

## **REVISION Y ACTUALIZACION DE CARTOGRAFIA FORESTAL MEDIANTE IMAGENES DE SATELITE. APLICACION EN DOS CASOS**

J.M. Cuevas Gozalo, F. González Alonso y M. Herrón Gómez

*Laboratorio de Teledetección*

*Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria*

*Tlf. (91)3476817, Fax (91)3572293, Apdo. 8.111, 28.080 Madrid, España*

**RESUMEN.-** Se han efectuado dos estudios de revisión y actualización de cartografía de carácter forestal mediante imágenes de satélite Landsat TM y MSS. En el primero se revisa mediante información Landsat TM un sector del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Cordillera Cantábrica mayoritariamente ocupado por hayedos utilizando clasificaciones supervisada y no supervisada. En el segundo estudio se identifican los eucaliptares en el sureste de la provincia de Huelva y suroeste de la provincia de Sevilla mediante una imagen Landsat MSS utilizando clasificación supervisada y reclasificadores de contexto. Los resultados obtenidos se comparan con una cartografía de los eucaliptares realizada por fotointerpretación convencional de un vuelo coetáneo con la imagen utilizada.

**ABSTRACT.-** The results obtained in two studies of revision of forest cartography through Landsat TM and MSS spectral information are presented. In the first study an area of the Mapa de Cultivos y Aprovechamientos in the Cordillera Cantábrica (North Spain) and basically occupied by beech forests is revised by supervised and unsupervised classification of Landsat TM information. In the second study are recognized the eucalypt plantations in the southeast of the Huelva province and southwest of the Sevilla province (South Spain) using Landsat MSS information through supervised classification and context classifiers. The results are compared with a cartography of the eucalypt areas made by conventional photointerpretation of a flight of date very closed to that of the used image.

### **1.- IDENTIFICACION MEDIANTE INFORMACION LANDSAT TM DE LOS HAYEDOS EN UN SECTOR DEL MAPA DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS DE LA CORDILLERA CANTABRICA**

El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) comenzó a realizarse en 1974 mediante fotointerpretación convencional y visitas al terreno. El MCA ha sido utilizado en estudios de Teledetección como fuente de información previa (González - Alonso et al., 1986, González - Alonso et al., 1988) y se ha estudiado su actualización emulando los procedimientos de fotointerpretación empleados en su elaboración (Moreira et al., 1987), pero no se ha realizado hasta el presente ningún estudio orientado a contrastar digitalmente la cartografía de especies forestales propia del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos mediante análisis de imágenes de satélite.

Los hayedos ocupan en España una superficie de 276.137 ha (IFN, 1980), extendiéndose de forma natural fundamentalmente por la Cordillera Cantábrica, el Sistema Ibérico Norte y los Pirineos.

El área seleccionada para realizar este estudio está situada en la Provincia de León, en las

proximidades de Riaño, excepto un pequeño sector que pertenece a Asturias. Este área tiene una forma rectangular de 10 km de base y 14 km de altura y aparece representada en la hoja Burón (15-6(80)) de la Cartografía Militar de España a escala 1:50.000. Las coordenadas UTM de la esquina superior izquierda son 329, 4778.

El relieve en esta zona es bastante accidentado, oscilando las altitudes entre 1.100 y 1.914 m. La vegetación natural está formada por masas de haya (*Fagus sylvatica* L.) y matorrales procedentes de la degradación de los hayedos. En una pequeña zona se realizaron trabajos de reforestación con coníferas (*Pinus sylvestris* L. y *Pinus uncinata* Mill.).

Las clases presentes en este área según el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000 son: Haya (Fs), Improductivo (I), Agua (embalse de Riaño), Repoblaciones forestales de coníferas (Ps50 + Pu50), Pastizal de alta montaña con haya (PT/Fs), Pastizal/Matorral (P/M), Pastizal de alta montaña (PT), Prados regados eventualmente (Pr) y Prados regados con labor (Pr + L). El sector utilizado del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos se digitalizó obteniéndose los resultados que aparecen en la Tabla I.

Fs	I	Agua	Ps50+Pu50	PT/Fs	P/M	PT	Pr	Pr+L
68.885	1.190	1.996	1.120	1.874	32.234	15.047	19.284	4.094

Tabla I.- Resultados de la digitalización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos

Las cubiertas con presencia del haya son mayoritarias en el área en estudio, suponiendo según el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos el 46,64 % de su superficie.

Se ha utilizado una imagen Landsat TM captada en agosto de 1990 y completamente libre de nubes. Se comenzó su proceso extrayendo de ella un sector cubriendo el área en estudio y calibrando geográficamente este sector con el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos digitalizado. Se emplearon 11 puntos de control y se realizó un ajuste de primer grado. Con este proceso de calibración y registro geográfico de la subimagen utilizada esta pasa a coordenadas UTM, que son en las que está el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.

En este estudio se han usado dos metodologías de clasificación, una supervisada de máxima verosimilitud y la otra no supervisada sobre tres índices de vegetación cuyos resultados se comparan con el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, y entre sí.

En el caso de la clasificación supervisada, y a la vista de la variación espectral existente en el sector de la imagen Landsat TM cubriendo el área en estudio se definieron seis clases espectrales correspondientes a los tipos de cubierta siguientes: hayedos poco iluminados en la imagen Landsat TM, hayedos bastante iluminados en la imagen Landsat TM, agua (embalse de Riaño) y matorrales en umbrías muy marcadas, pastizales con actividad vegetativa en el momento de captarse la imagen, pastizales agostados o con actividad vegetativa muy baja en el momento de captarse la imagen y matorrales. No se definió una clase espectral para las reforestaciones de coníferas por ser bastante jóvenes, tener un grado de cubierta muy bajo y ocupar una superficie muy pequeña.

De cada una de estas clases se definieron unas áreas de entrenamiento ocupadas en el momento de captación de la imagen por la clase a la que representaban. Las distancias de Jeffries - Matusita entre las clases espectrales construidas son en todos los casos igual a 1,1414, máximo valor posible, excepto entre las clases pastizales con actividad vegetativa y pastizales con actividad vegetativa muy baja en que es 1,408.

Los resultados obtenidos en la clasificación supervisada de máxima verosimilitud aparecen, expresados en píxeles, en la Tabla II.

Hayedos poco iluminados	45.885
Hayedos bastante iluminados	20.582
Agua y matorrales en umbrías muy marcadas	1.318
Pastizales con actividad vegetativa	28.228
Pastizales agostados	25.458
Matorrales	30.253
Total	151.724

**Tabla II.-** Resultados de la clasificación supervisada

Para efectuar la clasificación no supervisada se definieron tres índices de vegetación normalizados sobre el sector de imagen Landsat TM usando las bandas 4 y 2, 4 y 3, y 7 y 2. Se utilizó el algoritmo ISODATA fijando que el número de clases a obtener fuese seis, es decir, el mismo que en el caso de la clasificación supervisada. Este algoritmo agrega una clase de fondo a la que asigna los píxeles no adjudicables a ninguna de las clases fijadas. Las clases se etiquetaron a la vista de los resultados obtenidos que, expresados en píxeles, aparecen en la Tabla III.

Agua y matorrales en umbría	481
Matorrales	11.438
Pastizales con poca actividad vegetativa	26.613
Pastizales con actividad vegetativa	31.686
Hayedos poco iluminados	23.571
Hayedos muy poco iluminados	30.601
Hayedos más iluminados	27.334
Total	151.724

**Tabla III.-** Resultados de la clasificación no supervisada

Los resultados de clasificación de la información Landsat TM se cruzaron en ambos casos con la digitalización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. En las Tablas IV y V aparecen los resultados obtenidos relativos a hayedos.

	Hayedos	No hayedos	Total
Fs + PT/Fs	49.582	21.177	70.759
No hayedos	17.065	63.900	80.965
Total	66.647	85.077	151.724

**Tabla IV.-** Los hayedos en la clasificación supervisada del sector de la imagen Landsat TM (columnas) y en el MCA (filas)

	Hayedos	No hayedos	Total
Fs + PT/Fs	55.284	15.475	70.759
No hayedos	26.222	54.743	80.965
Total	81.506	70.218	151.724

**Tabla V.-** Los hayedos en la clasificación no supervisada del sector de la imagen Landsat TM (columnas) y en el MCA (filas)

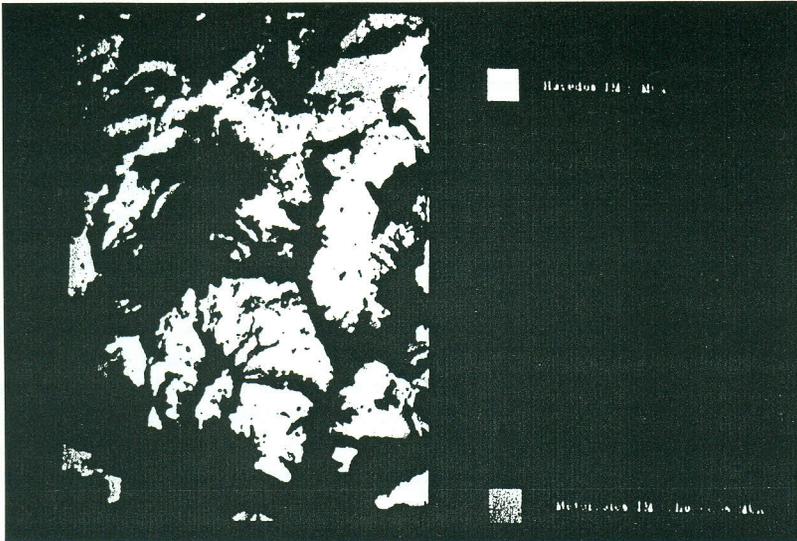


Figura 1.- Los hayedos de Burón según el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y la clasificación supervisada de la información Landsat TM (C. 38)

La CHI2 de la Tabla IV es 35.368 y la de la Tabla V 25.047. Estos valores muestran que los resultados de clasificación de la información Landsat TM no son estadísticamente independientes del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos al 95 % de probabilidad fiducial, siendo mayor la semejanza en lo que respecta al reconocimiento de los hayedos en el caso de la clasificación supervisada.

El 43,08 % de los píxeles del área en estudio se han clasificado como hayedos en ambos casos, un 0,87 % en la clasificación supervisada pero no en la no supervisada, un 10,21 % en la no supervisada pero no en la supervisada y un 45,85 % no se han clasificado como hayedos en ninguno de los dos casos.

En la Figura 1 aparecen representados los resultados relativos a hayedos obtenidos al cruzar los resultados de clasificación supervisada de la información Landsat TM y el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. Las disparidades no aparecen salpicadas sino formando manchas de una superficie considerable, y muchas de ellas formando orlas alrededor de las zonas calificadas como hayedos tanto en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos como en la clasificación de la información Landsat TM. La mayoría de estas discrepancias no son atribuibles a la evolución de las masas forestales desde la fecha de realización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos sino a errores de tipo cartográfico en su confección, y ponen de manifiesto las deficiencias de este documento.

## 2.- RECONOCIMIENTO DE EUCALIPTARES EN EL SUR DE ESPAÑA MEDIANTE ANALISIS DE UNA IMAGEN LANDSAT MSS

En España las plantaciones de eucaliptos tienen una gran importancia y ocupan una superficie considerable especialmente en el norte y suroeste. Según el Primer Inventario Forestal de España (IFN, 1980) ocupaban 225.234 ha, de las que 93.070 y 16.327 estaban situadas en las provincias de Huelva y Sevilla.

El área en estudio es el sureste de la provincia de Huelva y suroeste de la provincia de

Sevilla e incluye el Parque Nacional de Doñana. Este área es prácticamente llana y presenta gran diversidad de usos del suelo. Aparte de las marismas del Guadalquivir, hay usos agrícolas, como olivares, cultivos en secano, cultivos en regadío y frutales, y usos forestales, formados por masas de pino piñonero, plantaciones de eucaliptos y matorrales. Utilizando parte de este mismo área Cuevas et al. (1992) han estudiado las superficies cultivadas en regadío mediante imágenes Landsat MSS captadas en años de condiciones meteorológicas muy diferentes.

Como límites del área en estudio se adoptaron los siguientes, reconocibles con facilidad en la imagen Landsat MSS y que aparecen representados en el Mapa Forestal del Eucalipto (MFE): la autopista Sevilla - Huelva al norte, el mar, y el río Guadalquivir al este.

Se ha utilizado para realizar este estudio una imagen Landsat MSS captada el 4 de agosto de 1988. La fecha de esta imagen es cercana a la del vuelo fotográfico empleado para realizar por fotointerpretación convencional el Mapa Forestal del Eucalipto, editado a escala 1:400.000.

Se extrajo el sector de imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio, quedando constituido por 610.485 píxeles. El Mapa Forestal del Eucalipto correspondiente al área en estudio se digitalizó mediante *scanner* con una intensidad de 150 dpi y se procedió a una meticulosa labor de edición para eliminar todo aquello que aparece representado en este mapa, como carreteras, toponimia, curvas de nivel, etc., pero que no corresponde a eucaliptares.

El resultado obtenido se rectificó para que pasase a las coordenadas de la imagen Landsat MSS, utilizando 16 puntos de control y un ajuste de segundo grado, obteniéndose tras ser eliminados diez puntos de control un error cuadrático medio de cero. Según este mapa están calificados como pertenecientes a eucaliptares 99.072 píxeles, 16,23 % del área en estudio. Se ha aplicado una metodología de clasificación supervisada de máxima verosimilitud. Se definieron las siguiente clases espectrales: eucaliptares (dos clases), matorrales, pinares, arenales, marisma inundada, cultivos en secano, marisma con *Phragmites* sp., marisma no inundada (cinco clases), urbano y cultivos en regadío (dos clases). Se definió más de una clase espectral para los eucaliptares, así como para la marisma no inundada y para los cultivos en regadío, debido a que estos usos del suelo presentan una respuesta espectral heterogénea, que en el caso de los eucaliptares es consecuencia del distinto grado de cubierta y edad de las masas.

Se fijaron unas áreas de entrenamiento que permitieran la obtención de las correspondientes clases espectrales. El número total de píxeles utilizados para definir las áreas de entrenamiento es 5.884 (0,96 % del área en estudio). Las áreas de entrenamiento de eucaliptares están formadas por un total de 422 píxeles (7,17 % del número total de píxeles de entrenamiento) y se situaron en zonas que según el Mapa Forestal del Eucalipto estaban ocupadas por eucaliptares y que tenían una respuesta espectral acorde con ello. Las parcelas de entrenamiento de una clase espectral de eucaliptares corresponden a zonas con respuesta en el infrarrojo más alta que las de la otra.

Con las clases espectrales se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud. En los resultados obtenidos los píxeles clasificados en las clases de eucaliptar aparecen muy dispersos por el área en estudio. Por esta razón se decidió aplicar un reclasificador de contexto. Para ello, los resultados obtenidos se agruparon en dos clases: <<Eucaliptares>> y <<No eucaliptares>> y se les aplicó un reclasificador de contexto basado en asignar cada píxel a la clase que estuviera en mayoría en una ventana circular de radio dos con centro en él.

Este reclasificador se aplicó de nuevo sobre los resultados obtenidos la primera vez, y en los resultados obtenidos se procedió a eliminar las unidades superficiales clasificadas como

eucaliptares pero de tamaño inferior a quince píxeles (aproximadamente diez ha). El objetivo de esta operación fue suprimir aquellas unidades superficiales asignadas a eucaliptares, pero que por su pequeño tamaño era dudoso que estuvieran correctamente clasificadas dado que no es frecuente que los eucaliptares ocupen en el área en estudio tan pequeñas superficies. El número de píxeles asignados a eucaliptares ha ido disminuyendo en los sucesivos pasos, siendo 89.792 (14,71 %) en la clasificación supervisada, 64.792 (10,52 %) en la primera reclasificación por mayoría, 59.885 en la segunda reclasificación por mayoría (9,80 %) y 57.781 (9,46 %) tras eliminar las unidades clasificadas como eucaliptares de un tamaño inferior a quince píxeles.

Los resultados de clasificación de la información Landsat MSS se cruzaron con la digitalización del Mapa Forestal del Eucalipto. En las Tablas VI, VII, VIII y IX aparecen los resultados obtenidos.

El porcentaje de píxeles clasificados en base a la imagen Landsat MSS en cubiertas diferentes a eucaliptares y que en el Mapa Forestal del Eucalipto no están calificados como eucaliptares es muy alto, aumentando en los análisis aplicados sucesivamente hasta llegar a 94,59 % tras eliminar las unidades clasificadas como eucaliptares de un tamaño inferior a quince píxeles. El porcentaje de píxeles clasificados en base a la imagen Landsat MSS como eucaliptares y que están calificados en el Mapa Forestal del Eucalipto como eucaliptares es bastante bajo, aumentando también en los sucesivos análisis aplicados hasta llegar a 55,13 % tras eliminar las unidades clasificadas como eucaliptares de un tamaño inferior a quince píxeles.

Las CHI<sup>2</sup> de las Tablas VI, VII, VIII y IX son 39.952,0, 62.897,2, 68.962,0 y 71.052,8 respectivamente, mostrando que los resultados obtenidos en base a la imagen Landsat MSS y la cartografía del Mapa Forestal del Eucalipto no son estadísticamente independientes al 95 % de probabilidad fiducial.

El estadístico Kappa (Fleiss, 1981) permite analizar cual de los resultados obtenidos a partir de la información Landsat MSS presenta una mayor semejanza con el Mapa Forestal del Eucalipto. Jong (1993) ha utilizado este estadístico para comparar los resultados obtenidos con diversos tipos de filtros en el reconocimiento mediante información Landsat TM de los usos del suelo en un área de Kenia en que los eucaliptares ocupaban gran parte de la superficie.

Fitzgerald y Lees (1994) han mostrado como este estadístico es una herramienta más rigurosa y adecuada que el porcentaje de clasificación correcta para evaluar los resultados obtenidos mediante dos metodologías diferentes de clasificación de información Landsat TM en un área del sureste de Australia en que los eucaliptares naturales de varias especies estaban entre los usos del suelo presentes.

Este estadístico tiene unos valores de 0,255, 0,311, 0,323 y 0,326 para las Tablas VI, VII, VIII y IX respectivamente, mostrando que el acuerdo entre el Mapa Forestal del Eucalipto y los resultados obtenidos a partir de la información Landsat MSS se incrementa en los sucesivos análisis efectuados, si bien cuando el estadístico Kappa presenta valores inferiores a 0,4 la concordancia entre las dos fuentes de información es baja (Landis, Koch, 1977).

En la Figura 2 aparecen representados las superficies ocupadas por eucaliptares en el área en estudio obtenidas a partir de la información Landsat MSS tras eliminar las unidades superficiales de un tamaño inferior a 15 píxeles.

### 3.- CONCLUSIONES

Las imágenes captadas por los satélites de recursos naturales han mostrado su gran interés y utilidad para la revisión y actualización de cartografía de carácter forestal, tanto en el caso de masas de origen natural como de reforestaciones.

	Eucaliptares	Otras cubiertas	Total
Eucaliptares	34.967	64.105	99.072
No eucaliptares	54.825	456.588	511.423
Total	89.792	520.623	610.485

**Tabla VI.-** Tabla de contingencia entre los resultados de clasificación supervisada del sector de imagen Landsat MSS (columnas) y el MFE (filas)

	Eucaliptares	Otras cubiertas	Total
Eucaliptares	32.602	66.470	99.072
No eucaliptares	31.650	479.650	511.423
Total	64.252	546.120	610.485

**Tabla VII.-** Tabla de contingencia entre los resultados de reclasificación por mayoría del sector de imagen Landsat MSS (columnas) y el MFE (filas)

	Eucaliptares	Otras cubiertas	Total
Eucaliptares	32.644	66.861	99.072
No eucaliptares	27.644	483.769	511.423
Total	59.855	550.630	610.485

**Tabla VIII.-** Tabla de contingencia entre los resultados de reclasificación por mayoría dos veces del sector de imagen Landsat MSS (columnas) y el MFE (filas)

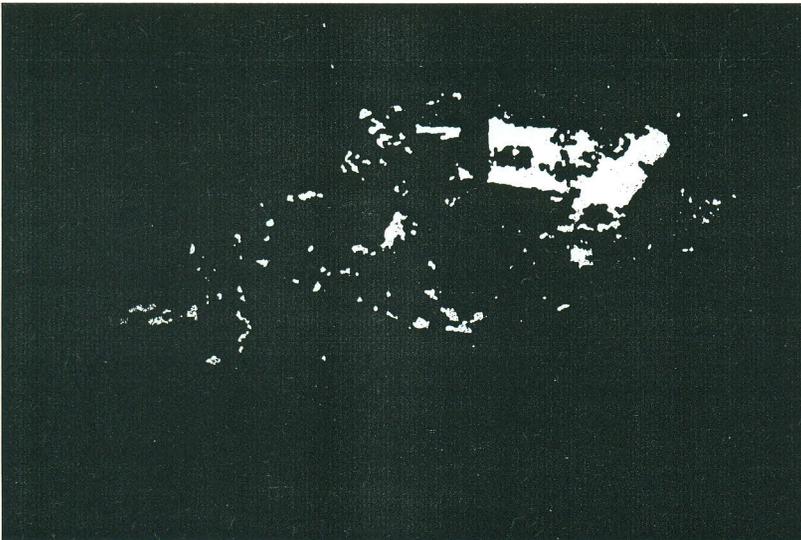
	Eucaliptares	Otras cubiertas	Total
Eucaliptares	31.856	67.216	99.072
No eucaliptares	25.925	485.488	511.423
Total	57.781	552.704	610.485

**Tabla IX.-** Tabla de contingencia entre los resultados obtenidos tras eliminar las unidades clasificadas en base a la imagen Landsat MSS como eucaliptares de un tamaño inferior a quince píxeles (columnas) y el MFE (filas)

#### 4.- REFERENCIAS

- Cuevas J. M. y González - Alonso F. 1992. Variación temporal de superficies cultivadas en regadío en el área del Parque Nacional de Doñana mediante análisis de imágenes Landsat MSS. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales* 7(2): 245-252.
- Fitzgerald, R. W. and Lees, B. G. 1994. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. *Remote Sens. Environm.* 47(3): 362-368.

- Fleiss, J. L. 1981. Statistical methods for rates and proportions. Segunda edición, *Willey*, Nueva York.
- González - Alonso, F., Cuevas, J. M. y Moro, J. 1986. Aplicación del sistema informático ERAFIS al reconocimiento y discriminación de los usos del suelo en la provincia de Toledo a partir de imágenes Landsat MSS. *Monografías INIA 34*, Madrid
- González - Alonso, F., López - Soria, S. y Cuevas, J. M. 1988. Influencia de la información contenida en imágenes de satélite sobre la precisión de la estimación de la superficie cultivada de cereal en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Navarra, *Monografías INIA 73*, Madrid.
- IFN 1980. Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. *ICONA*, Madrid.
- Landis, J. R. and Koch, G. C. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biommetrics* 33: 159-171
- Jong, S. M. 1993. An application of spatial filtering techniques for land cover mapping using TM-images. *Geocarto International*. 8(1): 43-49.
- Moreira, J. M., Lobato, A., Ramos, A., Otero, F. y Martínez, J. M. 1987. El tratamiento de imágenes Landsat TM como ayuda para la actualización de mapas de uso del territorio. En *Segunda Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección*. pp 289-299, Valencia.



**Figura 2.-** Eucaliptares en el área de estudio obtenidos a partir de información Landsat MSS (C. 39)