

DISCRIMINACIÓN ENTRE ESPECIES ARBÓREAS DEL GÉNERO *Quercus* Y *Pinus* A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT Y SPOT PARA CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA DE VEGETACIÓN FORESTAL DEL SIOSE-Andalucía. REDIAM

R. Prieto⁽²⁾, G. Montoya⁽²⁾, L. Granado⁽²⁾, I. Pino⁽²⁾, E. Méndez⁽²⁾, I.R. Carpintero⁽²⁾, J.J. Vales⁽²⁾, F. Giménez de Azcárate⁽²⁾, F. Cáceres⁽¹⁾, J.M. Moreira⁽¹⁾

⁽¹⁾ Secretaría General de Medio Ambiente y Agua. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Avda. Manuel Siurot, 50, 41071 Sevilla. Tel: 955003429, Fax: 955003795. E-mail: {francisco.caceres, josem.moreira}@juntadeandalucia.es

⁽²⁾ Red de Información Ambiental de Andalucía. Subdirección de Comunicación e Información Ambiental. Agencia de Medio Ambiente y Agua. Johan Gutenberg, 1, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla. Tel: 955044529, Fax: 955625140. E-mail: {rprieto, gmontoya, lgranado, ipino, emendez, icarpintero, jvales, fgimenezdeazcarate,}@agenciamedioambienteyagua.es

RESUMEN

Para la asignación de leyenda de la zona forestal del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) en Andalucía a escala 1:10.000, se ha recurrido a técnicas de teledetección con imágenes Landsat5-TM y SPOT5-HRG para poder discriminar entre las masas forestales puras con especie arbórea principal del género *Quercus* y *Pinus*. El desarrollo metodológico se ha basado en la clasificación supervisada de las imágenes utilizando diferentes índices de vegetación, ratio entre índices y filtrado textural de las imágenes. Los resultados alcanzados obtienen una precisión en torno al 70%.

Palabras clave: SPOT, Landsat, SIOSE, vegetación forestal, clasificación supervisada, Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

ABSTRACT

For the assignment of the legend of the Spanish National Land Cover Information System (SIOSE) of Andalusia's forest area to scale 1:10.000, it has been used remote sensing techniques with Landsat5-TM and SPOT5-HRG in order to distinguish between different pure forest formations with main tree species on *Quercus* spp. and *Pinus* spp. The methodological development has been based on supervised classification of images using different vegetation indices, ratio between indices and texture filter of images. The outputs show an accuracy of 70%.

Keywords: SPOT, Landsat, SIOSE, forest vegetation, supervised classification, Environmental Information Network of Andalusia (REDIAM).

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la vegetación a escala de detalle resulta imprescindible para la gestión eficiente de los ecosistemas forestales, por lo que se exige precisión en la asignación de leyenda de un Sistema de Ocupación del Suelo desarrollado en Andalucía a escala 1:10.000, información que es utilizada para la generación del proyecto SIOSE Nacional a escala 1:25.000. Para esta asignación, la fotointerpretación a partir de ortofotografía aérea no es suficiente, y el trabajo de campo necesario para cubrir toda la superficie forestal de Andalucía es muy costoso. Por ello, para la agilización de la actualización de la cartografía de vegetación forestal dentro del SIOSE-Andalucía, se ha recurrido a técnicas de teledetección con imágenes Landsat5-TM y SPOT5-HRG, de modo que se discrimine, de forma objetiva, entre las distintas formaciones de especie arbórea principal del género

Quercus y *Pinus* presentes en los territorios forestales de Andalucía. Se ha utilizado una zona piloto con diferentes características. Como datos de verdad-terreno se han delimitado parcelas a partir de información de gran exactitud posicional y previamente validada en campo: ortofotografía de 0,20 m de resolución espacial, y cartografía de inventario forestal con información por especie a partir de datos LiDAR. El desarrollo metodológico se ha basado en la clasificación supervisada de las imágenes, utilizando diferentes índices de vegetación, ratio entre índices y filtrado textural de las diferentes bandas capturadas por ambos sensores. El objetivo de este estudio es generar una capa de vegetación forestal discriminando entre las formaciones arboladas de especies del género *Quercus* y *Pinus*.

2. INFORMACIÓN DE PARTIDA

El área piloto del proyecto es una zona comprendida entre las provincias de Córdoba y Sevilla, dentro de la zona dedicada a uso forestal (Figura 1).

La información de partida consta de una escena Landsat5-TM y un mosaico de las cuatro escenas correspondientes de SPOT5-HRG, capturadas en su modo pancromático, adquiridas en 2008 en el marco del Plan Nacional de Teledetección (PNT), coincidentes con la información de inventario forestal disponible (verdad-terreno). Ambas corregidas geométricamente usando como remuestreo la convolución cúbica.

Como verdad-terreno se han seleccionado 89 parcelas de control de 25x25 m² coincidentes con un pixel de la imagen Landsat5-TM, tamaño de pixel de la imagen proveniente de la cadena de procesamiento de la corrección geométrica del tratamiento realizado por el PNT. Estas parcelas proceden de un muestreo de campo realizado en 2008 en el marco de un proyecto de inventario forestal a partir de datos LiDAR en esta zona. (Figura 1).

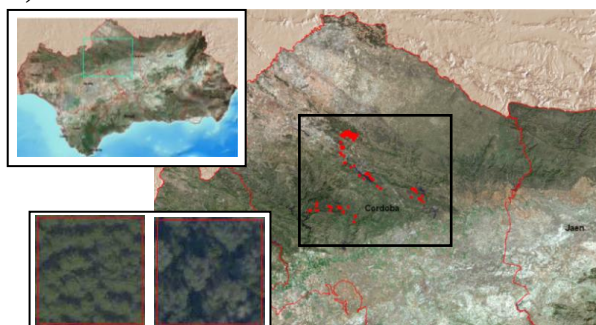


Figura 1. Zona de estudio (imagen superior izq), parcelas de control (imagen derecha) y detalle de las parcelas (imagen inferior izq; dcha: *Quercus*; izda: *Pinus*).

Las parcelas están homogéneamente repartidas por el territorio, cubriendo los usos especificados en Tabla 1. No se han estudiado teselas mixtas en las que se mezclen *Quercus* y *Pinus*.

Cod. Uso	Uso Forestal	Nº Parcelas
510	Formación arbolada densa: quercíneas	23
520	Formación arbolada densa: coníferas	26
611	Matorral denso arbolado: quercíneas densas	8
621	Matorral denso arbolado: coníferas densas	7
711	Matorral disperso arbolado: quercíneas denso	5
721	Matorral disperso arbolado: coníferas denso	6
811	Pastizal arbolado: quercíneas denso	8
821	Pastizal arbolado: coníferas denso	6

Tabla 1. Códigos de Usos susceptibles de estudio.

3. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada se ha aplicado en la discriminación de distintas masas arbóreas: *Quercus* y *Pinus*, presentes en el territorio de uso forestal de una zona concreta de Andalucía. Su aplicación se desarrolló con imágenes de verano de 2008, cuyos valores climatológicos son normales, lo que asegura que la vegetación presenta una fenología adecuada a esa época del año. Podemos dividir en varias fases metodológicas:

3.1. Transformación de nivel digital (ND) a reflectividad

Las imágenes Landsat5-TM y SPOT5-HRG en su modo pancromático están en ND, para poder trabajar con ellas se necesita que estén en valores de reflectividad. Por lo tanto, se hace la conversión de ND a valores físicos de radiancia, aplicando datos de ganancia propios de cada imagen (Chander *et al.*, 2003).

Las imágenes pancromáticas se han transformado a reflectividad en el techo de la atmósfera (TOA), sin llegar a reflectividad de superficie, debido a que la banda pancromática es muy ancha y los efectos de la atmósfera tienden a difuminarse (Vermote *et al.*, 1997). Sin embargo, para la imagen multispectral es imprescindible eliminar el efecto atmosférico, se necesita trabajar con reflectividad de superficie. Para ello se aplica la corrección atmosférica implementada en Amatel, herramienta propia desarrollada por la Consejería de Medio Ambiente, con un algoritmo de corrección atmosférica basado en el modelo de transferencia radiativa 6S (Kotchenova *et al.*, 2007). Según las condiciones atmosféricas de humedad y temperatura de la región se elige el modelo de atmósfera tropical y el modelo de aerosol rural dado que la zona de estudio es de uso forestal.

3.2. Selección y análisis de la información

Se realizan diferentes análisis de las bandas multispectrales y pancromáticas. Primeramente se calcula el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), (Gao, 1996) utilizando las bandas del infrarrojo de la imagen Landsat5-TM (1).

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (1)$$

Siendo NIR (0.76-0.90 m) y SWIR (1.55-1.75 m).

A continuación se calcula el índice que se denominará Índice Ponderado de Diferencias Normalizado (NDPI) (Lacaux *et al.*, 2006) expresado en (2).

$$NDPI = (SWIR - GREEN) / (SWIR + GREEN) \quad (2)$$

Donde GREEN (0.52-0.63 m) es la banda del verde de la imagen Landsat5-TM, (Motohka *et al.*, 2010).

Posteriormente se genera el Ratio 1 (R1) definido por el cociente entre las expresiones (2) y (1).

$$R1 = (NDPI) / (NDWI) \quad (3)$$

Finalmente se realiza un análisis textural de la zona utilizando la banda pancromática (0.48-0.71 m) de la imagen SPOT5-HRG. Esto permite estudiar los cambios en las formas, obteniéndose áreas homogéneas y asignando píxeles a cada uno de los usos de forma precisa. Se remuestrea la imagen a 25 m para poder utilizar toda la información procedente de distintos sensores. Se han analizado los cambios en el comportamiento de la varianza y el contraste que se utilizarán para la caracterización entre distintos usos (Figura 2). Así, se genera un nuevo índice estandarizado llamado *Índice de Textura Normalizado 1* (NTI1) (4).

$$NTI1 = (Contraste - Varianza) / (Contraste + Varianza) \quad (4)$$

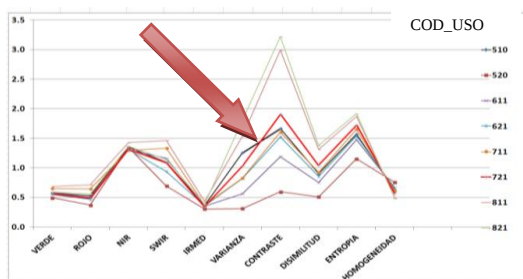
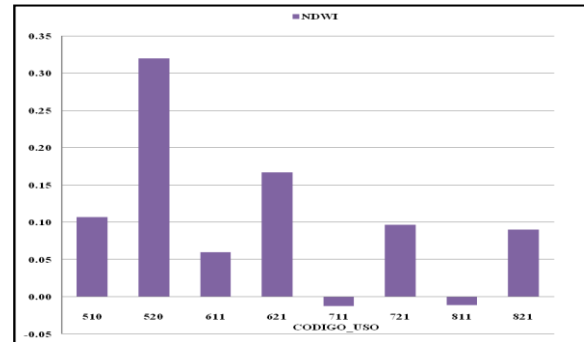


Figura 2. Comportamiento de las firmas texturales.

3.3. Clasificación supervisada. Árbol de decisión

La última fase metodológica consiste en una clasificación supervisada a partir de un árbol de decisión (Sasaki et al., 2001) utilizando el software de tratamiento de imágenes ENVI. Consiste en un modelo de decisiones donde previamente se realizaron distintos tratamientos de la información para la elección de los índices utilizados, basándonos en la respuesta en el comportamiento de la fenología de cada una de las especies objeto de estudio. Se parte de una estructura de nodos en la que los píxeles de la imagen que cumplen la regla definida en dichos nodos se asignan a la clase del nodo hijo correspondiente y el resto se clasifican según la regla establecida en el siguiente nodo, y así sucesivamente. En este caso, partiendo de la imagen enmascarada según los usos forestales estudiados, la regla a cumplir en cada nodo queda establecida por unos umbrales basados en los resultados obtenidos de las ecuaciones (1), (3) y (4) procedentes del análisis de las firmas espectrales y del análisis textural de las imágenes tal y como se ha explicado con anterioridad. Así, el *primer nodo* utiliza la información que proporciona la región roja del espectro (b2 en la Figura 5) para enmascarar la zona de agua dentro de la región de interés. En el *segundo nodo* se aplica el NDWI (Figura 3), que discrimina vegetación en función del grado de

humedad que retiene la especie. Esto ha permitido extraer una clase con aquellas formaciones vegetales que presentan menor contenido hídrico, englobando



formaciones de matorral y pastizal disperso asociadas a quercíneas (cod-711-811).

Figura 3. Media de los valores del NDWI según código de uso obtenidos a partir de las parcelas de control. Se observa como los códigos 711 y 811 tienen un valor distinto respecto al resto, permitiendo identificarse claramente en la clasificación.

En el *tercer nodo* se calcula el índice R1, que ayuda a diferenciar las formaciones vegetales densas de coníferas (cod-520) en función del estado fenológico de la especie, separándola de aquellas formaciones que tienen alto vigor vegetativo con menor requerimiento hídrico. El *cuarto nodo* se ha basado en el análisis de la distribución de las especies, para lo que se recurre al índice NTI1 generado, que diferencia la clase de uso forestal quercíneas densas (cod-510), debido principalmente a que esta formación presenta un patrón de distribución espacial distinto a las coníferas. En el *último nodo*, se vuelve a aplicar el índice R1 buscando diferenciar las formaciones de coníferas y quercíneas que no han sido clasificadas mediante las reglas que preceden, coníferas con pastizal y matorral (cod-621-721-821) y quercíneas con matorral denso (cod-611). En la figura 5 se muestra gráficamente el árbol de decisión generado. Para finalizar se agrupan los usos (Tabla 1) obtenidos en dos clases según el objetivo de estudio. En una clase los códigos correspondientes a coníferas (520-621-721-821) y en la otra los de quercíneas (510-611-711-811).

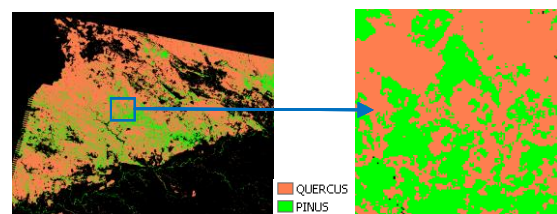


Figura 4. Detalle de la clasificación supervisada

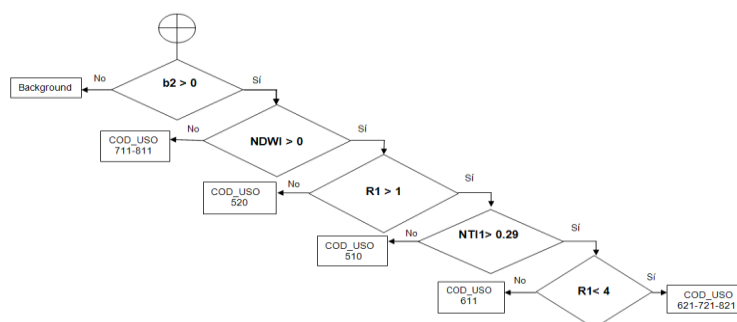


Figura 5. Árbol de decisión generado.

4. RESULTADOS Y VALIDACIÓN

Con el resultado obtenido de la clasificación, se ha llevado a cabo un proceso de post clasificación para mejorar los resultados (Figura 4) empleando el filtro Majority, con una ventana de 3x3.

La validación de la imagen postclasificada se ha realizado mediante matrices de confusión a partir de datos utilizados en el proyecto de inventario forestal LiDAR y otros procedentes del Inventario Forestal Nacional 3 de los años 2006 y 2007, que no han intervenido en el proceso de clasificación. La fiabilidad global de la clasificación es del orden del 70%, con un coeficiente kappa de 0.6. La precisión media por especies ha sido del 74% para *Pinus* spp y del 71% para *Quercus* spp. En el proceso de validación se ha excluido la clase 611 por ser la que introduce mayor incertidumbre en el proceso de clasificación, ya que todos los píxeles que no han sido clasificados previamente se asignan a esta última clase.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se pueden mejorar trabajando con información agrupada por especie en vez de por los códigos de uso asignados por SIOSE, ya que estos códigos introducen distintos porcentajes de mezclas con otras formaciones como matorral y pastizal dentro de su definición. Es por esto que el índice NTI1 no diferencia bien entre los códigos 510 y 611, ya que este índice está más orientado a la diferenciación de especies basado en el parámetro fracción cabida cubierta (FCC). Además de esto por las características de la distribución de las quercíneas en este ámbito de estudio estos códigos tienden a mezclarse, bajando el porcentaje de acierto en la clasificación de esta especie.

Este proyecto se pretende hacer extensible a todo el territorio de uso forestal de Andalucía, considerando que la región presenta una gran diversidad de coberturas del suelo y una gran heterogeneidad en la distribución de especies, lo que supone validar y adaptar los parámetros utilizados a la especie objeto de estudio.

La metodología desarrollada supone una herramienta de gran utilidad en la producción de cartografía de usos para la caracterización de las especies principales del territorio forestal andaluz, para las próximas

actualizaciones del proyecto SIOSE-Andalucía. Se ha obtenido una fuente fiable de información temática aplicable como valor añadido a los distintos proyectos que se engloban en el marco de la REDIAM.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CHANDER, G., MARKHAM, B.L. 2003. *Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 2674–2677
- GAO, B.C. 1996. *NDWI -A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257-266
- KOTCHENOVA, S.Y., VERMOTE, E.F. 2007. *Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part II: Homogeneous Lambertian and anisotropic surfaces*. Applied Optics, Vol. 46, No. 20
- LACAUX, J.P., TOURRE, Y.M., VIGNOLLES, C., NDIONE, J.A., LAFAYE, M. 2007. *Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal*. Remote Sensing of Environment, 106, 66-74
- MOTOHKA, T., NASAHARA, K.N., OGUMA, H., TSUCHIDA, S. 2010. *Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology*. Remote Sensing, 2, 2369-2387
- SASAKI, N., TAKEJIMA, K., KUSAKABE, T., SWEDA, T. 2001. *Forest cover classification using Landsat Thematic Mapper data for areal expansion of line LAI estimate generated through airborne laser profiler*. Polar Biosci., 14, 110-121
- VERMOTE, E.F., EL SALEOUS, N.Z., JUSTICE, C.O., KAUFMAN, Y.J., PRIVETTE, J.L., REMER, L., ROGER, J.C., TANRE, D. 1997. *Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: background, operational algorithm and validation*. Journal of Geophysical Research-Atmosphere, 102(D14), 17131–1714