

PATRONES ESPACIO-TEMPORALES DE LA ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN Y SU RELACION CON LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA ANUAL Y ESTACIONAL

M. GARCÍA (*) y S.L. USTIN (**)

mggarcia@cstars.ucdavis.edu

(*)ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Ingeniería Rural. Avda Complutense s/n. Madrid 28040.

(**)Center for Spatial Technologies and Remote Sensing (CSTARS). Univ. of California, Davis. 95616 Davis, CA. USA.

RESUMEN: El objetivo del presente estudio es la caracterización de patrones espaciales y temporales de variables de estructura de la vegetación en ecosistemas mediterráneos a distintas escalas. Se utilizaron datos de teledetección de sensores hiperspectrales (AVIRIS) y multispectrales (TM y AVHRR). La dependencia espacial observada varía según el tipo de vegetación, escala, sensor y la climatología anual y estacional. Los patrones temporales detectados a gran escala y baja resolución son coherentes con la fenología y la variabilidad climática interanual, aunque no detectan cambios a escalas más finas. Los resultados presentan implicaciones para el estudio del cambio global, la estabilidad de ecosistemas y problemas de escala entre otros.

ABSTRACT: The objective of the present study is the characterization of spatial and temporal patterns in vegetation structure variables at different scales in Mediterranean ecosystems. Hyperspectral (AVIRIS) and multispectral (TM and AVHRR) remote sensing data were used. Spatial dependence varies according to vegetation type, spatial scale, sensor, and seasonal and annual climatology. Temporal patterns detected at greater extents and coarse resolution are coherent with phenological trends and climatic variations, although changes at smaller lags are missed. The results of this paper have implications for global changes studies, ecosystem stability and scaling issues, among others.

Palabras clave: variabilidad climática, semivariograma, cobertura vegetal, escala, patrones.

INTRODUCCIÓN

El análisis de las respuestas de los ecosistemas a cambios medioambientales es un reto científico, debido a la complejidad de procesos naturales interrelacionados actuando a distintas escalas temporales y espaciales. Así, los efectos de ciertos procesos naturales solo son explícitos con respecto a ciertas escalas (Lambin, 1996; Levin, 1993; Hobbs, 1990), siendo crítico su conocimiento para caracterizar por ejemplo, respuestas a variaciones climáticas. Éstas, se pueden manifestar en cambios significativos en la productividad primaria de la vegetación (Field *et al.*, 1992), y su estimación permitiría además una evaluación de la estabilidad del ecosistema y un cálculo más preciso de balances de carbono. En este sentido la teledetección juega un papel fundamental al estimar variables de la estructura vegetal (Tucker, 1977; Paruelo *et al.* 1995). Sin embargo cuestiones relacionadas con la optimización de muestreo (sensor, vegetación, fecha) y los factores que actúan a cada nivel espa-

cial y su evolución temporal (Curran, 1988; Schimel *et al.*, 1993), son aspectos no suficientemente aclarados. El objetivo general de este estudio es realizar una exploración de la variabilidad espacial y temporal de índices de vegetación, detectada a distintas escalas y sensores, relacionándola con la variabilidad climática estacional y anual en un ecosistema mediterráneo, caracterizado por una alta variabilidad en el régimen de precipitación (Mooney *et al.*, 1974).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de análisis se localiza en las estribaciones este de las Montañas de Santa Cruz, California (USA) y comprende una extensión de 184 km por 280 km, estando incluida en este área la Reserva Biológica de Jasper Ridge (JRBP) de 500 ha. Se utilizaron dos mapas de vegetación: el correspondiente a las montañas de Santa Cruz, a escala 1:250.000 del USGS, y el perteneciente a JRBP con tamaños mínimos de polígono de 100 m².

Ambos presentan los mismos tipos de vegetación mediterránea: chaparral, pradera, bosque caducifolio y perenne.

Análisis de la variabilidad espacial

El semivariograma experimental se calculó según Burrough *et al.* (1998) para tres combinaciones de sensor y extensión del análisis en distintas fechas: AVHRR-Santa Cruz, TM-JRBP, y AVIRIS-JRBP. Se utilizaron tres imágenes de fracciones de vegetación verde derivadas de datos de AVIRIS sobre JRBP, obtenidas mediante modelos de mezclas espectrales lineales (García *et al.* 2001 y Ustin *et al.*, 1997) con resolución espacial de 20 m. Las fechas son: 2-Junio-1992, 3-Mayo-1996 y 29-Abril-1998. La precipitación media es de 706 mm, siendo en 1992 menor que la media, en 1996 media y mayor que la media en 1998. Se utilizó una imagen de TM del 20 de Junio de 1990 sobre JRBP, con resolución espacial de 30 m, calculando el NDVI, previa aplicación de la corrección de Guyot y Gu (1994). 1990 fue el año más seco de todos los posteriores.

Análisis de la variabilidad temporal

Se utilizaron series temporales quincenales de NDVI medio del sensor AVHRR para evaluar tendencias en productividad primaria en los 4 tipos de vegetación entre 01-01-1994 y 31-12-1998, con resolución en nadir de 1.1km. El régimen de precipitación entre 1994-1998 es representativo de la variabilidad encontrada en lapsos de tiempo mayores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la variabilidad espacial

Semivariograma a gran escala

Praderas, chaparral y bosques perennes presentan semivariogramas muy similares en los primeros 40 km. (Figura 1). Parece que los factores causando esta dependencia espacial, tales como diferencias topográficas modificando el microclima, les afectan de forma similar. A distancias mayores, algunos semivariogramas muestran máximos debidos a diferencias en cobertura vegetal entre polígonos distantes entre sí. En caducifolios, el bajo número de observaciones impide una adecuada estimación de la semivarianza.

Semivariograma a pequeña escala

Se observa en la Figura 2, que los semivariogramas calculados con datos de AVIRIS en JRBP en primavera difieren para cada tipo de vegetación y año, siendo la variabilidad siempre mayor en el año seco. A estas escalas, la vegetación herbácea presenta los mayores niveles de variabilidad, mientras que otras comunidades no presentan prácticamente dependencia espacial debi-

do a una mayor disponibilidad de agua (Goulden, 1995). Los semivariogramas de TM, se normalizaron según el CV (Figura 2) para comparar con AVIRIS. En Junio, los patrones son muy similares, aunque a veces difieren en los niveles de umbral (sill). Esto podría deberse a diferencias fenológicas y de precipitación, mas que de sensor, ya que en herbáceas y perennes los patrones son casi idénticos.

Análisis de la variabilidad temporal

En la Figura 3, se observa que los patrones de NDVI son indicadores razonables de la fenología de la cubierta vegetal. Las tendencias interanuales son similares en los cuatro tipos de vegetación y los patrones vegetales en esta región responden a niveles de precipitación entre Enero y Julio. El desfase entre la respuesta de la vegetación y la precipitación depende del tipo de vegetación, y el menor corresponde a las hierbas, que también presentan una mayor respuesta al clima (Di *et al.*, 1994). La vegetación perenne muestra picos más extremos que la caducifolia, ya que en ésta última aparece la cubierta vegetal herbácea.

CONCLUSIONES

La variabilidad espacial observada en la estructura de la vegetación es función de la variabilidad climática estacional y anual, que modifica la fenología en diferentes grados dependiendo del tipo de vegetación y su localización. Factores actuando a grandes escalas como gradientes ambientales, son más importantes en bosques perennes, mientras que la vegetación herbácea está más influenciada por factores actuando a niveles locales (menos de 1 km), como diferencias en contenido de humedad del suelo (especialmente en años secos) o propiedades locales del terreno (aspecto y drenajes).

Las series temporales de NDVI de AVHRR son apropiadas para el análisis de tendencias fenológicas de distintos tipos de vegetación a bajas resoluciones. Sin embargo, no detectan gran parte de la variabilidad interanual a escalas más finas, importante en comunidades herbáceas en primavera o perennes en Junio. Los fuertes gradientes existentes en la distribución de la vegetación en California, sugieren que el uso de este sensor no es apropiado para capturar mucha de la variabilidad presente en el paisaje. Una continuación de este estudio mediante comparaciones multitemporales más exhaustivas permitiría avanzar en el conocimiento de las interrelaciones clima-vegetación a distintas escalas espacio-temporales.

BIBLIOGRAFÍA

- BURROUGHS P. A. y R. A. McDONELL. (1998). Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, pp 133-161.
- CURRAN, P. J. (1988). The semivariogram in Remote Sensing: An Introduction. *Rem. Sens. Environ.* 24: 493-507.
- D. L., RUNDQUIST, D.C. and L. HAN. (1994). Modelling relationships between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. In: *J. Remote Sensing*. V15 (n10), 2121-2136.
- GOULDEN, M. L., 1995, "Carbon assimilation and water-use efficiency by neighboring Mediterranean-climate oaks that differ in water access," *Ecology* 16: 467-424.
- GARCÍA M., y S. L. Ustin. Detection of inter-annual vegetation responses to climatic variability using AVIRIS data in a coastal savanna in California. 2001. In press. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*.
- GUYOT G., y X. F. GU. Effect of radiometric corrections on NDVI determined from SPOT-HRV and LANDSAT-TM data. *Rem. Sens. of Environ.*, Sep, 1994, V49(N3):169-180.
- HOBBS, R. J., 1990, "Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation," In: *Remote Sensing of Biosphere functioning*. Hobbs, R.J. and H.A. Mooney (eds). Springer-Verlag. Pp 203-220.
- FIELD, C. B., CHAPIN, F. S., MATSON, P. A., y MOONEY, H. A. (1992). Responses of Terrestrial Ecosystems to the Changing Atmosphere: A Resource-Based Approach. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 23:201-235.
- LEVIN, S. A. (1993). Concepts of Scale at the Local Level. In *Scaling Physiological Processes Leaf to Globe*, edited by Ehleringer, J. R. and Field, C. B., (Academic Press Inc.) pp 7-18.
- PARUELO, J. M., y W. K. LAUENROTH. (1995). Regional Patterns of Normalized Difference Vegetation Index in North American Shrublands and Grasslands. *Ecology*. 76 (6): 1888-1898.
- SCHIMEL, D. S., DAVIS, F. W., y KITTEL, G. F. (1993). Spatial Information for Extrapolation of Canopy Processes: Example from FIFE. In *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, edited by J. Ehleringer and C. Field, (Academic Press Inc.) pp. 21-36.
- TUCKER (1977), Use of near infrared/red radiance ratios for estimating vegetation biomass and physiological status. In *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 11th (v.1): 493-494. .
- USTIN, S. L., D. A. ROBERTS, y Q. J. HART. (1997), Seasonal Vegetation Patterns in a California Coastal Savanna Derived from Advanced Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Data. In *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Applications and Methods*, Elvidge, C.D., and Lunetta, R. (Eds.), Ann Arbor Press, MI.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a George Scheer el apoyo informático así como los comentarios de la Dra. Palacios-Orueta, y el Dr. Jacquemod. Nos gustaría agradecer a la Fundación Barrié de la Maza la concesión de una beca a Mónica García y al programa NASA EOS grant No. NAS5-31359.

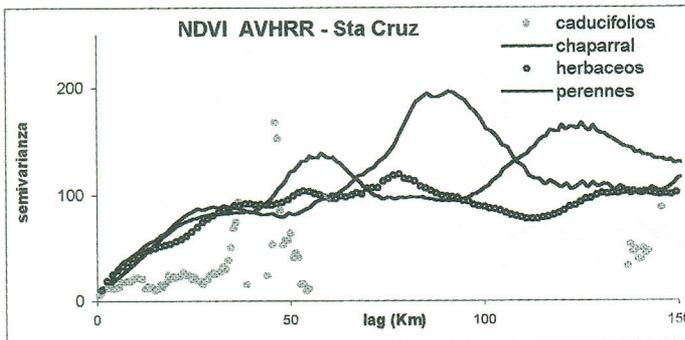


Figura 1. Semivariograma en el área de Santa Cruz con valores de NDVI de (AVHRR) estratificado por tipos de vegetación. Tamaño de umbral: 1 km.

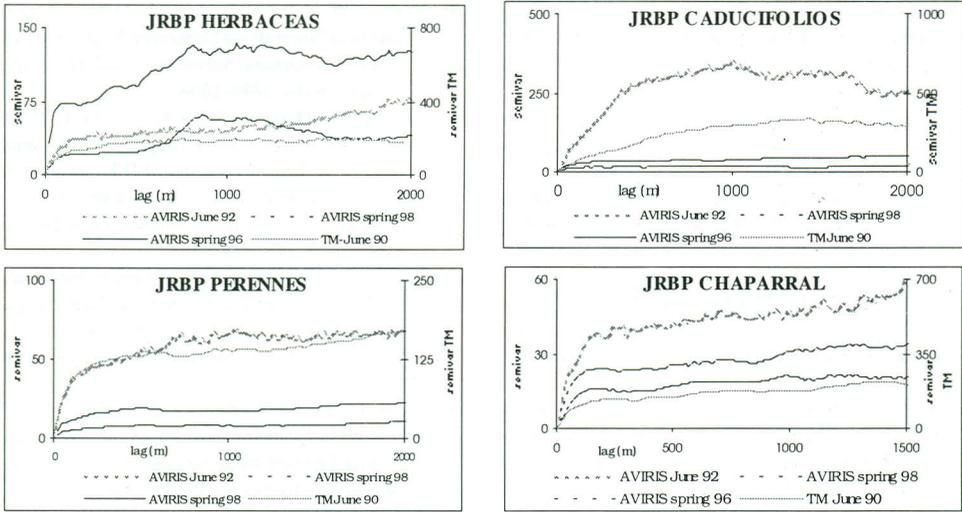


Figura 2. Semivariogramas de índices de vegetación de AVIRIS y TM en JRBP en distintos años y fechas.

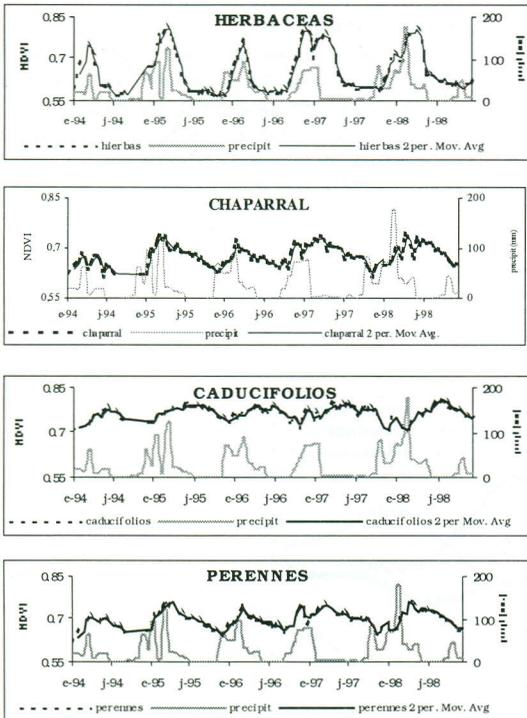


Figura 3. Series temporales de NDVI (de AVHRR) y precipitación entre 1994-1998 en Santa Cruz, California.