Caracterización de la vegetación a través de análisis de variables topográficas, bioclimáticas y de reflectividad en el PN de La Tinença de Benifassá. (Castellón, España)

E.López-Pérez [1,2], T. Hermosilla[2,3], H. Boria[4] y L.A. Ruiz[2, 3]

[1] CVER. Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego. UPV. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022 (Valencia, España) Correo electrónico: estloppe@etsia.upv.es

[2] Depto. De Ing. Cartográfica. UPV. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022 (Valencia, España)

[3] CGAT. Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección. UPV. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022 (Valencia, España)

[4] IAM. Instituto Agroforestal Mediterráneo. UPV. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022 (Valencia, España)

RESUMEN

Se han caracterizado tres tipos de vegetación, a través de parámetros topográficos y ambientales, junto con el uso de ortoimágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), y con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica. Mediante el análisis de correlación y la evaluación de diferencias significativas entre características derivadas de la topografía del terreno, como la pendiente, orientación, elevación, junto con otras variables ambientales como la radiación emitida, y variables espectrales a través de análisis de texturas de una imagen y el índice de vegetación NDVI, se han analizado las características correspondientes a tres grupos de bosques formados por encinares, quejigares y pinares, ensayando un método para caracterizar la vegetación a partir de otras variables analizadas.

Palabras clave: vegetación, funciones discriminantes, clasificación forestal, PNOT, SIG.

ABSTRACT

Three types of vegetation have been characterized combining topographic and environmental parameters, with orthophotos of the Spanish National Plan of Survey of Aerial photos (PNOA), and with Geographic Information Systems. A correlation analysis and evaluation of significant differences has been performed. Considered variables were derived from topography, such as slope, aspect, elevation, other environmental variables such as radiation and spectral variables of texture measure image and the vegetation index NDVI. It has been analyzed though, the variables corresponding to three groups formed by oak forests, oaks and pines, testing a method to characterize vegetation from other variables.

Keywords: *vegetation, discriminant functions, forest classification, PNOA, GIS.*

INTRODUCCIÓN

Resulta complejo evaluar la delimitación y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas forestales, ya que no existen variables restrictivas que los definan.

Tradicionalmente, los inventarios de vegetación se han realizado a partir de muestras tomadas *in situ*, mediante el análisis de pequeñas zonas localizadas y extrapolando la información a otras áreas, sin considerar el componente espacial que ofrezca la certeza de cumplir todas las condiciones óptimas para el desarrollo de la vegetación en su mejor estado ecológico.

Los modelos de parámetros biofísicos, extraídos de la topografía e imágenes mediante la interpretación de la distribución espacial de la vegetación, son útiles en la toma de decisiones para la gestión óptima de la vegetación forestal.

Para llevar a cabo el estudio se ha elegido una zona de enorme valor paisajístico como la que ocupa las proximidades del Parque Natural de La Tinença de Benifassá, localizada al norte de la Comunidad Valenciana. Se trata de un territorio de acentuada orografía, son tierras de alta montaña, y situadas a pocos kilómetros del mar Mediterráneo. La cubierta vegetal está constituida fundamentalmente por bosques de encinares, quejigares y pinares y sus correspondientes etapas seriales. En las áreas de clima más húmedo, la vegetación prístina de quejigares, utilizada como fuente de recursos energéticos, fue sustituida por plantaciones de pino negral que actualmente dominan gran parte del paisaje como bosques naturales.

Anteriores estudios realizados con SIG e imágenes aéreas han relacionado datos de elevación y texturas de imágenes para la obtención de características de la vegetación (véase Ruiz et al., 2005). El estudio que aquí se lleva acabo difiere en que el análisis se ha basado a nivel de objeto. Adicionalmente, hay que tener en cuenta el alto valor natural que mantiene hoy el área de estudio.

DATOS DE PARTIDA

La extracción de información espectral, espacial y topográfica, fue tomada de fotografías aéreas del PNOA de 0,5 m de resolución espacial, correspondientes al vuelo realizado en septiembre de 2008, comparadas con imágenes tomadas en invierno (del mismo año) y cedidas por **OCMA** (Oficina Comarcal de Medio Ambiente), facilitó la interpretación de los bosques analizando la variabilidad de sus hojas. Como base topográfica se utilizó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) derivado de mapas topográficos a escala 1:10.000 (Instituto Cartográfico Valenciano).

Las imágenes cuentan con cuatro bandas (tres en la región visible y una en el infrarrojo cercano). La extracción de características ha sido realizada en teselas delimitadas *in situ,* correspondientes a tres tipos de bosques homogéneos existentes en la zona y con el apoyo de cartografía base del Tercer Inventario Forestal Nacional (3IFN) y de la interpretación de ortofotografías aéreas. La figura 1 muestra ejemplos de las especies correspondientes a los tres bosques homogéneos puros y el número de teselas inventariadas *in situ*.

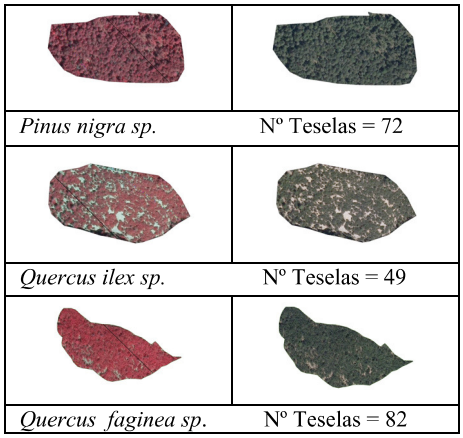

Figura 1: Ejemplos de las teselas definidas, mostradas en falso color infrarrojo (izquierda) y color verdadero (derecha).

Para la obtención de las variables topográficas se construyó un MDE, tomando las curvas de nivel cada 10 m. El MDE en formato raster ha servido de base para el cálculo de pendientes, orientación y la radiación potencial.

Otras fuentes de datos, como los procedentes del mapa de Series de Vegetación de España de Rivas Martínez a escala 1:400.000 y obtenidos del banco de datos de biodiversidad del MMA, fueron utilizados para la descripción biográfica y ecológica de la zona. Los datos procedentes del 3IFN, a escala 1:50.000, sirvieron de base de cartográfica temática para la delimitación, durante las visitas de campo, de las áreas con las distintas especies, con apoyo de GPS y del Mapa y guía excursionista de la Tinença de Benifassá, diseñado por El Tossal, a escala 1:30.000. La información temática se utilizó para obtener un conocimiento intuitivo del área de estudio, previo al trabajo de campo.

METODOLOGÍA

Cálculo de características del MDE

Se obtuvieron las variables pendiente y orientación correspondientes a cada tesela, así como la radiación potencial directa emitida por el sol y que llega a la superficie de la Tierra.

La radiación solar es un factor determinante para la distribución espacial de la vegetación, siendo junto con la elevación, la pendiente y el tiempo de exposición, un factor limitante. La

radiación solar que llega a la superficie está relacionada directamente con factores atmosféricos, como la dispersión y absorción, así como el grado de nubosidad.

Debido a la ausencia de datos de nubosidad, se procedió a calcular la radiación global recibida, tomando sólo valores de la radiación directa. Así, se calculó la energía proveniente de la radiación solar que llega a cada píxel del MDE calculado previamente a lo largo del año. El análisis se elaboró para el año 2008, coincidiendo así con la fecha de adquisición de imágenes.

Cálculo de características espectrales

Las variables espectrales utilizadas fueron dos de las cuatro bandas disponibles, correspondiendo a las bandas que representan la energía reflejada del visible y del infrarrojo cercano. La signatura espectral correspondiente a la vegetación sana muestra un fuerte contraste entre la baja reflectividad del rojo y la alta reflectividad en el infrarrojo próximo. Esta diferencia es mayor cuanto mayor es la densidad de la vegetación y mejor su estado sanitario, (Chuvieco, 2002).

Con el fin de sintetizar el grado de biomasa y densidad de vegetación, se calculó del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), cuya expresión es:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \qquad (1)$$

donde IR corresponde al Infrarrojo cercano y R corresponde a la banda del rojo.

Los valores de NDVI para las tres especies forestales consideradas son similares, lo que indica que se trata de bosques que cuentan con un gran parecido en el grado de la biomasa ocupada.

Análisis de textura

La textura de una imagen indica las diferencias y la distribución de los niveles de gris en un determinado vecindario, y su cálculo se basa en el cálculo y asignación de ciertos índices a cada píxel en función de su vecindario.

Se calcularon variables de textura de 2º orden, basadas en la matriz de co-ocurrencias de los niveles de gris (MCNG), que se obtuvo considerando un tamaño de vecindario de 13x13, elegido con el criterio de capturar la textura de las tres clases objeto de estudio, y capturando así su variabilidad.

Este método presenta la desventaja de que los pixeles de los bordes pueden tomar valores mezcla de dos o más texturas diferentes (Ruiz et al., 2005). Sin embargo, al trabajar por objeto este problema se eludió. A efectos de cálculo, se redujo el área de los bosques en 4m para evitar la inclusión de los valores fuera de los límites y que no interfirieran en el análisis. Con una distancia de un pixel se calcularon 6 medidas de textura para cada objeto o tesela, basadas en las propuestas por Haralick (1973) y cuyas ecuaciones se recogen en la Tabla 1;

Medida	Expresión
Uniformidad	$\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} p(i,j)^2$
Entropía	$-\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} p(i,j)\cdot\log[p(i,j)]$
Contraste	$\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} (i-j)^2\cdot p(i,j)$
Media	$\sum_{i=0}^{N_g-1} i\cdot p(i)$
Varianza	$\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} (i-\mu)^2\cdot p(i,j)$
Momento de diferencia inverso	$\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{1}{1+(i-j)^2}\cdot p(i,j)$

Tabla 1: Características de textura derivadas de la MCNG calculadas.

Análisis discriminante y validación

Con el objetivo de seleccionar las variables y evitar redundancias, se elaboró un análisis de correlaciones entre dichas variables, poniéndose en evidencia que la entropía y el contraste derivados de la MCNG presentaban altas correlaciones, por lo que se decidió prescindir de ellas en el análisis. Finalmente, 8 variables fueron utilizadas para el estudio, de las cuales cuatro (elevación, NDVI, orientación, pendiente, radiación) pertenecen a variables topográficas o espectrales, y cuatro (media, varianza, homogeneidad, momento de diferencia inverso) corresponden a variables texturales.

Para conocer la existencia de diferencias significativas entre las variables estudiadas y clasificar cada objeto en un grupo de vegetación, se aplicó el método de análisis discriminante

lineal. Con este procedimiento, se elaboraron las funciones discriminantes que podrían ser aplicadas para predecir la clase de nuevas teselas de las tres especies analizadas.

RESULTADOS

La validación del método empleado se ha llevado a cabo mediante el análisis de la matriz de confusión (Congalton, 1991). 93 observaciones fueron utilizadas para el ajuste del modelo y se obtuvo un resultado del 78.2% de fiabilidad global. En la Tabla 2 se detallan los resultados y las fiabilidades obtenidas para las tres clases estudiadas.

	Pn	Qf	Qi	Total	FU
Pn	38	3	5	46	0,83
Qf.	2	36	7	45	0,80
Qi	1	6	12	19	0,63
Total	41	45	24	110	
FP	0,93	0,80	0,50		**0,782**

Tabla 2: Resultados de la matriz de confusión, para la validación del método (Pn = *Pinus nigra*, Qf = *Quercus faginea* y Qi= *Quercus ilex, FU= fiabilidad del usuario, FP = fiabilidad del productor*).

Las fiabilidades más altas pertenecen a *Pinus nigra y Quercus faginea* debido, en parte, a que presentan condiciones más homogéneas en su crecimiento. La especie *Quercus ilex* presenta los valores más bajos, debido a la enorme variabilidad que existe en las condiciones ambientales y topográficas que pueden darse para su desarrollo.

CONCLUSIONES

El método empleado permite profundizar en la relación entre las variables topográficas y la discriminación de las tres especies forestales estudiadas. El uso de imágenes aéreas podría permitir la obtención de un modelo de clasificación de estas especies en la zona de estudio.

El análisis presenta limitaciones, debido a la existencia de zonas donde la vegetación no se presente en condiciones completamente naturales y tenga un elevado factor antrópico. Es necesario llevar a cabo estudios más profundos de cada bosque, obteniendo más variables de medida que definan las áreas ecológicamente más potenciales para el desarrollo óptimo de las especies analizadas.

La combinación de Sistemas de Información Geográfica con imágenes áreas de alta resolución presenta una gran aplicabilidad en el estudio espacial de la vegetación, ya que partiendo de un planteamiento real de las condiciones óptimas de crecimiento de poblaciones de vegetación, se puede llegar a delimitar áreas en las que sea apropiada la reintroducción o repoblación.

Las probabilidades de éxito del método de análisis están estrechamente ligadas al grado de conocimiento de la especie, al detalle y la calidad de la cartografía utilizada.

BIBLIOGRAFÍA

CHUVIECO SALINERO, E. 2002. *La observación de la Tierra desde el espacio*. Teledetección Ambiental . Ariel, Madrid, pag. 337-345.

CONGALTON, R., 1991, *A review of assessing the accuracy of classications of remotely sensed data*. Remote Sensing of Environment, 37(1), pag. 35-46.

HARALICK, R.M., K SHANMUGAM AND DINSTEIN 1973. *Texture features for image classification*. IEEE Transactions on Systems, Man. and Cibernetics. SMC-3 : 610-622.

RUIZ, L.A, RECIO RECIO J.S, y FERNÁNDEZ SARRÍA A.; 2005. *Clasificación de entornos forestales mediterráneos mediante técnicas de análisis de texturas*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, pag. 187-192.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Joan Busquets Moya, del OCMA (Sant Mateu, Castellón) por su apoyo y ayuda en campo.