

## UTILIZACION DE INFORMACION ESPECTRAL LANDSAT TM EN EL RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACION DE LOS HAYEDOS CANTABRICOS. COMPARACION DE DOS METODOLOGIAS

J. M. CUEVAS<sup>1</sup>, F. GONZÁLEZ ALONSO<sup>1</sup> y MARIA HERRÓN<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en el reconocimiento y clasificación de los hayedos cantábricos situados en las proximidades de Burón y Oseja de Sajambre (León) utilizando una imagen espectral captada por el sensor TM del satélite norteamericano Landsat. Se han usado dos metodologías de clasificación diferentes, supervisada y no supervisada, cuyos resultados se comparan. La clasificación no supervisada se efectuó sobre tres índices de vegetación definidos. Como contraste de las clasificaciones efectuadas se ha utilizado el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. Los resultados de la clasificación supervisada tienen una mayor semejanza con el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, en lo que respecta a los hayedos, que los resultados de la clasificación no supervisada. Los resultados obtenidos muestran las deficiencias del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos utilizado, así como la evolución de las masas de haya desde la fecha de realización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.

Palabras clave: Hayedos, *Fagus sylvatica* L., Landsat TM.

### INTRODUCCION

Las imágenes procedentes de los satélites de observación de la Tierra (Landsat, SPOT, NOAA, ERS-1, etcétera) poseen un enorme potencial en lo que respecta a la realización de aplicaciones dentro del ámbito forestal (GONZÁLEZ-ALONSO y CUEVAS, 1982a y 1982b), siendo muy numerosas las investigaciones y aplicaciones forestales realizadas, tales como detección y evaluación de superficies incendiadas (ARBIOL *et al.*, 1984), predicción de las áreas más propensas a sufrir un incendio forestal (LÓPEZ-SORIA *et al.*, 1991), detección de los cambios ocurridos en la cubierta vegetal (LÓPEZ-SORIA *et al.*, 1986; SING, 1989; CUEVAS *et al.*, 1990), inventariación de los recursos forestales (RIPPLE *et al.*, 1991), etcétera.

El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) se inició en 1974 y está editado a escala 1:50.000 en hojas cubriendo toda España y a escala 1:200.000 en hojas provinciales. El método seguido para la realización del mismo se basó fundamentalmente en fotointerpretación convencional y visitas al terreno. En los cuadernillos que acompañan a cada hoja se echa de menos una verificación estadística de la calidad del producto publicado, lo que permitiría conocer el error inevitable que toda labor de cartografía temática conlleva.

En el caso del haya, debido a que la gran mayoría de sus masas son montes ordenados y de propiedad pública, sometidos a Proyectos de Ordenación en los que los tratamientos por cortas a hecho son una excepción, no son esperables transformaciones radicales, así pues es lógico pensar que las superficies que aparecen codificadas en el MCA como pertenecientes a haya sigan con el paso del tiempo en un estado que haga que su uso del suelo sea calificable de hayedo. No obstante, siempre son es-

<sup>1</sup> Sección de Teledetección Agraria. Área de Informática Científica. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

perables situaciones de progresión o regresión del hayedo, que normalmente se presentarán en forma de orlas de mayor o menor anchura en los bordes de las masas previamente existentes.

El objetivo de este estudio ha sido obtener una evaluación de la utilidad que la teledetección espacial puede presentar en la verificación y actualización de las superficies que aparecen codificadas en el MCA como pertenecientes a una especie forestal, y más en concreto el haya. El MCA ha sido utilizado en diversos estudios de teledetección como fuente de información previa (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1986; GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1988) y se ha estudiado su actualización (MOREIRA *et al.*, 1987) emulando los procedimientos de fotointerpretación empleados en su elaboración, pero no se ha realizado hasta el presente ningún estudio orientado a contrastar digitalmente la cartografía de especies forestales realizada en el MCA.

## EL AREA EN ESTUDIO

El área que se ha seleccionado para la realización de este estudio cubre terrenos de la provincia de León, excepto un pequeño sector de Asturias, situados a ambos lados de la divisoria de aguas del Duero y el Cantábrico. En el Sur cubre los alrededores de Burón, localidad situada a poca distancia de Riaño, y en el Norte está situada muy cerca de Oseja de Sajambre. En la Figura 1 aparecen los principales accidentes geográficos del área en estudio. Este área aparece representada en la hoja de Burón (15-6 [80]) de la Cartografía Militar de España a escala 1:50.000 y tiene la forma de un rectángulo de 10 km de base y 14 km de altura, orientado según los ejes cardinales. Las coordenadas UTM de la esquina superior izquierda son 329, 4778, y las coordenadas UTM de la esquina inferior derecha son 339, 4764. Este área está atravesada en su parte inferior por el río Esla y su afluente Orza, y en su parte septentrional por el río Zalambra, afluente del Sella. El relieve es bastante accidentado, oscilando las altitudes entre 1.100 y 1.914 msnm. Los sustratos geológicos son pizarras del Carbonífero. 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 repoblación forestal con coníferas (*Pinus sylvestris* L. y *Pinus uncinata* Mill.).

## METODOLOGIA

Para la realización de esta investigación se han empleado los paquetes de *software* ERDAS para el procesamiento de la información espectral de una imagen captada por el sensor TM del satélite Landsat 4 y ARC/INFO, sistema vectorial de informática geográfica, para la digitalización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) del área en estudio. La imagen Landsat TM, de 30 m de resolución espacial, fue captada en agosto de 1990. Las imágenes Landsat TM, que cubren un mismo punto de la superficie terrestre cada dieciséis días, disponen de siete bandas, tres en el visible, tres en el infrarrojo cercano-medio y una en el infrarrojo térmico de menor resolución espacial (120 m) que no ha sido utilizada en este estudio.

El sector del MCA a escala 1:50.000 cubriendo el área en estudio fue digitalizado, utilizándose para ello el sistema ARC/INFO. Las clases presentes en el área en estudio eran: Haya (Fs), Improductivo (I), Agua (embalse de Riaño), Repoblaciones forestales de coníferas (Ps<sub>50</sub> + Pu<sub>50</sub>), Pastizal de alta montaña con haya (PT/Fs), Pastizal/Matorral (P/M), Pastizal de alta montaña (PT), Prados regados eventualmente (Pr) y Prados regados eventualmente con labor (Pr + L). En la Lámina VI, Foto 1, aparece representada la digitalización realizada. Esta digitalización, después de ser rasterizada y corregidas pequeñas deficiencias originadas en el proceso de rasterización, dio los siguientes resultados, expresados en píxeles o unidades de información:

|   |         |
|---|---------|
| Fs .....                                  | 68.885  |
| I .....                                   | 1.190   |
| Agua .....                                | 1.996   |
| Ps <sub>50</sub> + Pu <sub>50</sub> ..... | 1.120   |
| PT/Fs .....                               | 1.874   |
| P/M .....                                 | 38.234  |
| PT .....                                  | 15.047  |
| Pr .....                                  | 19.284  |
| Pr + L .....                              | 4.094   |
| TOTAL .....                               | 151.724 |

Se comenzó el proceso de la imagen Landsat TM extrayendo un sector de ella cubriendo el área en estudio y calibrando geográficamente este sector. Se utilizaron 11 puntos de control y se realizó un ajuste de primer grado. Con este proceso de cali-

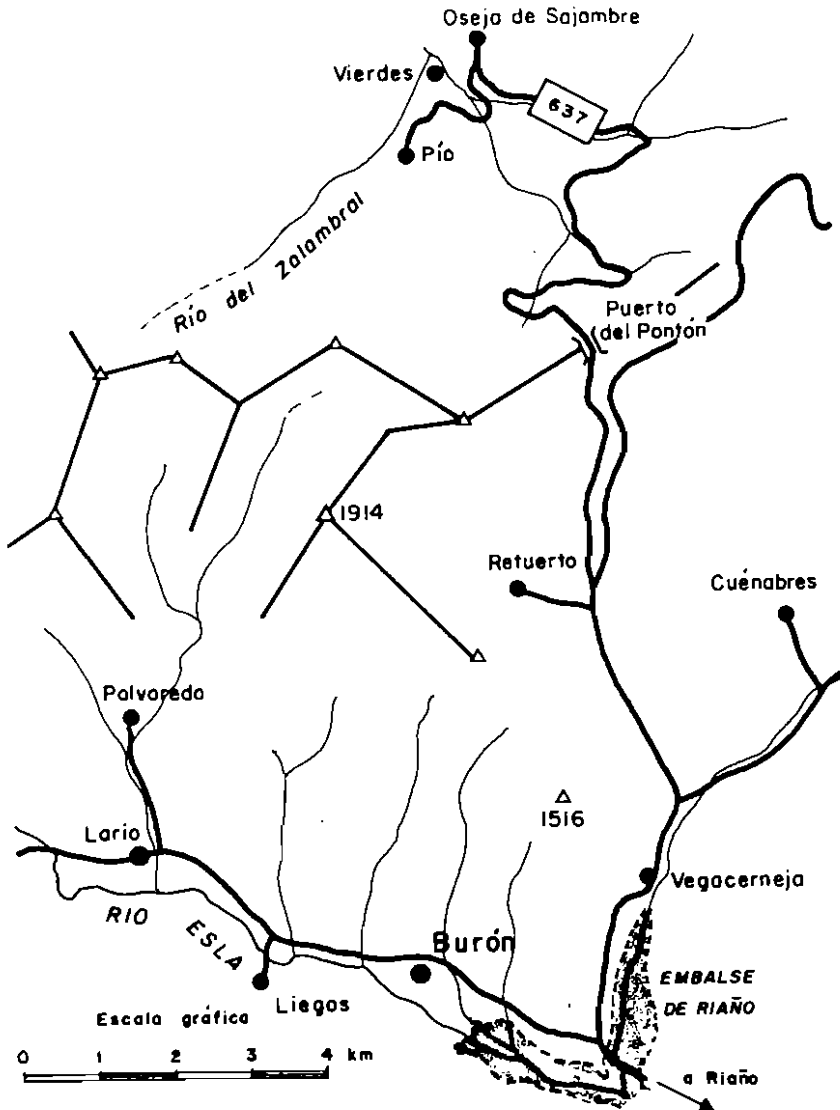


Fig. 1. Accidentes geográficos del área en estudio.

bración y registro geográfico de subimagen utilizada se pasa a coordenadas UTM, que son las coordenadas en que está el MCA.

Se han utilizado en este estudio dos metodologías de clasificación, la primera de tipo supervisado y la segunda de tipo no supervisado, cuyos resultados se comparan entre sí y con el MCA.

En el caso de clasificación supervisada y a la vista de la variación espectral existente en la parte de la imagen Landsat TM que cubre el área en estudio y de acuerdo con la codificación de este área en el MCA, se definieron seis clases espectrales que corresponden a los tipos de cubierta siguientes: hayedos poco iluminados en la imagen Landsat TM, hayedos bastante iluminados en la imagen Landsat TM, agua y sombras, pastizales con actividad vegetativa en el momento de captación de la imagen, pastizales agostados o con muy baja actividad vegetativa en el momento de captación de la imagen y matorrales. De cada una de estas clases se determinaron una serie de áreas de entrenamiento que con total certeza estaban ocupadas, en el momento de captación de la imagen, por la clase a la que representaban.

Las distancias de Jeffries-Matusita (CUEVAS y GONZÁLEZ-ALONSO, 1983) obtenidas, con las que se realiza una evaluación de la separabilidad espectral entre las clases consideradas, fueron igual a 1,414, máximo valor posible, a excepción de la distancia entre las clases pastizales con actividad vegetativa y pastizales con muy baja actividad vegetativa, en que el valor obtenido fue 1,408.

En el caso de la clasificación no supervisada, ésta se realizó utilizando el algoritmo ISODATA, que ha sido utilizado en diversos estudios de teledetección de carácter forestal (GAYDOS y NEWLAND, 1978). En la aplicación de dicho algoritmo se utilizaron tres índices de vegetación. Los índices de vegetación se definieron con el objetivo de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multiespectrales, en este caso las seis bandas utilizadas del sensor TM, a un número de dimensiones menor. Los índices de vegetación utilizan la información de las bandas correspondientes al visible y al infrarrojo para obtener nuevas variables muy ligadas a las características de la vegetación (TUCKER, 1979; PERRY y LAUTENSCHLAGER, 1984). La definición de los diversos índices de ve-

getación utilizados se realizó a partir del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI).

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo-Rojo}}{\text{Infrarrojo} + \text{Rojo}}$$

El NDVI está muy correlacionado con el índice de superficie foliar, la productividad neta primaria y la biomasa (TUCKER y SELLERS, 1986). Dado que las imágenes Landsat TM tienen tres bandas en el visible y tres en el infrarrojo cercano-medio, es posible definir diversos NDVI, habiéndose utilizado los tres siguientes:

$$NDVI_1 = \frac{(\text{Banda 4} - \text{Banda 2})}{(\text{Banda 4} + \text{Banda 2})}$$

$$NDVI_2 = \frac{(\text{Banda 4} - \text{Banda 3})}{(\text{Banda 4} + \text{Banda 3})}$$

$$NDVI_3 = \frac{(\text{Banda 7} - \text{Banda 2})}{(\text{Banda 7} + \text{Banda 2})}$$

Se fijó que el número de clases a obtener con el algoritmo ISODATA fuese igual al utilizado en la clasificación supervisada, es decir, seis. Este algoritmo agrega una clase 0 de fondo, formada por los píxeles no adjudicables a ninguna de las clases especificadas.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la clasificación supervisada del sector de la imagen Landsat TM correspondiente al área en estudio, expresados en píxeles, fueron:

|  |                |
|--|----------------|
| Hayedos poco iluminados .....                  | 45.885         |
| Hayedos bastante iluminados ....               | 20.582         |
| Agua y sombras .....                           | 1.318          |
| Pastizales con actividad vegetati-<br>va ..... | 28.228         |
| Pastizales agostados .....                     | 25.458         |
| Matorrales .....                               | 30.253         |
| <b>TOTAL .....</b>                             | <b>151.724</b> |

En la Lámina VI, Foto 2, aparecen representados los resultados de la clasificación supervisada efectuada.

Con el fin de analizar la correspondencia existente entre el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y la clasificación supervisada de la imagen Landsat TM, se efectuó una tabulación cruzada entre ambos, obteniendo los resultados que figuran en la Tabla I.

La Tabla I se puede colapsar de forma que solamente se consideren las clases «hayedos» y «no hayedos» tanto a nivel del MCA como de la clasificación supervisada efectuada. Un caso especial es el de la clase del MCA PT/Fs (pastizal de alta montaña con pies de haya), pues de los 1.874 píxeles que le corresponden según el MCA, 796 se han clasificado en las dos clases correspondientes a hayedos y 684 en la clase pastizales con actividad vegetativa, por lo que al no haber definido una clase espectral correspondiente a esta clase del MCA por la poca superficie que ocupa en el área en estudio (1.874 píxeles) y su heterogeneidad espectral de-

rivada de las características del tipo de cubierta a que corresponde, parece lógico unir sus resultados a la clase hayedos del MCA. Los resultados de colapsar, tal como se ha dicho, la Tabla I figuran en la Tabla II.

La CH12 de la Tabla II tiene un valor de 35.367,89, mostrando que las filas (MCA) y las columnas (clasificación espectral supervisada) no son estadísticamente independientes al 95% de probabilidad fiducial.

El número total de píxeles clasificados como hayedos en base a la clasificación supervisada de la imagen Landsat TM ha sido de 66.647, en tanto que de la digitalización del MCA han resultado 68.885, es decir, una cifra superior. Ahora bien, los píxeles calificados como correspondientes a hayedos tanto en el MCA como en la clasificación supervisada de la imagen Landsat TM son 48.786, lo cual representa un 70,82% de los que figuran como hayedo en el MCA.

TABLE I  
TABULACION CRUZADA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE  
CLASIFICACION SUPERVISADA DE LA IMAGEN LANDSAT TM (COLUMNAS) Y DEL MAPA DE CULTIVOS  
Y APROVECHAMIENTOS (FILAS)

|   | Hayedos poco iluminados | Hayedos bastante iluminados | Agua y sombras | Pastiz. con act. vegetat. | Pastiz. agostados | Matorral | Total   |
|---|-------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------|----------|---------|
| Fs .....                                  | 33.074                  | 15.712                      | 350            | 7.059                     | 4.671             | 8.019    | 68.885  |
| I .....                                   | 83                      | 13                          | —              | 307                       | 709               | 78       | 1.190   |
| Agua .....                                | 3                       | —                           | 213            | 739                       | 1.022             | 19       | 1.996   |
| Ps <sub>30</sub> + Pu <sub>30</sub> ..... | 191                     | 29                          | —              | 46                        | 71                | 783      | 1.120   |
| PT/Fs .....                               | 431                     | 365                         | 3              | 684                       | 166               | 225      | 1.874   |
| P/M .....                                 | 5.139                   | 2.183                       | 425            | 7.237                     | 8.281             | 14.969   | 38.234  |
| PT .....                                  | 1.949                   | 830                         | 190            | 4.739                     | 4.342             | 2.997    | 15.047  |
| Pr .....                                  | 4.807                   | 1.364                       | 128            | 5.964                     | 4.627             | 2.394    | 19.284  |
| Pr + L .....                              | 208                     | 86                          | 9              | 1.453                     | 1.569             | 769      | 4.094   |
| TOTAL .....                               | 45.885                  | 20.582                      | 1.318          | 28.228                    | 25.458            | 30.253   | 151.724 |

TABLE II  
LOS HAYEDOS EN LA CLASIFICACION SUPERVISADA DE LA IMAGEN LANDSAT TM (COLUMNAS)  
Y EN EL MCA (FILAS)

|                       | Hayedos | No hayedos | Total   |
|-----------------------|---------|------------|---------|
| Hayedos .....         | 48.786  | 20.099     | 68.885  |
| PT/Fs .....           | 796     | 1.078      | 1.874   |
| Hayedos + PT/Fs ..... | 49.582  | 21.177     | 70.759  |
| No hayedos .....      | 17.065  | 63.900     | 80.965  |
| TOTAL .....           | 66.647  | 85.077     | 151.724 |

En la Lámina VI, Foto 3, aparecen representadas las discrepancias relativas al haya entre el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y la clasificación supervisada efectuada. Se puede observar que las discrepancias no se producen de forma salpicada, sino más bien formando manchas continuas, a menudo en forma de orlas de anchura considerable alrededor de lo que figura como haya en el MCA, lo cual indica que desde la realización de la hoja en estudio del MCA se han producido modificaciones de entidad suficiente en la distribución de las superficies ocupadas por los hayedos o que en el MCA existen errores considerables en la localización de las masas de hayedo cartografiadas.

Se puede observar en la anterior Tabla cómo es muy elevado el número de píxeles correspondientes a haya según el MCA, que se han clasificado en la clase de matorrales utilizando la imagen Landsat TM, lo que parece indicar que es frecuente el caso de que ciertas áreas estén calificadas en el MCA como haya pero en realidad sean matorrales o matorrales con un grado de cubierta del haya muy escaso. Igualmente, gran parte de los píxeles calificados en el MCA como PT/Fs se clasifican en base a la imagen Landsat TM como hayedos (un 48,47%).

Un caso especial es el de la clase agua, ya que al tratarse de una imagen Landsat TM captada en agosto, el embalse de Riaño estaba muy vacío, lo que condujo a que gran parte de los píxeles calificados como agua en el MCA se clasificasen, con

toda lógica, en clases como pastizales con actividad vegetativa y pastizales agostados.

Los resultados del proceso de clasificación no supervisada sobre los índices de vegetación fueron seis clases, más una clase de fondo formada por 481 píxeles. Estas clases se etiquetaron a la vista de sus características espectrales y distribución como correspondientes a matorrales, pastizales agostados o con poca actividad vegetativa, pastizales con actividad vegetativa, hayedos poco iluminados, hayedos muy poco iluminados, hayedos más iluminados, y en el caso de la clase de fondo, como agua y matorrales en umbría.

Si se cruzan los resultados de la clasificación no supervisada efectuada a partir de los índices de vegetación con el MCA se obtiene la Tabla III.

Los resultados de la Tabla III se pueden colapsar tal como se hizo en el caso de la clasificación supervisada, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente sobre la clase PT/Fs, pero con mayor razón en este caso, ya que el 72,46% de los píxeles correspondientes a esta clase según el MCA se han clasificado en las clases adjudicadas a hayedos en la clasificación no supervisada efectuada. Los resultados de colapsar la Tabla III de esta forma figuran en la Tabla IV.

La CH12 de la Tabla IV tiene un valor de 25.047, mostrando que las filas (MCA) y las columnas (clasificación no supervisada de área en estudio) no son

TABLA III

TABULACION CRUZADA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE CLASIFICACION NO SUPERVISADA DE LOS INDICES DE VEGETACION DE LA IMAGEN LANDSAT TM (COLUMNAS) Y DEL MAPA DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS (FILAS)

|   | Agua<br>y<br>matorral<br>umbría | Matorral | Pastizales<br>poca<br>actividad<br>vegetativa | Pastizales<br>con<br>actividad<br>vegetativa | Hayedo<br>poco<br>iluminado | Hayedo<br>muy<br>poco<br>iluminado | Hayedo<br>más<br>iluminado | Total   |
|---|---------------------------------|----------|---|--|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------|
| Fs .....                                  | 123                             | 3.192    | 3.829   | 7.815  | 14.466                      | 20.711                             | 18.749                     | 68.885  |
| I .....                                   | —                               | 107      | 626   | 239  | 63                          | 83                                 | 72                         | 1.190   |
| Agua .....                                | 148                             | 181      | 1.018   | 584  | 19                          | 19                                 | 27                         | 1.996   |
| Ps <sub>10</sub> + Pu <sub>30</sub> ..... | —                               | 529      | 163   | 94   | 130                         | 94                                 | 47                         | 1.120   |
| PT/Fs .....                               | —                               | 31       | 53  | 432  | 184                         | 384                                | 790                        | 1.874   |
| P/M .....                                 | 138                             | 7.012    | 9.726   | 10.849                                       | 3.958                       | 2.973                              | 3.929                      | 38.234  |
| PT .....                                  | 14                              | 1.240    | 4.471   | 4.929  | 1.231                       | 1.458                              | 1.620                      | 15.047  |
| Pr .....                                  | 58                              | 1.007    | 4.533   | 4.857  | 2.873                       | 3.290                              | 2.666                      | 19.284  |
| Pr+L .....                                | —                               | 377      | 1.628   | 1.419  | 267                         | 191                                | 212                        | 4.094   |
| TOTAL .....                               | 481                             | 11.438   | 26.613  | 31.686                                       | 23.571                      | 30.601                             | 27.334                     | 151.724 |

TABLA IV  
LOS HAYEDOS EN LA CLASIFICACION NO SUPERVISADA DE LA IMAGEN LANDSAT TM (COLUMNAS)  
(Y EN LA MCA (FILAS))

|                       | Hayedos       | No hayedos    | Total          |
|-----------------------|---------------|---------------|----------------|
| Hayedos .....         | 53.926        | 14.959        | 68.885         |
| PT/Fs .....           | 1.358         | 516           | 1.874          |
| Hayedos + PT/Fs ..... | 55.284        | 15.475        | 70.759         |
| No hayedos .....      | 26.222        | 54.743        | 80.965         |
| <b>TOTAL</b> .....    | <b>81.506</b> | <b>70.218</b> | <b>151.724</b> |

independientes al 95% de probabilidad fiducial. Este valor de CH12 es inferior al obtenido en el caso de clasificación supervisada, que era 35.367,89, lo que indica que la relación existente entre el MCA y la clasificación no supervisada en lo que respecta al reconocimiento de los hayedos es menor que la obtenida en el caso de la clasificación supervisada.

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

Los resultados obtenidos tanto en el caso de clasificación supervisada como muy especialmente en el caso de clasificación no supervisada serían muy probablemente mejorables si se incorporase en los procesos de clasificación información derivada del

relieve del área en estudio, tal como pendiente, orientación o insolación.

### CONCLUSIONES

La teledetección espacial ha mostrado ser un instrumento eficaz, por no decir imprescindible, y de gran utilidad en la revisión y actualización de las superficies forestales del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.

En el caso de los hayedos del área en estudio se ha comprobado que hay una notable discrepancia entre lo que figura como correspondiente a hayedos en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y los resultados obtenidos en base a teledetección. La mayoría de las discrepancias son imputables a errores de localización geográfica de las manchas de hayedo en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.

Los dos métodos utilizados para la clasificación de la imagen espectral Landsat TM, supervisado y no supervisado sobre los índices de vegetación generados, han demostrado ser útiles para el objetivo buscado, si bien los resultados obtenidos han sido menos satisfactorios en el caso de la clasificación no supervisada efectuada sobre índices de vegetación.

### SUMMARY

The results obtained in the surveying and classification of the beech forests in the surroundings of Burón and Oseja de Sajambre (León) using an spectral Landsat TM image are presented. Two different methodologies of classification, supervised and non supervised, have been used and their results compared. The non supervised classification was made over three vegetation indices. The results have been compared with the «Mapa de Cultivos y Aprovechamientos» of the area, being greater the similarity

obtained between the «Mapa de Cultivos y Aprovechamientos» and the spectral classifications in the case of the supervised classification. The results have shown the deficiencies of the «Mapa de Cultivos y Aprovechamientos» and the evolution of these beech forests from the date of this map.

**Key words:** Beech forest, *Fagus sylvatica* L., Landsat TM.

## BIBLIOGRAFIA

- ARBIOL, R.; ROMEU, J., y VIÑAS, O., 1987: «Detecció y evaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjan cant techniques de teledetecció». *Rev. Catalana Geogr.*, 2 (4): 21-46.
- CUEVAS, J. M., y GONZÁLEZ-ALONSO, F., 1983: «El reconocimiento de cubiertas vegetales mediante tratamiento digital de imágenes de satélite. Estudio piloto de la Ventosilla». *Comunicaciones INI, Serie Recursos Naturales*, 23, Madrid.
- CUEVAS, J. M.; LÓPEZ-SORIA, S., y GONZÁLEZ-ALONSO, F., 1990: «La detección de los cambios ocurridos en la cubierta vegetal mediante imágenes de satélite». *Ecología*, Fuera de Serie núm. 1, 521-525.
- GAYDOS, L., y NEWLAND, W., 1978: «Inventory of land use and land cover of Puget Sound region using Landsat digital data». *Jour. Research U. S. Geol. Survey*, 6, 807-814.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., y CUEVAS, J. M., 1982a: «La teledetección y sus aplicaciones forestales». *I Asamblea de Investigación Forestal*, INIA, Madrid, 19 págs.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., y CUEVAS, J. M., 1982b: *Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal*. Monografías INIA, 34, Madrid.
- 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 MSS-Landsat 4*. Monografías INIA, 64, 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.
- LÓPEZ-SORIA, S.; GONZÁLEZ-ALONSO, F.; CUEVAS, J. M., y LLOP, R., 1986: «Detección de cambios por regresión de imágenes Landsat». *Primera Reunión Científica del Grupo de Trabajo Español en Teledetección*, pp. 301-326. Barcelona, 1986.
- LÓPEZ-SORIA, S.; GONZÁLEZ-ALONSO, F., y CUEVAS, J. M., 1991: «Aplicación de las imágenes digitales procedentes de los satélites meteorológicos circumpolares en la detección del riesgo de incendios forestales». *Ecología*, 3, 3-12.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1975: *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. Escala 1:50.000; Burón (León)*. Madrid.
- MOREIRA, J. M.; LOBATO, A.; RAMOS, A.; OTERO, F., y MARTÍNEZ, J. M., 1987: «El tratamiento de imágenes TM como ayuda para la actualización de mapas de usos del territorio». *Segunda Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección*, pp. 289-299. Valencia, 1987.
- PERRY, C. R., & LAUTENSCHLAGER, L. C., 1984: «Functional equivalence of spectral vegetation indices». *Remote Sensing of Environment*, 14: 169-182.
- RIPPLE, W. J.; WANG, S.; ISACSON, D. L., & PAINE, D. F., 1991: «A preliminary comparison of Landsat Thematic Mapper and SPOT-1 HRV multispectral data for estimating coniferous forest volume». *Int. J. Remote Sensing*, 9: 1971-1977.



- SING, A., 1989: «Digital change detection techniques using remotely sensed data». *Int. J. Remote Sensing*, 6: 989-1003.
- TUCKER, C. J., 1979: «Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation». *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-1150.
- TUCKER, C. J., & SELLERS, P. J., 1986: «Satellite remote sensign of primary production». *Int. J. Remote Sensing*, 7: 1395-1416.