

ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS EFECTOS DEL FUEGO SOBRE MATORRALES MEDITERRÁNEOS MEDIANTE SEMIVARIOGRAMAS APLICADOS A IMÁGENES LANDSAT 5 TM

O. Viedma*, J. Meliá* y M. Chica-Olmo**

*Departamento de Termodinámica. Facult. Físicas. Univ. de Valencia

** Departamento de Geodinámica. Facult. Ciencias. Univ. Granada

e-mail: joaquin.melia@uv.es

RESUMEN

Los incendios, como cualquier perturbación natural, altera la estructura y la distribución espacial de las comunidades vegetales afectadas. Asimismo, estos cambios son modulados por el efecto que ejerce la topografía en la disponibilidad de nutrientes y humedad necesaria para el desarrollo de la vegetación. En este trabajo se plantea analizar si la geoestadística, a través de los semivariogramas, es sensible a los cambios espaciales provocados por los incendios, así como al efecto de la topografía en el desarrollo vegetal. El estudio se ha llevado a cabo sobre una zona de matorral localizada en la zona Norte de Alicante (Este de España). Para ello, se han seleccionado un conjunto de incendios ocurridos en 1991 y se les ha hecho un seguimiento tres años antes de la perturbación (1989-1991) y tres años después (1991-1994). Los resultados obtenidos aplicando los semivariogramas demuestran que tras el incendio el paisaje presenta una clara tendencia hacia la homogeneidad espacial, en cuanto que el tamaño medio de las unidades vegetales mínimas aumenta, mientras que se observan distintas tendencias, en cuanto al grado de variabilidad radiométrica después del fuego, entre los incendios analizados.

Palabras Clave: Teledetección, Semivariograma, Incendio Forestal, Patrón Espacial y Escala.

INTRODUCCION

El semivariograma posee la potencialidad necesaria para medir la "dependencia espacial" de fenómenos continuos y variantes, dando una descripción de la escala y de los patrones de variabilidad espacial (Curran, 1988). Asimismo, puede sugerir las "áreas mínimas" para determinar tipos de vegetación, si por "área mínima" se entiende la escala más pequeña a la cual la vegetación puede ser considerada homogénea. En teledetección existe un gran número de trabajos en los que se ha aplicado los semivariogramas para hacer análisis espacial (Ramstein y Raffy, 1989; Lacaze et al., 1994). Sin embargo, resulta

relativamente nuevo en su aplicación a los incendios (Viedma, 1998).

En el semivariograma se representan, como es sabido, las semivarianzas a diferentes distancias. De acuerdo con el concepto de semivariograma, las magnitudes más interesantes para interpretar los efectos espaciales de los incendios son: la meseta (*sill*), indicadora de transiciones entre tipos de vegetación diferentes, el rango (*range*), referenciador del tamaño de los objetos o unidades espaciales correlacionadas espacialmente, la pendiente, capaz de reflejar la variabilidad del tamaño de las unidades vegetales identificadas con la meseta y el rango y por último, la "anisotropía". El término "anisotropía" se refiere a que la variación no es la misma en todas las direcciones y por tanto, la función variograma depende de la dirección de cálculo. La anisotropía del variograma corresponde a la existencia de direcciones preferenciales relacionadas con los elementos que representan los datos radiométricos (Abarca, 1997). Estas direcciones pueden coincidir con la orientación de la red de drenaje o de las montañas que conforman el modelado, formas de los objetos o incluso con la dirección preferencial del sistema de fallas o fracturas. De esta forma, el efecto de la topografía puede ser analizado a través de la anisotropía direccional mostrada por semivariogramas trazados en determinadas direcciones.

METODOLOGÍA

Basándonos en las premisas básicas de interpretación de los semivariogramas, hemos analizado los cambios que experimentan las áreas afectadas por el fuego durante los tres períodos temporales determinados por la aparición de grandes incendios en 1991 (preincendio: 1989-1991; postincendio: 1991-1992 y regeneración; 1992-1994) en una zona forestal de la provincia de Alicante. Se ha trabajado con un gran número de incendios de forma que se abarcara la amplia variedad de recubrimientos de vegetación, rangos de altura, pendientes y orientación presente en la zona de estudio. Sin embargo, en este trabajo se

presentan los resultados sobre tres de ellos, que en adelante identificaremos como I2, I5 e I6. El cálculo de los semivariogramas experimentales se realizó a partir de transectos orientados en las cuatro direcciones básicas (N-S, E-W, NE-SW y NW-SE) con una longitud media alrededor de los 100 píxeles, límite que vino dado por la extensión de los propios incendios.

La resolución espectral y espacial del sensor Landsat 5 TM es idónea para la aplicación de los semivariogramas en el estudio de los efectos espaciales de los incendios sobre la distribución de la vegetación. En este trabajo se utilizó la banda del Infrarojo medio (TM5) por haber sido la más significativa en los procesos de clasificación de las cubiertas vegetales y por ser una buena indicadora del contenido de humedad de los suelos y plantas (Viedma, 1998).

Los variogramas experimentales fueron estandarizados entre fechas y direcciones mediante el cálculo de semivariogramas relativos $\gamma_r(h) = \gamma_i(h) / \sigma_i^2$ (Abarca, 1997), ya que se observaba un efecto de proporcionalidad muy acusado entre fechas debido a la distinta varianza de la banda TM5 en cada uno de los años analizados. Asimismo, se calcularon semivariogramas direccionales medios uniendo las direcciones N-S y E-W en un sólo variograma direccional y las orientaciones NE-SW y NW-SE en otro semivariograma único. Esta decisión se tomó al observar el efecto anisotrópico tan marcado entre ambos grupos de orientaciones (fig. 1).

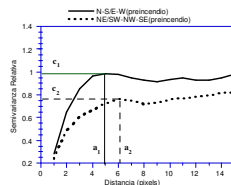


Figura 1. Ejemplo de "anisotropía zonal" en la que se producen distintos alcances y mesetas en función de la dirección del transecto.

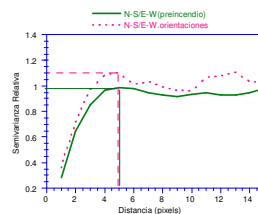
Por otro lado, se calcularon semivariogramas de la distribución espacial de las pendientes y orientaciones sobre las zonas quemadas, con el fin de determinar hasta qué punto el relieve estaba explicando las estructuras espaciales observadas en los semivariogramas procedentes de la banda TM5.

RESULTADOS

El Efecto de la Topografía.

En general, se ha comprobado que la dirección dominante de las cadenas montañosas sobre las que se producen los incendios ejercen un efecto de primer orden en la distribución de la vegetación y del grado de variabilidad radiométrica observada en los datos. En este sentido, en los incendios en los que la sierra lleva una clara dirección NE-SW ó NW-SE, nos encontramos al trazar los transectos en esa dirección, con laderas bajo las mismas condiciones de iluminación y humedad y por tanto, con un bajo contraste espacial y espectral. Sin embargo, cuando trazamos transectos en direcciones ortogonales a la de la cadena montañosa se observa una mayor variabilidad. Por el contrario, en los incendios en los que la orientación general de la montaña es E-W, se ha observado que los semivariogramas con dirección N-S/E-W ofrecieron una menor variabilidad temporal interna que los transectos NE-SW/SW-NE durante todo el período preincendio (C.V (N-S/E-W) igual a 0.048 frente a un C.V (NE-SW/NW-SE) de 0.057).

En la orientación N-S/E-W, los variogramas de los incendios 2 y 6 se ajustaron bastante bien con la distribución espacial de las orientaciones (fig.2). Este fenómeno fue debido a que la estructura espacial que se observa en estos variogramas es la que existe al pasar de la orientación solana a umbría y de Este a Oeste, con las destacadas diferencias de recubrimiento vegetal y condiciones de humedad que existen entre estas orientaciones. En los semivariogramas con dirección NE-SW/NW-SE se observó que existía una mayor semejanza con la estructuración espacial de las pendientes, manteniendo la idea que se propuso anteriormente de que en esta dirección no se producen cambios espectrales tan bruscos debido al cambio de orientación, ya que es la dirección dominante de las cadenas montañosas que conforman este incendio (fig.2). En el variograma de las pendientes se han observado realmente dos estructuras, una de menor alcance (alrededor de los 6 píxeles) y otra mayor (alrededor de los 10). La primera es la que coincide con la de los valores radiométricos de la banda TM5.



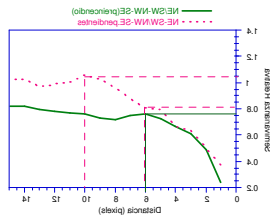


Figura 2. Ajuste de semivariogramas direccionales sobre la banda TM5 con los semivariogramas procedentes de los mapas de orientaciones y pendientes para el incendio 2, respectivamente.

Estructura Espacial de Zonas Quemadas durante el Período Preincendio (1989-1991)

Durante este período se comprobó que la mayoría de los incendios no experimentaron cambios estadísticamente significativos en el valor de sus mesetas (tabla 1). Solo en el incendio 6 se produjeron cambios superiores al 10% con respecto al primer valor inicial (1989). El incendio 6 tendió a la homogeneidad espacial y espectral al producirse una reducción de la altura del semivariograma a lo largo del período preincendio. Asimismo, como se puede observar en la tabla 1, en todos los incendios se observa una marcada anisotropía zonal que hace que todos los variogramas orientados al NE-SW/NW-SE presenten una menor semivarianza, indicando que en estas zonas existe un menor contraste espacial y espectral que en los variogramas con dirección N-S/E-W.

89-90	N-S/E-W (1)		NE-SW/ NW-SE (2)		Variabilidad (89-91)		Anisotr
	M (1)	Rango	M (2)	Rango	CV. 1	CV. 2	
INC 2	0.99	5	0.78	6	0.021	0.032	Zonal
INC 5	1.20	9	0.69	5.3	0.026	0.079	Zonal
INC 6	1.04	7	0.72	6.5	0.111	0.015	Zonal

Tabla 1. Valores medios de las mesetas y rangos de los semivariogramas direccionales. Se indica el tipo de anisotropía y los Coeficientes de Variación (CV).

Por otro lado, se ha observado una clara relación directa entre la altura de las mesetas y el número total de “patches” y la fragmentación de los incendios durante este período (fig.3), confirmando la capacidad de los semivariogramas para caracterizar la estructura espacial desde satélite.

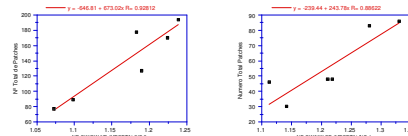


Figura 3. Relación entre la altura de las mesetas y el número total de patches para algunos incendios durante el período preincendio 1989-1991.

Estructura Espacial de Zonas Quemadas Inmediatamente Después del Fuego (1991-1992).

El efecto inmediato del fuego no produjo una respuesta única en las distintas unidades espaciales analizadas (tabla 3). En algunas de ellas, un año después de la perturbación se observa que la variabilidad radiométrica de TM5 se ha reducido, aumentando la correlación espacial hasta distancias mayores (fig. 4). Esta situación se traduce en un proceso de homogeneización espacial al aparecer unidades mínimas de mayor tamaño. Este fenómeno se observa a través de los semivariogramas direccionales (N-S/E-W) de los incendios 2 y 5 (tabla 4). Este efecto espacial se percibe a través de la reducción de los valores alcanzados por la meseta y el aumento de los rangos. Asimismo, las pendientes de los semivariogramas son más suaves, lo cual ha sido interpretado como una menor variabilidad en el tamaño medio de los patches. Los semivariogramas direccionales N-S/E-W del incendio 6 mostraron que el efecto del fuego apenas modificó el tamaño medio de las unidades vegetales (el rango se mantuvo), aunque sí incrementó la variabilidad radiométrica de las mismas, al aumentar la altura del variograma (tabla 4). Sin embargo, los semivariogramas NE-SW sí que reflejaron cambios más bruscos ante el efecto del fuego: tanto la variabilidad radiométrica como el grado de autocorrelación espacial aumentaron (creció el valor del semivariograma sin alcanzarse la meseta) (tabla 5).

	Semivariograma (N-S/E-W)	Semivariograma (NE-SW/NW-SE)
INC 2	Homegeneidad	Homegeneidad
INC 5	Homegeneidad	Hetereogeneidad
INC 6	Hetereogeneidad	Hetereogeneidad

Tabla 3. Efectos espaciales provocados por el incendio (1991-1992) en cada una de las zonas piloto quemadas.

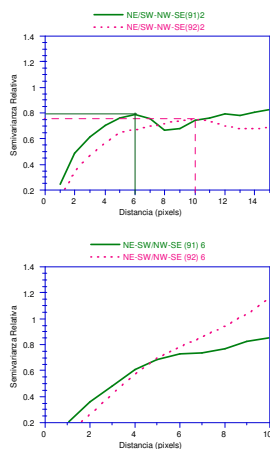


Figura 4. Efecto del incendio sobre los valores de las mesetas y de los rangos en los semivariogramas NE-SW de los incendios 2 y 6.

	N-S/E-W (1991) (preincendio)		N-S/E-W (1992) (postincendio)		Aniso	% Dif
	M	R	M	R		
12	1.01	5	0.90	9	Zonal	-10.89
15	1.23	8	1.18	12	Zonal	-4.06
16	0.99	7	1.11	7	Propor	+12.12

Tabla 4. Valores de las mesetas (M) y rangos (R) de los semivariogramas N-S/E-W calculados antes del incendio (1991) y justo un año después (1992).

	NE-SW (1991) (preincendio)		NE-SW (1992) (postincendio)		Aniso	% Dif
	M	R	M	R		
12	0.79	6	0.75	10	Zonal	-5.06
15	0.72	5	1.16	>15	Zonal	+61.11
16	1.06	13	1.48	14	Zonal	+39.62

Tabla 5. Valores de las mesetas y rangos de los semivariogramas con dirección NE-SW antes del incendio (1991) y justo un año después (1992).

Estructura Espacial de Zonas Quemadas durante El Período Regeneración (1992-1994).

De nuevo, durante el período de regeneración se observaron las mismas diferencias espaciales entre orientaciones, que ya se percibían justo un año después del incendio. En las zonas N-S/E-W, el proceso de regeneración se tradujo, al igual que el efecto inmediato del fuego, en un mayor grado de homogeneidad radiométrica y espacial frente a la situación que existía antes de quemarse (tal como se puede observar en los incendios 2 y 5 de la tabla 6). Por otro lado, en las zonas orientadas al NE-SW/NW-SE, tanto el incendio como el proceso regenerativo dieron lugar a un incremento de la heterogeneidad espacial

(tabla 7). En general, todos los incendios mostraron una clara tendencia a incrementar los valores de sus mesetas (se produce una mayor variabilidad espacial y radiométrica tras la perturbación y la regeneración) al tiempo que los rangos son mayores (tabla 7).

Sin embargo, y en general, durante el período de regeneración (1992-1994) en todos los incendios el valor de la meseta en 1992 (justo un año después del incendio) es más alto que el que se obtiene en 1994 (3 años después), con lo que se está indicando que el contraste radiométrico entre píxeles es menor a medida que se va recuperando la vegetación y por tanto, entramos en un proceso de homogeneización espacial y espectral durante la regeneración, aunque sin alcanzar el grado de homogeneidad previa a la perturbación.

	N-S/E-W (Preincendio)		N-S/E-W (Regeneración)		% Dif	Aniso
	M	R	M	R		
12	0.98	5	0.88	8	-10.2	Zonal
15	1.20	9	1.14	10	-5.00	Zonal
16	1.04	7	1.09	7	+4.81	Propo

Tabla 6. Valores medios de las mesetas y rangos de los semivariogramas N-S/E-W comparando el período preincendio (1989-1991) con el de regeneración (1992-1994).

	NE-SW (Preincendio)		NE-SW (Regeneración)		% Dif	Aniso
	M	R	M	R		
1	0.78	6	0.82	9	+5.13	Zonal
2	0.69	6/14	1.19	>10	+72.5	Zonal
5	1.19	>15	1.39	14	+16.8	Zonal

Tabla 7. Valores medios de las mesetas y rangos de los semivariogramas NE-SW comparando el período preincendio (1989-1991) con el de regeneración (1992-1994).

CONCLUSIONES

Se han observado, antes del incendio, importantes diferencias en la estructura espacial y grado de variabilidad radiométrica entre orientaciones, siendo el principal factor explicativo la dirección general de las estructuras montañosas (NE-SW/NW-SE). Asimismo, se ha podido observar que el efecto del incendio se hace más llamativo en esta dirección al hacer incrementar por

encima del 39% el grado de heterogeneidad espacial y al aparecer unidades mínimas de vegetación con mayor variabilidad radiométrica (mayor presencia de suelo desnudo). Por último, este efecto sigue manteniéndose durante el período de regeneración, si bien con una clara tendencia a recuperar el grado de homogeneidad previo a la perturbación.

REFERENCIAS

Abarca, F. (1997): *Desarrollo de Técnicas Geoestadísticas en el análisis de imágenes de teledetección*, Tesis Doctoral, Dpto. Geodinámica, Univ. Granada, pp.324.

Curran, P.J. (1988): The semivariogram in remote sensing: an introduction, *Remote Sensing of Environment*, 24: 493-507.

Lacaze, B., Rambal, S. y Winkel, T. (1994): Identifying spatial patterns of Mediterranean landscapes from geostatistical analysis of remotely-sensed data, *Int. J. Remote Sensing*, 15(12): 2437-2450.

Ramstein, G. y Raffy, M. (1989): Analysis of the structure of radiometric remotely sensed images, *Int. J. Remote Sensing*, 10: 1049-1073.

Viedma, O. (1998): Caracterización Espectral y Espacial de los incendios forestales mediante técnicas de Teledetección, Tesis Doctoral. Univ.Valencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos europeos de los que forma parte: LUCIFER (ENV4-CT96-0320) y otro sobre Cambio Climático financiado por la CICYT (CLI95-1887).