

# Variabilidad Espacial de un Suelo Bajo Vegetación de *Prosopis* sp.<sup>1</sup>

O. A. Bachmeier\*, E. Buffa\*

## ABSTRACT

The regionalized variable theory, formerly known as geostatistics, allows to measurement of the spatial dependence of different soil properties, so as to establish soil sampling patterns and variability maps. In order to measure the influence of a *Prosopis* sp. canopy on soil spatial variability, a Typic Ustifluent soil, sited in Chancaní (31°20'LS, 65°28'W), Córdoba, Arg., was studied. A 15 m long and 1.5 m deep trench was dug under a *Prosopis* tree adjacent to an open area (begining 0.8 m from the trunk). Soil samples were taken from the first three horizons and 0.30 m horizontally apart, using a calibrated cylinder to take soil cores for bulk density (BD) analysis. On these sites, disturbed samples for pH and organic matter (OM) analysis were taken also. Autocorrelation and semivariance were calculated and plotted, using the data series obtained. It was concluded that, in the studied soil and in the under/outside canopy sampling sites, the soil properties showed a highly random pattern, with very low spatial dependence: up to 2 m for OM and up to 0.60 m for pH. BD did not show any significant spatial relations. Thus, random sampling is recommended, taking the minimum estimated number of samples, using classical statistical methods.

Palabras clave: Geoestadística, muestreo de suelos, *Prosopis*, teoría de las variables regionalizadas.

## INTRODUCCION

Para los estudios detallados de suelo, con fines de investigación o de producción, es necesario el conocimiento de la variación en el espacio de las diversas propiedades del suelo. Los métodos estadísticos clásicos no permiten evaluar cómo varían esas propiedades de acuerdo con su posición espacial (4). Esa evaluación se logra mediante el uso de la geoestadística, basada en la teoría de las variables re-

## COMPENDIO

La teoría de las variables regionalizadas, conocida como geoestadística, permite medir la dependencia espacial de las diferentes propiedades edáficas, pudiendo establecerse patrones de muestreo y elaborar mapas de variabilidad de suelo. A fin de medir la influencia de la canopla de *Prosopis* sp. (algarrobo) sobre la variabilidad edáfica, se estudió un suelo Ustifluent típico, ubicado en Chancaní (31°20' LS, 65°28'O), Córdoba, Arg. Se cavó una calicata bajo la copa de un ejemplar de algarrobo de 15 m de profundidad, desde 0.80 m del tronco hasta un área abierta adyacente. Las muestras de suelo se tomaron de los tres primeros horizontes, a una distancia horizontal de 0.30 m entre ellas y con un cilindro calibrado para evaluar la densidad aparente (DA). De los mismos lugares se extrajeron muestras disturbadas destinadas al análisis de pH y materia orgánica (MO). Con las series de datos obtenidas, se calcularon y graficaron la autocorrelación y la semivariancia. Se concluyó que en el suelo estudiado, y en las posiciones de muestreo en la parte inferior y externa del árbol, las propiedades analizadas mostraron un comportamiento altamente aleatorio, con dependencia espacial sumamente baja: hasta 2 m para MO y menor que 0.60 m para pH. La DA no mostró relación espacial. En consecuencia se concluyó que es conveniente tomar muestras al azar, con un número estimado de muestras, determinado según la estadística clásica.

gionalizadas, según la cual una variable es "regionalizada" cuando posee dependencia espacial, es decir, cuando tiene algún grado de autocorrelación (7, 8).

El uso de la geoestadística en el análisis de la estructura de la variabilidad de un suelo, puede ayudar a la comprensión e identificación de los efectos espaciales inducidos por los factores formadores del suelo, durante los procesos de edafogénesis (7).

Además de la medida de autocorrelación, el semivariograma es esencial cuando se desea aplicar la técnica de Kriging, que permite estimar la distribución en el espacio de una determinada variable, y realizar extrapolaciones con validez estadística (5).

La estimación de la dependencia espacial requiere un gran número de muestras; por ello es necesario medir propiedades de fácil análisis que puedan inferir

1 Recibido para publicación el 8 de agosto de 1991  
Este trabajo fue realizado con el apoyo económico del Board of Science and Technology for International Development (BOSTID), National Academy of Sciences, en el marco del Proyecto Management of Arboreal *Prosopis* in Agroforestry Production Systems (CRG Grant No. FGT-AR-2-87-65).

\* Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Nacional de Córdoba, Casilla de Correos 509-5000, Córdoba, Arg.

sobre otras variables asociadas (2). Los mismos autores concluyen que la presencia de una significativa variancia con estructura espacial, y los cambios sistemáticos en el valor de ciertas variables edáficas, indican que se debe evitar el muestreo al azar.

Diversos autores sugieren rangos de relación espacial sumamente dispares para algunas propiedades edáficas: así, Trangmar *et al.* (6) citan valores que van desde 4 m hasta 320 m para calcular el pH y de 6 m para la densidad aparente. Kachanoski *et al.* (2) no encontraron autocorrelación para densidad aparente del horizonte  $a_1$ , aunque sí para el espesor y masa del mismo. En un Molisol desarrollado sobre sedimento glacial, se halló una relación espacial del orden de 7 m para la materia orgánica (3).

El objetivo del trabajo fue evaluar en un suelo con vegetación natural de algarrobo (*Prosopis* sp.) la dependencia espacial de una propiedad químico-biológica, físico-química y física: materia orgánica, pH en  $\text{CaCl}_2$  y densidad aparente, respectivamente.

## MATERIALES Y METODOS

### Suelo

Ustifluent típico, serie Los Pocitos II, ubicado en Chancani ( $32^{\circ}20' \text{LS}$ ,  $65^{\circ}28' \text{W}$ ), Departamento Pocho, Córdoba, Arg. (1).

### Muestreo

Sobre las caras laterales de una calicata de 12 m de longitud, ubicada radialmente al tronco de un ejemplar de *Prosopis* sp. (DAP=27 cm), se extrajeron muestras de suelo con una distancia horizontal de 0.30 m una de otra (Lag = 0.30 m) de los tres primeros horizontes (A1, AC y Clca).

### Análisis químicos y físicos

- Materia orgánica: método de Walkley y Black.
- pH: en solución de  $\text{CaCl}_2$  0.01 M (relación suelo/solución 1:2.5).
- Densidad aparente: extracción de muestras sin disturbar, con cilindro de Kopecki.

### Análisis estadístico

Las series de datos para cada horizonte y variable fueron transformados al eliminar las tendencias existentes, y utilizando el comando Trend del módulo series de SYSTAT.

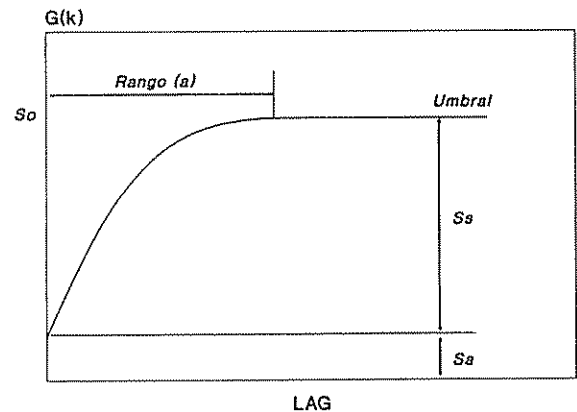
Sobre cada grupo de datos, separado por profundidad, se calculó el coeficiente de autocorrelación ( $R_k$ ), según la expresión:

$$R_k = S_0^{-1} \cdot (1/N-k) \cdot \sum_{i=1}^{N-k} [X(i) - X_m] \cdot [X(i+k) - X_m]$$

Donde:  $S_0$  = Variancia de población.  
 $X(i)$  =  $i$ ésimo dato.  
 $X_m$  = Media estimada.  
 $N$  = Número de datos.  
 $K$  = Lag (desfasaje).

La semivariancia ( $G_k$ ) fue calculada a partir de:

$$G_k = (N/2) \cdot \sum_{i=1}^N [X_i - X_{i+k}]^2$$



- LAG = Desfasaje o espaciamento entre muestras.  
 $G(k)$  = Semivariancia en LAG = k.  
 $S_0$  = Variancia total de la población.  
 $S_s$  = Variancia estructural: parte de  $S_0$  explicada por la estructura de la serie de datos.  
 $S_a$  = Variancia aleatoria o efecto "Nugget": variancia debida a efectos de rango menor a la escala de medición.  
 Umbral = Valor en que  $S_s$  se hace igual a  $S_0$ .  
 Rango = Espacio dentro del cual existe dependencia espacial.

Fig. 1 Semivariograma teórico de modelo esférico y sus parámetros relevantes (6).

Usando los coeficientes de autocorrelación y las semivariancias, se trazaron los correspondientes autocorrelogramas y semivariogramas, con el fin de evaluar gráficamente la estructura de la dependencia espacial. En la Fig. 1 se presenta un modelo de semivariograma esférico teórico.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los valores medios y los estadísticos de dispersión de materia (MO), pH en  $\text{CaCl}_2$  (pH) y densidad aparente (DA), medidos en los tres horizontes de suelo estudiados: A1, AC y Clca. Se observa que los datos de MO poseen la mayor variabilidad, sobre todo en la superficie. Las medidas de pH y DA revelan una mayor homogeneidad en la población, especialmente en los horizontes AC y Clca. Sin embargo es notable que el coeficiente de variación de DA muestra cierta independencia de la profundidad, posiblemente al carácter aluvial del perfil.

**Cuadro 1.** Posición y dispersión de materia orgánica, pH en  $\text{CaCl}_2$  y densidad aparente en los horizontes A1, AC y Clca. Muestras extraídas cada 30 cm, sobre una transecta radial a la copa de un ejemplar de *Prosopis* sp.

materia orgánica (%)			
	AL	AC	Clca
N	33	33	33
Mínimo	1.10	1.10	1.10
Máximo	2.50	2.40	2.20
Media	1.68	1.59	1.64
Desviación estándar	0.35	0.25	0.22
Coefficiente de var. (%)	20.83	16.35	13.94

pH en $\text{CaCl}_2$			
	AL	AC	Clca
N	33	33	33
Mínimo	6.13	7.20	7.77
Máximo	7.93	8.24	8.17
Media	7.26	8.06	7.93
Desviación estándar	0.47	0.19	0.10
Coefficiente de var. (%)	6.47	2.43	1.22

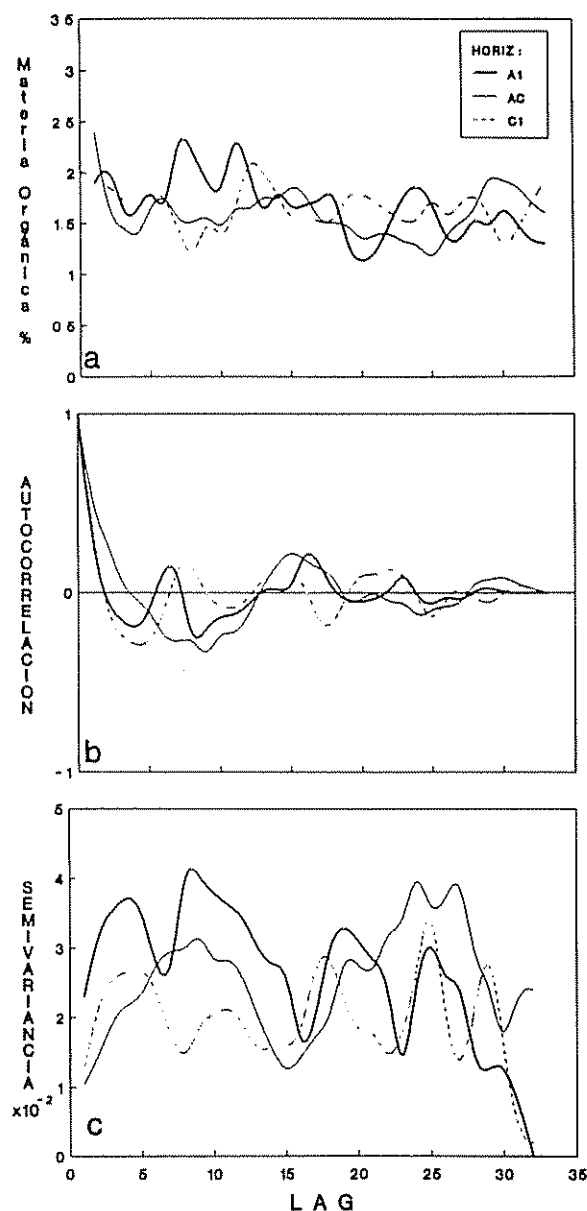
  

Densidad aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )			
	AL	AC	Clca
N	32	32	32
Mínimo	1.18	1.12	1.06
Máximo	1.40	1.39	1.25
Media	1.27	1.19	1.18
Desviación estándar	0.05	0.05	0.03
Coefficiente de var. (%)	3.62	4.02	2.89

La interpretación geoestadística de los datos medidos, para las tres variables analizadas, se detalla a continuación:

### Materia orgánica

En la Fig. 2a se presenta la distribución de los datos de porcentaje de MO, según una transecta radial al árbol de *Prosopis* sp. Se nota la existencia de una tendencia



**Fig. 2.** a) Serie de datos de material orgánica; b) autocorrelograma y c) semivariograma, obtenidos a partir de 33 muestras de suelo separadas 0.30 m entre sí (LAG), para los horizontes A1, AC y Clca (transecta radial a la copa de un ejemplar de *Prosopis* sp.).

general decreciente, hacia el exterior de la canopia en los tres horizontes considerados. La variabilidad de las series de datos es elevada, aunque se atenúa en AC y Clca desde el límite de la canopia.

Una vez eliminada la tendencia existente en los datos, fue trazado el autocorrelograma (Fig. 2b) que señala una dependencia espacial muy baja (menor a 1 Lag) para los horizontes A1 y Clca. En AC, el valor de Lag es tres. Esto muestra un grado de dependencia espacial mucho menor que el observado por Kachanoski *et al* (2), aunque deben tenerse en cuenta las diferencias en el material originario de ambos suelos.

En los tres horizontes, el autocorrelograma muestra cierto grado de comportamiento oscilante, con una amplitud equivalente a cinco Lag en A1 y Clca, y a siete Lag en AC.

En el semivariograma (Fig. 2c) se observa que tanto en el A1 como en el Clca, la semivariancia (Gk) alcanza la variancia poblacional (So) en un rango de cuatro Lag. En AC dicho valor alcanza nueve en un Lag. Este comportamiento repite el mismo patrón del autocorrelograma, pero con valores que indican una mayor dependencia espacial.

Además es posible notar que el valor de variancia Nugget o aleatoria, se duplica en el A1, indicando que en él existen efectos de variación en una escala menor que la usada para la medición. También se detectan efectos periódicos provocados, sin duda, por otros factores que introducen "ruidos" en la medición de materia orgánica.

### pH en CaCl<sub>2</sub> 0.01 M

Las mediciones de pH mostraron patrones de comportamiento claramente diferenciados en cada horizonte (Fig. 3a). En A1 se notó una gran variabilidad bajo la copa del árbol y, fuera de ella, los valores se estabilizaron con una tendencia general creciente. Una vez eliminada la misma, y graficado el autocorrelograma (Fig. 3b), se observó que no existía ninguna estructura en la variación medida. En el semivariograma (Fig. 3c), donde la variancia aleatoria se confundía con So y marcaba la ausencia de variancia estructural, se destacó lo aleatorio de la distribución de los valores de pH. El semivariograma mostró un comportamiento oscilante, con un patrón que sugería la presencia de tres factores actuando con distinto rango de variación.

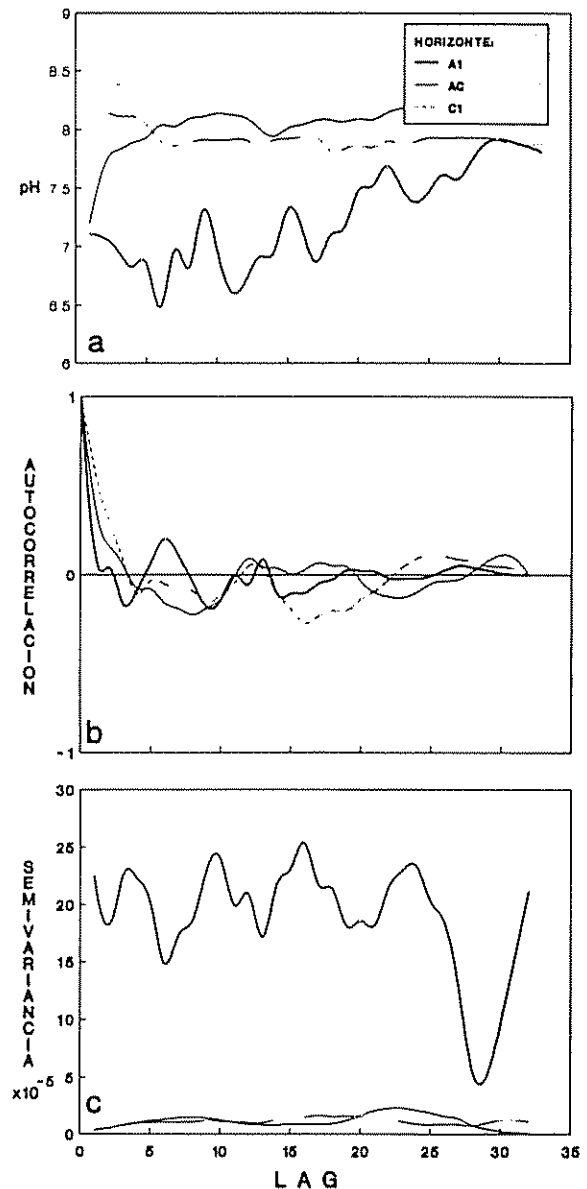


Fig. 3. a) Serie de datos de pH en CaCl<sub>2</sub>; b) autocorrelograma y c) semivariograma, obtenidos a partir de 33 muestras de suelo separadas 0.30 m entre sí (Lag), para los horizontes A1, AC y Clca (transecta radial a la copa de un ejemplar de *Prosopis* sp.)

El pH del horizonte AC parte de una estimación ligeramente superior a 7, pero se estabiliza alrededor de pH 8 (Fig. 3a), en un Lag siete. En Clca, en cambio, el valor de la variable a lo largo de toda la serie es constante. El autocorrelograma de ambos horizontes muestra una ligera dependencia espacial, pero no se extiende más allá de un Lag dos (Fig. 3b).

En la Fig. 3c se percibe que el semivariograma es prácticamente plano sin variancia asociada a la estructura de los datos. No aparece, en este caso, el patrón cíclico observado en el A1.

### Densidad aparente

Las medidas de densidad aparente (Fig. 4a) indican una importante dispersión de los datos bajo la canopia y disminuyen en el área externa de ella. Dicha variabi-

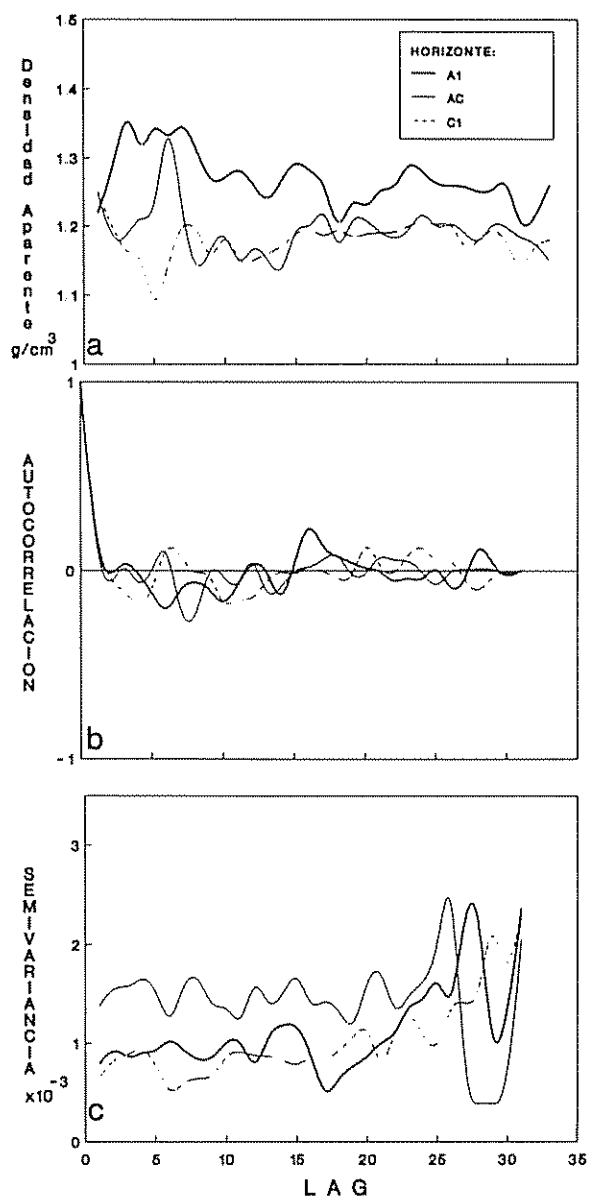


Fig. 4 a) Serie de datos de densidad aparente; b) autocorrelograma y c) semivariograma, obtenidos a partir de 33 muestras de suelo separadas 0.30 m entre sí (Lag), para los horizontes A1, AC y C1ca (transecta radial a la copa de un ejemplar de *Prosopis* sp.)

lidad es máxima en A1 y apreciablemente menor en AC y C1ca.

Tanto el autocorrelograma (Fig. 4b) como el semivariograma (Fig. 4c) indican una total falta de estructura en la distribución de esta variable en el espacio. Este hecho fue detectado por Kachanoski *et al.* (3), pero contrasta con lo citado por Trangmar *et al.* (6).

### CONCLUSIONES

En el suelo estudiado, y en las condiciones de muestreo en posiciones bajo y fuera del árbol, las variables materia orgánica, pH y densidad aparente poseen un comportamiento altamente estocástico.

En consecuencia, la dependencia espacial es sumamente baja: no excede los 2 m en materia orgánica; llega a 0.60 m en el pH de los horizontes subsuperficiales; es totalmente inexistente en el pH superficial y en la densidad aparente de los tres primeros horizontes del perfil.

En el suelo analizado, y en situación de estudio bajo y fuera del árbol, el muestreo para la evaluación de materia orgánica y del subsuperficial debe ser dirigido o sistemático, siempre y cuando la distancia horizontal no supere 2 m ó 0.60 m, respectivamente; en caso contrario debe recurrirse a la toma de muestras al azar, en un número mínimo estimado según la estadística clásica.

Para el estudio de pH superficial y densidad aparente, es también conveniente el empleo de muestras extraídas al azar.

### LITERATURA CITADA

- 1 BACHMEIER, O. A.; BUFFA, E. V.; PEÑAZUBIATE, C.; SERPA, P. 1988. Mapa de suelos del área experimental de la Reserva Natural "Los Pocitos" - Chancaní. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (2.) Resúmenes. Arg., UNC p. 36
- 2 KACHANOSKI, R. G.; ROLSTON, D. E.; DE JONG, E. 1985a. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography. I. Density and thickness of A horizon. Soil Science Society of American Journal 49:804-812.
- 3 KACHANOSKI, R. G.; ROLSTON, D. E.; DE JONG, E. 1985b. Spatial variability of a cultivated soil as affected by past and present microtopography. Soil Science Society American Journal 49:1082-1987.

- 
4. KNIGHTON, R.E.; JAMES, D.W. 1985. Soil test phosphorous as a regionalized variable in levelled land. *Soil Science Society of American Journal* 49:675-679
  5. RUSSO, D. 1983. Design of an optimal sampling network for estimating the variogram. *Soil Science Society of American Journal* 48:708-716.
  6. TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. 1985. Application of geoestadistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38:45-94
  7. TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. 1986. Spatial dependence and interpolation of soil properties in West Sumatra, Indonesia. I. Anisotropic variation. *Soil Science Society of American Journal* 50:1391-1395.
  8. 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):73