

EL SENSOR SPOT-VEGETATION, UNA NUEVA ALTERNATIVA EN LA ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA VEGETACIÓN

D. COCERO, J. SALAS y E. CHUVIECO

david.cocero@uah.es

Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá.
C/ Colegios, 2. 28801 Alcalá de Henares.

RESUMEN: En este artículo investigamos el potencial del sensor SPOT-VEGETATION para estimar la humedad de la vegetación de varias especies vegetales mediterráneas. Se observa que los índices de vegetación basados en el infrarrojo medio permiten mejorar la estimación del contenido de humedad de algunas especies mediterráneas realizada con los índices basados en el infrarrojo cercano.

ABSTRACT: Fourteen SPOT-Vegetation images have been processed and correlated with fuel moisture content of several live species of Mediterranean grassland and shrubland in order to evaluate several vegetation indices. Those based on the optical middle infrared bands (SWIR: 1.6 and 2.2 μm) offer the best estimations.

Palabras clave: SPOT-Vegetation, índices de vegetación, humedad, incendios forestales.

INTRODUCCIÓN

La estimación operativa del peligro de incendio forestal (de una u otra forma asociado al estado hídrico de la vegetación) usando imágenes de satélite se ha acometido hasta el momento con el sensor NOAA-AVHRR, gracias a su buena resolución temporal. Lo más habitual ha sido trabajar con NDVI y temperatura de superficie (Paltridge y Barber, 1988; Chuvieco *et al.*, 1999), ofreciendo estos estudios buenos resultados en vegetación herbácea, pero no han sido concluyentes en matorral o especies arboladas. Además de las limitaciones radiométricas y geométricas del sensor AVHRR, el origen de estas carencias puede relacionarse con la débil aportación de la humedad a la reflectividad global de la planta, como han puesto en evidencia algunos estudios basados en radiometría de laboratorio (Cohen, 1991). Otros trabajos, sin embargo, han obtenido buenos ajustes con la humedad de la vegetación en terreno (Hunt *et al.*, 1987; Jackson y Ezra, 1985; Ripple, 1986), lo que permite albergar esperanzas sobre la utilización operativa de la teledetección en este tipo de estudios.

Diversos análisis han demostrado que la banda del infrarrojo medio reflectivo (SWIR), situada entre 1,3 y 2,5 micras es la más sensible a la determinación del contenido de humedad (Bowman, 1989; Cohen, 1991; Hunt *et al.*, 1987; Riaño *et al.*, 2000; Ripple, 1986; Thomas *et al.*, 1971), ya que presenta un pico de alta absorción de agua.

Por esta razón, en la última generación de sensores se han incluido nuevas bandas de observación que son sensibles a estas longitudes de onda. Este es el caso del sensor Vegetation a bordo del satélite SPOT-4, lanzado en marzo de 1998, cuyas características principales están optimizadas para la cartografía de la vegetación a escala global. Aunque los sensores Vegetation y AVHRR tienen similitudes, difieren en dos aspectos fundamentales: además de incorporar una banda en el SWIR, el sensor Vegetation cuenta con una tecnología "push-broom", lo que permite mantener la resolución espacial a lo ancho de la escena, evitando las deformaciones inherentes al AVHRR

OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es presentar los primeros resultados de una estimación del contenido de humedad de la vegetación a partir de la información captada por el sensor Vegetation. Como objetivo específico nos planteábamos el comprobar si, efectivamente, los datos proporcionados por la banda situada en el SWIR permitían discriminar mejor el contenido de humedad de la vegetación que los índices de vegetación tradicionalmente usados para estas tareas, lo que resultaría de gran importancia de cara a una prevención operativa del riesgo de incendio.

METODOLOGÍA

El área elegida para abordar este estudio es el Parque Nacional de Cabañeros. El período de trabajo abarca desde abril a septiembre del año 1999, con objeto de considerar la variación existente en las condiciones de humedad de la vegetación desde la primavera, momento en que las cubiertas vegetales presentan su máximo vigor, hasta el verano, cuando alcanzan su mínimo debido a la fuerte sequía estival.

Medidas de la humedad del combustible

Para el presente proyecto se consideraron como tipos de combustible forestal de interés el pasto, el matorral y el arbolado. Previa a la planificación del trabajo de campo, se revisó la bibliografía referente al diseño del muestreo, la localización de las parcelas, la toma de muestras y el trabajo de laboratorio (Desbois *et al.*, 1997; Viegas *et al.*, 1990).

Se eligieron un total de seis parcelas de muestra, con los siguientes tipos de combustible: pasto, jara (*Cistus ladanifer*), brezo (*Erica australis*), romero (*Rosmarinus officinalis*), labiérnago (*Phyllirea angustifolia*) y quejigo (*Quercus faginea*). La recogida de muestras de vegetación en cada una de las parcelas seleccionadas se llevó a cabo de una forma sistemática, una vez cada ocho días, y a la misma hora aproximadamente (entre las 12:00 y las 16:00 h). Todas las muestras recogidas se pesaban en terreno con una balanza portátil, lo que requería muestras de 100-200 gramos. Posteriormente se trasladaban al laboratorio, donde se secaban en una estufa durante 48 horas a una temperatura de 60°C. Posteriormente se pesaban de nuevo con la misma balanza de cara a estimar su contenido en humedad (FMC, *Fuel Moisture Content*), definido como el peso del agua en función del peso seco:

$$FMC = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde P_h es el peso en gramos de las hojas verdes, y P_s el peso en seco.

Análisis de las imágenes Vegetation

El sensor Vegetation presenta una resolución espacial media semejante a la del NOAA-AVHRR (1 km²) y similar resolución temporal (1 día). Cuenta con 4 bandas: azul (0,43-0,47 μ m), rojo (0,61-0,68 μ m), infrarrojo cercano (0,78-0,89 μ m) e infrarrojo medio (1,58-1,75 μ m).

Para este estudio utilizamos los canales rojo e infrarrojo cercano que, como señalamos anteriormente, permiten el cálculo de índices de vegetación (NDVI, SAVI, GEMI); y la banda del infrarrojo medio, más di-

rectamente relacionada con el contenido de humedad que la banda 3 del NOAA-AVHRR, situada en la porción emisiva del térmico. Como ya señalamos, la banda situada entre 1,58 y 1,75 μ m se enmarca en las longitudes de onda más sensibles al contenido de agua, pues son las bandas de mayor absorción hídrica (Knippling, 1970), además de contar con gran potencial para discriminar áreas quemadas (Eastwood *et al.*, 1998; Fraser *et al.*, 2000).

Para este trabajo empleamos catorce imágenes Vegetation del área de estudio, abarcando desde abril a septiembre del año 1999. A partir de ellas calculamos las siguientes variables derivadas:

(i) Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974). Es el índice más empleado en la estimación de la humedad de la vegetación (Chladil y Nunez, 1995; Chuvieco *et al.*, 1999; Paltridge y Barber, 1988) y la determinación del peligro de incendio (López *et al.*, 1991).

(ii) Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) (Huete, 1988), utilizado con el fin de conseguir corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde la aportación de la reflectividad del suelo es elevada.

(iii) Índice de vegetación global (GEMI) (Pinty y Verstraete, 1992), diseñado específicamente para reducir el efecto de las perturbaciones atmosféricas.

(iv) Humedad en un píxel concreto, *Site Moisture* (SM) (Eidenshink *et al.*, 1990). Burgan y Hartford (1993) han usado en Estados Unidos un índice de estas características, que ellos denominan *Relative Greenness Index*, para hacer un seguimiento del estado de la vegetación y su predisposición al fuego.

(vi) NDII (*Normalized Difference Infrared Index*), cociente normalizado entre las reflectividades del infrarrojo cercano y del SWIR, que ha sido correlacionado satisfactoriamente con el contenido de agua de la vegetación (Hunt y Rock, 1989).

RESULTADOS

Con las salvedades que una serie tan corta (una sola campaña, primavera-verano) puede presentar, las correlaciones de Pearson entre el FMC y las variables generadas a partir de las imágenes Vegetation (tabla 1) presentan las siguientes tendencias:

- El NDII presenta una mayor sensibilidad a las variaciones de humedad de la vegetación que los índices basados en el espacio IRC-Rojo (NDVI, GEMI, SAVI). Con el NDII las correlaciones son significativas en todos los casos, excepto para una parcela de brezo.
- De los índices de vegetación usados tradicionalmente, el SAVI y el GEMI presentan mejores co-

relaciones que el NDVI y que el SM para la mayoría de las especies, pero las diferencias entre ellos son, generalmente, pequeñas.

—En cuanto a las diferentes especies analizadas, en el caso del pasto las correlaciones son significativas en prácticamente todos los casos, mientras que en los matorrales los resultados presentan una gran variabilidad dependiendo de la especie analizada, hecho lógico si tenemos en cuenta las diferencias fisiológicas de las especies examinadas.

	NDVI	SAVI	NDII	GEMI	SM
Pasto (1)	0,70	0,74	0,69	0,78	0,70
Pasto (2)	0,70	0,70	0,70	0,68	0,70
Pasto (3)	0,63	0,70	0,81	0,70	0,63
Pasto (media)	0,63	0,65	0,68	0,65	0,62
Jara N. (4)	0,79	0,73	0,85	0,59	0,79
Jara V. (4)	0,69	0,79	0,82	0,75	0,69
Brezo (4)	0,49	0,61	0,52	0,63	0,49
Romero (4)	0,74	0,83	0,79	0,77	0,74
Labiérnago (4)	0,67	0,78	0,76	0,75	0,67
Jara N. (5)	0,39	0,48	0,81	0,42	0,39
Jara V. (5)	0,67	0,58	0,89	0,39	0,67
Brezo (5)	0,55	0,60	0,90	0,49	0,55
Romero (5)	0,58	0,48	0,84	0,30	0,58
Labiérnago (5)	0,49	0,44	0,76	0,31	0,49
Matorral (media)	0,52	0,59	0,71	0,55	0,53
Quejigo (6)	0,78	0,57	0,84	0,30	0,78

Tabla 1: Correlación de Pearson entre el FMC y los derivados de las imágenes del satélite SPOT-Vegetation (los números entre paréntesis indican el número de la parcela donde se tomó la muestra, mientras que las correlaciones significativas al nivel 0,01 aparecen en negrilla).

CONCLUSIONES

Como hemos visto a lo largo de los epígrafes previos resulta complicado establecer tendencias consistentes para estimar la humedad de la vegetación. No obstante, podemos apuntar algunas ideas que sirvan para plantear hipótesis que continúen esta línea de trabajo.

(i) En este estudio mostramos relaciones empíricas entre el FMC y algunas variables derivadas del sensor Vegetation para varios tipos de vegetación mediterránea. Estas relaciones nos muestran la importancia de incluir bandas localizadas en el SWIR para mejorar la estimación del FMC proporcionada por las bandas si-

tuadas en el visible y el IRC. Por tanto, el estudio avala el interés de utilizar imágenes Vegetation en este cometido, si bien en la última generación del sensor AVHRR también se incluye un canal en esta región espectral.

(ii) En cuanto a las diferentes especies analizadas, parece claro que la evolución multitemporal de la humedad del pasto puede ser correctamente estimada con los datos de satélite. Varias razones pueden explicar esta tendencia: a) es la única cobertura anual de las analizadas, por lo que es la más afectada por los cambios estacionales, b) presenta el más alto porcentaje de materia verde, y c) presenta la cobertura más homogénea de todas las analizadas. Las buenas correlaciones para el FMC del pasto se producen tanto con los índices que tienen en cuenta el contraste espectral entre las regiones del IRC y el rojo como entre las regiones espectrales del IRC y el SWIR. Sin embargo, las relaciones no deben interpretarse de la misma manera para estos dominios espectrales. Mientras que las buenas correlaciones entre el FMC y el IRM pueden estar basadas en la presencia de picos de alta absorción en esta región espectral, la relación entre el FMC y el IRC se relaciona más con los cambios en el contenido de clorofila y en la estructura de la hoja que acompañan a las plantas herbáceas cuando se secan. Es decir, con los cambios fisiológicos que se producen en el pasto cuando varía su contenido hídrico en lugar de su contenido de agua per se.

(iii) En consecuencia, y puesto que la reducción del FMC en los matorrales mediterráneos no implica un deterioro serio de la estructura de la hoja o en el área foliar, los efectos indirectos de la reducción del agua en el IRC no son tan evidentes como en el pasto. Sí es más nítida esta relación en las especies que modifican su área foliar, como la jara, que tiende a enrollarse con una fuerte sequía. Sin embargo, la observación en el SWIR sí que es consistente, ya que aquí sí observamos directamente el contenido de agua y no sólo sus efectos indirectos sobre la fisiología de las especies.

BIBLIOGRAFÍA

- BOWMAN, W. D. (1989). The relationship between leaf water status, gas exchange, and spectral reflectance in cotton leaves. *Remote Sensing of Environment* 30: 249-255.
- BURGAN, R. E. y R. A. HARTFORD (1993). *Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data*. Ogden, Utah, USDA Forest Service.
- CHLADIL, M. A. y M. NUNEZ (1995). Assessing grassland moisture and biomass in Tasmania. The application of remote sensing and empirical models for a cloudy environment. *International Journal of Wildland Fire* 5: 165-171.

- CHUVIECO, E., M. DESHAYES, N. STACH, D. COCERO y D. RIAÑO (1999). Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. (E. Chuvieco, Ed.) Berlin, Springer-Verlag: 17-38.
- COHEN, W. B. (1991). Temporal versus spatial variation in leaf reflectance under changing water stress conditions. *International Journal of Remote Sensing* 12: 1865-1876.
- DESBOIS, N., M. DESHAYES y A. BEUDOIN (1997). Protocol for fuel moisture content measurements. *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*. (E. Chuvieco, Ed.) Alcalá de Henares, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá: 61-72.
- EASTWOOD, J. A., PLUMMER, S. E., WYATT, B. K. y STOCKS, B. J. (1998). The potential of SPOT-Vegetation data for fire scar detection in boreal forest. *International Journal Remote Sensing* 19: 3681-3687.
- EIDENSHINK, J. C., R. E. BURGAN y R. H. HAAS (1990). Monitoring fire fuels condition by using time series composites of Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data. (P. Resource, Ed.) Washington DC: 68-82.
- FRASER, R. H., LI, Z. y LANDRY, R. (2000). SPOT-VEGETATION for characterizing boreal forest fires. *International Journal Remote Sensing* 21: 3525-3532.
- HUETE, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25: 295-309.
- HUNT, E. R. y B. N. ROCK (1989). Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment* 30: 43-54.
- HUNT, E. R., B. N. ROCK y P. S. NOBEL (1987). Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment* 22: 429-435.
- JACKSON, R. D. y C. E. EZRA (1985). Spectral response of cotton to suddenly induced water stress. *International Journal Remote Sensing* 6: 177-185.
- KNIPLING, E. B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1: 155-159.
- LÓPEZ, S., GONZÁLEZ, F., LLOP, R. y CUEVAS, M. (1991): An evaluation of the utility of NOAA-AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1841-1851.
- PALTRIDGE, G. W. y J. BARBER (1988). Monitoring grassland dryness and fire potential in Australia with NOAA/AVHRR data. *Remote Sensing of Environment* 25: 381-394.
- PINTY, B. y M. M. VERSTRAETE (1992). GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio* 101: 15-20.
- Riaño, D., P. Vaughan y E. Chuvieco (2000). Bases para estimar el contenido de humedad en plantas mediterráneas a partir de teledetección. *Mediterránea* 17: 27-33.
- RIPPLE, W. J. (1986). Spectral reflectance relationships to leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52: 1669-1675.
- ROUSE, J. W., R. W. HAAS, J. A. SCHELL, D. H. DEERING y J. C. HARLAN (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Greenbelt, MD, USA, NASA/GSFCT.
- THOMAS, J. R., L. N. NAMKEN, G. F. OERTHER y R. G. BROWN (1971). Estimating leaf water content by reflectance measurements. *Agronomy Journal* 63: 845-847.
- VIEGAS, D. X., T. P. VIEGAS y A. D. FERREIRA (1990). Characteristics of some forest fuels and their relation to the occurrence of fires. *International Conference of Forest Fire Research*. Coimbra: B.03: 1-13.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos europeos Control-Fire-Sat (ENV4-CT97-0479) e Inflamm (ENV4-CT98-0700), financiados por el programa de Medioambiente y Clima de la Comisión Europea (DG-XII). También se ha obtenido financiamiento parcial de la CICYT (AGF96-2094-CE). Deseamos también expresar nuestro agradecimiento a las autoridades del Parque Nacional de Cabañeros por las facilidades otorgadas en la realización de nuestros ensayos de campo, así como a todas las personas que han contribuido a la campaña de medición en terreno.