

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES GENERALES DEL SUELO EN UNA CUENCA AGRÍCOLA

*Dafonte Dafonte, Jorge (1); González García, Miguel Angel (1);
Taboada Castro, M^a Teresa (2) y Paz González, Antonio (2)*

*(1) E.P.S.Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario. 27002 Lugo
(2) Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Zapateira. 15071 A Coruña*

SUMMARY

Spatial variability of general soil properties in one agricultural catchment

The spatial variability of general soil properties (pH, soil particles size distribution, organic matter content) in one agricultural catchment (Abelar with about 10,7 ha) located in the Ordenes Complex, a district of basic schists in northwest Spain was investigated.

In the catchment Abelar three depths were sampled 0-15 cm, 15-30 cm and 30-60 cm. The obtained data sets were used to describe the spatial variability by geostatistical techniques from 0 to about 500 m. At the sampled scale, results showed that all the measured properties are spatially dependent, except the sand in the depth 0-15. The spatial structure of these properties was analyzed by variogram models with a nugget component and a spatial component. The kriging method used was block kriging.

A raster SIG was used to representate the estimated variables, which allows to employ spatial information procedures and also to visualize the studied variables, including its uncertainty bound.

KEY WORDS: Geostatistics, kriging, soil sampling, SIG.

RESUMEN

La variabilidad espacial de las propiedades generales del suelo (pH, textura, contenido en materia orgánica) se estudió en una cuenca agrícola de 10,7 ha localizada en el Complejo de Ordenes, una zona de esquistos básicos.

En la cuenca estudiada, denominada Abelar se muestrearon tres profundidades 0-15 cm, 15-30 cm y 30-60 cm. Los datos obtenidos se usaron para describir la variabilidad espacial mediante técnicas geoestadísticas de 0 a 500 m. A la escala muestreada los resultados mostraron que todas las propiedades estudiadas son espacialmente dependientes, excepto la arena entre 0-15 cm. La estructura espacial de estas variables se analizó con modelos de semivariogramas con una componente de efecto pepita y una componente espacial. El método de krigeado usado fue el krigeado en bloques.

Se usó un SIG raster para representar la variable estimada, lo que permite emplear información espacial y además visualizar las variables estudiadas, incluyendo la incertidumbre de estimación.

Palabras clave: Geoestadística, krigeado, muestreo de suelos, SIG.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural con variabilidad espacial, las variaciones del material de origen y de la vegetación a lo largo del paisaje a partir del cual los suelos se han formado influyen en la variabilidad de los suelos, aún a cortas distancias.

Hasta hace poco tiempo el estudio de las propiedades del suelo se hacía desde el punto de vista de la estadística tradicional (también conocida como estadística de Fisher), que consideraba que no existía ningún tipo de dependencia espacial en las variables, su valor es puramente aleatorio sin depender de su posición en el espacio (VAUCLIN *et al.*, 1983).

Como afirman GOOVAERTS and JOURNAL (1995), es muy habitual asignar a cada tipo de suelo dentro de un área, al utilizar en los cálculos una variable del mismo, un valor uniforme para toda esa área sin tener en cuenta ningún tipo de variación espacial, pero esta aproximación tiene dos puntos débiles: dentro de una clase de suelo dada, una variable puede tomar diferentes valores de un punto a otro. Además en las zonas de frontera entre dos tipos de suelo diferentes se producen cambios bruscos en el valor de la variable, al pasar de una zona a otra, en la realidad esos cambios son mucho más suaves.

Debido a ello, en épocas más recientes (finales de los 70 y comienzos de los 80) se ha puesto mayor énfasis en el hecho de que las variaciones de las propiedades del suelo no son siempre totalmente aleatorias en el campo y que debe de ser tenida en cuenta la estructura espacial de la variable en el tratamiento de los datos, es decir, considerar su variación espacial.

Las medidas de las propiedades del suelo producen una serie de valores discretos de la variable estudiada para puntos particulares dentro del área muestreada. Para una mejor interpretación de estas medidas discretas, la teoría de las variables regionalizadas transforma nuestros datos discretos a datos continuos (KUTILEK and NIELSEN, 1994). Una variable regionalizada es aquella distribuida en el espacio de forma que presenta una estructura espacial de correlación (SAMPER y CARRERA, 1990). Por ello la precisión de la predicción espacial depende en gran medida de la información disponible y de la correlación entre observaciones cercanas y ha sido extensamente tratado (TRANGMAR *et al.*, 1985; HEUVELINK and BIERKENS, 1992).

La extrapolación desde datos puntuales a regionales puede realizarse a través de análisis geoestadístico, se hace bajo la asunción de que hay una variación continua en las

propiedades del suelo desde un punto hasta su vecino, tal como se indica con la autocorrelación espacial entre observaciones próximas. La continuidad de la distribución espacial de las medidas se evaluó usando geoestadística (VIEIRA *et al.*, 1983).

El objetivo de este trabajo es investigar la estructura espacial de las siguientes variables: textura, contenido en materia orgánica y pH en una cuenca agrícola.

MATERIAL Y MÉTODOS

La cuenca estudiada se encuentra dentro de la provincia de A Coruña, en el Complejo de Ordenes, una zona de esquistos básicos. Las variables estudiadas fueron pH (agua y KCl), contenido en materia orgánica y textura (arena, limo y arcilla), todas ellas determinadas según los métodos descritos en GUITIÁN y CARBALLAS (1976). La cuenca se denomina "Abelar", tiene una elevación media sobre el nivel del mar aproximada de 430 m, su superficie es de 10,7 ha, y fue muestreada a tres profundidades (0-15 cm, 15-30 cm y 30-60 cm), con una densidad de muestras de 7,9 muestras/ha.

Todos los análisis geoestadísticos se basan en la asunción de que las medidas que están separadas por pequeñas distancias tienen valores más similares que las que se encuentran separadas por una distancia mayor, p.e. existe autocorrelación espacial. Esta asunción puede verificarse a través del examen de los semivariogramas para las variables estudiadas, p.e. el semivariograma es una herramienta estadística para la medida de la autocorrelación.

Se asume como cierta la existencia de autocorrelación espacial si el semivariograma se incrementa como una función de la distancia de separación entre valores vecinos aumenta hasta una cierta distancia, donde se iguala a la valor de la varianza muestral. Esta distancia se conoce como rango de correlación y define el radio sobre el que los valores medidos pueden afectar la estimación de una variable en un punto no muestreado. El valor de interceptación del eje Y del semivariograma se llama efecto pepita y representa el grado de discontinuidad que existe a pequeñas distancias, debido a falta de pares de puntos muestreados a pequeñas distancias o a errores en las medidas. La magnitud del valor del efecto pepita está inversamente relacionada con la precisión de las estimaciones hechas usando los semivariogramas.

Todos los semivariogramas usados en este trabajo se escalonaron dividiendo los valores de semivarianza de cada uno de ellos por el valor de su respectiva varianza muestral. De esta forma, el valor que se obtiene de la semivarianza estabilizada es aproxima-

damente uno y la comparación entre ellos es más sencilla. Se debe de ajustar una ecuación al gráfico de $\gamma(h)$ versus los valores de distancia, para usarse durante el proceso del krigeado.

El primer paso fue el ajuste de un modelo de semivariograma teórico al semivariograma experimental, usando el método del jack-knifing de acuerdo al procedimiento descrito en VIEIRA *et al.* (1983), después el siguiente paso fue el krigeado en bloques, utilizando un tamaño de bloque de 5 x 5 m con el programa Gstat (PEBESMA, 1997), que pegó los valores estimados en un mapa raster generado por PCRaster (VAN DEURSEN and WESSELING, 1992).

A lo largo de este artículo, hay referencias a los sistemas de información geográfica (SIG), concretamente a un SIG en particular, llamado PCRaster que es el que se usó en este estudio. Es un SIG tipo raster, que trabaja en entorno DOS, y tiene utilidades de exportación e importación con otros SIG conocidos (Idrisi, Arc-Info,...). En un mapa raster, el espacio se subdivide regularmente en celdas (normalmente de forma cuadrada). La localización de los objetos geográficos o condiciones es definida por su columna y fila que ocupa la celda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales parámetros estadísticos de los datos estudiados se muestran en la tabla 1.

El pH muestra baja variación espacial con un bajo coeficiente de variación, pero el resto de las variables medidas muestran un coeficiente de variación más alto.

La figura 1 muestra los semivariogramas para la arcilla, limo y arena a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) en Abelar. Los semivariogramas se escalonaron usando los valores de varianza muestral, de acuerdo con el procedimiento descrito en VIEIRA *et al.* (1997). Los semivariogramas muestran un efecto pepita causado probablemente por la falta de datos experimentales a pequeñas distancias.

No hay dependencia espacial en la arena a la profundidad de 0-15 cm. Para la arcilla en las capas A (0-15 cm) y B (15-30 cm), se compararon los modelos esférico y gaussiano usando el método del jack-knifing para ayudar en la elección.

	Profundidad (cm)	n	Media	Varianza	C.V. (%)	Coefficiente de asimetría	Curtosis
M. O. (%)	0-15	85	11,71	19,32	37,5	0,02	3,32
	15-30	85	7,36	4,35	28,36	0,17	3,05
	30-60	85	-	-	-	-	-
PH (H ₂ O)	0-15	85	5,24	0,037	3,71	0,4	3,06
	15-30	85	4,94	0,025	3,24	0,04	3,63
	30-60	83	5,08	0,035	3,71	0,38	2,91
PH (KCl)	0-15	85	4,27	0,03	4,08	0,66	2,81
	15-30	85	4,08	0,015	3,02	-0,19	2,82
	30-60	83	4,10	0,017	3,18	-0,37	3,2
Arena (%)	0-15	85	31,8	20,7	14,3	44	2,77
	15-30	85	32,5	22,8	14,7	0,21	2,56
	30-60	84	38,4	66,3	21,2	0,18	2,19
Limo (%)	0-15	85	44,1	29,7	12,4	34	3,11
	15-30	85	46,3	44,8	14,5	-0,1	2,58
	30-60	84	44,6	85,1	20,7	-0,08	2,21
Arcilla (%)	0-15	85	24,1	9,3	12,6	-0,5	3,49
	15-30	85	21,2	17,7	19,8	0,04	2,42
	30-60	84	17	16,3	23,7	1,03	4,01

n: Número de muestras, C.V.: Coeficiente de variación, M.O.: Contenido en materia orgánica.

Tabla 1. Principales parámetros estadísticos en Abelar.

En las figuras 2 y 3 se presentan los resultados del jack-knifing para el contenido de arcilla a dos profundidades. Los parámetros del jack-knifing que se usan en la elección son: la pendiente y el coeficiente de correlación de la recta de valores observados frente a estimados, el error medio reducido y la varianza de los errores reducidos. De acuerdo con VIEIRA *et al.* (1983), el mejor modelo debería tener como valores de los parámetros anteriormente citados 1, 1, 0 y 1 respectivamente. Usando este criterio, se puede ver que el modelo gaussiano describe mejor la variabilidad espacial de la arcilla en Abelar, dado que los valores calculados están más cercanos al criterio usado. Los parámetros del modelo gaussiano elegido fueron efecto pepita 0,4, meseta 0,67 y alcance efectivo 110.

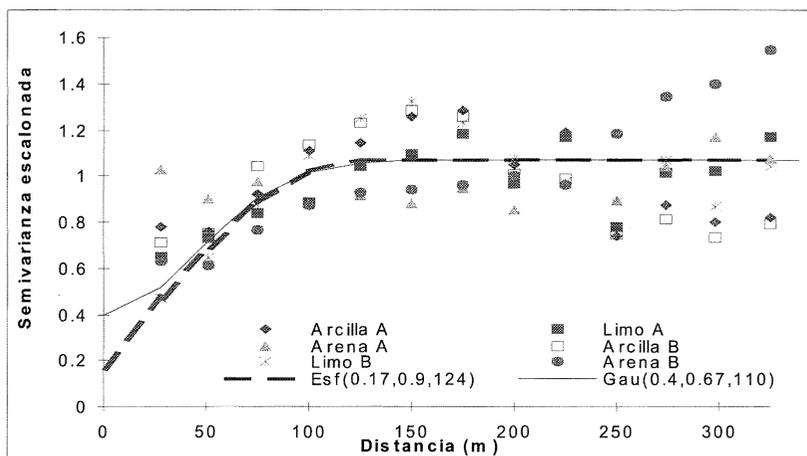


Figura 1. Semivariograma escalonado para la textura en Abelar en dos profundidades: A (0-15 cm) y B (15-30 cm).

El krigeado en bloques se hizo usando un tamaño de bloque de 5 x 5 m, y un número mínimo de vecinos de 24. El modelo de elevación digital tenía un tamaño de celda de 5 x 5 m.

Las figuras 4 y 5 muestran la estimación del contenido en arcilla en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm, respectivamente, obtenidas mediante la estimación del krigeado en bloques.

CONCLUSIONES

La textura y el contenido en materia orgánica muestran unos coeficientes de variación medios-altos a nivel de cuenca, siendo el coeficiente de variación del pH el más bajo. Generalmente, los coeficientes de variación son más bajos en las capas superficiales, lo que probablemente está relacionado con el laboreo.

Todas las variables estudiadas tienen dependencia espacial, excepto el contenido en arena en la capa de 0-15 cm.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo se llevó a cabo en el marco del proyecto FAIR 1 CT95-0458, financiado por la Unión Europea.

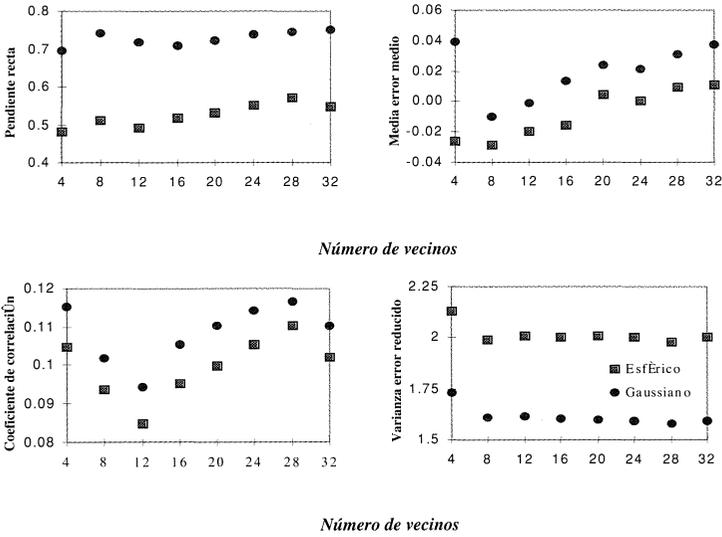


Figura 2. Par\u00e1metros del m\u00e9todo Jack-knifing para la arcilla (0-15 cm) en Abelar con los modelos esf\u00e9rico y gaussiano.

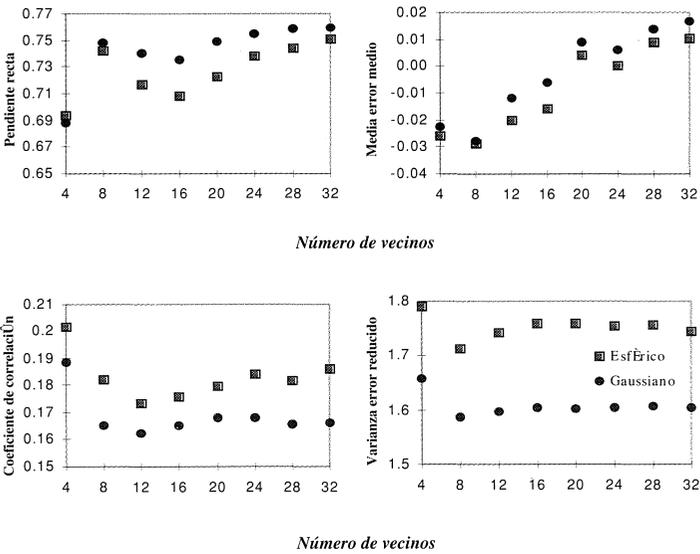


Figura 3. Par\u00e1metros del m\u00e9todo Jack-knifing para la arcilla (15-30 cm) en Abelar con los modelos esf\u00e9rico y gaussiano.

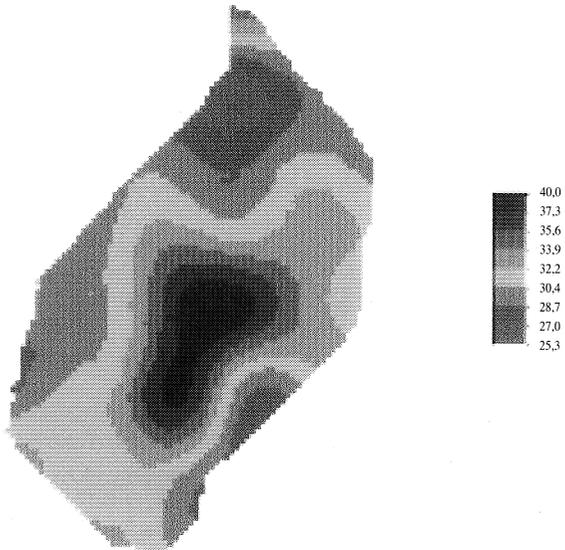


Figura 4. Contenido en arcilla, 0-15 cm.

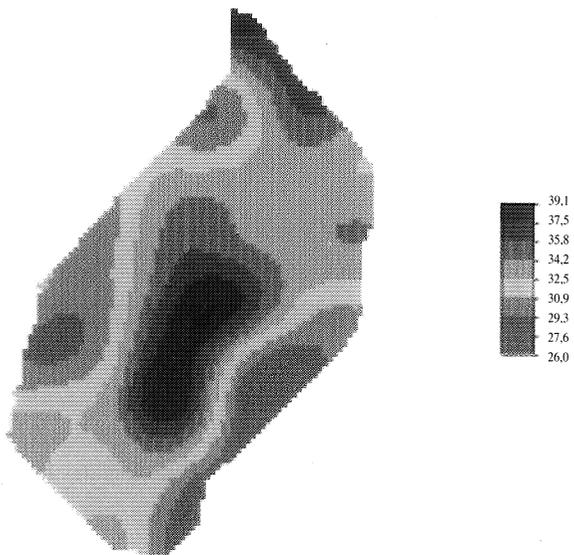


Figura 5. Contenido en arcilla, 15-30 cm.

BIBLIOGRAFÍA

- HEUVELINK, G. B. M. and BIERKENS, M. F. P. (1992). Combining soil maps with interpolations from point observations to predict soil properties. *Geoderma*, 55: 1-15.
- GOOVAERTS, P. and JOURNAL, A. G. (1995). Integrating soil map information in modelling the spatial variation of continuous soil properties. *European J. of Soil Sci.*, 46: 397-414.
- GUITIÁN, F. y CARBALLAS, T. (1976). Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela. 288 pp.
- KUTILEK, M. and NIELSEN, D. R. (1994). Soil hydrology. Catena Verlag. Cremlingen. 350 pp.
- PEBESMA, E. J. (1997). Gstat user's manual. Netherlands Centre for Geo-Ecological Research. Faculty of Environmental Science. University of Amsterdam. Amsterdam. 81 pp.
- SAMPER CALVETE, F. J. y CARRERA RAMÍREZ, J. (1990). Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea. CIMNE. Barcelona. 448 pp.
- TRANGMAR, B. B., YOST, R. S. and URHARA G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38: 45-94.
- Van DEURSEN, W. P. A. and WESSELING, C. G. (1992). The PCRaster package. Technical Report of the Department of Physical Geography. University of Utrecht. The Netherlands. 198 pp.
- VAUCLIN, M. R., VIEIRA, S. R., VACHAUD, G. and NIELSEN, D. R. (1983). The use of cokriging with limited field soil observations. *Soil Soc. of Am. J.*, 47: 175-184.
- VIEIRA, S. T., HATFIELD, J. L., NIELSEN, D. R. and BIGGAR, J. W. (1983). Geostatistical theory and applications to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51: 1-75.
- VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; TILLOTSON, P. M. and BIGGAR, J. W. (1997). Scaling of semivariograms and the kriging of soil properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 525-533.