

SENSIBILIDAD DE DISTINTOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE

David. Cocero, David Riaño, Patrick Vaughan, Jesús
Martínez y Emilio Chuvieco

ggdcm@geogra.alcala.es

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

RESUMEN

Se presentan en este trabajo las relaciones observadas entre la humedad de las hojas de varias especies vegetales de ámbito mediterráneo, medida sobre el terreno e imágenes de satélite (NOAA-AVHRR y Landsat-TM). Se observa que los índices basados en el infrarrojo medio y la temperatura de superficie (NDII₅, NDII₇ y NDVI/TS), permiten realizar una buena estimación del contenido de humedad de algunas especies mediterráneas.

Palabras clave: Teledetección, índices de vegetación, humedad.

INTRODUCCIÓN

La estimación diaria del contenido de humedad de la vegetación requiere un costoso muestreo espacial, siendo las medidas de terreno difícilmente generalizables. En este contexto, las imágenes de satélite pueden ser de gran utilidad para efectuar un seguimiento del contenido de humedad de la vegetación, ya que proporcionan, una adecuada frecuencia temporal y espacial del estado del combustible. El principal escollo en su aplicación se relaciona con la débil contribución del contenido de agua a la reflectividad o temperatura global de la planta, por lo que es preciso buscar índices que enfatizen la sensibilidad de la señal a este factor, relegando a un segundo plano otros, como el área foliar, los ángulos de observación o la forma de las hojas.

OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es presentar los primeros resultados de una estimación integrada del contenido de humedad de la vegetación, a partir de la información captada por teledetección. Nuestra hipótesis de partida es que el contenido de humedad de algunas especies vegetales puede ser estimado a partir de los datos espectrales

captados por los sensores de teledetección. Para comprobar estas hipótesis procedimos a organizar un esquema de muestreo de la humedad de la vegetación para correlacionarlo con las imágenes de satélite.

METODOLOGÍA

El área elegida para abordar este estudio es el Parque Nacional de Cabañeros. El período de trabajo abarca desde abril a septiembre de los años 1996 y 1997, 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.

Se consideraron como tipos de combustible de interés el pasto, el matorral y el arbolado eligiéndose un total de cinco parcelas de muestra para el año 1996 y de seis parcelas para el año 1997, con los siguientes tipos de combustible: pasto, jara (*Cistus ladanifer*), brezo (*Erica australis*), romero (*Rosmarinus officinalis*), y quejigo (*Quercus faginea*), esta última especie sólo en 1997. 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 tenían un peso entre 100 y 200 gramos, y eran pesadas en el momento de su recogida en una balanza (con una pesada máxima de 250 gramos y un error de 0,1 gramos). Posteriormente se trasladaban al laboratorio, donde se secaban en una estufa durante cuarenta y ocho horas a una temperatura de 60°C. Tras esta operación, las muestras se pesaban de nuevo, para obtener el contenido de humedad del combustible (que aquí denominamos FMC, *Fuel Moisture Content*), como la proporción del peso húmedo sobre el seco de la muestra:

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

donde P_h es el peso en gramos de las hojas verdes, y P_s el peso en seco. El resultado se expresa en porcentaje.

El sensor NOAA-AVHRR proporciona un recubrimiento completo del planeta cada 12 horas. Su resolución espacial es de 1,1 x 1,1 km, en el nadir. Para este trabajo empleamos las imágenes de los días correspondientes a los días de muestreo, utilizándose los dos primeros canales del satélite: rojo (R), e infrarrojo cercano (IRC), base de buena parte de los

índices de vegetación actualmente disponibles, y los dos canales en el infrarrojo térmico (IRT) para estimar la temperatura de superficie (Vidal, 1991; Kerr et al., 1992).

Las variables derivadas de las imágenes del satélite NOAA-AVHRR que se utilizaron en este proyecto fueron las siguientes: Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974); Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) (Huete, 1988); Índice de vegetación global (GEMI) (Pinty y Verstraete, 1992); Temperatura de superficie (TS); Diferencia entre la Temperatura de Superficie y la Temperatura del Aire (TS-TA); y Cociente entre el NDVI y la TS (NDVI/TS).

Además de las imágenes AVHRR, en este trabajo también se emplearon una serie de tres adquiridas por el Landsat-TM, que cuenta con peor resolución temporal y mayor coste, pero ofrece mejor detalle espacial, lo que permite situar con más detalle las parcelas de muestra. Además, el TM incluye dos bandas altamente sensibles al contenido de humedad (Knipling, 1970), situadas en el infrarrojo medio corto (Short-Wave Infrared, SWIR). Para este trabajo, se adquirieron tres imágenes TM correspondientes a fechas en las que teníamos disponibles mediciones sobre el terreno: 16 de abril, 21 de julio y 23 de septiembre, todas ellas de 1997. Además de calcularse los índices expuestos para el caso de las imágenes NOAA-AVHRR se obtuvieron el NDII₅ y el NDII₇, similares al NDVI aunque en vez de utilizar la banda 4 del sensor, correspondiente al IRC, usan las bandas 5 y 7, respectivamente (ambas en el SWIR). También se calculó el cociente entre el NDII₅ y la TS.

A la hora de realizar estimaciones de la relación existente entre las imágenes y el contenido de humedad con sólo tres fechas, sólo pudieron establecerse funciones numéricas para el caso del pasto, ya que se contaba con tres parcelas por periodo (en total 9 valores) y para el caso de la jara y el brezo, ya que contábamos con dos parcelas por periodo (en total 6 valores en ambos casos). Mientras que para el caso del quejigo y del romero no se realizó ninguna estimación ya que sólo se disponía de 3 observaciones.

RESULTADOS

Relación entre FMC e imágenes de satélite

Las tablas 1 y 2 muestran las correlaciones de Pearson de las imágenes NOAA-AVHRR con el FMC observándose las siguientes tendencias:

- La TS presenta correlaciones negativas con todas las especies, obteniéndose las correlaciones más altas en el caso del pasto. Este hecho es lógico si tenemos en cuenta que cuanto más alta sea la temperatura mayor será la evapotranspiración y menor la humedad. Tendencias similares hemos encontrado con la variable TS-TA.

	TS	NDVI	TS-TA	SAVI	GEMI	NDVI/TS
Pasto (1)	-0.77	0.91	-0.71	0.93	0.90	0.96
Pasto (2)	-0.73	0.76	-0.66	0.88	0.86	0.95
Pasto (3)	-0.79	0.57	-0.70	0.62	0.50	0.93
Jara (4)	-0.73	0.45	-0.67	-0.03	-0.36	0.76
Romero (4)	-0.74	0.35	-0.70	-0.04	-0.33	0.74
Brezo (5)	-0.22	0.11	-0.18	-0.17	-0.16	0.22
Jara (5)	-0.79	-0.03	-0.80	-0.63	-0.69	0.61

Tabla 1.- Correlación de Pearson entre el FMC y los derivados de las imágenes de satélite NOAA-AVHRR (1996) ($p < 0,01$, en negrilla).

	TS	NDVI	TS-TA	SAVI	GEMI	NDVI/TS
Pasto (1)	-0.79	0.69	-0.74	0.74	0.76	0.89
Pasto (2)	-0.76	0.54	-0.58	0.67	0.68	0.75
Pasto (3)	-0.79	0.40	-0.68	0.52	0.49	0.74
Jara (4)	-0.61	0.46	-0.59	0.63	0.44	0.63
Brezo (4)	-0.58	0.32	-0.59	0.70	0.58	0.65
Romero (5)	-0.46	0.37	-0.41	0.48	0.32	0.52
Jara (5)	-0.59	0.17	-0.68	0.50	0.30	0.58
Brezo (5)	-0.40	0.22	-0.58	0.26	0.01	0.47
Quejigo (6)	-0.61	0.36	-0.58	0.22	-0.03	0.61

Tabla 2.- Correlación de Pearson entre el FMC y los derivados de las imágenes de satélite NOAA-AVHRR (1997) ($p < 0,01$, en negrilla).

- El cociente NDVI/TS presenta las mejores correlaciones con la FMC de todas las variables de satélite. Estas correlaciones son significativas para el pasto (siendo las más altas), la jara, el quejigo y el brezo. En el caso del pasto (figura 1) se representan las líneas de regresión de cada una de las parcelas, observándose unas tendencias similares, con lo que se demuestra que puede realizarse una correlación entre el FMC y NDVI/TS, independientemente de la parcela y del año. Esta misma prueba se podría realizar con el resto de índices, pero se escoge éste porque es el que, como se ha mencionado antes, ofrece las mejores correlaciones.

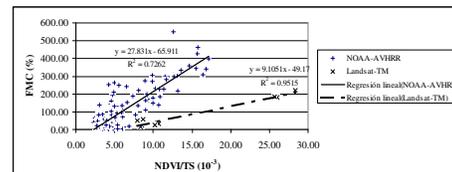


Figura 1.- Líneas de regresión entre NDVI/TS y FMC para las imágenes NOAA-AVHRR por parcelas de pasto y por año

- De todos los índices de vegetación, el SAVI y el GEMI presentan mejores correlaciones que

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

	NDVI	NDII ₅	NDII ₇	SAVI	GEMI	TS	TS-TA	NDVI/TS	NDII ₅ /TS	NDII ₇ /TS
Pasto (1.2 v 3)	0.97	0.97	0.95	0.95	0.84	-0.80	-0.78	0.98	0.95	0.95
Jara (4 v 5)	0.72	0.89	0.90	0.61	0.33	-0.33	-0.27	0.69	0.91	0.88
Brezol (4 v 5)	0.67	0.94	0.94	0.75	0.56	-0.53	-0.48	0.83	0.93	0.69

Tabla 3.- Correlación de Pearson entre el FMC y los derivados de las imágenes de satélite Landsat-TM (1997) ($p < 0.05$, en negrilla).

Las tendencias que hemos encontrado para las imágenes TM (tabla 3) son similares a las que presentan las imágenes NOAA-AVHRR, aunque con la peculiaridad de que los canales del IRM mejoran mucho las relaciones con el FMC:

- Las correlaciones con la TS y la TS-TA sólo son significativas para el caso del pasto.

- Las correlaciones con el NDVI, el SAVI y el GEMI también son sólo significativas para el caso del pasto, aunque son mucho más altas que en el caso de la TS y de la TS-TA.

- El NDII₅, el NDII₇ y el NDII₅/TS ofrecen las mejores correlaciones.

Relación entre los resultados de TM y NOAA-AVHRR

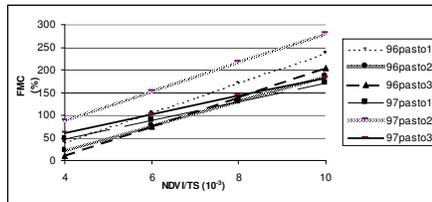


Figura 2.- Líneas de regresión entre NDVI/TS y FMC para las imágenes NOAA-AVHRR (parcelas de pasto. Años 1996 y 1997) y Landsat-TM (pasto. Año 1997)

Se compara la relación entre el FMC y el NDVI/TS de los dos satélites (figura 2). El NDVI/TS no presenta los mejores resultados en el caso de TM, pero es de entre los mejores el único comparable con las imágenes NOAA-AVHRR. El número de observaciones de TM es bajo, además sólo se dispone de datos de FMC en torno a 25 % y a 200 %. Pese a esto se puede observar que las tendencias son significativamente diferentes entre ambos satélites. En principio TM permite discriminar mejor entre distintos valores de NDVI/TS, al presentar una pendiente más baja. Una pequeña variación en NDVI/TS no va a suponer un gran salto en el FMC.

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:

- Las tendencias esperadas entre el FMC y las imágenes se confirman en prácticamente todos los casos, siendo negativas para la TS y la TS-TA, y positivas con los índices de vegetación.

- Parece claro que la evolución multitemporal de la humedad del pasto puede ser correctamente estimada con satélite. El pasto es la única cobertura anual de las analizadas, por lo que es la más afectada por los cambios estacionales. En segundo lugar, presenta el más alto porcentaje de materia verde, y la cobertura más homogénea de todas las analizadas.

- Los canales situados en el SWIR del sensor TM presentan una mayor sensibilidad a las variaciones de humedad de la vegetación que el canal situado en el IRC, aspecto corroborado tanto con radiometría de campo como con las imágenes TM.

- Al hallar el cociente entre el NDVI, el NDII₅ y el NDII₇ con la TS solo se mejoran los resultados para el caso del NDVI. Este hecho puede ser debido a que el IRC utilizado para calcular el NDVI se encuentra influenciado por la morfología de los diferentes tipos de plantas, aspecto que puede ser tenido en cuenta al utilizar la TS. Sin embargo, los canales situados en el SWIR no se encuentran tan influenciados por este factor, con lo que la incorporación de la TS sólo añade ruido a la hora de estimar la humedad de la vegetación.

- Los índices derivados de las imágenes de satélite que estimarían mejor la humedad de la vegetación serían el NDII₅ y el NDII₇, seguidos por el cociente entre el NDVI y la TS.

BIBLIOGRAFÍA

Albini, F. A. (1985). A Model for Fire Spread in Wildland Fuels by Radiation. *Combust. Set and Tech* 42: 229-259.

Andrews, P. L. y C. H. Chase (1990). The BEHAVE Fire Behavior Prediction System. *The Compiler* 8(4): 4-9.

Hartford, R. A. y R. C. Rothermel (1991). Fuel Moisture as Measured and Predicted During the

1988 Fires in Yellowstone Park. Missoula, MT, USDA, Forest Service.

Salas, P. Vaughan e I. Aguado que han contribuido a la campaña de mediciones en terreno.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25: 295-309.

Kerr, Y. H., J. P. Lagouarde y J. Imbernon (1992). Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved Split Window algorithm. *Remote Sensing of Environment* 41: 197-209.

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.

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.

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/GSFC.

Tucker, C. J. y P. J. Sellers (1986). Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* 7: 1395-1416.

Vélez, R. (1985). Aplicación de la predicción del peligro para la prevención de los incendios forestales. *Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de los incendios forestales*. Madrid, ICONA: 15-19.

Vidal, A. (1991). Atmospheric and emissivity correction of land surface temperature measured from satellite using ground measurements or satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 12: 2449-2460.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto europeo Megafires (**ENV4-CT96-0256**), financiado 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 P.N. de Cabañeros, así como a M. Gómez, P. Martín, J.