez permanente, para ambos tipos de suelo. En virtud de haberse hecho las mediciones en ambos casos durante un ciclo en que el verano resultó apreciablemente seco, se pudieron obtener estos valores mínimos de almacenaje de agua en el suelo como se puede observar en los gráficos de las Figs. 2a y 2b.

También es de hacer notar que los valores de humedad más altos del suelo franco-arenoso (serie San Claudio) se asemejan aproximadamente a los más bajos del suelo franco-arcilloso y de mucha mayor capacidad de almacenaje (serie Ramallo), por lo que ambas curvas discurren por contenidos de humedad totalmente distintos.

En virtud de la gran cantidad de observaciones realizadas, los coeficientes de correlación poblacional f pueden considerarse muy próximos a los coeficientes de correlación R de los muestreos, como se puede observar en el Cuadro 1 donde figuran los valores de f esperables con el 95 por ciento de probabilidad.

Aunque se realizaron los análisis de correlación para ambos suelos separando las muestras de cada capa, los resultados obtenidos no justificaron en ningún caso la realización de curvas de calibración diferentes para cada profundidad.

CONCLUSIONES

Los coeficientes de correlación entre los valores gravimétricos hallados y los medidos mediante la sonda de neutrones son adecuados, o sea en las presentes condiciones experimentales la medición con sonda puede reemplazar a la extracción de muestras de suelo y su procesamiento por gravimetría, en el seguimiento de la humedad a campo.

Las determinaciones de humedad del suelo con sonda de neutrones se ven influidas por el tipo de suelo a analizar, ya que para perfiles con textura franco-arenosa, homogéneos y sin presencia de arcillas expansibles, la correlación mejora sensiblemente en relación con suelos que presentan características opuestas. La gran cantidad de observaciones realizadas dan validez a los valores obtenidos.

En el caso de la serie San Claudio, la curva original de fábrica subestima la humedad del suelo en aproximadamente 3 mm/dm a partir de valores de humedad de 21 mm/dm de lámina de agua. Mientras que en la serie Ramallo hay una sobreestimación de la humedad del suelo si se utiliza la curva original de fábrica, debido a que el incremento en el porcentaje de arcillas expansibles provoca la captación de neutrones por los hidrógenos de las estructuras cristalinas.

De lo anterior se desprende que en los casos de suelos arenosos podría admitirse el uso de la curva propuesta por el fabricante si no es posible la calibración propia. En cambio, en suelos con alto contenido de arcillas expandibles es recomendable siempre realizar una calibración propia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión de Administración de Campos de la Universidad Nacional de Buenos Aires, al personal técnico del CIBIOM y a la Cátedra de Seminario de Campo I de la Facultad de Agronomía (U.B.A.) por su colaboración en la obtención de muestras que han hecho posible la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Babaloba, O., 1973. Field calibration and use of the neutron moisture meter on some Nigerian soils. *Soil. Sci.* 126: 118-124.
- Beltcher, D. J.; T. R. Cuykendall y A. S. Sack, 1950. The measurement of soil moisture and density by neutron and gamma-ray scattering. *Civil Aero Adm. Tech. Dev. Rep.* 127. Washington D.C.
- Di Pietro, L. B. y E. E. Suero, 1983. Calibración a campo de una sonda de neutrones para medición de humedad en un argiudol del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo.* 1, 93-94.
- Fagioli, M., 1972. Uso de la sonda a neutrones termalizados para la medición de la humedad de los suelos. *IDIA*, 290: 21-24.
- Garay, A. y E. Suero, 1978. Aplicación de la sonda de neutrones termalizados para medir humedad en suelos brunizem de Balcarce. 8a. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Bs. As. Resúmenes de trabajos y comunicaciones Asociación Argentina de Ciencia del Suelo, p. 6.
- Holmes, J. W., 1956. Calibration and field use of the neutron scattering method of measuring soil water content. *Aust. J. Appl. Sci.* 7: 45-48.
- INTA, Cartas de suelo de la República Argentina. Hoja 3360-33 Perez Millán, 1973.
- Koshi, R. T., 1966. Soil moisture measurement by the neutron method in Mocky wildland. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30: 282-284.
- Kuranz, J. L., 1959. Measurement of moisture and density in soils by nuclear methods. *Symp. on applied radiation and radio-isotope testing.* Chicago, U.S.A.: 40-51.
- Luebs, R. E.; M. J. Brown y A. E. Laag, 1968. Determinating water content of different soils by the neutron method. *Soil Sci.* 106: 207-212.
- Maertens, C.; J. Morizet y R. Studer, 1965. Modalités d' utilisation en agronomie d' un himidimètre à ratentissement de neutrons. *Annales Agronomiques.* 16: 5-23.
- Olgaard, P. L., 1968. The use of theoretical model for calibration and design of neutron moisture gauges. *Simp. on use of nuclear techniques in the prospecting and development of mineral resources*, Buenos Aires, Noviembre 1968.
- Shirazi, G. y M. Isobe, 1975. Calibration of neutron probe in some selected Hawaiian soils. *Soil Sci.* 122: 165-170.
- Van Bavel, C. H. M.; N. Underwood y R. W. Swanson, 1956. Soil moisture measurement by neutron moderation. *Soil Sci.* 82: 29-41.
- Zeljovich, V. J.; L. E. Totis de Zeljovich y L. A. Blotta, 1980. Calibración de una sonda de neutrones en un suelo serie Pergamino. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo IX. Paraná.