Programa FORTRAN para el establecimiento de semivariogramas experimentales

FERNANDO ORTEGA SASTRIQUES, TERESA GARCÍA PACHECO,
e ISABEL VÁZQUEZ

RESUMEN

Se explican las propiedades de las variables regionalizadas, su representación en forma de semivariogramas y la interpretación de los mismos. Se dan los fundamentos del programa de computación que calcula los semivariogramas.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son cuerpos continuos por las coordenadas *X* e *Y*, o sea, los suelos, o cualquier parámetro de ellos, varían paulatinamente en cualquier dirección dada, sin que generalmente se encuentren límites claros que indiquen el paso de una cualidad a otra, de un tipo de suelo a otro.

Por el contrario, otros tipos de parámetros del suelo pueden variar rápidamente (por ejemplo, la profundidad sobre rocas carsificadas) sin que quede claro si ese cambio se debe reflejar como un cambio cualitativo en las clasificaciones o en las representaciones cartográficas, o si esa variabilidad es una característica inherente del tipo de suelo dado.

Estos tipos de problemas han favorecido la aparición de métodos para evaluar la variabilidad espacial de los suelos (BECKETT, 1967; BORLAKOVA y RASSIPNOV, 1978), semejantes a los utilizados en problemas similares de otras ciencias geográficas (MATHERON, 1963; DAVID, 1979; DELFINER, 1979).

Las sales solubles son uno de los elementos más dinámicos del suelo y cambiantes en el espacio, por lo que se le ha prestado especial

---

Manuscrito aprobado el 10 de junio de 1986.

F. Ortega Sastriques e I. Vázquez pertenecen al Instituto de Suelos, de la Academia de Ciencias de Cuba. T. García Pacheco es estudiante del Politécnico de Electrónica de La Habana.

atención a la variabilidad espacial del contenido de sales (RAO *et al.*, 1979; HAJRASOLIHA *et al.*, 1980; RAMÍREZ *et al.*, 1981; YANYUK, 1984).

En este trabajo se describe un método basado en la Teoría de las Variables Regionalizadas (MATHERON, 1963). Estas variables difieren de las aleatorias, ya que en ellas se considera la autocorrelación espacial; o sea, si se estudian muestras cuya distancia entre sí es pequeña, la dependencia del valor de las observaciones es grande. Por esta razón, las variables regionalizadas presentan características de localización y continuidad que las diferencian de las variables aleatorias. Sin embargo, para hacer inferencias es necesario partir de hipótesis que caractericen su interdependencia.

La hipótesis más utilizada es la llamada hipótesis intrínseca (RAMÍREZ *et al.*, 1981), que considera que para cada distancia h que separa dos localidades, la diferencia $Z(X + h) - Z(X)$ tiene una esperanza y una varianza independiente del punto X:

$$[Z(X+h) - Z(X)] = 0 \qquad (1)$$

$$\mathrm{VAR}\{[Z(X+h) - Z(X)]\} = 2\,\Upsilon(h) \qquad (2)$$

donde: $\Upsilon(h)$ es la expresión de la semivarianza

h es la distancia entre dos localidades

$Z(X)$ es el valor de la variable en la localidad X.

$\Upsilon(h)$ es un estadígrafo que se incrementa a medida que la distancia h es mayor, ya que la posibilidad de disimilitud se incrementa.

El establecimiento de $\Upsilon(h) = f(h)$ en diferentes direcciones espaciales permite obtener información útil sobre el parámetro que se estudie. Esta función se conoce como semivariograma.

El semivariograma experimental se construye a partir de los puntos muestreados; la fórmula que se utiliza para su cálculo es:

$$\Upsilon(h) - \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \qquad (3)$$

donde: $\Upsilon(h)$ es la expresión de la semivarianza

$N(h)$ es el número de pares de valores en la distancia h

$Z(X_i)$ es el valor de la variable en la localidad X_i

$Z(X_i + h)$ es el valor de la variable a la distancia h de X_i
h es la distancia entre las localidades.

El estudio de los semivariogramas experimentales permite conocer propiedades del parámetro estudiado. El aumento de h hace aumentar el valor de $\Upsilon(h)$ hasta un punto en que se estabiliza, al dejar de existir relación entre los valores del parámetro en las localidades comparadas (Fig. 1). Este tipo de curva permite establecer la distancia en la cual aún el valor $Z(X)$ influye significativamente en

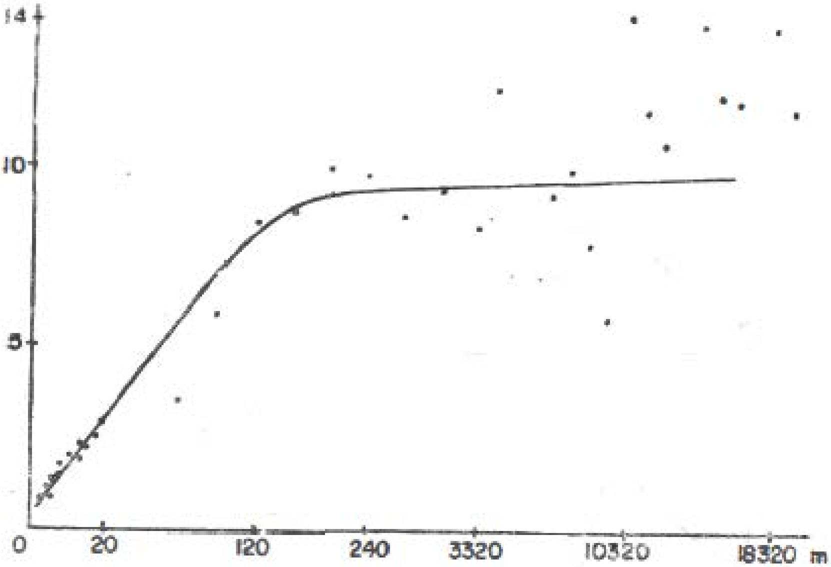

FIG. 1. Semivariograma experimental del contenido de sales en la profundidad de 210-300 cm, en el Valle de Mexicali (RAMÍREZ *et al.*, 1981). *X*, valor de la semivarianza; *Y*, distancias entre localidades, en metros.

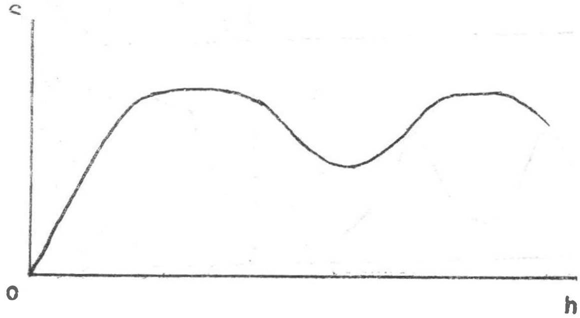

FIG. 2. Semivariograma teórico, cuando existe un ciclismo en el valor de la variable, con un período mayor que la distancia, donde los valores $Z(X_i + h)$ son aleatorios.

$Z(X + h)$, lo cual tiene importancia en el establecimiento de las distancias de muestreo. En el ejemplo de la figura, la distancia fue de unos 160 m.

El establecimiento del semivariograma en distintas direcciones permite conocer si existe anisotropía espacial.

La existencia de cualquier periodicidad espacial en los valores que adopta el parámetro, se reflejan en el semivariograma en forma de sinuosidades que van decreciendo con la distancia (Fig. 2).

Cuando los ciclos tienen una amplitud comparable con las distancias máximas analizadas, los ciclos se manifiestan con gran claridad en el semivariograma (Fig. 3). Esta propiedad permite descu-

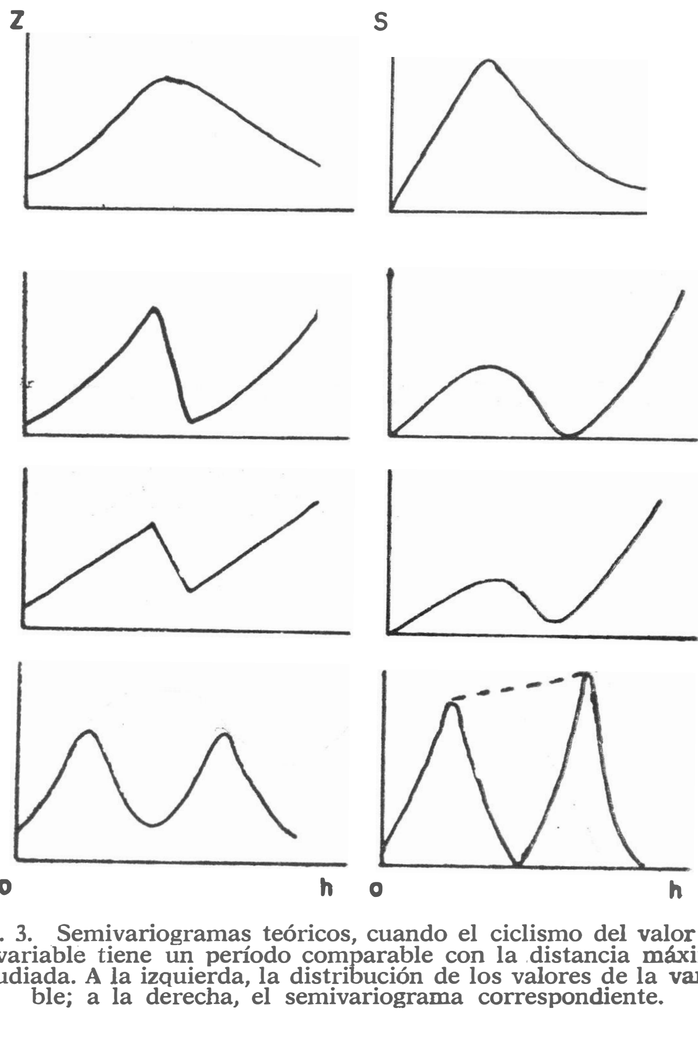

FIG. 3. Semivariogramas teóricos, cuando el ciclismo del valor de la variable tiene un período comparable con la distancia máxima estudiada. A la izquierda, la distribución de los valores de la variable; a la derecha, el semivariograma correspondiente.

brir regularidades en el comportamiento de la variable analizada, que a menudo no se ven con claridad en el campo, o por otros métodos de interpretación.

Los resultados de los semivariogramas experimentales son confiables cuando se estudia un gran número de puntos, por lo que es imprescindible utilizar la programación lineal.

Knudsen y Kim (1977) confeccionaron un programa para el cálculo del semivariograma experimental, que exige que los puntos estén en cuadrícula, lo cual limita seriamente su uso.

En este trabajo mostramos el fundamento de un programa que supera esa limitación.

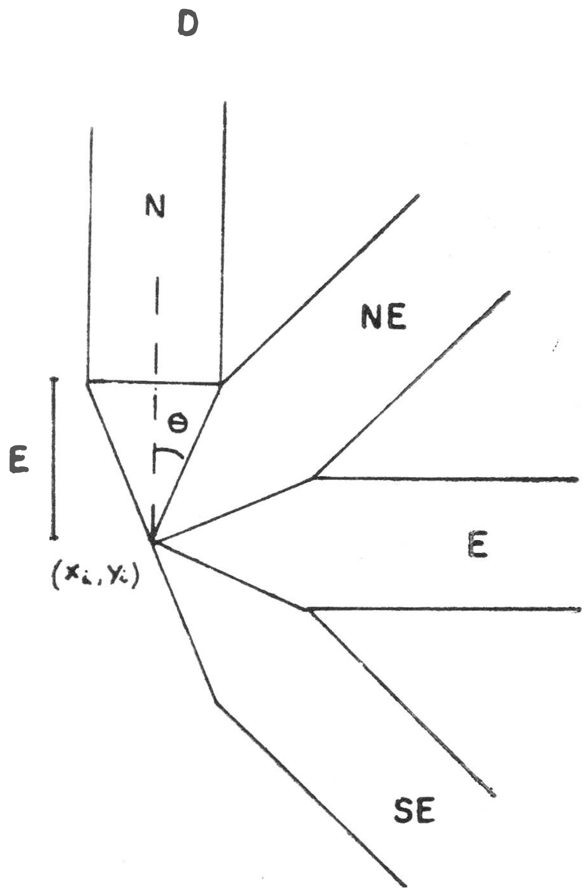

FIG. 4. Características del espacio generado por el punto (X_i, Y_i).

2. EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA

La semivarianza espacial se calcula de acuerdo con la fórmula 3; se determina en cuatro direcciones: N, NE, E, y SE (Fig. 4).

El programa toma consecutivamente los puntos más cercanos al origen de las coordenadas y determina los puntos comprendidos en los espacios situados en las cuatro direcciones apuntadas anteriormente.

Los espacios están compuestos por dos figuras geométricas. La parte más cercana al punto generatriz tiene forma de triángulo isósceles (Fig. 4) con una altura $E = Dtg\,\Theta$; donde $\Theta = 22°, 5$, y D es la mitad del ancho de la banda, la cual se determina por el usuario del programa. La segunda parte del espacio es una banda de ancho $2D$, que se extiende desde el triángulo isósceles hasta el infinito.

El semivariograma experimental se da como un conjunto de valores discretos, donde el valor de $\Upsilon(h)$ en realidad corresponde a $\Upsilon(h + \triangle h)$. $\triangle h$ es el valor del intervalo de la distancia y también se determina por el usuario de acuerdo a sus necesidades.

El ajuste de los valores discretos a curvas continuas, lo debe hacer el usuario a vista, o bien empleando métodos matemáticos.

El programa admite hasta 1 000 puntos y un máximo de 50 rangos por dirección. Está confeccionado en FORTRAN para la computadora EC-1035, en sistema OS. Este programa puede ser utilizado para estudiar la varianza espacial de cualquier variable geográfica donde se considere se manifieste la autocorrelación espacial.

REFERENCIAS

BECKETT, P. (1967): Lateral changes in soil variability. *J. Australian Inst. Agr. Sci.*, 33: 10-17.

BORLAKOVA, L. M., y RASSIPNOV, V. A. (1978): Experiencias sobre el uso de métodos matemáticos para valorar la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos y la productividad agrícola [en ruso]. *Tr. Alt. S-J. Inst.*, 31: 35-38.

DAVID, M. (1979): *Geostatistical ore reserve estimation.* Elsevier, Amsterdam, 364 pp.

DELFINER, P. (1979): *Basic introduction to geostatistical.* Batelle Pacific Northwest Laboratories y Centre Geostatistical Ecole des Mines, París, 160 pp.

HAJRASOLIHA, S., BANIABBASSI, N., MATTHEY, J., y NIELSEN, D. R. (1980): Spatial variability of soil sampling for salinity studies on southwest Iran. *Irrigat. Sci.*, 1 (4): 197-208.

KNUDSEN, H. P., y KIM, C. Y. (1977): *A short course of geostatistical ore reserve estimation.* Universidad de Arizona, Tucson, 202 pp.

MATHERON, C. (1963): Principals of geostatistical. *Econom. Geol.*, 58: 1246-1266.

RAMÍREZ AYALA, C., PALACIO VÉLEZ, O., y ZÁRATE de LARA, G. P. (1981): Interpolación espacial de datos de suelos. *Agrociencia*, 45: 89-103.

RAO, P. V., RAO, P. S. C., DAVIDSON, J. M., y HAMMOND, L. C. (1979): Use of goodness-of-fit test for characterizing the spatial variability of soil properties. *J. Soil Sci. Soc. Amer.*, 43(2):274-278.

YANYUK, V. M. (1984): Variación espacial de la salinidad en los límites del área elemental edáfica de los suelos Castaños del Volga [en ruso]. *Pochvovedenie*, 1:72-78.

FORTRAN PROGRAMME FOR EXPERIMENTAL SEMIVARIOGRAMS

ABSTRACT

The properties of regionalized variables are described; their representation in the form of semivariograms and interpretation thereof are explained, as well as fundamentals of the computer programme for the calculation of semivariograms.