

La utilidad del semivariograma en estudios de teledetección

V. CASELLES, M. J. LOPEZ GARCIA y J.A. SOBRINO

RESUMEN

La mayor parte de las propiedades de la superficie terrestre poseen una variación espacial bien definida, cuya cuantificación se puede realizar a través del análisis del semivariograma, función que relaciona la semivarianza con la separación espacial. En este trabajo estudiaremos las posibles aplicaciones del semivariograma al campo de la teledetección: diseño de redes de medida *in situ* de variables meteorológicas, elección de la resolución espacial óptima para cada tipo de estudio, digitalización de mapas y diseño de campañas de muestreo.

1.- INTRODUCCION

Los estudios integrados que se realizan en el campo del medio ambiente requieren, habitualmente, de tres tipos de información: medidas realizadas *in situ*, imágenes de satélite o avión y mapas varios. Pero, ¿cuántas medidas son necesarias?, ¿dónde habría que tomarlas?, ¿cuál es el tamaño de pixel más apropiado?,

¿con qué ventana deberíamos digitalizar los mapas?. Estas son algunas de las cuestiones que nos planteamos antes de comenzar estos estudios. La solución consiste, generalmente, en tomar demasiadas medidas, obtenidas más o menos al azar, y elegir tanto el pixel como la ventana de digitalización del menor tamaño posible. La consecuencia es evidente, los estudios integrados se encarecen enormemente.

La solución que de ello proponemos en este trabajo se basa en un análisis del semivariograma, función que relaciona la semivarianza con la separación espacial, pues la mayoría de las propiedades de la superficie terrestre, como la temperatura, la cobertura vegetal, el contenido en agua del suelo, etc., poseen una clara variación espacial. Por consiguiente, el objetivo de esta comunicación es el de presentar el semivariograma a una audiencia de especialistas en teledetección e indicar cuales pueden ser sus aplicaciones más interesantes en este campo.

2.- EL SEMIVARIOGRAMA

Métodos como el análisis de series temporales, los correlogramas o las transformadas de Fourier, muy útiles en el estudio de fenómenos discontinuos y de variabilidad limitada, no sirven para el análisis de muchas propiedades de la superficie del suelo que se pueden obtener por teledetección, pues éstas poseen una variabilidad continua e ilimitada. Para este tipo de estudios es más conveniente utilizar la teoría de las variables regionalizadas debida a Matheron (1965), la cual aunque fué aplicada en algunos estudios de geostatística (McCullagh, 1975; Guarascio *et al.*, 1976; David, 1977; Journel and Huijbregts, 1978), no tuvo su reconocimiento mundial hasta que Webster y colaboradores publicaran una serie de trabajos de aplicación de la teoría de las variables regionalizadas al estudio de suelos (Burgess and Webster, 1980 a, 1980 b; Webster and Burgess, 1980; Burgess *et al.*, 1981; McBratney and Webster, 1983; Webster, 1985; McBratney and Webster, 1986). Y es recientemente cuando han aparecido los primeros estudios de aplicación del semivariograma en el campo de la teledetección (Lacaze *et al.*, 1985; Dancy *et al.*, 1986; Curran, 1987; Woodcock and Strahler, 1987).

El semivariograma se construye tanto a partir de datos obtenidos por técnicas de teledetección (fotografía aérea, imagen de satélite, radargrafía, etc.) como de datos de campo (biomasa, contenido en agua del suelo, temperatura del aire, etc.). La

utilización de una u otra fuente depende de la aplicación que se persiga; no obstante la metodología de cálculo del semivariograma es idéntica para ambas fuentes.

Supongamos, por ejemplo, un transecto obtenido al extraer de una imagen de satélite los valores digitales (VD) a intervalos regulares $z(x)$, con $x = 1, 2, 3 \dots n$. La relación existente entre dos pixels que estén separados por una distancia h nos la dará su semivarianza:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} [z(x) - z(x+h)]^2 \quad (1)$$

Como dentro del transecto existen m pares de puntos separados por la misma distancia h , el valor medio de la semivarianza en el transecto en cuestión vendrá dado por:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \quad (2)$$

la cual nos dará una medida de la falta de similitud entre pixels separados por una distancia h . Cuanto mayor es $\bar{\gamma}(h)$ menos similares son los pixels.

La representación gráfica de $\bar{\gamma}(h)$ frente a h constituye el denominado semivariograma. Un ejemplo típico de un semivariograma se muestra en la figura 1. En ella se observa que $\bar{\gamma}(h)$ aumenta a medida que lo hace h , primero rápidamente y después más lentamente hasta permanecer prácticamente constante a partir de h_0 . La existencia de este h_0 que limita

la dependencia espacial de la variable z es de gran utilidad en teledetección.

A la hora de construir un semivariograma ha de tenerse en cuenta que el valor de h máximo que se puede considerar ha de ser inferior a un quinto de la longitud total del transecto (Webster, 1985).

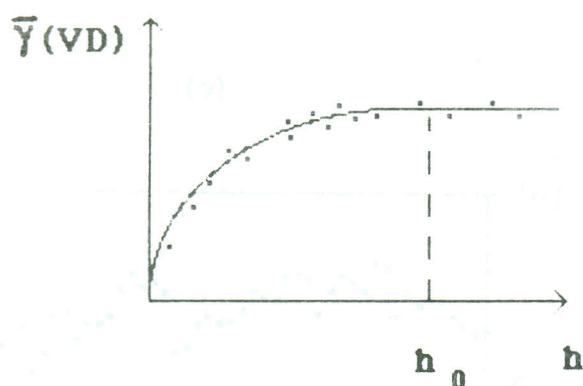


Figura 1.- Semivariograma clásico

3.- APLICACIONES

Como aplicaciones más interesantes del semivariograma en el campo de la teledetección podemos señalar las siguientes:

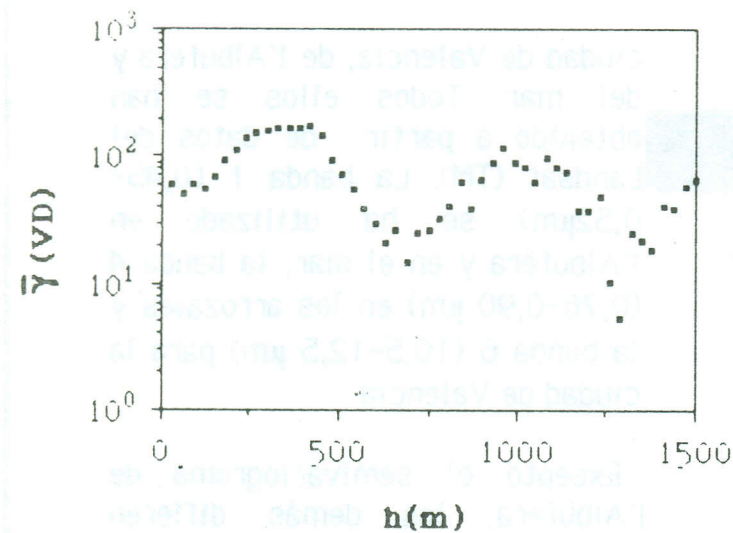
a) **Elección de la resolución espacial óptima para cada tipo de estudio**, la cual no tiene porque ser la más fina. Reduciéndose de esta forma el volumen de información a tratar. Las gráficas de la figura 2 muestran los semivariogramas típicos de una zona arrocera, de la

ciudad de Valencia, de l'Albufera y del mar. Todos ellos se han obtenido a partir de datos del Landsat (TM). La banda 1 (0,45-0,52 μ m) se ha utilizado en l'Albufera y en el mar, la banda 4 (0,76-0,90 μ m) en los arrozales y la banda 6 (10,5-12,5 μ m) para la ciudad de Valencia.

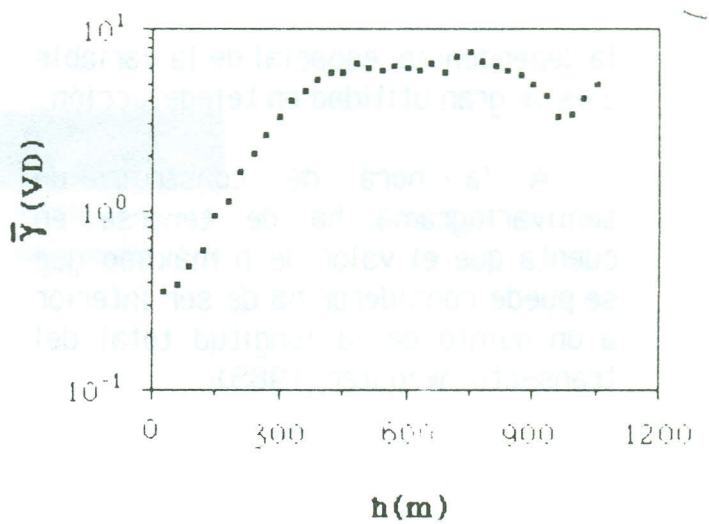
Excepto el semivariograma de l'Albufera, los demás difieren sustancialmente de la forma que presenta el semivariograma clásico de la figura 1. Es bastante habitual encontrarse con semivariogramas periódicos o multifrecuenciales como el de los arrozales o el de la ciudad de Valencia. El mar, como zona homogénea que es, presenta un semivariograma sin dependencia espacial alguna.

A partir de estos semivariogramas se puede deducir que el tamaño del pixel idóneo para estudiar los arrozales es de unos 250 m, para la temperatura de la ciudad de Valencia de unos 900 m, y de unos 450 m para l'Albufera.

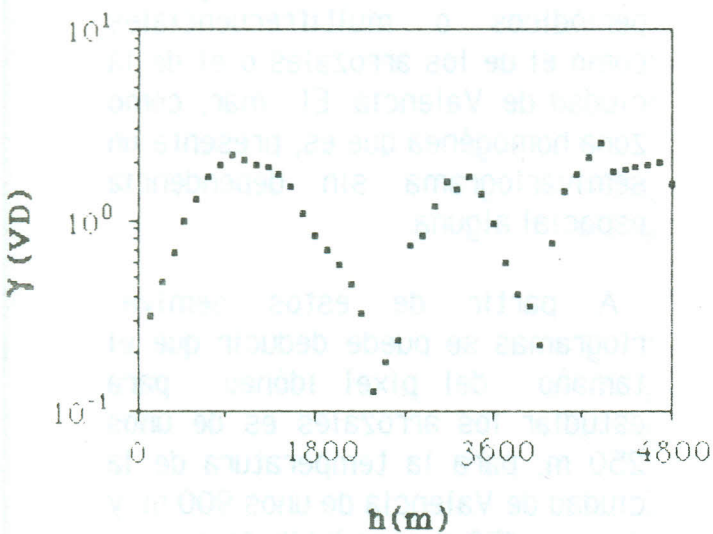
b) **Diseño de las redes de medida in situ de variables meteorológicas** (temperatura, radiación solar, evapotranspiración, contenido en agua del suelo, etc.), necesarias a la hora de interpretar los datos obtenidos por los satélites y realizar su aplicación a estudios climáticos. La fotografía de la figura 3 muestra los resultados de un estudio realizado sobre la representatividad espacial de los valores de temperatura del



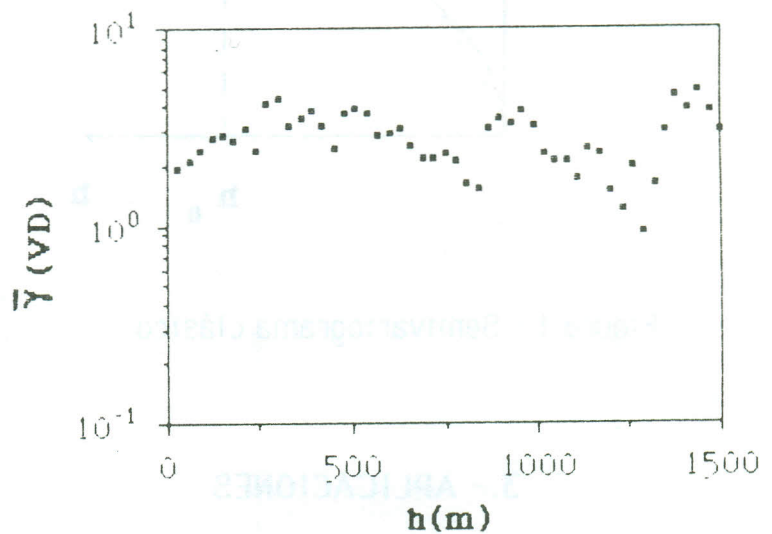
(a)



(c)



(b)



(d)

Figura 2.- Semivariograma típico de los arrozales (a), de la ciudad de Valencia (b), de l'Albufera (c) y del mar (d).

aire registrados en las garitas meteorológicas estándar que posee el Instituto Nacional de Meteorología en la región valenciana (Caselles and Meliá, 1985).

c) Diseño de las campañas de muestreo. Se ha demostrado que el uso del semivariograma disminuye considerablemente el número de puntos, aumentando a la vez la precisión del muestreo (Curran and Williamson, 1986). Como ejemplo,

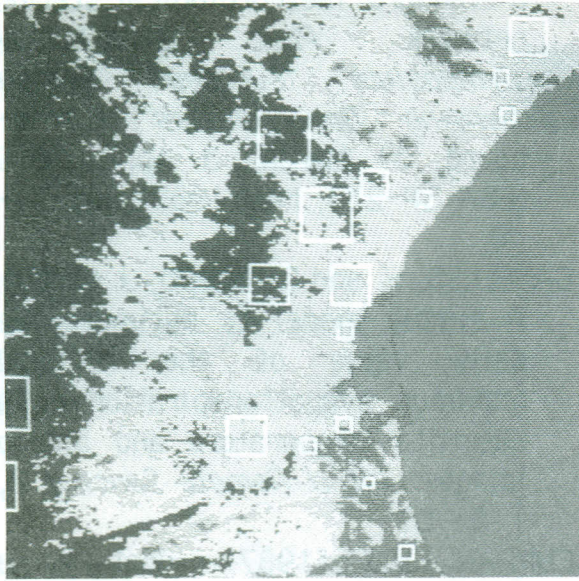


Figura 3.- Representatividad espacial de la temperatura del aire.

Ver Foto color n.º 9 en página 367

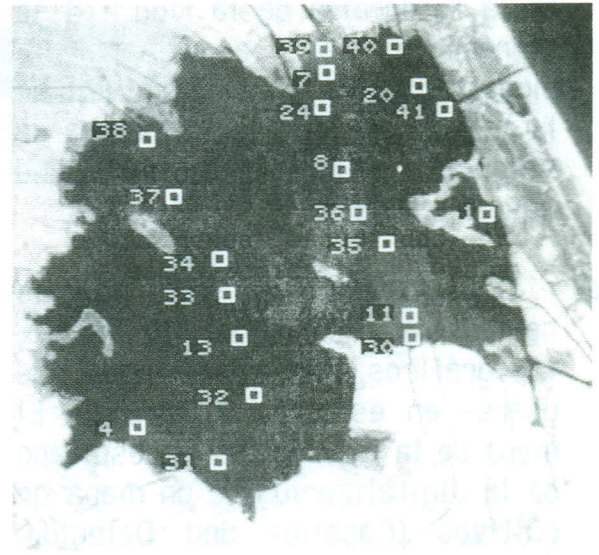


Figura 4.- Esquema del muestreo realizado en L'Albufera.

Ver Foto color n.º 10 en página 367



Figura 5.- Mapa de cultivos (Rojo: arrozales; crema: viñas; verde claro: cítricos; verde oscuro: huerta; azul celeste: árboles de secano; azul eléctrico: cereales;

Ver Foto color n.º 11 en página 367

en la fotografía de la figura 4 se representa el esquema del muestreo realizado en un estudio de la calidad de agua de l'Albufera de Valencia (López García and Caselles, 1987).

d) Digitalización de mapas geológicos, de usos de suelo, topográficos, etc., que tengan que usarse en estudios integrados. El mapa de la figura 5 es el resultado de la digitalización de un mapa de cultivos (Caselles and Delegido, 1987).

Este trabajo ha sido subvencionado en parte por la DGICYT (Proyecto Nº PA86-0177-C02-02)

4.- BIBLIOGRAFIA

- BURGESS, T.M. and WEBSTER, R. (1980a). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. *J. Soil Science*, **31**, 315-31.
- BURGESS, T.M. and WEBSTER, R. (1980b). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. *J. Soil Science*, **31**, 333-41.
- BURGESS, T.M., WEBSTER, R. and McBRATNEY, A.B. (1981). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV. Sampling strategy. *J. Soil Science*, **32**, 643-59.
- CASELLES, V. and MELIA, J. (1985). Use of satellite images in the desing of a standard meteorological station network. *Proc. EARSeL/ESA Symposium "European Remote Sensing Opportunities"*, Strasbourg, 31 March- 3 April 1985 (ESA SP-233, May 1985), pp. 37-40.
- CASELLES, V. and DELEGIDO, J. (1987). A simple model to estimate the daily value of the regional maximum evapotranspiration from satellite temperature and albedo images. *Int. J. Remote Sensing*, **8**, 1151-62.
- CURRAN, P.J. (1987). What is a semivariogram? *Proc. 13th Annual Conference of The Remote Sensing Society*, University of Nottingham, September 7-11, 1987, pp. 36-45.
- CURRAN, P.J. and WILLIAMSON, H.D. (1986). Sample size for ground and remotely sensed data. *Remote Sensing Environment*, **20**, 31-41.
- DANCY, K.J. WEBSTER, R. and ABEL, N.O.J. (1986). Estimating and mapping grass cover and biomass from low-level photographic sampling. *Int. J. Remote Sensing*, **7**, 1679-704.
- DAVID, M. (1977). *Geostatistical Ore Reserver Estimation*. Elsevier Amsterdam.
- GUARASCIO, M., DAVID, M. and HUIJBREGTS, C. J. Eds. (1986). *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*. Reidel, Dordrecht (Netherlands).
- JOURNAL, A.G. and HUIJBREGTS, C.J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, London.
- LACAZE, B., LAHRAOUI, L., DEBUSSACHE, G. and KHELFA, A. (1985). Analysis de mesures radiométriques de simulation SPOT

- en milieux méditerranéens aride et sub-humide. *Proc. 3rd Int. Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*. Les Arcs (France), 16-20 December (ESA 50-247) pp. 425-28.
- LOPEZ GARCIA, M.J. and CASELLES, V. (1987). Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Albufera lagoon of Valencia (Spain). *Proc. 13th Annual Conference of The Remote Sensing Society*, University of Nottingham, September 7-11, 1987, pp. 510-19.
- MATHERON, G. (1965). *Les Variables Regionalisées et leur Estimation*. Masson, Paris.
- McBRATNEY, A.B. and WEBSTER, R. (1983). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. V. Co-regionalization and multiple sampling strategy. *J. Soil Science*, **34**, 137-62.
- McBRATNEY, A.B. and WEBSTER, R. (1986). Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Science*, **37**, 617-39.
- McCULLAGH, M.J. (1975) Estimation by kriging of the reliability of the proposed trent telemetry network. *Comp. Applications*, **2**, 357-74.
- WEBSTER, R. (1985). Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Adv. Soil Science*, **3**, 1-70.
- WEBSTER, R. and BURGESS, T.M. (1980) Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. III. Changing drift and universal kriging. *J. Soil Science*, **31**, 505-24.
- WOODCOCK, C.E. and STRAHLER, A.H. (1987). The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing Environment*, **21**, 311-32.