

## Variabilidad en la respuesta espectral de tres tipos de vegetación seleccionados de parcelas del IFN-3

Antonio Vázquez de la Cueva

Centro de Investigación Forestal, CIFOR-INIA, Ctra. de A Coruña km 7, 28040, Madrid.  
vazquez@inia.es

### Resumen

La creciente disponibilidad de datos derivados de satélites de observación de la tierra impulsa el desarrollo de aplicaciones concretas. Una de ellas es la identificación de relaciones entre variables de interés ecológico y/o selvícola en formaciones arboladas y la respuesta espectral obtenida en las imágenes. En este trabajo se ha empleado una imagen Landsat ETM para evaluar las relaciones entre variables estructurales obtenidas de parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional y la información derivada de la imagen. Los patrones de relación se han analizado en tres tipos de vegetación diferentes dominados por *Pinus pinaster*, *Quercus ilex* y *Q. pyrenaica*. Además, las relaciones se han evaluado en tres conjuntos de datos establecidos con la finalidad de minimizar la variabilidad en las parcelas de campo. Los resultados muestran que las relaciones son dependientes del tipo de cubierta y del conjunto de parcelas seleccionado.

### 1. Introducción

Los bosques constituyen sistemas tridimensionales, en los que su estructura biofísica puede jugar un papel determinante en su diversidad y funcionalidad [1]. La posibilidad de derivar a partir de datos procedentes de imágenes de satélite una información espacial detallada, y por tanto cartografiable, de la estructura de formaciones arboladas resultaría de gran utilidad en la toma de decisiones y en la planificación de actividades de gestión.

Entre los procedimientos habituales para la obtención de la información mencionada a partir de imágenes de satélite, se encuentra la identificación de relaciones estadísticas empíricas entre los distintos conjuntos de datos. Estas relaciones empíricas permitirían la elaboración de modelos que dieran lugar a la cartografía, en grandes áreas, de atributos que, por otros procedimientos, serían más difíciles y

costosos de obtener. No obstante las relaciones descritas en la literatura son frecuentemente dependientes de la cubierta vegetal estudiada, de los rangos de variación en los atributos estructurales y de cómo éstos se relacionan con cambios en las reflectancias captadas. Además, el tipo de sensor utilizado tiene una incidencia determinante en los resultados obtenidos.

Algunos trabajos recientes [2] ponen de manifiesto que los resultados obtenidos son en ocasiones incluso contradictorios en función del tipo de sistema analizado.

Este trabajo se centra en el análisis de las posibles relaciones existentes entre atributos estructurales de distintas formaciones vegetales, evaluados a partir de datos derivados de los muestreos realizados en las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN-3) frente a los patrones de reflectancia derivados de una imagen Landsat ETM.

El objetivo principal ha sido explorar los patrones de relación para los tres tipos de vegetación dominantes en el área de estudio y para distintos conjuntos de datos.

### 2. Material y Métodos

#### 2.1 Zona de estudio

El trabajo se ha llevado a cabo en la porción occidental del Sistema Central, abarcando parte de las provincias de Cáceres, Salamanca y Ávila. Las características bioclimáticas de la región de estudio son bastante variadas como ilustra el hecho de que el rango altitudinal sea de más de 2300 m, de 226 a 2547 m. La Figura 1 muestra la zona en la que se ha llevado a cabo el análisis.

Los datos de campo se han obtenido de parcelas levantadas en el transcurso del IFN-3, realizado en las provincias implicadas a finales de 2001 y principios de 2002, es decir casi coetáneas con la fecha de la imagen empleada.

Las variables elaboradas a partir de los datos del IFN-3 han sido:

-Área basimétrica (Abas), expresada en  $m^2$   $ha^{-1}$ .

-Densidad de pies (DensP), expresada en número de pies mayores  $ha^{-1}$ .

-Altura de la masa (AltMx, m). Se ha empleado el valor máximo por parcela.

-Fracción de cabida cubierta total de la vegetación (FccTo), estimada en el campo y expresada en porcentaje.

-Fracción de cabida cubierta total de la vegetación arbórea (FccAr): estimada en el campo para las copas de la vegetación arbórea.

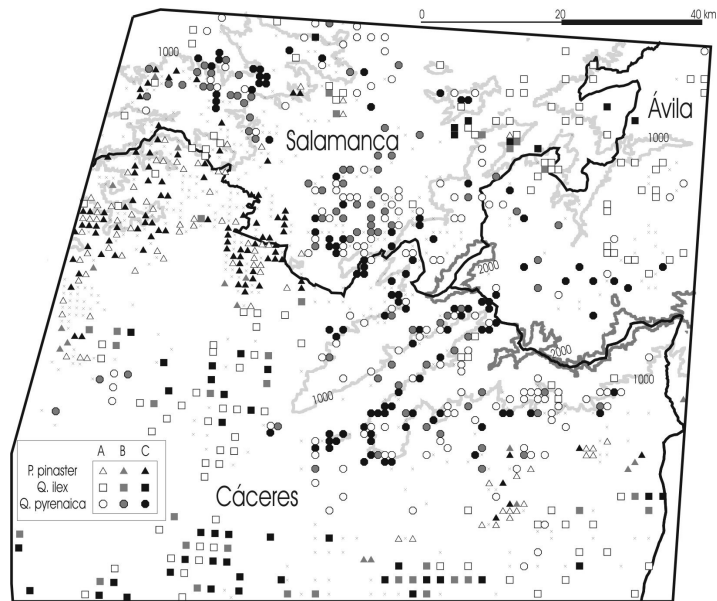


Figura 1. Mapa de la zona de estudio en el que se muestran las parcelas del IFN-3 empleadas, agrupadas en los tres conjuntos de datos (A, B y C) y clasificadas en función de la especie dominante. Para cada tipo de vegetación, el conjunto A está integrado por todas las parcelas (blancas, grises y negras), el conjunto B por las grises y negras y el C solo por las negras. Con cruces se representan otras parcelas no correspondientes a masas monoespecíficas de ninguna de las tres especies. Se muestran también las curvas de nivel de 1000 m (gris claro) y 2000 m (gris oscuro).

## 2.2. Imagen de satélite

Se ha empleado una imagen Landsat ETM libre de nubes de fecha 16 de junio de 2002. El procedimiento de corrección geométrica se basó en el método de ortocorrección implementado en el GIS MiraMon [3] Este mismo software se empleó en la normalización topográfica y en la corrección radiométrica.

Los análisis se han llevado a cabo con las 6 bandas espectrales disponibles por separado (B1 a B3 en el visible, B4 en el infrarrojo cercano y B5 y B7 en el infrarrojo medio) y también con diversos índices y transformaciones

realizadas a partir de estas bandas. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos con el NDVI (Índice de vegetación normalizado,  $B4-B3/B4+B3$ ) y con el componente 3 de la transformación "Tasseled Cap" (TC3). Los valores asociados a cada parcela se han obtenido como la mediana de los 9 píxeles (3x3) circundantes a la posición teórica de la parcela

## 2.3. Procedimiento de análisis

Las parcelas analizadas son las mayoritariamente monoespecíficas (con más del 90% del Abas de una de las especies) de las tres

especies principales (en cuanto al número de parcelas) presentes en la zona de estudio. Estas especies han sido *Quercus pyrenaica*, *Q. ilex* y *Pinus pinaster*.

Los tres conjuntos de datos empleados han sido: *Conjunto A*: todas las parcelas correspondientes a las tres especies seleccionadas; *Conjunto B*: para cada uno de las tres especies y para las 5 variables analizadas se han eliminado las parcelas con "outliers" y valores extremos; y *Conjunto C*: a partir del conjunto B, se han eliminado las ubicadas en áreas con respuesta espectral heterogénea en función de una clasificación no supervisada previa.

El análisis se ha basado en correlaciones paramétricas entre las cinco variables forestales y las dos variables derivadas de la imagen Landsat realizadas para los tres conjuntos de datos y para las tres especies principales seleccionadas. El nivel de significación en todo el trabajo se ha establecido en  $p$  menor o igual a 0,01.

Tabla 1. Valores medios para las cinco variables descriptoras de la vegetación arbórea en las parcelas analizadas y agrupadas en los tres conjuntos de datos (A, B y C) para las tres especies seleccionadas. El número de parcelas implicadas (que son las empleadas en los análisis de correlación) es de 196, 115 y 98 para *P. pinaster*, 198, 78 y 45 para *Q. ilex* y 330, 198 y 108 para *Q. pyrenaica* (conjuntos A, B y C respectivamente)

	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>
<i>Conjunto A</i>			
Fcc_To	92,1	89,1	93,4
Fcc_Ar	59,8	36,1	58,4
Abas	18,4	5,5	11,2
DensP	535,1	148,6	590,6
AltMx	12,9	7,0	11,6
<i>Conjunto B</i>			
Fcc_To	94,7	91,8	95,4
Fcc_Ar	66,1	33,7	65,4
Abas	21,4	6,0	12,6
DensP	535,5	69,8	644,7
AltMx	13,2	7,8	12,2
<i>Conjunto C</i>			
Fcc_To	94,9	93,0	95,7
Fcc_Ar	65,8	32,9	71,4
Abas	21,2	5,8	13,2
DensP	544,8	61,9	630,6
AltMx	13,0	7,9	12,6

### 3. Resultados

Del total de 724 parcelas monoespecíficas que integran el Conjunto A se ha pasado a 382 parcelas en el conjunto B y 251 en el Conjunto C. La Tabla 1 muestra los valores medios para los tres conjuntos de datos, las tres especies seleccionadas y las cinco variables analizadas.

Las correlaciones con bandas individuales no han proporcionado, en general, mejores resultados que los obtenidos para el índice y la transformación presentados. La Figura 2 (A-F) muestra los coeficientes de correlación, en valores absolutos, obtenidos para los tres conjuntos de datos y para las tres especies, entre las características de las parcelas (representada por 5 variables) y la información de la imagen (representada por el NDVI y el TC3).

En las parcelas de *P. pinaster* y en relación al NDVI se han obtenido correlaciones estadísticamente significativas únicamente en el conjunto de parcelas A, desapareciendo en los conjuntos B y C (Fig. 2A). Con relación al TC3, se obtienen mejores correlaciones para las variables ya mencionadas y también se obtienen valores significativos con la densidad de pies (Fig. 2B). Además, en éste caso se mantienen las correlaciones en los tres conjuntos de datos (A, B y C).

En las parcelas de *Q. ilex* y empleando el NDVI (Fig. 2C) se han obtenido correlaciones significativas para la cobertura del arbolado y la densidad de pies para los dos primeros conjuntos de datos y también frente a la altura máxima, aunque para esta última variable son negativas. El empleo del TC3 (Fig. 2D) da lugar a un patrón de correlaciones muy similar aunque con valores inferiores en los coeficientes de correlación.

Las parcelas dominadas por *Q. pyrenaica* son las que mejores relaciones han mostrado y las que ilustran más claramente cómo los valores de las correlaciones van disminuyendo del conjunto A al C, tanto para el NDVI (Fig. 2E) como para la variable TC3 (Fig. 2F).

### 4. Discusión y Conclusiones

La selección efectuada en los tres conjuntos de datos ha tendido a buscar parcelas con la mayor homogeneidad posible (Conjunto B) y a garantizar que estuviesen localizadas en entornos homogéneos (Conjunto C). No obstante, este procedimiento ha dado lugar a importantes variaciones en los patrones de correlación obtenidos. Además, el que las relaciones sean peores en el conjunto B que en

el A implica que no había una relación biofísica sólida entre las variables analizadas y que las correlaciones estadísticamente significativas eran, en ocasiones, debidas a la presencia de "outliers".

Por otra parte, en bosques relativamente abiertos, los efectos espectrales dominantes pueden estar relacionados con el sotobosque y con los componentes variables de sombras debidos a los diferentes tamaños, formas y configuraciones de las copas [4]. Trabajos previos han señalado que en situaciones homogéneas, en cuanto a su composición

específica, la estructura de los bosques y la topografía, se han obtenido buenos resultados en la estimación de diversos atributos de la vegetación. Por otra parte, la situación es más cambiante en situaciones más heterogéneas asociadas frecuentemente a climas mediterráneos [5], como se muestra también en este trabajo. Estos resultados refuerzan la necesidad de profundizar en la influencia que tienen el tipo de especie y su estructura arbórea en la respuesta espectral que presentan.

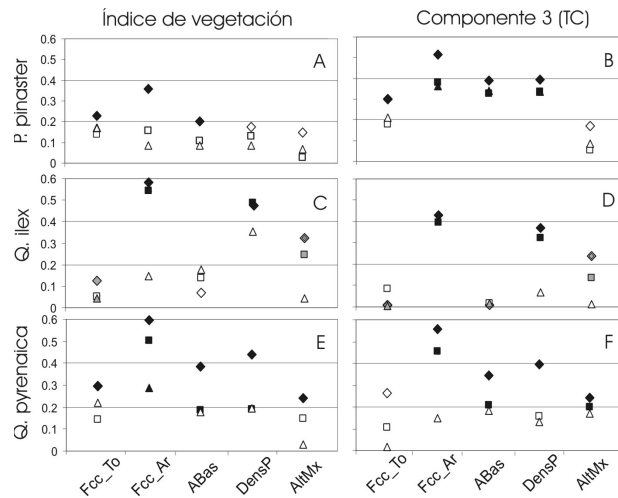


Figura 2. Valores absolutos de los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos. Los rombos representan el conjunto de parcelas A, los cuadrados el B y los triángulos el C. El relleno negro, para los tres símbolos, representa relaciones estadísticamente significativas. En gris se han representado las correlaciones negativas.

### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a un contrato Ramón y Cajal (Ministerio de Educación y Ciencia) parcialmente financiado con fondos FEDER.

### 6. Referencias

[1] Spies, T.A. 1998. Forest structure: a key to the ecosystem. *Northwest Science* 72 (2): 34-39.  
 [2] Mallinis, G., Koutsias, N., Makras, A. & Karteris, M. 2004. Forest parameters estimation in a European mediterranean

landscape using remotely sensed data. *Forest Science* 50(4): 450-460.

[3] Pons, X. 2002 "MiraMon. Geographic Information System and Remote Sensing software", CREA, UAB, Bellaterra.  
 [4] Rautiainen, M., Stenberg, P., Nilson, T., Kuusk, A. 2004. The effect of crown shape on the reflectance of coniferous stands. *Remote Sensing of Environment* 89: 41-52  
 [5] Salvador, R. & Pons, X. 1998. On the applicability of Landsat TM images to Mediterranean forest inventories. *Forest Ecology and Management* 104: 193-208.