

CARTOGRAFÍA DE ZONAS FORESTALES EN ESPAÑA MEDIANTE IMÁGENES IRS-WiFS Y ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN

S. SAURA MARTÍNEZ DE TODA (*) y J. SAN MIGUEL AYANZ (**)

sfsaura@ind-cr.uclm.es

(*)Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. E.T.S.I. Industriales.
Univ. Castilla-La Mancha. Av. Camilo José Cela, 3. Campus Universitario. 13071. Ciudad Real

(**) EC-DG Joint Research Centre. Space Applications Institute.
EGEO-Natural Hazards. TP 263. Via Fermi, Ispra (Va), I-21020, Italia.

RESUMEN: Se analiza el potencial de las imágenes IRS-WiFS para la cartografía de zonas forestales en tres provincias españolas: Baleares, Murcia y Lugo. Se utilizaron tres imágenes WiFS coetáneas con los datos del Mapa Forestal del Tercer Inventario Forestal Nacional, en el cual se delimitaron las áreas de entrenamiento y análisis de la fiabilidad de las clasificaciones. Se aplicaron clasificaciones binarias jerárquicas basadas en el método supervisado de árboles de clasificación multivariantes (CART). Este método fue seleccionado por su carácter no paramétrico y selectivo y por su estructura de clasificación intuitiva y explícita. Los resultados muestran que las zonas forestales se cartografiaban con fiabilidades de entre el 99% y el 93%. La fiabilidad global de una clasificación con 4 clases (zonas no forestales, matorral, bosque abierto y bosque denso) es del 94% en Baleares y Murcia y del 78% en Lugo. La menor fiabilidad obtenida en esta última provincia se debe principalmente a la mayor fragmentación del paisaje en la misma. Los bosques densos (definidos como aquellos con al menos un 50% de fracción de cubierta) se cartografiaban con fiabilidades superiores al 95% en las tres provincias analizadas. Estos resultados, junto con la gran extensión espacial de las imágenes IRS-WiFS (810 km de lado), muestran el interés de las imágenes y métodos descritos para la cartografía forestal, la estratificación de inventarios forestales y la detección de cambios en los paisajes españoles.

Palabras clave: cartografía forestal, árboles de clasificación, IRS-WiFS, teledetección.

ABSTRACT: The ability of IRS-WiFS data for forest cover mapping in Spain is analysed in three Spanish regions: Baleares, Murcia and Lugo. Three WiFS images were selected contemporary with the Forest Map of the Third Spanish National Forest Inventory, on which independent train and test classification polygons were delimited. A set of hierarchical binary classifications based on multivariate supervised classification trees (CART) were developed. This classification method was adopted because of its non-parametric and selective character and its explicit and intuitive classification structure. Results show that natural areas are mapped with accuracies ranging from 99% to 93%. The overall accuracy obtained in a four classes classification (dense forest, open forest, shrubs and non-natural areas) is 94% in the regions of Murcia and Baleares and 78% in Lugo. The lower accuracy obtained in Lugo is mostly due to the higher landscape fragmentation in this region. Dense forests (defined as those with a forest canopy cover not lower than 50%) are mapped with an accuracy higher than 95% in the three analysed regions. These results demonstrate that the described remotely sensed data and classification methods present the potential of being used for forest cover mapping, land cover stratification prior to forest inventory and forested landscape change detection in Spain.

Keywords: forest cover mapping, classification trees, IRS-WiFS, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

El sensor WiFS (Wide Field Sensor), incorporado en los satélites indios de teledetección IRS-1C y IRS-1D, es una fuente de información espacial relativamente nueva, cuyos datos están disponibles desde 1996. Cada imagen IRS-WiFS abarca un área de aproximadamente

810 km de lado (Figura 1), con una resolución espacial de 188 metros sobre el terreno, y dos bandas espectrales, en el rojo (R, 620-680 nm) y en el infrarrojo cercano (NIR, 770-860 nm) (NRSA, 1995). Estas características espaciales y espectrales convierten al sensor WiFS en una fuente de información muy interesante para el

análisis de la cubierta forestal en grandes áreas. Para analizar el potencial de estas imágenes para la cartografía de zonas forestales en España, se seleccionaron tres áreas de estudio (las provincias de Baleares, Murcia y Lugo), aplicándose la metodología que se describe a continuación.

MÉTODOS

Se emplearon tres imágenes IRS-1C-WiFS (Figura 1), utilizando en cada una de ellas las zonas correspondientes a las provincias de Baleares, Murcia y Lugo, con fechas de adquisición 9 y 13 de septiembre de 1998 y 8 de septiembre de 1999 respectivamente. Estas imágenes fueron seleccionadas coetáneas con los trabajos de elaboración del Mapa Forestal del Tercer Inventario Forestal Nacional (escala 1:50.000, Mapa del 3IFN en adelante) en dichas provincias (MMA, 2000). Las imágenes fueron corregidas geométricamente mediante puntos de control localizados en el Mapa del 3IFN, utilizando polinomios de segundo grado y asignación al vecino más próximo, y obteniendo un error longitudinal inferior a un píxel WiFS.

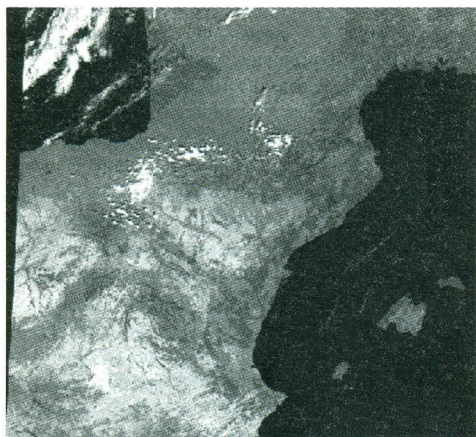


Figura 1. Aspecto de una de las imágenes IRS-WiFS utilizadas en este estudio.

La información detallada disponible en el Mapa del 3IFN fue agregada para definir las clases principales de interés en este estudio, y se delimitaron dos conjuntos independientes de polígonos, uno para el entrenamiento y otro para el análisis de la fiabilidad de las clasificaciones.

La información incluida en el proceso de clasificación fueron las dos bandas originales del sensor WiFS, el índice de vegetación NDVI, y bandas de medias y

varianzas calculadas en ventanas de 3x3 y 7x7 píxeles sobre el rojo, infrarrojo cercano y el NDVI. Este último conjunto de bandas aporta información textural y contextual a la clasificación, incrementando significativamente la fiabilidad de las clasificaciones obtenidas (e.g. Atkinson *et alii.* 1985, San Miguel-Ayanz y Biging 1996).

Se adoptó un método de clasificación supervisada basada en los árboles de clasificación CART (Breiman *et alii.* 1984). Este relativamente nuevo método de clasificación se está aplicando con creciente frecuencia para la cartografía de tipos de vegetación a partir de imágenes de satélite (e.g. Hansen *et alii.* 1996, Friedl y Brodley 1997, Friedl *et alii.* 1999, Hansen *et alii.* 2000). Los árboles de clasificación asignan las clases a los píxeles de la imagen mediante subdivisiones sucesivas de los datos en subconjuntos más homogéneos. El clasificador tiene una forma de árbol invertido (Figura 2), con un nodo raíz compuesto por todos los datos, varios nodos internos y un conjunto de nodos terminales ("hojas" del árbol). En cada uno de los nodos no terminales (nodo raíz y nodos intermedios) se define un umbral que divide el nodo en dos nodos hijos; los píxeles de la imagen que cumplen la regla definida en dicho umbral se asignan al nodo hijo de la izquierda (Figura 2). A cada uno de los nodos terminales se les asigna una clase (aquella con una mayor proporción de casos dentro de dicho nodo), como se aprecia en el ejemplo de la Figura 2.

En este estudio se utilizaron árboles de clasificación multivariantes, que permiten definir los umbrales como combinación lineal de varias de las variables incluidas en la clasificación, y que en general proporcionan resultados más compactos y precisos que los univariantes (Friedl y Brodley, 1997). El criterio de división de los nodos seleccionado fue el criterio de Gini (Breiman *et alii.*, 1984), que proporcionó los mejores resultados en las clasificaciones realizadas en este estudio.

En lugar de asignar las clases en una sola clasificación, se construyeron varios clasificadores binarios que se aplicaron de forma jerárquica. Una primera clasificación para discriminar entre zonas forestales y no forestales, un segundo árbol para diferenciar los bosques densos del resto de zonas no forestales, y un tercero para discriminar los bosques abiertos y matorrales dentro de estas últimas zonas no forestales. Este enfoque permitió obtener árboles de clasificación más precisos y fáciles de interpretar (Figura 2) que los obtenidos con la aplicación directa de un solo árbol para la cartografía de todas las clases de interés.

En general, los árboles de clasificación empleados presentan tres ventajas principales sobre otro tipo de métodos empleados habitualmente:

- Carácter no paramétrico. No se realiza ninguna suposición acerca de la distribución estadística de los datos a clasificar. Se trata por tanto de un clasificador robusto y capaz de manejar adecuadamente clases complejas (varias clases espectrales dentro de una misma clase informacional).
- Clasificador selectivo. Es capaz de seleccionar automáticamente las bandas más adecuadas para la clasificación de cada uno de las clases de interés (pudiendo utilizar un conjunto de bandas distinto para cada uno de ellos).
- Clasificador explícito e intuitivo. Los resultados y bandas empleadas por el clasificador se muestran de una manera clara, siendo fáciles de interpretar (Figura 2).

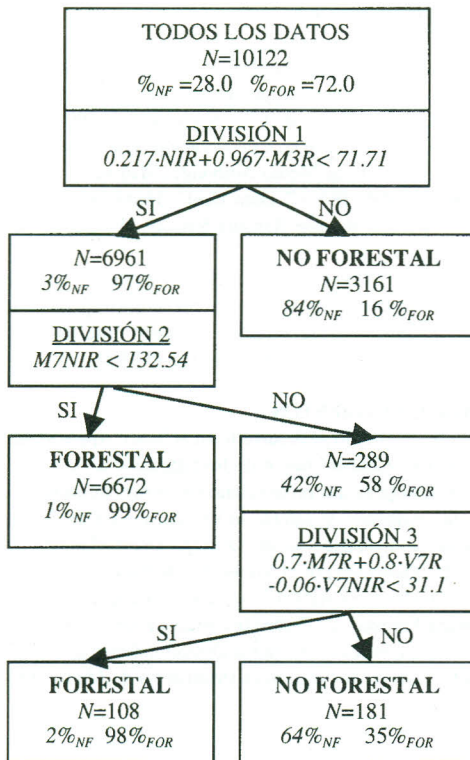


Figura 2. Uno de los árboles de clasificación utilizados, que discrimina entre zonas forestales y no forestales en la provincia de Lugo. *N* es el número total de píxeles de entrenamiento del clasificador en cada uno de los nodos, y $\%_{FOR}$ y $\%_{NF}$ son los porcentajes de píxeles forestales y no forestales en cada nodo. *MX* y *VX* son las medias y varianzas calculadas sobre la banda *Y* en ventanitas de *X* píxeles de lado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran las fiabilidades del usuario (que considera los errores de comisión) y del productor (errores de omisión) obtenidas en las tres provincias para dos niveles de clasificación distintos. Las fiabilidades más bajas se obtienen en la provincia de Lugo, lo cual se debe principalmente a la mayor fragmentación de los paisajes en esta provincia. Este aspecto se puede cuantificar mediante un índice de fragmentación habitualmente utilizado como la densidad de teselas (e.g. Haines-Young y Chopping, 1996), expresado en número de teselas en el Mapa del 3IFN por cada 100 ha. Los valores de este índice en Lugo, Murcia y Baleares son 1.50, 0.96 y 0.91 respectivamente; es decir más del 50% más fragmentado el paisaje forestal en Lugo. Esta disección de la cubierta forestal provoca un incremento en el número de píxeles espectralmente mezclados, con el consiguiente aumento de los errores de clasificación.

En la discriminación de zonas forestales y no forestales (zonas urbanas y agrícolas) se obtienen fiabilidades muy altas, del 99.3% en Baleares, 97.5% en Murcia y 93.1% en Lugo. Los bosques densos, definidos como aquellos con una fracción de cabida cubierta no inferior al 50%, se cartografiaban en todos los casos con una fiabilidad superior al 95%. En lo que se refiere a la discriminación entre bosques densos de coníferas y frondosas, estas dos clases se cartografiaron en Baleares con una fiabilidad media del 85% y el 63% respectivamente. En Lugo, los bosques densos de eucaliptos, robles y pinos se clasificaron con fiabilidades del 63%, 50% y 62% respectivamente. El arbolado de la región de Murcia está dominado muy mayoritariamente por especies de coníferas, por lo que no se pudieron obtener resultados significativos a este respecto.

CONCLUSIONES

Las imágenes IRS-WiFS, en combinación con los métodos de clasificación descritos, demuestran ser útiles para cartografiar con alta fiabilidad las principales clases que permiten conocer el estado y evolución de la cubierta forestal en España. Las zonas forestales se clasificaron con fiabilidades del 99% al 93%, y los bosques densos (fracción de cabida cubierta mayor o igual del 50%) se discriminan con fiabilidades superiores al 95% en cada una de las tres provincias analizadas.

Considerando además la gran extensión espacial de las imágenes WiFS (Figura 1) y su bajo coste por unidad de superficie (con un precio de unos 800 euros por imagen), la metodología propuesta es aplicable para obtener información actualizada, consistente y frecuente acerca de la distribución, estado y evolución de la cubierta forestal en España.

Mapa con 2 CLASES	BALEARES	MURCIA	LUGO
	P (%) / U (%)	P (%) / U (%)	P (%) / U (%)
1. FORESTAL	99.29 / 99.15	95.22 / 99.03	91.66 / 98.78
2. NO FORESTAL	99.36 / 99.46	99.25 / 96.27	96.67 / 81.28
<i>FIABILIDAD GLOBAL</i>	99.33 %	97.47 %	93.12 %
Mapa con 4 CLASES	BALEARES	MURCIA	LUGO
	P (%) / U (%)	P (%) / U (%)	P (%) / U (%)
1. BOSQUE DENSO	94.36 / 95.01	98.59 / 96.77	94.48 / 98.80
2. BOSQUE ABIERTO	66.46 / 77.15	83.53 / 99.09	53.29 / 38.32
3. MATORRAL	82.46 / 62.51	95.57 / 93.21	51.61 / 75.57
4. NO FORESTAL	99.36 / 93.21	99.25 / 96.27	51.61/75.57
<i>FIABILIDAD GLOBAL</i>	93.79 %	94.78 %	78.48 %

Tabla 1. Fiabilidad del productor (P) y del usuario (U) para cada una de las clases y fiabilidad global de la clasificación (estimación del porcentaje total de píxeles correctamente clasificados en el mapa) para cada una de las tres provincias y dos niveles de clasificación.

BIBLIOGRAFÍA

- ATKINSON, P., J. L. CUSHNIE, J. R. G. TOWNSHEND y A. WILSON. 1985. Improving Thematic Mapper land cover classification using filtered data. *International Journal of Remote Sensing* 6: 955-961.
- BREIMAN, L., J. H. FRIEDMAN, R. A. OLSEN, y C. J. STONE. 1984. *Classification and regression trees*. Wadsworth, Pacific Grove, Canada.
- FRIEDL, M. A. y C. E. BRODLEY. 1997. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 61: 399-409.
- FRIEDL, M. A., BRODLEY, C. E. y A. H. STRAHLER. 1999. Maximizing land cover classification accuracies produced by decision trees at continental to global scales. *IEEE Transactions in Geoscience and Remote Sensing* 37: 969-977.
- HAINES-YOUNG, R. y M. CHOPPING. 1996. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in Physical Geography* 20: 418-445.
- HANSEN, M., R. DUBAYAH y R. DEFRIES. 1996. Classification trees: an alternative to traditional land cover classifiers. *International Journal of Remote Sensing* 17: 1075-1081.
- HANSEN, M. C., R. S. DEFRIES, J. R. G. TOWNSHEND y R. SOHLBERG. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing* 21: 1331-1364.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2000. Pliego de prescripciones técnicas particulares para la elaboración del Mapa Forestal de España a escala 1:50000. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- NRSA. 1995. *IRS-1C Data User's Handbook*. Indian National Remote Sensing Society. Hyderabad, India.
- SAN MIGUEL-AYANZ, J. y G. S. BIGING. 1996. An iterative classification approach for mapping natural resources from satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing* 17: 957-981.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló en el Space Applications Institute (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea), que proporcionó los medios informáticos y las imágenes de satélite utilizadas, y a través de una beca de investigación de Santiago Saura Martínez de Toda financiada por el Ministerio de Educación y Cultura (referencia AP98). Los datos correspondientes al Mapa Forestal del Tercer Inventario Forestal Nacional fueron proporcionados por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (Ministerio de Medio Ambiente).