

MAPAS DETALLADOS DE SUELOS POR KRIGING Y CONJUNTOS BORROSOS EN VALLES ALTOS DE CARABOBO, VENEZUELA

Jesús Viloría, Freddy Sánchez y Rubén Leal

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay, Venezuela. Jesus.viloria@gmail.com; freddysanchez-@hotmail.com; rubenleal82@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo combina mapas de isolíneas de propiedades del suelo, producidos por kriging, con mapas de clases borrosas (fuzzy) de suelos, en un estudio detallado realizado con 86 puntos de muestreo en un área de 15 ha. La clasificación borrosa de los datos de suelo generó cuatro clases de suelos, que difieren entre sí principalmente en textura, pH del suelo, contenido de materia orgánica, y calcio y magnesio disponibles. Estas clases fueron mapeadas por medio de la interpolación de los valores de la función de pertenencia a cada una de ellas. La evaluación del mapa de isolíneas de % de arcilla y del mapa de clases borrosas de suelo, reveló que ambos mapas predijeron la textura de la capa superficial del suelo en 21 puntos de validación con $67 \% \pm 14 \%$ ($p=0,1$) de aciertos. La información aportada por los mapas de propiedades individuales del suelo y el mapa de clases borrosas es complementaria y puede ser combinada para permitirle al usuario mayor flexibilidad de consulta.

Palabras clave: interpolación, semivariogramas, fuzzy sets, municipio Montalbán, estado Carabobo.

INTRODUCCIÓN

La interpolación numérica entre puntos de muestreo puede contribuir a producir mapas de isolíneas de propiedades del suelo, como alternativa a los mapas de clases de suelos. Por lo general, kriging se comporta mejor que otros métodos de interpolación (e.g. Muellera et al., 2004) porque optimiza la ponderación de cada punto de muestreo, en función de la estructura de variación espacial de la propiedad de suelo interpolada. El conocimiento de esa estructura de variación espacial es aportado por un semivariograma, estimado partir de los puntos de muestreo. La interpolación por kriging produce mapas que describen la variación espacial de cada propiedad relevante del suelo, por separado. Sin embargo, muchos usuarios requieren además mapas de clases de suelos, como base para delimitar áreas de manejo. La escasa variación del relieve y el uso de la tierra tienden a ocultar la expresión externa de los límites de suelos en áreas planas sometidas a uso agrícola intensivo. En tales casos la fotointerpretación es poco efectiva y es necesario incrementar la intensidad de muestreo para encontrar los límites de suelos en el terreno, directamente. Como consecuencia, el costo y el tiempo requerido para producir un mapa detallado de suelos suele aumentar considerablemente.

La interpolación por kriging de los valores de la función de pertenencia de los puntos de muestreo a cada clase de suelo determinada con el enfoque de conjuntos borrosos, podría ser una alternativa para el mapeo detallado de suelos. En efecto, la aplicación de la teoría de los conjuntos borrosos (fuzzy sets) a la clasificación de suelos permite crear clases definidas por un concepto central y una matriz de valores de la función de pertenencia que puede adquirir cualquier valor entre 0 y 1. Esta función indica el grado de similitud de cada individuo con el concepto central de la clase (Morales y Vilorio, 2006). La clasificación borrosa de suelos ha sido también denominada clasificación continua (McBratney *et al.*, 1992) para destacar su ventaja sobre las clasificaciones discretas, como método para modelar la variación gradual del suelo. Los valores de las funciones de pertenencia pueden ser interpolados por kriging para determinar la distribución geográfica de clases borrosas de suelos (Odeh et al., 1992).

En este estudio se combinan técnicas de clasificación borrosa de suelos (fuzzy) e interpolación por kriging para la cartografía detallada de los suelos de la Estación Experimental Ricardo Araque (EERA), la cual es un centro de investigación de la Universidad Central de Venezuela ubicada en los valles altos de Carabobo en el centro-norte de Venezuela

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en la llanura aluvial en el municipio Montalbán del estado Carabobo, en las coordenadas 10°13'00"N y 68°19'00"W a una altitud de 654 msnm. Tiene una superficie de 15,20 ha, de topografía plana. Los suelos son de origen aluvial, de texturas medias o finas, con reacción neutra a alcalina (Gutiérrez 2005). Los datos utilizados proceden de un estudio de variabilidad de suelos con 86 puntos de muestreo, distribuidos en una cuadrícula regular con 60 metros de distancia entre puntos. Las variables consideradas incluyen las siguientes propiedades del horizonte superficial del suelo: porcentaje de arena, limo y arcilla por el método de Bouyoucos; pH en agua 1:1; materia orgánica (%) por el método de Walkley y Black, la disponibilidad de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) en mg/kg (Gutiérrez, 2005). La determinación de semivariogramas y la interpolación por kriging fueron realizadas con apoyo del software ArcGIS (ESRI) y la clasificación borrosa con el programa FuzME v. 3.5 (Minasny y McBratney, 2002). Para evaluar la realidad de campo del mapa de isolíneas de % de arcilla y del mapa de clases borrosas de suelo, determinó el intervalo de confianza ($p=0,1$) de la proporción de aciertos de cada mapa, al predecir la textura de la capa superficial del suelo (0-20 cm de profundidad) en 21 puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas de las diferentes propiedades del suelo considerados en este estudio. El parámetro C_0 representa la variación que no puede ser explicada porque ocurre a una distancia menor que el mínimo intervalo de muestreo, mientras que fracción C_1/C_0+C_1 indica la proporción de la variación total (C_0+C_1) que muestra dependencia espacial. Una variable muestra dependencia espacial cuando los valores medidos en puntos de muestreo cercanos son más similares entre sí que los valores medidos en puntos distantes. Con base en este resultado se

pueden distinguir tres grados diferentes de dependencia espacial, de acuerdo a la clasificación propuesta por Cambardella *et al* (1994) 1) las propiedades del suelo con fuerte dependencia espacial, como % arena y % arcilla; 2) aquellas con moderada dependencia espacial, como pH, % MO y P, Mg, Na y Ca disponibles; 3) las variables que como K disponible prácticamente no muestran dependencia espacial. Los semivariogramas de % arcilla, P y K en la Figura 1 ilustran los tres tipos descritos de estructura de variación espacial.

Cuadro 1: Modelos ajustados a los semivariogramas de las propiedades del suelo analizadas

Variable	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	a (m)	(C ₁ /C ₀ +C ₁)*100
Arena (%)	Esférico	0	363,80	363,80	108	100
Arcilla (%)	Esférico	4,17	964,00	968,17	81	100
P (mg kg ⁻¹)	Esférico	148,00	423,00	571,00	123	74
pH	Exponencial	0,16	0,39	0,55	112	71
Mg (mg kg ⁻¹)	Esférico	68.583,00	161390,00	229973,00	94	70
MO (%)	Esférico	0,24	0,40	0,64	107	63
Na (mg kg ⁻¹)	Esférico	113,86	163,91	277,77	144	59
Ca (mg kg ⁻¹)	Esférico	144.810,00	146790,00	291600,00	112	50
K (mg kg ⁻¹)	Esférico	463,00	118,00	581,00	198	20

C₀: varianza no explicada o ruido (nugget); C₁: varianza con dependencia espacial; a: alcance de dependencia espacial; (C₁/C₀+C₁)= dependencia espacial relativa.

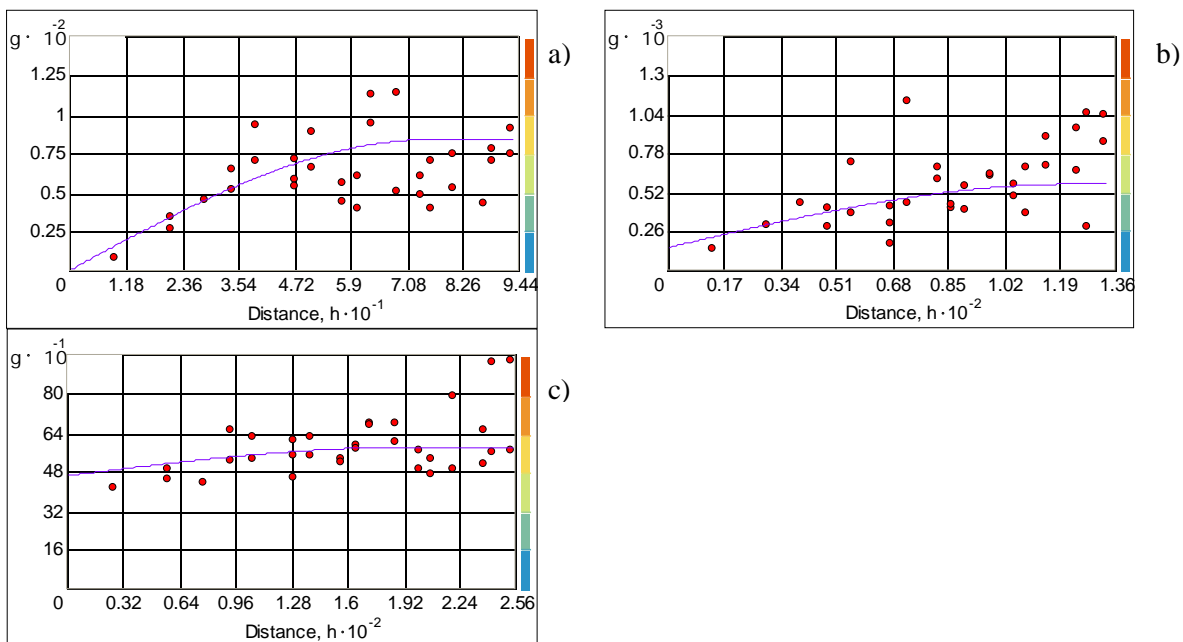


Figura 1: Semivariogramas de a) % arcilla; b) P disponible ; c) K disponible

Los puntos de muestreo fueron agrupados en cuatro clases borrosas de suelo. Los conceptos centrales de las clases de suelo obtenidas (Cuadro 2) revelan que cada una de ellas tiene una clara relación con la textura del suelo y que el contenido de materia orgánica y magnesio en el suelo tienden a ser mayor a medida que la textura del suelo es más fina. Las otras propiedades del suelo, aunque no muestran una relación directa con la textura del suelo, también varían entre las diferentes clases, con excepción del K disponible que varía poco. Esto confirma la variación casi aleatoria de esta propiedad del suelo en el área de estudio, tal como lo indica el semivariograma respectivo.

Cuadro 2: Centroides de las clases borrosas de suelos

Clases	Arcilla	Arena	MO	Textura	pH	P	K	Ca	Na	Mg
	%									
A	31,70	25,81	2,74	FA	6,54	35,24	63,48	1570,27	37,18	1232,99
B	18,40	52,35	1,89	Fa	5,98	28,14	53,33	562,84	21,90	466,17
C	28,44	25,47	2,49	FL	6,69	34,56	53,60	946,63	34,72	762,10
D	20,41	45,19	1,85	F	7,26	108,60	64,46	1829,58	32,45	589,11

La Figura 2 muestra el mapa de isolíneas del % de arcilla obtenido por medio de la interpolación por kriging. Se puede apreciar que esta propiedad del suelo varía de acuerdo a un patrón geográfico determinado, a lo largo del área estudiada. En la Figura 3 se observa la variación espacial de las funciones de pertenencia de cada una de las clases borrosas de suelo obtenidas. Los colores de la leyenda indican el % de pertenencia a cada clase borrosa de suelo; mientras mas intenso es el color mayor es el porcentaje de pertenencia a la clase. Se observa claramente que cada clase borrosa de suelo tiende a ocupar una determinada posición en el terreno. El mapa obtenido tiende a semejarse al mapa de % de arcilla, dada la relación entre las clases borrosas y la textura del suelo. En efecto, El color blanco representa aquellas zonas en las cuales no hay una clase de suelo predominante, estas zonas corresponderían a complejos de suelos en un mapa convencional y de igual manera para este mapa.

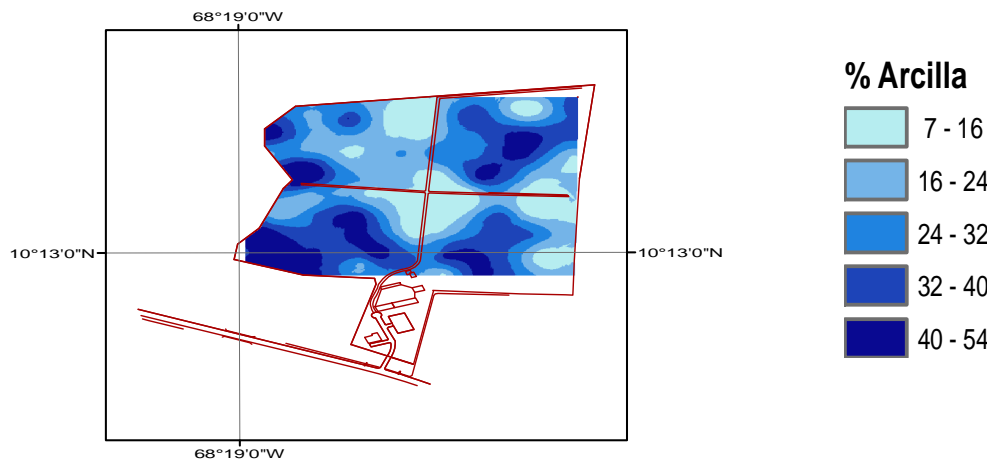


Figura 2. Mapa de isolíneas de % arcilla

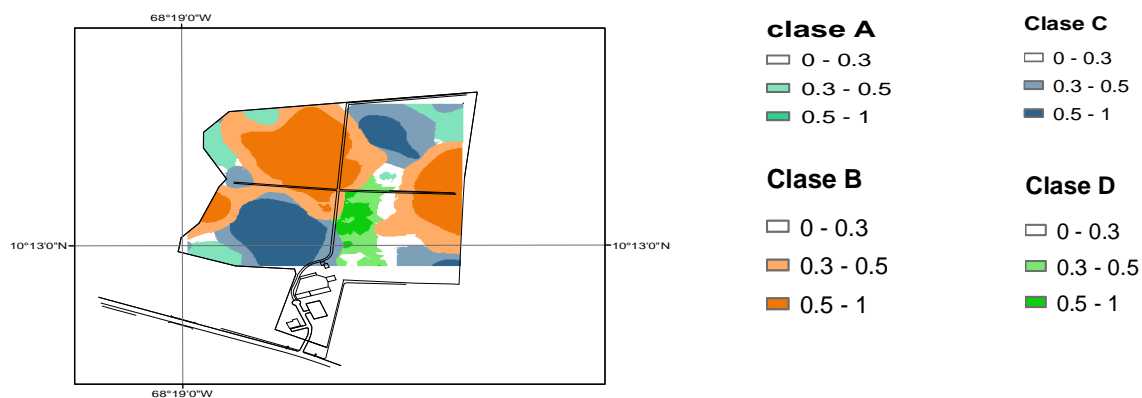


Figura 3. Mapa de isolíneas de las funciones de pertenencia a las clases borrosas de suelo.

La evaluación de la realidad de campo del mapa de isolíneas de % de arcilla y del mapa de clases borrosas de suelo, produjo los mismos resultados. Ambos mapas predijeron la textura de la capa superficial del suelo en los puntos de validación con $67\% \pm 14\%$ de aciertos ($p=0,1$). Esta información le permite al usuario juzgar si estos mapas son suficientemente confiables para sus propósitos.

Los mapas de isolíneas de propiedades del suelo, como el de % arcilla, muestran la variación espacial de una sola propiedad del suelo a la vez. Por el contrario, el mapa de clases borrosas permite delimitar áreas dentro de las cuales ocurre una determinada combinación de las diferentes propiedades del suelo. Sin embargo, su cobertura del área de estudio no es completa porque existen sectores donde la función de pertenencia del suelo a cualquiera de las clases borrosas es muy baja ($<0,3$). La información aportada por los mapas de propiedades individuales del suelo y el mapa de clases borrosas es complementaria y puede ser combinada por medio de programas de manejo de sistemas de información geográfica, para permitirle al usuario mayor flexibilidad de consulta.

CONCLUSIONES

- En el área estudiada se identificaron tres tipos diferentes estructura de variación espacial del suelo. Las variables granulométricas muestran clara dependencia espacial con muy poca varianza aleatoria; las variables pH, % MO así como P, Mg, Na y Ca muestran una moderada dependencia espacial, mientras que el K prácticamente no muestran dependencia espacial
- Por medio de la clasificación borrosa se identificaron cuatro clases de suelos que difieren entre sí principalmente en la textura y el contenido de MO y Mg en el suelo. La interpolación por kriging de los valores de las funciones de membresía permitió mapear la distribución espacial de estas clases.
- Los mapas de propiedades individuales de suelo que resultan de la interpolación por kriging y el mapa de clases borrosas de suelos pueden ser ensamblados en un sistema automatizado, que le permita a los usuarios mayor flexibilidad de consulta de la información de suelos, de acuerdo a sus necesidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511.
- Gutiérrez, O. 2005. Variabilidad espacial de suelos de la estación experimental "Ingeniero Agrónomo Ricardo Araque", Municipio Montalbán, Edo. Carabobo. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía 134p.
- Minasny, B.; McBratney, A.B. 2002. FuzME v. 3.5. Australian Centre for Precision Agriculture. The University of Sydney, Australia. Disponible en <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>.
- Morales A., Vilorio, J. 2006. Aplicabilidad del enfoque de conjuntos borrosos a la clasificación de suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Interciencia*, 31(8): 598-604.
- McBratney, A.B.; J.J. DeGrujter; D.J. Brus. 1992. Spatial prediction and mapping of continuous soil classes. *Geoderma*, 54: 39-64.
- Mueller, T. G.; Pusuluria, N. B.; Mathiasa, K. K.; Corneliusa, P. L.; Barnhisela, R. I.; S. Shearerb, A. 2004. Map Quality for Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation. *Soil Science Society of America Journal*, 68:2042-2047.
- Odeh, I.O.A.; A.B. McBratney; D.J. Chittleborough. 1992. Soil pattern recognition with Fuzzy-c-means: application to classification and soil-landform interrelationships. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 505 – 516.