

## **SEPARABILIDAD Y EVOLUCIÓN MULTITEMPORAL DE LA RESPUESTA ESPECTRAL E INDICES DE VEGETACIÓN EN MASAS FORESTALES MEDITERRÁNEAS**

Ana Isabel González, Alfonso Calera y Antonio Quintanilla

calera@pol-ab.uclm.es

Instituto de Desarrollo Regional. Sección de Teledetección y SIG.

### **RESUMEN**

Se hace una selección de masas forestales en la zona oriental de Castilla La Mancha con el fin de hacer un análisis de separabilidad espectral y de caracterizar espectralmente en diferentes fechas las formaciones vegetales más representativas. Se pretende detectar si existen diferencias en la respuesta espectral así como en la dinámica de las mismas.

En principio se partió de cinco categorías: pino carrasco, pino piñonero, sabina, encina y sabina-encina, pero los resultados indican que no es posible la discriminación entre todas ellas. Además, el suelo desnudo tiene gran influencia en los resultados.

La evolución de las firmas espectrales y de los índices de vegetación es la misma en todas las masas forestales, lo que indica que las especies forestales estudiadas responden espectralmente de la misma manera a las variaciones climáticas estacionales que caracterizan la zona de estudio.

### **INTRODUCCION**

El estudio multitemporal de la vegetación a partir de imágenes de satélite se ha desarrollado por numerosos autores con el fin de detectar daños o enfermedades en la vegetación (Navarro et al., 1997; Lambert et al., 1993), o con el objeto de determinar la superficie afectada por incendios forestales aprovechando las marcadas diferencias espectrales que se registran en la reflectancia de la vegetación antes y después del incendio (Martin et al., 1997; Navarro, 1991).

Los trabajos desarrollados sobre la evolución de la respuesta espectral de formaciones vegetales mediterráneas, además del evidente interés cartográfico, tienen un interés biológico de primer orden debido al mal conocimiento que se tiene de la dinámica fenológica de las especies mediterráneas (Pons y Roure, 1991).

El objeto del presente estudio es obtener la caracterización espectral de tres formaciones forestales mediterráneas en distintas épocas del año. Los datos obtenidos permiten deducir si hay diferencias en la dinámica de la respuesta espectral entre las distintas especies a lo largo del año.

Asimismo, se pretende deducir si es posible realizar una clasificación en la superficie

forestal de la zona oriental de Castilla La Mancha, de forma que pudiésemos obtener una imagen con varias categorías, cada una de las cuales representase una especie forestal distinta, esto es, pinar de carrasco, pinar de piñonero, sabinar, encinar y sabinar-encinar. Para ello se estudia la posible discriminación entre todas estas especies.

### **AREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio está situada en la parte oriental de Castilla La Mancha, dentro de la comarca de La Mancha. El perímetro del área de estudio está comprendido entre los 39°39' y los 38°50' de latitud Norte y los 2°45' y 1°52' de longitud Oeste, ocupando una superficie total de unos 7000 km<sup>2</sup>.

La Mancha es una llanura cuya altitud media oscila entre los 600 y 700 m. El uso del suelo corresponde sobre todo a los cultivos agrícolas, destacando el viñedo y los cereales de invierno. La temperatura media anual está comprendida entre los 12 y 15°C, y la precipitación media anual oscila entre los 570 mm en la zona norte y los 380 en la zona sur. Los valores de ETP son de 750 a 825 mm anuales. Casi la mitad de los suelos pertenecen al orden Calcisoles, mientras que el resto son Leptosoles y Luvisoles (Sánchez et al., 1994). Las formaciones vegetales que aparecen son encinares, mezclas de sabina y encina, pinares de pino carrasco y pinares de pino piñonero.

### **METODOLOGÍA**

Selección de masas forestales

Para la selección de las masas forestales se recopiló la información cartográfica forestal disponible de la zona, reuniendo el Mapa Forestal de España a E 1:50.000 en formato digital, el Proyecto Hábitat, a E 1:50.000 sobre mapas del S.G.E., el Proyecto EFEDA II, y diversos trabajos realizados con anterioridad sobre estas masas forestales. Se consideraron aquellas masas que eran representativas del área de estudio. Así, se seleccionaron un total de 19 masas forestales: 4 masas de pino carrasco (*Pinus halepensis*) con una superficie total de 49.93 ha, 5 masas de pino piñonero (*Pinus pinea*) con 149.87 ha de superficie, 3 masas de sabina (*Juniperus thurifera*) con 33.93 ha, 5 masas de encina (*Quercus ilex*) que ocupan un

total de 182.56 ha, y 3 masas de sabina y encina mezcladas con extensión total de 39 ha.

#### Procesado de la imagen

Para el estudio de la separabilidad espectral se utilizó una imagen Landsat-TM del 6 de junio de 1994, mientras que para el análisis de la evolución multitemporal se emplearon imágenes con fechas del 9 de abril, 27 de mayo, 12 de junio, 14 de julio y 18 de octubre de 1991. El procesado e las imágenes se inició con la corrección geométrica mediante el método de puntos de control y la corrección atmosférica mediante el proceso de normalización. Posteriormente se procedió a la conversión de los niveles digitales (ND) a reflectividad. A continuación, para facilitar la obtención de información, se procedió a digitalizar todas las masas forestales de una misma especie en una nueva imagen obteniéndose así un total de cinco máscaras. Cada una de ellas contenía las masas correspondientes a cada una de las categorías o clases que se pretendía discriminar. Más tarde se rasterizaron estas imágenes, de modo que se pudieran realizar operaciones entre estas máscaras y el resto de las bandas de la imagen empleada.

#### Separabilidad espectral

En este trabajo se ha empleado el método gráfico de dispersión espectral. Este método consiste en calcular el nivel digital medio y la desviación estándar para cada categoría.

Una comparación fiable entre las formaciones vegetales de cada especie debería hacerse considerando masas de cobertura completa. Esto resulta muy difícil en nuestros ambientes mediterráneos semiáridos, por lo tanto, para tener en cuenta el papel del suelo se calculó la fracción de cabida cubierta media ponderada para cada categoría:

$$F_{cc} = \frac{\sum F_{cc_i} \times S_i}{\sum S_i}$$

De este modo se obtuvo una fracción de cabida cubierta media para cada especie (pino carrasco, 73.95%; pino piñonero, 75.11%; sabina, 22.85%, encina, 63.04%; sabina encina, 65.67%), elemento que también deberíamos tener en cuenta al buscar la posible separabilidad espectral entre especies, tanto en el diagrama de firmas como en el gráfico de dispersión espectral.

Para la obtención de los valores de reflectividad, se cruzó cada una de las máscaras con todas las bandas de la imagen. Posteriormente se calcularon los histogramas de cada imagen para

cada banda y así se obtuvieron los valores de los ND medios y de la desviación estándar (D.E.).

#### Evolución multitemporal de la respuesta espectral

Para la obtención de las firmas espectrales de cada una de las formaciones, se realizaron operaciones de cruzado del fichero raster de las masas digitalizadas, con cada una de las bandas y en cada una de las fechas de todas las imágenes.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se representan los gráficos de dispersión de las bandas TM4 y TM5 respectivamente (x representa el valor del ND medio y D.E. la desviación estándar). Esta última banda es la que presenta las mayores distancias entre las clases. En el resto de las bandas el comportamiento de las distintas categorías presenta la misma estructura.

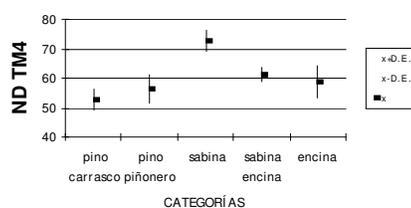
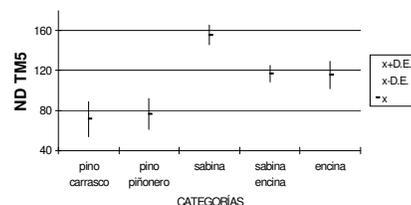


Figura 1. Gráfico de dispersión espectral de la banda TM4.

Figura 2. Gráfico de dispersión espectral de las



categorías forestales en la banda TM5.

La clase pinar de carrasco y pinar de piñonero aparecen solapadas en todas las bandas y con sus medias muy cercanas (en general con una diferencia de alrededor de 3 ND en todas las bandas) por lo que entre estos dos pinos no parece posible una discriminación.

Lo mismo ocurre con las clases sabinar-encinar y encinar, la distancia entre sus medias es muy pequeña, por lo que sería imposible

discriminar entre las clases sabinar-encinar y encinar.

El sabinar es la única clase que presenta el rango de ND separado del resto. El intervalo de valores digitales posibles es el más alto de todas las categorías en todas las bandas y por lo tanto, prácticamente no muestra confusión con ninguna de ellas. Sin embargo, la explicación a este hecho hay que buscarla en el alto porcentaje de suelo descubierto que presentan estas formaciones de sabina, un 77.15%.

Como consecuencia de todo lo anterior parece que las cinco clases forestales de las que en principio partíamos, se deberían reducir a dos: pinar (pino carrasco y pino piñonero) y encinar (sabina-encina y encina). Para discriminar entre estas dos posibles clases, las bandas TM1, TM2, TM3 y TM4 no parecen válidas ya que los solapes entre las dos clases son muy acentuados. En las bandas TM5 y TM7 no aparecen solapes entre las clases pinar y encinar.

Las diferencias espectrales en todas las bandas parecen deberse en mayor medida a la mayor o menor presencia de suelo y a las características de éste, que a la propia especie principal. En todas las bandas el comportamiento de las distintas categorías es similar y éste se puede explicar teniendo en cuenta el porcentaje de suelo desnudo que hay en cada categoría. Así pues se deduce que una posible clasificación forestal en esta zona de estudio debería dirigirse más a la discriminación de diferentes fracciones de cubierta cubierta, que a la discriminación entre especies forestales.

En las Figuras 3 y 4 se representa la evolución de las respuestas espectrales y la evolución de los índices de vegetación NDVI (TM4-TM3/TM4+TM3), SAVI  $[(TM4-TM3)/(TM4+TM3+0.5)]*(1+0.5)$  y IEI (TM5/TM4) en una masa de pino carrasco y otra de encina, a lo largo de un periodo de ocho meses que abarcan desde abril hasta noviembre del año 1991. El resto de las formaciones vegetales presentan un comportamiento similar.

Las respuestas más bajas se dan en abril y octubre, y la más alta en julio, donde se alcanzan, en general, los valores de NDVI y SAVI más bajos y el IEI más alto. Sin embargo, las diferencias en las firmas espectrales no son grandes, y la mayor distancia entre respuestas se produce en la banda TM5 siendo ésta del orden de un 5% de reflectividad. La causa de que sea en esta banda y no en otra donde se registren las mayores oscilaciones en la respuesta se puede deber a que en esta región del espectro la reflectividad está controlada por la humedad, y este factor es muy

variable en estas zonas mediterráneas semiáridas a lo largo del año.

Los máximos valores de NDVI y SAVI se alcanzan a finales de mayo y, a partir de entonces, el NDVI y el SAVI tienen un comportamiento inverso a la evolución del IEI y, cuando éste aumenta, aquellos disminuyen y viceversa. El SAVI presenta valores mayores que el NDVI del orden de 0.15, y esto se mantiene constante a lo largo del periodo de estudio, por lo que las curvas de la evolución de estos índices son paralelas.

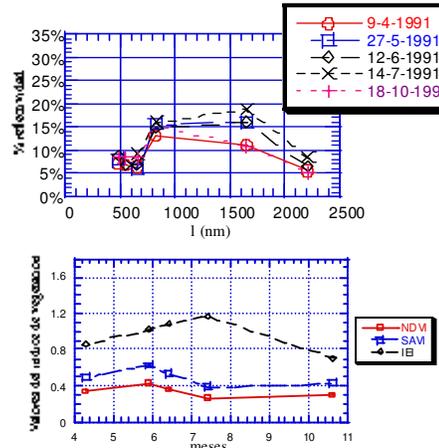


Figura 3. Evolución multiestacional de la respuesta espectral y de los índices de vegetación NDVI, SAVI e IEI, en una masa de pino carrasco (*Pinus halepensis*).

El NDVI y el SAVI alcanzan los valores mínimos a mediados de julio, mientras que en este momento el valor del IEI es máximo. Esto podría deberse al efecto de “agostamiento” que sufre la vegetación en esta época en el medio mediterráneo, donde se alcanzan en verano valores de temperatura muy altos, produciéndose así una paralización de la actividad vegetativa, traducida en una pérdida de vigor vegetal (Mesón y Montoya, 1993). De este modo se produciría una disminución de la actividad fotosintética y por lo tanto, una menor absorción de los pigmentos clorofílicos, que son los que controlan la respuesta de la vegetación en la región visible del espectro, por lo que la respuesta en estas bandas aumentaría.

Por otra parte, como respuesta fisiológica a este estrés, se produce un deterioro o modificación de la estructura celular, lo que significaría una reducción de la respuesta en el infrarrojo cercano y, en consecuencia, una bajada en los valores de los índices NDVI y SAVI, y un incremento del IEI.

Además, las altas temperaturas que se alcanzan en estas fechas en nuestra zona de estudio, suponen un aumento de los valores de evapotranspiración en estas formaciones vegetales de zonas semiáridas, que alcanzan su máximo anual en esta época (Sánchez Andrés, 1994). Como consecuencia, se produciría una disminución de la cantidad de agua disponible tanto en el suelo como en las plantas, por lo que desaparece el efecto absorbente que tiene el agua en estas longitudes de onda del infrarrojo medio, y así la reflectividad en la banda TM5 es mayor.

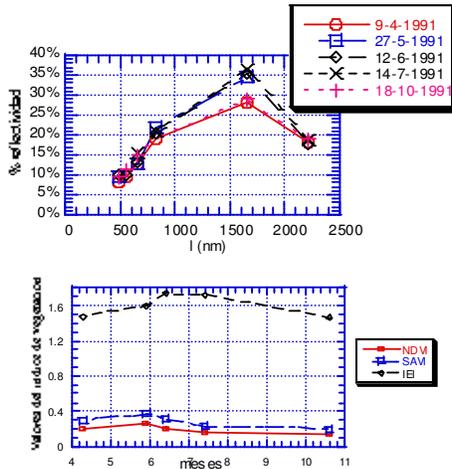


Figura 4. Evolucion multiestacional de la respuesta espectral y de los índices de vegetación NDVI, SAVI e IBI, en la encina (*Quercus ilex*).

El resultado de todos estos fenómenos sería, por lo tanto, que los valores de NDVI y SAVI son mínimos en la imagen de julio, y el IBI alcanza el valor máximo para esta fecha.

Los mayores valores de NDVI y SAVI se alcanzan en el mes de mayo, probablemente después de que la cubierta vegetal haya recibido las lluvias de primavera y se haya reanudado la actividad biológica tras la parada vegetativa del invierno.

En todas las masas se registra un comportamiento prácticamente idéntico, independientemente de la localización de la misma o de la especie principal. Esto significa que todas las formaciones vegetales mediterráneas incluidas en este trabajo responden tanto espectralmente como en los índices de vegetación de la misma manera a las variaciones climáticas estacionales que caracterizan la zona de estudio. Esta similar evolución temporal refuerza la conclusión de la

dificultad para separar las diferentes especies forestales presentes en la zona de estudio, ya que no aparecen diferencias ni en una fecha en concreto, ni a lo largo del periodo de ocho meses de estudio.

El SAVI no aporta resultados distintos a los obtenidos con el NDVI. Así, el factor de ajuste L de 0.5 empleado en esta investigación no parece adecuado. Se podría intentar buscar el valor apropiado para cada una de las masas forestales objeto de estudio, en función de la densidad de la vegetación y el comportamiento espectral del suelo, para ver si de este modo se logra minimizar el efecto del suelo en estos ambientes mediterráneos semiáridos.

## BIBLIOGRAFÍA

HUETE, A.R., (1989): Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In *Theory and applications of optical remote sensing*. G. Asrar (ed.). Wiley. New York. 297-335.

LAMBERT, N.J., ARDO, J., ROCK, B.N., AND VOGELMANN, J.E., (1993): Spectral Characterization and Regression-Based Classification of Forest Damage in Norway Spruce Stands in the Czech Republic using Landsat Thematic Mapper Data. Published in *International Journal of Remote Sensing*.

MESÓN, M. Y MONTOYA, M., (1993): Selvicultura mediterránea. El cultivo del monte. Ediciones Mundi-Prensa, 1993, 365 pp.

NAVARRO, R.M., FERNÁNDEZ, P., CHANFRENT, M.R., Y GONZÁLEZ, M.P., (1997): Seguimiento mediante imágenes Landsat TM de los daños producidos por un periodo prolongado de sequía sobre encinares en Sierra Morena (Córdoba): Primeros resultados. En *II Congreso Forestal Español*. Pamplona, 1997, pp. 99-104.

PONS, X., Y ROURE, J.M., (1991): Caracterización espectral de siete formaciones vegetales mediterráneas a lo largo del año. En *IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Sevilla, 1991, pp.

SÁNCHEZ, J., BOLUDA, R., ARTIGAO, A., MORELL, C., COLOMER, J.C. Y GUARDADO, R., (1994): Desertificación en Castilla La Mancha. El Proyecto EFEDA. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha. 1994, pp. 254.