

# FUNCION DE AJUSTE DE LA ATENUACION DE UNA SEÑAL DE MICROONDAS PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS

SUSANA ORDEN<sup>1</sup>, MARTHA GOLDBERG<sup>1</sup>, NILDA ARRIGO<sup>2</sup>, y D. ABALLEYRA<sup>1</sup>

Recibido: 18/12/96

Aceptado: 20/08/97

## RESUMEN

Se aplicó un modelo de regresión múltiple sobre la base de mediciones de contenido de humedad realizadas a partir de la atenuación de una señal de microondas en suelos de distintas texturas y contenido hídrico.

Del análisis de la función de ajuste, surge que los porcentajes de arena y materia orgánica no son factores relevantes. A partir de estas conclusiones se elaboró un diseño experimental factorial con tres factores (humedad, porcentajes de arcilla y limo) y dos niveles. De esta forma se redujo el número de pruebas y se realizó un estudio de las interacciones. Se compararon los resultados de ambos métodos para distintos valores de humedad y textura. Se observó buena correspondencia en el campo del diseño experimental.

**Palabras clave:** Humedad, Modelo, Diseño Factorial

## FITTING FUNCTION OF MICROWAVE SIGNAL ATTENUATION FOR MEASURING SOIL WATER CONTENT

### SUMMARY

A model of multiple regression based on measurements of the microwave signal attenuation through soil samples with different textures and water content, was achieved. From the analysis of the fitting function, it may be observed that the percentage of sand and organic matter are not outstanding. Then was made an experimental factorial design, with three factors (water content, silt and clay percentages) and two levels. In this way the number of tests was reduced and an analysis of the interactions was carried out. The comparison between both methods for different values of moisture and textures shows a good agreement in the field of the experimental design.

**Key words:** Moisture, model, factorial design.

## INTRODUCCION

La radiación electromagnética en la región de microondas es ampliamente usada en agronomía con múltiples propósitos. Puede citarse su uso para la determinación del contenido de agua en granos (Kraszewski *et al.*, 1991, 1992, 1993) y se utiliza también para determinaciones de humedad y conductividad eléctrica de suelos a campo (Zegelin *et al.*, 1989). Orden *et al.*, (1995) utilizaron la técnica de atenuación de una señal de microondas para la medición del contenido hídrico de suelos de distinta textura. Se ajustaron por métodos de regre-

sión lineal, los valores de la atenuación, en función del contenido de humedad, para cada tipo de suelo.

El objetivo de este trabajo es sobre la base de estas últimas mediciones, aplicar un modelo de regresión múltiple a la atenuación de la señal, que reduce el número de ecuaciones a una, en función del contenido de humedad, porcentajes de arcilla, limo, arena y materia orgánica y luego comparar los resultados con los obtenidos con un diseño experimental de tres factores con dos niveles. Este diseño permite una determinación más rápida de la función de ajuste de la atenuación, ya que reduce el número de pruebas.

---

<sup>1</sup>Cátedra de Física. <sup>2</sup>Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417), E-mail: Susord@Fissai.agro.uba.ar

### MATERIALES Y METODOS

El suelo húmedo es un medio conductor por lo tanto produce una disminución de la amplitud de la onda electromagnética. La alta constante dieléctrica relativa del agua varía sensiblemente la constante dieléctrica del suelo y por consiguiente el factor de amortiguamiento ( Orden *et al.*, 1995).

Se define la atenuación (A) de la señal transmitida en decibeles (dB) a través de la expresión:

$$A = -20 \log (V_2 / V_1)$$

donde  $V_2$  es la amplitud del pulso transmitido por el suelo húmedo y  $V_1$  la amplitud del mismo para el suelo seco.

Se utilizó como generador de microondas un tubo Klystron de reflejo de 25 mW de potencia, que trabaja a una frecuencia de 9450 MHz. Como dipolo receptor se usó un diodo de germanio. La amplitud de la señal se midió en un osciloscopio.

Se utilizaron muestras de suelos de distinta textura, materia orgánica y humedad. Para la determinación de la textura se utilizó el método descrito por Klute (1986) y para materia orgánica la técnica de Walkley y Black (Page *et al.* : 1982). Para cada suelo se humedeció la muestra hasta valores próximos a la saturación y se obtuvieron valores de humedad decreciente por secado. La humedad de las muestras fue determinada por el método gravimétrico. Se disponía para cada suelo de cinco series de medidas de seis valores de humedad cada una (Orden *et al.*; 1995). Con todos los valores experimentales obtenidos se ajustó una recta de regresión múltiple. Del análisis de la función de ajuste, surge que los porcentajes de arena y materia orgánica no son factores relevantes.

Para la aplicación del diseño factorial, se eligieron por lo tanto sólo tres factores (humedad, arcilla y limo) y se seleccionaron para cada uno de ellos dos niveles

ubicados en los límites experimentales del campo de trabajo. Los niveles de humedad, arcilla y limo son los indicados en el Cuadro N° 1. La selección de estos valores se realizó también para que el campo de validez del diseño factorial coincida con el de la regresión múltiple, con el objeto de comparar los resultados. De esta manera, con el diseño factorial se requiere realizar sólo ocho pruebas ( Gacula *et al.*; 1984. Sado *et al.*: 1991), que corresponden a las variaciones con repetición de dos elementos tomados de a tres ( $2^3$ )

### RESULTADOS Y DISCUSION

La ecuación para la atenuación (A) en función de los porcentajes de humedad (H), arcilla (Ar) y limo (Li), obtenida a partir de un modelo de regresión lineal múltiple es la siguiente:

$$A = - 11.7078 + 2.4622 H + 0.1356 Ar - 0.6934 Li$$

El coeficiente de correlación correspondientes es 0,97. Los coeficientes de regresión para los porcentajes de arena y materia orgánica resultaron nulos. La función de respuesta para la atenuación (A), obtenida con el diseño factorial es la siguiente:

$$A = 14.4147 + 21.3786 H + 2.6411 Ar - 11.9579 Li + 1.2111 H Ar - 0.6644 H Li + 1.1352 Ar Li$$

Cuadro N° 1 : Niveles elegidos para el diseño factorial y clase textural

Prueba N°	% Arcilla	% Limo	% Humedad	Clase textural
1	20,00	43,60	5,81	Franco
2	20,00	43,60	23,50	Franco
3	43,75	43,60	5,81	Arcillo-Limoso
4	43,75	43,60	23,50	Arcillo-Limoso
5	20,00	2,50	5,81	Franco-Arenoso
6	20,00	2,50	23,50	Franco-Arenoso
7	43,75	2,50	5,81	Arcillo-Arenoso
8	43,75	2,50	23,50	Arcillo-Arenoso

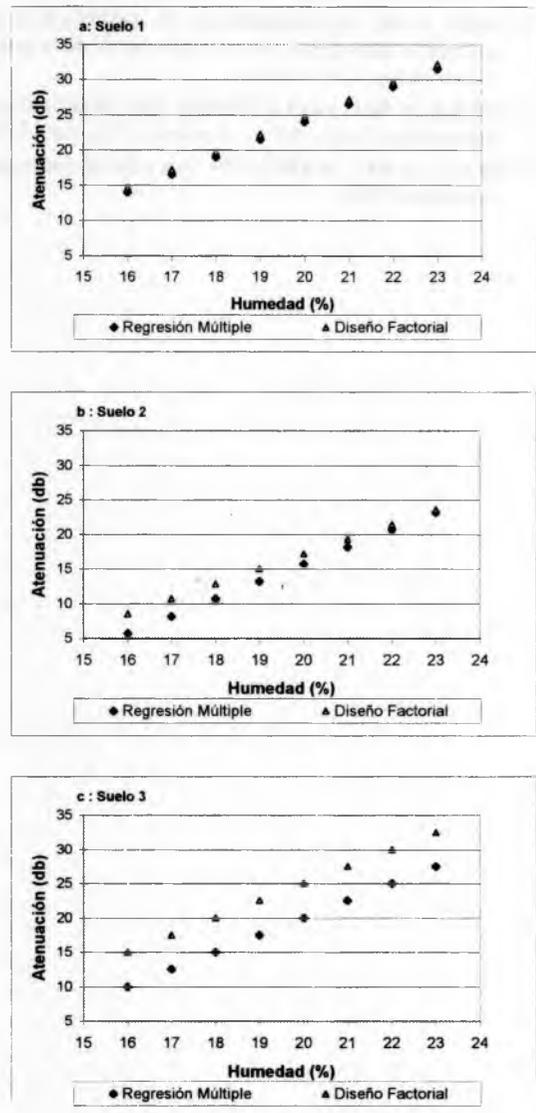
**Cuadro N° 2 : Correlación entre el método de regresión múltiple y el diseño factorial**

Suelo	% Arcilla	% Limo	Textura	Coef. de Correlación
1	30,00	25,00	Franco-Arcilloso	0,99
2	24,30	35,70	Franco	0,97
3	43,75	33,75	Arcilloso	0,94

Las variables H, Ar y Li están codificadas entre +1 y -1, correspondiendo respectivamente al nivel más alto y más bajo de la variable.

El coeficiente de correlación es 0.99. Se observa la existencia de términos de interacción débiles, que evalúan los efectos combinados de los factores.

Para comparar el ajuste por ambos procedimientos se graficaron, para tres suelos de distinta textura, la función que vincula la atenuación con la humedad (Figura 1). Los coeficientes de correlación correspondientes se presentan en el Cuadro N° 2 en forma conjunta con la textura de los suelos seleccionados. Para el suelo 3 (Figura 1c), que se encuentra en el límite del dominio de validez del diseño factorial, se obtienen valores de humedad un 2% por debajo de los que corresponden al modelo de regresión múltiple, mientras que en el suelo 1, (Figura 1a) la diferencia es del orden de 0,6%. De acuerdo con los resultados, el diseño factorial, que reduce el número de pruebas experimentales a sólo ocho, da una respuesta adecuada para la atenuación, que puede ser usada a posteriori para determinar el contenido de humedad del suelo, cuya clase textural es conocida, a tiempo real in situ. Esto resultaría útil para controlar un sistema automático de riego que se deshabilite cuando los porcentajes de humedad detectados estén cercanos a la capacidad de campo. También puede utilizarse el valor de la señal atenuada a diferentes profundidades en función del tiempo para estudios de conductividad hidráulica en estado no estacionario.



**Figura 1. Atenuación de una señal de microondas en función del contenido de humedad para tres suelos de distinta textura**

**BIBLIOGRAFIA**

- KRASZEWSKI, A.** 1991. "Microwave Aquametry - Needs and Perspectives". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 39 (5): 828-835
- KRASZEWSKI, A; and S. O. NELSON** 1992. "Wheat moisture content and bulk density determination by microwave parameters measurements". *Canadian Agricultural Engineering*, 34 (4): 327-335
- KRASZEWSKI, A; and S. O. NELSON** 1993. "Moisture Content Determination in single Peanut Kernels with a Microwave Resonator" *Peanut Science*, 20 - 27-31.
- ZEGELIN, S. J.; and I. WHITE** 1989. "Improved Field Probes for Soil Water Content and Electrical Conductivity Measurement Using Time Domain Reflectometry" *Water Resources Research*, 25 (11): 2367-2376.
- ORDEN, S. M.; M. GOLDBERG; N. ARRIGO; A. LANDINI; C. SAINATO; L. BOTTINI** 1995. "Medición del contenido hídrico del suelo por medio de la atenuación de una señal de microondas". *Revista Agronómica Costarricense*, 19 (1): 1-5
- GACULA Jr, M.C.; and J. SINGH.** 1984 *Statistical methods in food and consumer research*. Food Science and Technology Series, 505p., *Academic Press Inc.*, USA.
- SADO, G.; et M.C. SADO** 1991. *Les plans d'expériences. De l'expérimentation à l'assurance qualité*. De. *Afnor technique*, 265p..