

RELACION ENTRE LA RESPUESTA ESPECTRAL CAPTADA POR EL SENSOR AVHRR DE LOS SATELITES NOAA EN UN AREA DE PINAR DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS

J. M. CUEVAS¹, F. GONZÁLEZ ALONSO¹ y M. HERRÓN¹

RESUMEN

Se ha estudiado la relación estadística entre la respuesta espectral captada por el sensor AVHRR de los satélites NOAA en un punto del Parque Nacional de Doñana cubierto por pinar y los datos meteorológicos. Como variable espectral se calculó el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI). Los resultados obtenidos muestran que la relación entre el NDVI y los datos meteorológicos es bastante alta, especialmente en el caso de la temperatura media de los días anteriores a la obtención de la imagen.

INTRODUCCION

Los satélites NOAA

Los satélites norteamericanos de la serie NOAA (inicialmente denominados TIROS-N en su forma de prototipo) se encuentran en órbita desde octubre de 1978. La configuración completa del sistema NOAA consiste en dos satélites con órbita casi polar y que son complementarias, uno de ellos cruza el Ecuador a 07.30 y 19.30 horas, y el otro a las 02.30 y 14.30 horas. Los satélites de número par cubren la órbita de la mañana y los de número impar cubren la órbita de la tarde. Actualmente están en operación los satélites NOAA-10 y NOAA-11.

Por sus características orbitales, y puesto que existen dos satélites en operación, se cubre cualquier punto del Ecuador dos veces durante el día y dos veces durante la noche. En latitudes medias, como las de España, este grado de cobertura es, aproximadamente, el doble.

Los satélites de la serie NOAA se diseñaron originalmente para aplicaciones meteorológicas, teniendo como principales instrumentos a bordo el TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) y el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). El sensor AVHRR posee un canal en la porción visible del espectro, uno en el infrarrojo próximo y tres en el infrarrojo térmico, cuyas principales características aparecen en la Tabla I.

El modo más habitual de recibir los datos captados por los satélites NOAA es mediante percepción directa en las estaciones de tierra de las imágenes digitales en resolución completa, en formato HRPT (High Resolution Picture Transmission).

Los índices de vegetación

Se han desarrollado diversas técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por los satélites. Con el fin de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multispectrales a una sola dimensión, se han definido los denominados índices de vegetación, que utilizan la información obtenida en las regiones roja e infrarroja cercana del espectro para deducir características propias de la vegetación, tales como el tipo de cubierta, superficie foliar, *stress* y fitomasas (PERRY y LAUTENSCHLAGER, 1984).

¹ Sección de Teledetección Agraria. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Apdo. 8111. 28080 Madrid.

Según indica HAYES (1985), hay varias combinaciones de la reflectancia en el rojo y en el infrarrojo cercano que son valiosas para proporcionar informaciones útiles sobre las propiedades bióticas de los vegetales. En este sentido se ha utilizado el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (TUCKER, 1979). El NDVI se define como la diferencia de la radiación superficial y la radiación infrarroja reflejada por una superficie, normalizada con respecto a la suma de ambas. En el caso del sensor AVHRR tiene como expresión:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda 2} - \text{Banda 1}) / (\text{Banda 2} + \text{Banda 1})$$

La banda 2 del sensor AVHRR corresponde al infrarrojo cercano y la banda 1 al rojo. El rango de variación del NDVI está comprendido entre -1 y $+1$. En términos generales, el agua, la nieve y las nubes presentan valores del NDVI negativos, pues reflejan más radiación roja que infrarroja. Las rocas y el suelo desnudo tienen valores del NDVI próximos a cero, dado que tienen reflectancias similares en ambas longitudes de onda. Solamente la vegetación presenta valores del NDVI positivos, siendo valores mayores cuanto mayor es la actividad vegetativa de las cubiertas vegetales.

El NDVI es el más conocido y utilizado índice de vegetación, con numerosas referencias (HAYES, 1985; TWONSHEND y JUSTICE, 1986; TUCKER y SELLERS, 1986, etcétera).

JUSTICE *et al.* (1986) han estudiado la fenología de las formaciones de acacia en el Este de Africa con

datos NOAA-AVHRR, analizando la relación entre el NDVI y la precipitación. HENRICKSEN y DURKIN (1986) estudiaron los períodos de actividad vegetativa en 28 lugares de Etiopía usando datos NOAA-AVHRR, y encontraron una correlación muy alta entre los cambios del NDVI y un índice de humedad del suelo.

MATERIAL Y METODOS

El área en estudio

El área en estudio pertenece a la provincia de Huelva, y está situada dentro del Parque Nacional de Doñana. El clima de la zona es de tipo mediterráneo, calificado como seco-subhúmedo, con exceso de agua en invierno.

Se eligió para realizar este estudio un punto dentro de las masas de pino piñonero (*Pinus pinea* L.). El interés de esta elección radica en que por su pertenencia al Parque Nacional no se realizan intervenciones selvícolas que modifiquen sustancialmente las características de la masa forestal y, por tanto, su respuesta espectral.

Imágenes e información espectral utilizada

Se han utilizado imágenes captadas por el sensor AVHRR de los satélites NOAA, correspondiente a los años 1987, 1988 y 1989. Se disponía de 44 imágenes en total, 11 de 1987, 12 de 1988 y 21

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR AVHRR

Características del sensor:

Campo de visión total: 110,8 grados.
IFOV: 1,4 mrad.
Píxeles por línea de barrido: 2.048.
Resolución radiométrica: 10 bits (1.024 niveles).
Resolución espacial en el nadir: 1,1 km.

Características espectrales, en micrómetros:

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5
TIROS-N	0,55-0,90	0,72-1,10	3,55-3,93	10,5-11,5	—
NOAA-6, 8, 10	0,58-0,68	0,72-1,10	3,55-3,93	10,5-11,5	—
NOAA-7, 9	0,58-0,68	0,72-1,10	3,55-3,93	10,3-11,3	11,5-12,5

de 1989, de las que no fueron utilizadas una de 1987 y otra de 1988 por aparecer el área en estudio cubierta por nubes. En la Tabla II figuran las fechas de las imágenes utilizadas. En cada una de las imágenes utilizadas se obtuvo el NDVI del píxel cubriendo el punto de pinar elegido.

Aun cuando, como ya se ha dicho, el rango del NDVI es $-1, +1$, se han utilizado los valores del NDVI codificados en ocho bits, por lo que el rango en que se ha operado ha sido 0-255.

Datos meteorológicos utilizados

Los datos meteorológicos utilizados pertenecen a la estación de Sevilla-Aeropuerto. Esta estación está algo alejada del área en estudio (aproximadamente, 50 km), pero fue elegida puesto que de otras estaciones más cercanas no estaban disponibles todos los datos meteorológicos necesarios.

Los datos meteorológicos utilizados han sido los siguientes: temperatura media del día en que fue captada la imagen, temperatura máxima del día en que fue captada la imagen, temperatura media de los cinco días anteriores al que fue captada la imagen, temperatura media de los seis días anteriores

al que fue captada la imagen, temperatura media de los cuatro días anteriores al que fue captada la imagen, temperatura media de los cinco días anteriores al que fue captada la imagen y del día en que fue captada la imagen y humedad relativa del día en que fue captada la imagen.

Se obtuvo el coeficiente de correlación entre el NDVI y los datos meteorológicos citados y se procedió a realizar ajustes por regresión lineal entre el NDVI como variable dependiente y cada dato meteorológico citado como variable independiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla III aparecen los coeficientes de correlación entre el NDVI y los datos meteorológicos utilizados. En la Tabla IV figuran los coeficientes de determinación de los ajustes realizados por regresión lineal entre el NDVI y los datos meteorológicos utilizados.

Se puede observar que los coeficientes de correlación obtenidos entre el NDVI y los datos meteorológicos son relativamente altos y negativos en el año 1989, que es el año del que se disponía de más imágenes, excepto en el caso de la humedad relativa del día. El máximo coeficiente de correla-

TABLA II
FECHAS DE LAS IMAGENES NOAA - AVHRR UTILIZADAS

1987	1988	1989
7 de mayo	30 de enero	1 de enero
23 de junio	19 de febrero	8 de enero
2 de julio	18 de marzo	21 de enero
12 de julio	1 de abril	18 de febrero
20 de julio	29 de mayo	12 de marzo
17 de agosto	10 de agosto	22 de marzo
6 de septiembre	26 de agosto	5 de junio
12 de octubre	5 de septiembre	17 de junio
18 de noviembre	21 de octubre	26 de junio
23 de diciembre	10 de diciembre	7 de julio
	19 de diciembre	15 de julio
		25 de julio
		6 de agosto
		15 de agosto
		1 de septiembre
		11 de septiembre
		20 de septiembre
		2 de octubre
		9 de octubre
		21 de octubre
		30 de octubre

ción obtenido (-0,5910) ha sido entre el NDVI y la temperatura media de los cinco días anteriores al de captación de la imagen, en el año 1989.

El que los coeficientes de correlación sean negativos es lógico, y muestra cómo según aumenta la temperatura y en medios con suelos arenosos, como es el caso del Parque Nacional de Doñana, la actividad vegetativa, medida a través del NDVI, es menor. El que el mayor coeficiente de correlación se haya obtenido entre el NDVI y la temperatura media de los cinco días anteriores muestra la importancia de las temperaturas los días previos a la obtención de la imagen. Ello indujo a probar con la temperatura media de los seis y los cuatro días anteriores, pero los coeficientes de correlación obtenidos fueron inferiores.

La ecuación obtenida por regresión lineal entre el NDVI y la temperatura media de los cinco días anteriores al de captación de la imagen (TMED5) en el año 1989 fue:

$$NDVI = 152,18 - 0,6541 TMED5 \quad R^2 = 0,34$$

En la Figura 1 aparece representada la evolución temporal en el año 1989 del NDVI y de la temperatura media de los cinco días anteriores a la obtención de la imagen.

Los coeficientes de correlación serían presumiblemente mayores, si en lugar de utilizar exclusivamente temperaturas se hubieran utilizado, como han demostrado HENRICKSEN *et al.* (1986), un índice de sequía del suelo. También serían probablemente mayores si las temperaturas utilizadas pertenecieran a una estación más próxima y si se hubiera aplicado a los datos NOAA-AVHRR las correcciones radiométricas adecuadas.

CONCLUSIONES

El Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), calculado en base a la información espectral captada por el sensor AVHRR de los satélites NOAA en un área cubierta por pinar del Parque Nacional de Doñana presenta una correlación negativa, y bastante alta, con las temperaturas ambientales.

Esta correlación es mayor con la temperatura media de los cinco días anteriores a la fecha de captación de la imagen.

TABLA III
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE EL NDVI Y LOS DATOS METEOROLOGICOS

	1987	1988	1989
Temperatura media día	-0,3389	-0,0366	-0,4657
Temperatura máxima día	-0,2077	0,0133	-0,4257
Temperatura media 5 días anteriores	-0,4569	0,1439	-0,5910
Temperatura media 6 días anteriores	-0,4463	0,1515	-0,5628
Temperatura media 4 días anteriores	-0,4438	0,1521	-0,5646
Temperatura media 6 días	-0,4369	0,1397	-0,5772
Humedad relativa día	0,1060	0,0296	-0,1014

TABLA IV
COEFICIENTES DE DETERMINACION DE LOS AJUSTES OBTENIDOS POR REGRESION LINEAL ENTRE EL NDVI Y LOS DATOS METEOROLOGICOS

	1987	1988	1989
Temperatura media día	0,1149	0,0013	0,2169
Temperatura máxima día	0,0431	0,0002	0,1812
Temperatura media 5 días anteriores	0,2088	0,0207	0,3493
Temperatura media 6 días anteriores	0,1992	0,0229	0,3167
Temperatura media 4 días anteriores	0,1970	0,0231	0,3187
Temperatura media 6 días	0,1371	0,0195	0,3333
Humedad relativa día	0,0113	0,0009	0,0103

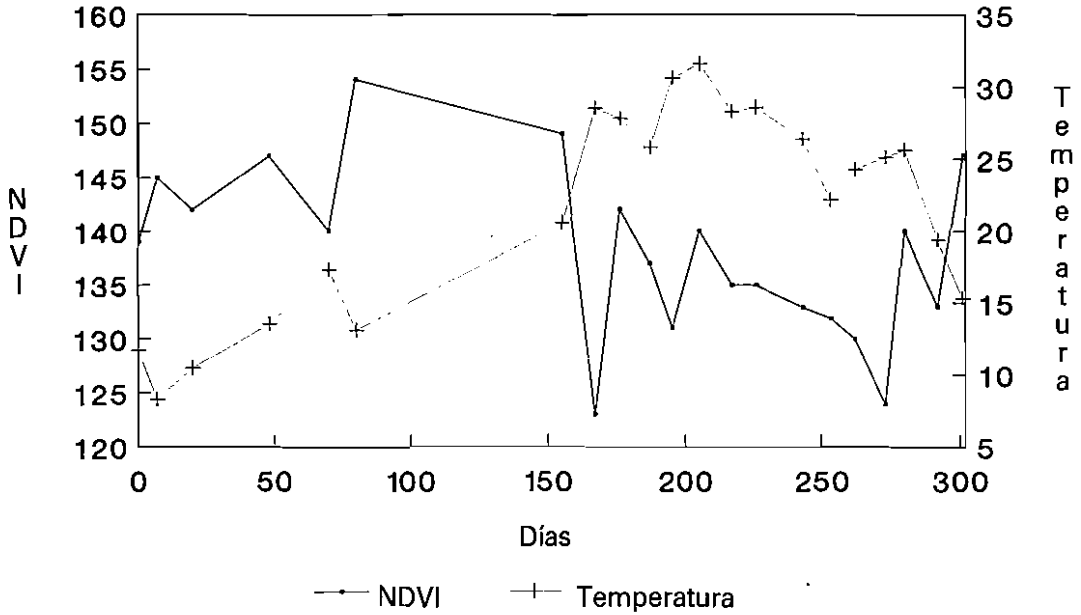


Fig. 1. Evolución temporal en el año 1989 del NDVI y la temperatura media de los cinco días anteriores a la imagen.

SUMMARY

The statistical relation among the spectral response obtained by the sensor AVHRR of the NOAA satellites in a point of the National Park of Doñana covered by forests of *Pinus Pineae* L. and the meteorological conditions has been studied. As spectral variable it was used the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The obtained results show that there is a strong relation between the NDVI and the meteorological conditions, specially with the mean temperature of the previous days to the image obtention.

BIBLIOGRAFIA

- HAYES, L., 1985: «The use of TIROS-N series of meteorological satellites for land cover studies». *International Journal of Remote Sensing*, 6, 35-45.
- HENRICKSEN, B. L., y DURKIN, J. W., 1986: «Growing period and drought early warning in Africa using satellite data». *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1583-1608.
- JUSTICE, C. O.; HOLBEN, B. N., y GWYNNE, M. D., 1986: «Monitoring East Africa vegetation using AVHRR data». *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1453-1474.
- PERRY, C. R., y LAUTENSCHLAGER, L. C., 1984: «Functional equivalence of spectral vegetation indices». *Remote Sensing of Environment*, 24: 169-182.
- TUCKER, C. J., 1979: «Red and Photographic linear combinations for monitoring vegetation». *Remote Sensing of Environment*, 7: 127-150.
- TUCKER, C. J., y SELLERS, P. J., 1986: «Satellite remote sensing of primary production». *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1395-1416.
- TWONSHEND, J. R. G., y JUSTICE, C. O., 1986: «Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index». *International Journal of Remote Sensing*, 7: 127-150.