

VARIABILIDAD ESPACIAL DE PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS DE UN SUELO DE PERGAMINO

L. B. Di Pietro, L. Marbán de Ravera, V. Richter de Kleber

LAQUIGE - CONICET - J. R. Velasco 847, Capital (1414)

RESUMEN

Se analiza la variabilidad espacial a nivel de parcela de las siguientes propiedades: % de arcilla, índice de estabilidad estructural, fósforo extractable, capacidad de intercambio catiónico, magnesio y calcio de intercambio, nitrógeno total, carbono total, conductividad eléctrica y pH; en un Argiudol Típico de Pergamino, con el método de los semivariogramas. Con el mismo se determinan los parámetros para cada propiedad necesarios para planificar el muestreo de suelos y realizar inferencia estadística con el método de "kriging".

Palabras claves: variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas de suelos - Semivariogramas.

SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A SOIL AT PERGAMINO

ABSTRACT

Spatial variability of the following properties: % clay, structure stability index, extractable phosphorus, cationic exchange capacity, interchangeable Mg and Ca, total nitrogen, total carbon, electrical conductivity and pH is analyzed in a plot with the semivariogram method. The soil is a Typic Argiudol at Pergamino. Parameters needed for soil sampling planning and statistical inference by the kriging method are determined.

Key words: Spatial variability of soil physical and chemical properties - Semivariograms.

INTRODUCCION

La cuantificación de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos ha sido normalmente tratada con el análisis de la estadística clásica. Generalmente se parte del supuesto que las propiedades están aleatoriamente distribuidas y son independientes punto a punto. Sin embargo, en la mayoría de los casos esto no es así, y los valores de las mismas dependen fuertemente entre sí, al menos hasta cierta distancia dentro de la cual dos valores de un parámetro dado no pueden ser considerados independientes, lo que hace que la media muestral no sea un buen estimador de la propiedad a medir (Vauclin, 1985).

En las dos últimas décadas y a la luz del desarrollo de la teoría de las variables regionalizadas (Davis, 1973; Gutjahr, 1985), varios autores (Vieira *et al.*, 1981; Warrick, 1981 y Nielsen *et al.*, 1983) han estudiado la estructura espacial de diversas propiedades de los suelos obteniendo conclusiones que permiten resolver tanto en micro como en macro escala el problema del muestreo y de la inferencia de valores no medidos tanto de la misma propiedad como la de variables asociadas (Morkoc *et al.*, 1985).

Uno de los primeros métodos utilizados para analizar la dependencia espacial entre observaciones vecinas es el del autocorrelatograma (Vieira *et al.*, 1983). Dicho método queda restringido a datos muestreados a distancias regulares a lo largo de transectas y además requiere asumir que la variable considerada es estacionaria de segundo orden (Rozañov, 1973). Sin embargo algunas propiedades del suelo no poseen varianzas constantes en la distancia entre puntos muestrales, no pudiendo definirse el autocorrelatograma.

Por este motivo ha resultado de mayor utilidad para estudiar la dependencia espacial, el semivariograma, que necesita para su definición suposiciones sobre la distribución de las variables más débiles, como es la hipótesis intrínseca (Vieira *et al.*, 1981). Además de los semivariogramas se obtienen los parámetros que son utilizados para realizar inferencia estadística por el método de "kriging" (Trangmar *et al.*, 1985).

El objeto del presente trabajo es analizar la variabilidad espacial a nivel parcela de propiedades físicas y químicas en un suelo Argiudol Típico de Pergamino, con el método de los semivariogramas, para planificar el muestreo de suelos y obtener los parámetros necesarios para realizar inferencia estadística con el método de "kriging".

MATERIALES Y METODOS

Suelos

El suelo utilizado es un Argiudol Típico ubicado en el predio de la Estación Experimental del INTA de Pergamino.

Muestreo

Se seleccionó una parcela de 20 x 25 m, la que se reticuló en cuadrados de 2.7 m de lado. De esta forma se extrajeron 56 muestras superficiales a las que se les realizaron las siguientes determinaciones: % de arcilla, índice de estabilidad estructural, fósforo extractable, capacidad de intercambio catiónico, magnesio y calcio de intercambio, nitrógeno total, carbono total, conductividad eléctrica y pH.

Análisis geoestadístico

Se asume que cada propiedad medida es una función aleatoria del espacio $Z(\vec{x})$, siendo \vec{x} el vector distancia. Se considera válida la hipótesis intrínseca. Esto implica suponer que para todos los vectores distancia \vec{h} , la varianza del incremento $Z(\vec{x}) - Z(\vec{x} + \vec{h})$ es finita e independiente de la posición dentro de la región considerada, siendo $Z(\vec{x})$ el valor de la variable regionalizada en la posición \vec{x} para cualquier realización de la misma. Esto se expresa:

$$\text{Var} (Z(\vec{x}) - Z(\vec{x} + \vec{h})) = 2\gamma(\vec{h})$$

siendo $\gamma(\vec{h})$ el semivariograma.

Para cada propiedad medida se calculó el semivariograma correspondiente que se define

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

$N(h)$: número de pares de observaciones

h : vector separación entre locaciones

Se consideró el semivariograma promedio, teniendo en cuenta la dirección horizontal, la vertical y las diagonales del reticulado experimental.

Se incluyen como pares todos los que se encuentran equidistantes para cada valor de h .

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas I y II se muestra la distribución espacial de los datos para las diez propiedades medidas.

En la Tabla III se observan los resultados del cálculo de las medias muestrales, desviación standard, coeficiente de variación y varianza para cada una de las propiedades, según surge del análisis de la estadística clásica.

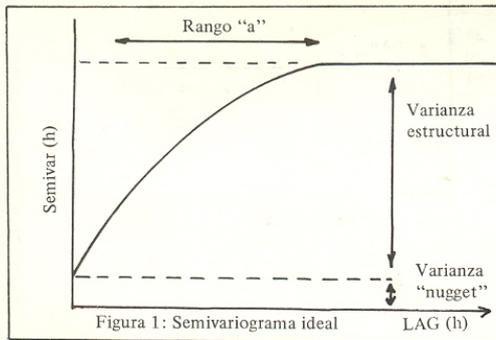
TABLA I: Distribución de valores de 5 parámetros medidos en el retículo experimental. Distancia entre puntos: 2,7 m.

		1	2	3	4	5	6	7
1	EE	366	381	397	344	438	387	370
	pH	6,3	6,4	6,3	6,4	6,2	6,3	6,2
	N _T	0,129	0,130	0,139	0,128	0,139	0,134	0,127
	CE	0,49	0,34	0,42	0,37	0,44	0,41	0,33
	Ca	9,6	9,2	9,9	9,7	9,6	9,2	9,4
2	EE	386	374	356	313	380	364	383
	pH	6,3	6,4	6,3	6,4	6,4	6,5	6,2
	N _T	0,137	0,143	0,137	0,152	0,128	0,126	0,127
	CE	0,65	0,52	0,44	0,43	0,29	0,28	0,55
	Ca	9,6	9,4	9,8	9,0	9,1	9,2	9,4
3	EE	369	407	387	406	386	383	390
	pH	6,4	6,2	6,5	6,4	6,3	6,4	6,4
	N _T	0,142	0,143	0,133	0,139	0,132	0,142	0,128
	CE	0,37	0,31	0,35	0,39	0,31	0,35	0,37
	Ca	9,2	9,9	9,8	9,5	9,4	11,8	9,5
4	EE	434	338	344	352	383	402	384
	pH	6,2	6,3	6,5	6,5	6,4	6,3	6,2
	N _T	0,140	0,137	0,148	0,131	0,132	0,117	0,133
	CE	0,33	0,45	0,29	0,31	0,26	0,31	0,36
	Ca	10,1	11,0	9,9	10,0	10,2	9,4	9,9
5	EE	377	352	371	355	406	303	394
	pH	6,2	6,4	6,3	6,3	6,2	6,4	6,3
	N _T	0,136	0,150	0,129	0,132	0,133	0,133	0,134
	CE	0,51	0,41	0,45	0,57	0,48	0,51	0,43
	Ca	9,8	9,6	9,4	9,7	10,2	9,1	10,0
6	EE	381	378	333	401	392	365	388
	pH	6,2	6,3	6,3	6,2	6,2	6,3	6,4
	N _T	0,138	0,132	0,129	0,139	0,139	0,129	0,142
	CE	0,35	0,43	0,43	0,57	0,55	0,52	0,44
	Ca	9,8	8,9	11,1	9,6	9,9	9,2	10,4
7	EE	372	380	356	384	311	352	383
	pH	6,2	6,5	6,3	6,4	6,3	6,1	6,4
	N _T	0,142	0,133	0,136	0,131	0,143	0,140	0,126
	CE	0,40	0,32	0,37	0,45	0,34	0,44	0,44
	Ca	10,1	10,0	10,2	10,9	9,8	10,1	9,1
8	EE	376	373	428	413	363	369	400
	pH	6,4	6,3	6,2	6,3	6,4	6,3	6,3
	N _T	0,141	0,137	0,139	0,121	0,132	0,127	0,133
	CE	0,39	0,43	0,35	0,44	0,48	0,34	0,46
	Ca	10,2	9,5	10,0	9,7	9,3	9,4	9,7

TABLA III: Media muestral, desviación standard, coeficiente de variación y varianza para 10 propiedades de suelo medidas sobre 56 repeticiones de cada una.

	x	σ_{n-1}	CV%	Var
EE	376	27	7.2	740
P	25.6	5.4	21.0	29
pH	6.3	0.1	2.0	0.01
N _T	0.135	0.007	5.1	47 x 10 ⁻⁶
CIC	15.5	1.3	8.3	1.67
CE	0.41	0.08	20.5	0.0071
C _T	1.62	0.05	3.4	0.0031
Mg	1.78	0.08	4.5	0.0066
Ca	9.76	0.54	5.5	0.29
%ar	28.1	1.4	5.0	1.9

A partir de los datos experimentales se calcularon los semivariogramas. Idealmente, si graficamos el semivariograma en función de las distancias, la curva esperada es como la que se muestra en la Figura 1.



El valor del mismo crece con la distancia alcanzando un valor constante C₁, a una distancia "a" denominada rango. El rango define la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial y además es el máximo radio dentro del cual se puede hacer inferencia estadística por "kriging".

Los semivariogramas deben pasar por el origen cuando "h" tiende a cero. Sin embargo en los semivariogramas experimentales esto no ocurre así para todas las escalas de trabajo. A esta varianza distinta de cero en el origen se la denomina varianza "nugget" (C₀) y representa la microvariabilidad de la propiedad que no puede ser detectada a esa escala de muestreo. Si se cumple la hipótesis intrínseca, (C₀ + C₁) se

aproxima a la varianza muestral. C₁ es la contribución a la varianza debido a la variabilidad espacial exclusivamente.

Si para cualquier distancia el semivariograma oscila alrededor de la varianza, implica que los datos presentan lo que se denomina efecto "nugget" puro.

En las Figuras 2 y 3 se pueden observar los semivariogramas experimentales obtenidos en función de la distancia. Para el ajuste de los mismos se utilizó el modelo lineal, es decir

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + bh^2, & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C_1, & h > a \end{cases}$$

En la Tabla IV se muestran los parámetros C₀, C₁ y "a" obtenidos para todas aquellas propiedades que no presentan efecto "nugget" puro.

TABLA IV: Varianza "nugget" (C₀), varianza estructural (C₁) y rango, obtenidos de los semivariogramas con el modelo lineal.

	C ₀	C ₁	a (m)
P	6,1	22,7	6,3
CIC	1,05	0,62	11,1
C _T	18 x 10 ⁻⁴	13 x 10 ⁻⁴	9,8
Mg	47 x 10 ⁻⁴	20 x 10 ⁻⁴	6,3
%ar	1,52	0,39	15,0

De las propiedades analizadas, P extractable, CIC, Mg de intercambio, C total y % de arcilla mostraron en la escala de trabajo una estructura espacial definida. Los rangos de dependencia son respectivamente 6.3; 11.2; 9.8; 6.4 y 15 m. Esto implica que la media muestral es un buen estimador del valor de dichas propiedades sólo si las repeticiones son tomadas a distancias mayores que un círculo de radio igual al rango. Por ejemplo, para el P extractable las muestras deben tomarse a una distancia mayor que 12 m entre sí en cualquier dirección. Para el CIC, esta distancia es de 22 m y así sucesivamente. Los anteriores valores son válidos tanto para obtener muestras separadas como para muestras compuestas.

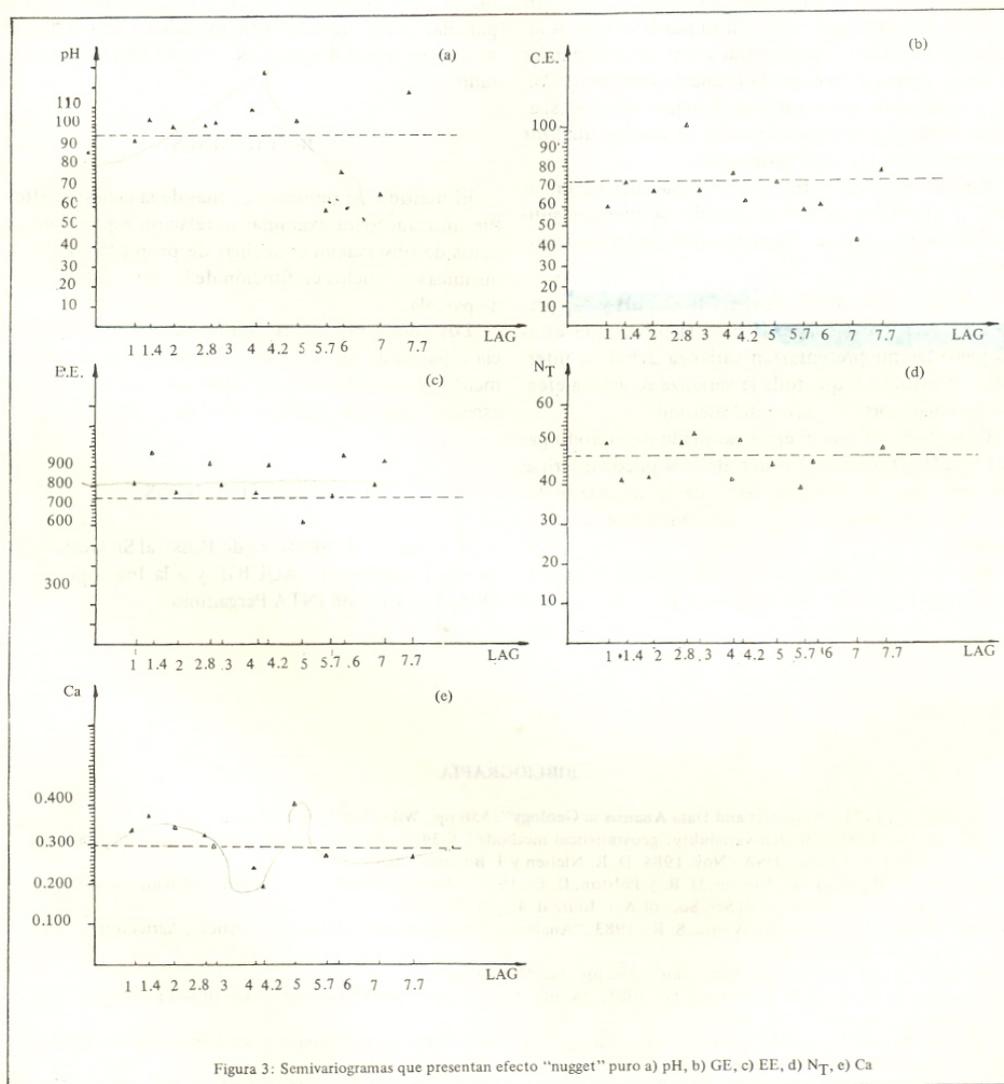


Figura 3: Semivariogramas que presentan efecto "nugget" puro a) pH, b) GE, c) EE, d) N_T, e) Ca

Si calculamos los porcentajes de la varianza 'nugget' respecto de la varianza total, los mismos son 21.3% para P extractable, 63% para el CIC, 58% para C total, 70% para Mg de intercambio y 79% para % de arcilla. Esto significa que el 21.3% de la varianza total de los datos de P extractable se explican por la incerteza intrínseca al método experimental y a efectos espaciales de rango corto, menor que la escala de trabajo utilizada, y el resto de la varianza es debida a efectos espaciales puros. De la misma manera se pueden analizar las varianzas de las otras propiedades.

Para discriminar entre efectos espaciales de rango corto e incerteza debida al método, se puede disminuir la distancia entre muestras y recalcular los semivariogramas.

Los valores del índice de EE, CE, Ca, pH y N_T presentan efecto nugget puro. Esto significa que estas propiedades no presentarían varianza debido a interrelación espacial y que toda la varianza se debe a efectos de rango corto o a error del método.

Considerando que el error estimado de método para CE, pH y Ca son del orden del 5% puede inferirse que para estos parámetros casi toda la varianza se debe a efectos espaciales de menor rango que la escala utilizada.

Para la EE y el N_T , el error del método es más alto, siendo del orden del 20% para el primero y del

10% para el segundo, teniendo entonces más peso en la varianza.

A partir de los resultados obtenidos para estas cinco propiedades surge que puede asegurarse que la media es buen estimador del valor de la propiedad en la parcela, si las muestras son tomadas a una distancia no menor que 5,4 m que es el rango espacial considerado.

CONCLUSIONES

El método de semivariogramas de la geoestadística fue utilizado para examinar la relación espacial entre datos de observaciones vecinas de propiedades físico-químicas de suelos en función de la distancia, a escala de parcela.

Los valores obtenidos para los rangos de dependencia espacial de los parámetros medidos son suficientemente grandes como para tener en cuenta el análisis espacial cuando se trabaja a nivel de parcela.

AGRADECIMIENTOS

A la Sra. M. E. Martínez de Rossi, al Sr. Gustavo O. Novas, técnicos del LAQUIGE y a la Ing. Agr. Edith Muñoz de EEA de INTA Pergamino.

BIBLIOGRAFIA

- Davis, J. C., 1973. "Statistics and Data Analysis in Geology"; 550 pp., Wiley Int. ED., USA.
- Gutjahr, A., 1985. "Spatial variability: geostatistical methods", 9-34, en Proceedings of a workshop of the ISSS and the SSSA, Las Vegas, USA - Nov. 1984, D. R. Nielsen y J. Bouma (Eds.).
- Morkoc, F., Biggar, J. W., Nielsen, D. R. y Polston, D. E., 1985. "Analysis of soil water content and temperature using state-space approach", Soil Sci. Soc. of Am. Journal, 49 (4): 798-803.
- Nielsen, D. R., Tillotson, P., Vieira, S. R., 1983. "Analyzing field-measured soil water properties", Agricultural Water Management 6:93-109.
- Rozanov, J., 1973. "Procesos Aleatorios", 282 pp., Ed. Mir, Moscú.
- Tragmar, B. B., Yost, R. S., Vehara, G., 1985. "Application of geostatistics to spatial studies of soil properties", Advances in Agronomy 38: 45-91.
- Vauclin, M., 1985. "Spatial variability of soil properties". Conferencia en el Colloquium on Energy Flux at the Soil Atmosphere Interface, Trieste, Mayo, 1985.
- Vieira, S. R., Nielsen, D. R., Biggar, J. W., 1981. "Spatial variability of field measured infiltration rate", Soil Sci. Soc. of Am. Journal 45 (6): 1040-1048.
- Vieira, S. R., Hatfield, J. L., Nielsen, D. R., Biggar, J. W., 1983. "Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties", Hilgardia 51 (3): 1-75.
- Warrick, A. W., Nielsen, D. R., 1981. "Spatial variability of soil physical properties in the field" 319-344, en Hillel D. Practical Applications of soil physics.