

# ESTUDIO DE LA UTILIDAD DE LA INFORMACION ESPECTRAL LANDSAT TM PARA EL INVENTARIO FORESTAL DE HAYEDOS DEL NORTE DE ESPAÑA

J.M. CUEVAS  
F. GONZALEZ-ALONSO  
M. HERRON

Laboratorio de Teledetección. CIT-INIA  
Apdo. 8111. 28080 Madrid

## RESUMEN

Se ha estratificado mediante clasificación no supervisada de información espectral Landsat TM el área inventariada por muestreo terrestre de los montes del Concejo de Oroquieta-Erviti, situados en la zona occidental del haya en la Comunidad Autónoma de Navarra (España). Los resultados obtenidos muestran que la información captada por el sensor Landsat TM tiene un gran interés para la inventariación forestal, ya que mediante ella es posible estratificar las masas forestales en zonas significativamente diferentes respecto a sus características dasométricas.

**PALABRAS CLAVE:** Inventario forestal por muestreo  
Landsat TM  
Hayedos  
*Fagus sylvatica*

## INTRODUCCION

Son varios los estudios publicados en los últimos años sobre la utilización de la información de las imágenes captadas por los satélites de recursos naturales en el inventario de los recursos forestales. Entre los más recientes se pueden citar los de Ripple *et al.* (1991), Ahern *et al.* (1991), Brockaus, Khorra (1992), Oza *et al.* (1992), Joffre, Lacaze (1993), Cohen *et al.* (1995), Gemmell (1995).

Varios de estos estudios han estado orientados a analizar la relación existente entre los parámetros dasométricos y la información espectral, así como a comparar las posibilidades ofrecidas para la inventariación forestal por las imágenes Landsat TM (Thematic Mapper) de 30 m de resolución espacial, SPOT multies-

---

Recibido: 14-7-95

Aceptado para su publicación: 25-9-96

pectral de 20 m de resolución espacial y SPOT pancromático de 10 m de resolución espacial.

La estratificación es una práctica habitual en la inventariación forestal por muestreo, puesto que es una de las posibles formas de reducir los costes que implica un inventario forestal sin disminuir la precisión de los resultados obtenidos, o por el contrario, un modo de disminuir los errores del inventario si se decide mantener la intensidad del muestreo. Por ello, cualquier tecnología o metodología que facilite y mejore la estratificación forestal tiene un gran interés práctico.

Ahren *et al.* (1991) en un estudio realizado con información espectral Landsat TM sobre un área forestal de coníferas situada en Canadá, encontraron unas relaciones significativas pero débiles entre variables espectrales derivadas y parámetros forestales obtenidos en parcelas como el volumen total de madera y el volumen de crecimiento anual de madera, lo que les condujo a agrupar los datos en clases discretas.

Gemmell (1995), en un estudio realizado utilizando información espectral Landsat TM cubriendo un área de las Montañas Rocosas (Estados Unidos de Norteamérica) ocupada por bosques de coníferas, llega a la conclusión de que el agrupamiento de la información forestal de acuerdo a límites espaciales derivados de los datos Landsat TM permite determinar la relación existente entre las características dasométricas y la información Landsat TM.

El objetivo de este estudio ha sido analizar el interés de la información espectral captada por el sensor TM de los satélites norteamericanos de recursos naturales de la serie Landsat como herramienta de estratificación en el inventario forestal, analizando para ello si los estratos obtenidos a partir de la información espectral Landsat TM son significativamente diferentes respecto a las características dasométricas de las masas forestales en ellos incluidas, lo que es una condición que debe satisfacer toda estratificación.

Para la realización de este estudio se han empleado los datos de campo del inventario forestal de los montes del Concejo de Oroquieta-Erviti (Navarra, España). Los datos de campo de este inventario forestal se han utilizado para efectuar diversos estudios como son: las ecuaciones de cubicación construidas para el haya (Cuevas, 1989a), la estratificación de las parcelas de inventario mediante el método ITE usando sus datos de carácter fisiográfico, ecológico y selvícola (Cuevas, 1989b), la comparación de las estimaciones del volumen de crecimiento de fuste utilizando y sin utilizar los incrementos diametrales obtenidos en los árboles tipo de las parcelas (Cuevas, Barrios, 1992) y el método empleado para la determinación de la calidad de las masas (Cuevas, 1992).

## MATERIAL Y METODOS

### Características del área en estudio

El área en estudio está constituida por los Montes de Utilidad Pública números 416, 417 y 418, pertenecientes al Concejo de Oroquieta-Erviti de la Comunidad Autónoma de Navarra (España). El Concejo de Oroquieta-Erviti está situado (Fig. 1) al noroeste de dicha Comunidad Autónoma, 30 km al norte de Pamplona y junto a la divisoria de aguas Ebro-Cantábrica, extendiéndose en una franja de 10 km en sentido Norte-Sur, y de 1 a 3 km de anchura.

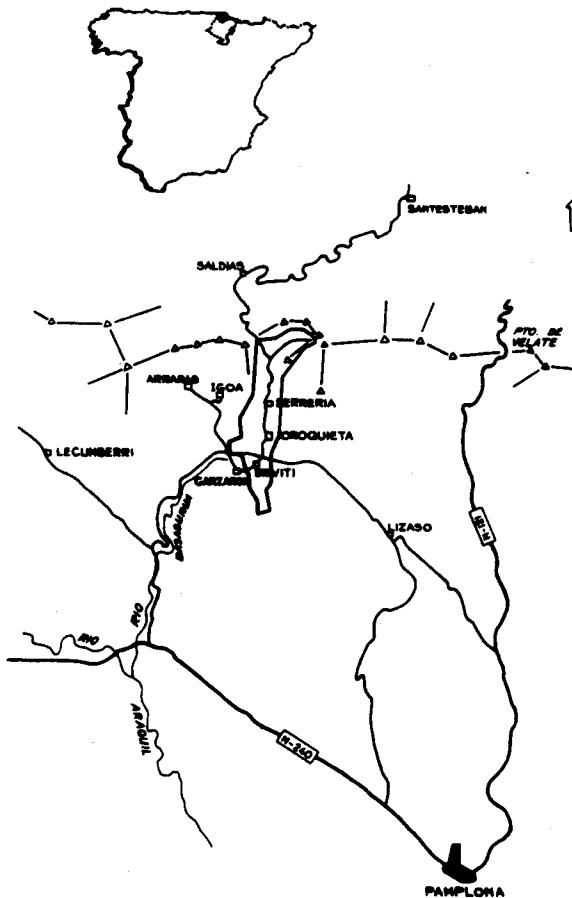


Fig. 1.- Situación del área en estudio  
Location of the study area

Dada la ausencia de estaciones meteorológicas en el Concejo, o en su inmediata vecindad, no se dispone de datos sobre las características microclimáticas de estos montes. En esta zona la variabilidad climática Norte-Sur es acentuada. Dentro del Concejo, cuanto más al norte el clima es más húmedo, por ser mayores las precipitaciones, y más frío, debido a las mayores altitudes.

Según los datos meteorológicos disponibles de la estación termoplumiométrica más cercana, situada en Lecumberri, 10 km al oeste del Concejo y a 571 m de altitud, la temperatura media anual es de 11,3 °C, las temperaturas medias de los meses de invierno son ligeramente inferiores a los seis grados y las temperaturas estivales son moderadas, siendo los meses más cálidos julio y agosto, con medias cercanas a los 18 °C. La precipitación anual es muy elevada, en Lecumberri es de 1.399 mm, pero en el Concejo de Oroquieta-Erviti se puede estimar que oscila entre 1.300 mm al sur y 2.000 mm al norte.

El relieve es accidentado y variado, el rango de altitudes es 543-1.062 m, las zonas llanas o subllanas son escadas y existe diversidad de pendientes y orientaciones. Los sustratos son cretácicos, predominando las litologías de flysch al sur y de margas y calizas al norte, con algunas emergencias de ofitas. Los suelos forestales del Concejo de Oroquieta-Erviti son suelos pardos ácidos o suelos pardos con fenómenos de hidromorfía.

La especie arbórea principal es el haya (*Fagus sylvatica* L.), que cede ocasionalmente el lugar al rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) en algunas laderas, a baja altitud y en solana. En las zonas semillanas cercanas al valle de Basaburua y sobre suelos con encharcamiento frecuente el roble (*Quercus robur* L.) es la especie dominante. El método de beneficio es en monte alto, siendo los montes bajos muy escasos. Las masas son regulares o semirregulares, de calidad variable y su estado de conservación es bueno.

### **Metodología y resultados del inventario forestal**

En 1984, y como paso previo a su ordenación, se realizó un inventario por muestreo sistemático de estos montes. Mediante fotointerpretación convencional de los vuelos fotográficos del IRYDA y del MOPU del año 1979 se delimitaron las zonas consideradas como inventariables, excluyendo de éstas las zonas forestales sin masa arbórea o con muy baja densidad de arbolado, las repoblaciones artificiales de coníferas, los enclaves dentro de la masa forestal y los pastizales.

En la fecha de realización del inventario, estos montes tenían una superficie forestal total de 1.091,83 ha, de las que 1.003,72 eran arboladas. La superficie arbolada inventariada fue 914,11 ha.

El inventario de estos montes tuvo las siguientes características:

Se diferenciaron a efectos del inventario las siguientes especies: haya, haya leñosa, roble, rebollo, castaño y otras especies.

Muestreo sistemático de parcelas utilizando una malla cuadrada de 125 m de lado, excepto en la zona central de los montes, entre Oroquieta y La Ferrería, en

que se adoptó una malla cuadrada de 115 m debido a la mayor heterogeneidad de las masas y el previsible menor tamaño de los cantones a definir por ser el área de relieve más complejo de estos montes. Las mallas de muestreo se dispusieron teniendo en cuenta las orientaciones dominantes del relieve.

Las parcelas fueron circulares de 14 m de radio (615,75 m<sup>2</sup> de superficie), lo que supuso una tasa de muestreo del 3,94 p.100 para el conjunto del área inventariada.

En cada parcela se tomaron tres tipos de datos: 1) Enumeración de los pies mayores (diámetro normal superior a 17,5 cm), anotando su especie y su diámetro normal, y conteo de los pies menores (diámetro normal inferior a 17,5 cm y superior a 10 cm), 2) Obtención de medidas adicionales (altura total, espesor de corteza y crecimiento radial normal en los diez últimos años) en tres árboles tipo en pie, eligiéndose para ello los tres pies mayores de haya no leñosa más próximos al centro de la parcela, excepto en la zona donde el roble era más abundante en que se eligieron como árboles tipo los tres pies mayores de haya no leñosa o roble más próximos al centro de la parcela. El número de árboles tipo de las parcelas medidos fue 1.716 pies de haya no leñosa y 49 de roble, 3) Datos de carácter fisiográfico, ecológico y selvícola de la parcela.

A partir de los datos obtenidos en 125 pies de haya no leñosa apeados se construyeron mediante regresión lineal ecuaciones de cubicación para el haya (Cuevas, 1989a). En el caso del roble se usaron como ecuaciones de cubicación las obtenidas para esta especie en Navarra en el Primer Inventario Forestal Nacional de España (IFN, 1980).

Estas ecuaciones de cubicación fueron utilizadas para cubicar los árboles tipo de las parcelas. A partir de estas cubicaciones se obtuvieron, por regresión lineal, tarifas de cubicación, que permiten estimar los diferentes volúmenes de los pies en función exclusivamente de su diámetro normal.

El método de inventario utilizado para obtener los datos necesarios para la realización del Proyecto de Ordenación de estos montes fue sin estratificar, si bien, para construir las tarifas de cubicación del haya no leñosa se agruparon los cantones en once grupos con el fin de disponer de un número suficiente de árboles tipo de las parcelas, basándose para ello en la semejanza de las relaciones entre la altura total y el diámetro normal de los árboles tipo de las parcelas de cada cantón.

Las tarifas utilizadas para las especies diferentes al haya no leñosa o el roble fueron las más lentas de las obtenidas.

En la Tabla 1 aparecen los parámetros dasométricos del conjunto de las parcelas de inventario.

Las características principales de estos montes, deducidas de este inventario forestal, se pueden resumir como sigue:

La especie dominante es el haya, a la que pertenecen el 94,1 p.100 del número de pies menores, el 96,5 p.100 del número de pies mayores, el 96,6 p.100 del volumen total y el 95,4 p.100 del volumen de crecimiento total. Al roble corresponde el 1,7 p.100 del volumen total y al rebollo el 0,9 p.100.

TABLA 1

## PARAMETROS DASOMETRICOS DE LAS PARCELAS DEL INVENTARIO

*Dasometric values of the inventory ground plots*

	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Error relativo (%)	Dev. típica media (%)
NPm	191,471	204,427	0,00	1.380,426	106,767	4,181
NPM	233,716	160,169	0,00	779,534	68,531	2,684
AB	17,065	10,646	0,00	57,590	62,385	2,443
VFC	109,600	67,818	0,00	405,507	61,878	2,423
VTC	137,347	85,219	0,00	492,996	62,046	2,430
VCRF	1,835	1,327	0,00	6,073	72,316	2,832
VCRT	2,429	1,540	0,00	7,332	63,400	2,483

NPm = Número de pies menores por hectárea

NPM = Número de pies mayores por hectárea

AB = Área basimétrica (m<sup>2</sup>/ha)VFC = Volumen de fuste con corteza (m<sup>3</sup>/ha)VTC = Volumen total con corteza (m<sup>3</sup>/ha)VCRF = Volumen de crecimiento de fuste con corteza (m<sup>3</sup>/ha)VCRT = Volumen de crecimiento total con corteza (m<sup>3</sup>/ha)

Las masas arboladas tienen una espesura generalmente completa. Las existencias medias son de 17,1 m<sup>2</sup>/ha de área basimétrica, 134,3 m<sup>3</sup>/ha de volumen de fuste, 159,0 m<sup>3</sup>/ha de volumen total, 1,61 m<sup>3</sup>/ha de volumen de crecimiento de fuste y 1,93 m<sup>3</sup>/ha de volumen de crecimiento total. Estos valores son altos comparativamente a las condiciones de la mayoría de los montes arbolados españoles. El mayor valor de volumen total obtenido en las parcelas de inventario fue 493 m<sup>3</sup>/ha.

A partir de los datos de carácter fisiográfico, ecológico y selvícola de las parcelas de inventario se obtiene el reparto de las parcelas de inventario según su orientación, pendiente y situación que aparece en la Tabla 2. Si se considera como umbría a las orientaciones N, NO y NE, y como solana a las orientaciones S, SO y SE, el 38,7 p.100 de las parcelas de inventario estaban en umbría frente a un 30,1 p.100 en solana. La mayoría de las parcelas estaban situadas en laderas con una pendiente bastante acentuada, siendo las zonas llanas o subllanas muy escasas.

**Información espectral utilizada**

Se ha usado para realizar este estudio un sector de una imagen Landsat TM georreferenciada. Las imágenes Landsat TM tienen una resolución espacial nominal de 30 m, cubren un mismo área de la superficie terrestre cada 16 días, y

TABLA 2

## DISTRIBUCION DE LAS PARCELAS DE INVENTARIO SEGUN SUS CARACTERISTICAS OROGRAFICAS

*Orographic characteristics of inventory ground plots*

Orientación	Porcentaje de parcelas
N	9,6
NE	12,0
E	11,0
SE	15,0
S	11,0
SO	14,1
O	10,1
NO	17,1

Pendientes (grados)	Porcentaje de parcelas
0-5	4,1
5-10	7,4
10-15	10,4
15-25	37,5
25-40	39,6
>40	1,1

Situación	Porcentaje de parcelas
Ladera	71,2
Parte superior de ladera/cresta	5,7
Parte basal de ladera	8,6
Vaguada	5,9
Llanura/ladera suave	8,3
Dolina	0,5

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) y que no ha sido utilizada.

La resolución espacial de las imágenes Landsat TM (30 m) es la más adecuada de los diversos tipos de imágenes disponibles para los objetivos de este estudio ya que las parcelas de campo del inventario forestal tenían un diámetro de 28 m. Es decir, el tamaño de una parcela de inventario es el 68,42 p.100 de la superficie cubierta por un píxel Landsat TM.

La imagen Landsat TM empleada fue captada el año 1987, en tanto que los trabajos de campo del inventario forestal de los montes del Concejo de

Oroquieta-Erviti se realizaron en 1984-1985. Esta diferencia de fechas es en gran medida consecuencia de las características climatológicas del área en estudio, que hacen difícil conseguir una imagen completamente libre de nubes o neblinas en el área en estudio y de una época adecuada (primavera-verano).

La diferencia de fechas entre la toma de datos de campo y la imagen utilizada no es especialmente importante en este caso, dado que por ser el haya una especie forestal de crecimiento relativamente lento y al estar estos montes sometidos a Proyecto de Ordenación, y por las características de éste (tramos periódicos revisables, siendo el método de beneficio el de monte alto, el turno de 125 años y las cortas por aclareos sucesivos uniformes), no se producen cambios de importancia en las características dasométricas de estas masas forestales en períodos de tiempo similares a la diferencia de fechas entre la toma de datos de campo y la imagen Landsat TM utilizada.

Según el Proyecto de Ordenación elaborado para estos montes utilizando los datos de este inventario en el tramo en destino, con una superficie inventariada de 183,52 ha, se realizarán durante el primer período, veinte años, unos aprovechamientos anuales de 1.030 m<sup>3</sup> de volumen total, de los que 919 m<sup>3</sup> serán de volumen de fuste. A estos aprovechamientos hay que añadir los de cortas de mejora repartidas en siete cantones y que supondrán 4.210 m<sup>3</sup> en pies mayores y 1.437 m<sup>3</sup> en pies menores durante el primer subperíodo (diez años).

Por tanto, en los tres años de diferencia entre la toma de datos de campo y la imagen utilizada estaba planificado extraer 2.757 m<sup>3</sup> de volumen de fuste y 3.090 m<sup>3</sup> de volumen total, a los que hay que añadir 1.694 m<sup>3</sup> de cortas de mejora. Es decir, en total 4.784 m<sup>3</sup> de volumen total.

Estos valores de explotaciones durante el período de tiempo existente entre la toma de los datos de campo y la fecha de la imagen Landsat TM utilizada son muy inferiores a las existencias de los montes que se estimaron como resultado de este inventario en 122.776 m<sup>3</sup> de volumen de fuste y 145.365 m<sup>3</sup> de volumen total, suponiendo sólo un 3,29 p.100 del volumen total en el momento del inventario.

Lo anterior, unido al hecho de ser las cortas por aclareos sucesivos uniformes y no a matarrasa, hace que no sea esperable que la diferencia de fechas entre la toma de datos de campo del inventario y la imagen Landsat TM utilizada pueda tener gran influencia, a no ser excepcionalmente en alguna parcela o en el píxel correspondiente.

Mayor importancia podría tener el que no se hubieran localizado correctamente las parcelas en la imagen, aunque el haberse seguido en el inventario un diseño de muestreo sistemático ha sido posible efectuar esta labor con notable seguridad.

El que los equipos de campo no hubiesen realizado las parcelas de campo exactamente en el lugar planificado, lo cual es inevitable, especialmente en una zona con un relieve como el del área en estudio, sí podría ejercer una influencia considerable, aun cuando se tomaron todas las precauciones y controles necesarios durante la toma de datos de campo. El mayor tamaño del área terrestre

cubierta por un píxel Landsat TM que el de una parcela de campo del inventario (900 m<sup>2</sup> frente a 615,75 m<sup>2</sup>) permite tener confianza en que la información espectral obtenida para cada parcela se corresponde con su información de campo.

### Proceso operativo

Para el tratamiento del sector de imagen Landsat TM empleado se ha utilizado como *software* el sistema de proceso de imágenes ERDAS versión 7.4. Los parámetros dasométricos de las parcelas de inventario se han obtenido mediante programas informáticos desarrollados específicamente para este estudio.

Se extrajo el sector de la imagen Landsat TM cubriendo el área inventariada, quedando constituido por 10.172 píxeles. Mediante el algoritmo ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis Technique), que ha sido utilizado en diversos estudios de teledetección con muy buenos resultados (Gaydos, Newland, 1978; Cuevas *et al.*, 1993, 1994; Cuevas, González-Alonso, 1995), se clasificó no supervisadamente este sector de la imagen Landsat TM. Se eligió que el número de clases a obtener fuese tres, ya que éste era el número de clases utilizado en la estratificación realizada mediante el método ITE (Cuevas, 1989b).

Posteriormente, utilizando las clases espectrales obtenidas con el algoritmo ISODATA, se clasificó de nuevo el sector de la imagen Landsat TM cubriendo el área inventariada mediante un algoritmo de máxima verosimilitud.

Se localizaron las parcelas de inventario en la imagen Landsat TM y se averiguó a cuál de las tres clases obtenidas mediante la clasificación del sector cubriendo el área inventariada pertenecían.

A partir de los datos de campo de las parcelas de inventario se obtuvo para cada una de ellas los valores de los siguientes parámetros dasométricos: número de pies menores por hectárea, número de pies mayores por hectárea, volumen de fuste con corteza por hectárea, volumen total con corteza por hectárea, volumen de crecimiento de fuste por hectárea y volumen de crecimiento total por hectárea. Se han utilizado en cada parcela las tarifas de cubicación que le correspondían de acuerdo a la estratificación realizada mediante el método ITE (Cuevas, 1989b).

Se unieron los parámetros dasométricos de las parcelas de inventario y los valores procedentes de la imagen Landsat TM, y se procedió al análisis estadístico de las tres clases o estratos obtenidos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 aparece el sector de imagen Landsat TM cubriendo el área inventariada de los montes del Concejo de Oroquieta-Erviti y en la Figura 3 los tres estratos o clases obtenidos como resultado de su clasificación de máxima verosimilitud con la situación de las parcelas de campo del inventario.



**Fig. 2.**– Sector de la imagen Landsat TM cubriendo el área en estudio.  
Bandas 4 (rojo), 3 (verde) y 2 (azul)

*Landsat TM information of the study area. Bands 4 (red), 3 (green) and 2 (blue)*



**Fig. 3.**– Estratos obtenidos a partir de la información Landsat TM con la situación de las parcelas de inventario. Estrato 1 en verde oscuro, estrato 2 en verde claro, estrato 3 en ocre.

*Strata obtained through the Landsat TM information with the location of the ground plots.  
Stratum 1 in dark green, 2 in light green and 3 in ochre.*

El número de píxeles de los tres estratos o clases obtenidos fue:

Estrato	1	2	3
Número de píxeles	2.509	4.079	3.584

En la Tabla 3 figuran los valores espectrales de estos tres estratos para cada una de las seis bandas Landsat TM utilizadas. Se puede observar cómo hay un aumento de los valores espectrales medios de todas las bandas desde el estrato 1 al estrato 3, siendo las diferencias mayores en las bandas 4 y 5 correspondientes al infrarrojo cercano-medio.

**TABLA 3**

**VALORES ESPECTRALES DE LOS ESTRATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA INFORMACION LANDSAT TM**

*Spectral values of the strata obtained in base to the Landsat TM information*

	Estrato		
	1	2	3
Media banda 1	59,389	61,397	62,773
Desv. típica banda 1	1,942	1,778	2,039
Media banda 2	21,860	23,785	25,470
Desv. típica banda 2	1,111	1,179	1,288
Media banda 3	17,542	19,072	20,509
Desv. típica banda 3	1,060	1,162	1,543
Media banda 4	61,280	81,821	96,635
Desv. típica banda 4	7,849	5,259	7,903
Media banda 5	46,333	61,631	72,995
Desv. típica banda 5	6,509	4,794	5,147
Media banda 7	14,115	18,132	21,209
Desv. típica banda 7	2,103	1,703	2,253

En la Figura 3 se puede apreciar cómo estos tres estratos tienen una continuidad espacial bastante acentuada y que su distribución parece estar relacionada con las condiciones orográficas del terreno. El estrato 1 corresponde mayoritariamente a zonas orientadas al norte o noroeste, el 3 a zonas orientadas al sur y sureste, y el 2 a situaciones intermedias y zonas llanas.

Podría pensarse que, dado el relieve del área en estudio, habría sido interesante haber sometido la información Landsat TM a una corrección radiométrica

en función del relieve. Pero es preciso tener en cuenta que este estudio es en relación con masas forestales y que las características de éstas están muy ligadas a la insolación, y que el proceso de la imagen se ha basado en clasificación no supervisada.

El número de parcelas de campo situadas en cada estrato ha sido:

Estrato	1	2	3
Número de parcelas	146	252	254

En la Tabla 4 figuran los valores dasométricos de las parcelas situadas en cada uno de los tres estratos obtenidos.

Como resultado del análisis de varianza entre los grupos de parcelas pertenecientes a cada uno de los tres estratos construidos a partir de la información Landsat TM se ha obtenido los siguientes valores de F de Snedecor para los parámetros dasométricos:

Número de pies menores:	1,79
Número de pies mayores:	11,19
Área basimétrica:	17,47
Volumen de fuste con corteza:	16,71
Volumen total con corteza:	17,01
Volumen de crecimiento de fuste:	15,26
Volumen de crecimiento total:	14,43

Estos estratos son significativamente diferentes al 99 p.100 de probabilidad fiducial para todos los parámetros dasométricos de las parcelas de campo situadas en ellos, excepto para el número de pies menores en que no hay diferencias significativas al 99 p.100, pero sí al 95 p.100.

Destaca el valor de F obtenido para el área basimétrica, que es ligeramente mayor que en el caso de los volúmenes. Esto puede ser consecuencia de que en el cálculo del área basimétrica no intervienen tarifas de cubicación, pero sí en el caso de los volúmenes, y de que las tarifas de cubicación utilizadas en cada parcela han sido las que se construyeron en base a la estratificación realizada mediante el método ITE, y no tarifas específicamente construidas para cada estrato obtenido a partir de la información Landsat TM.

Lo anterior puede tener una influencia notable puesto que ambas divisiones de las parcelas en tres grupos o estratos han resultado muy diferentes, como se puede observar en la Tabla 5. La CHI<sup>2</sup> de la Tabla 5 tiene un valor de solamente 9,651, mostrando que ambas estratificaciones son estadísticamente independientes al 99,95 p.100 de probabilidad fiducial.

El que el número de pies menores presenta una F mucho menor parece consecuencia lógica de la débil relación existente en estos montes, en los que el método de beneficio es en monte alto, entre este parámetro dasométrico y las características de la cubierta de las copas, que es la que condiciona la respuesta espectral de una masa forestal (Oza *et al.*, 1992).

Los resultados obtenidos apoyan los de Gemmell (1995). Según este autor la

TABLA 4

**PARAMETROS DASOMETRICOS DE LAS PARCELAS DE INVENTARIO SITUADAS EN CADA ESTRATO OBTENIDO A PARTIR DE LA INFORMACION LANDSAT TM**

*Dasometric values of the ground plots of each stratum obtained in base to the Landsat TM information*

	Media	Desviación típica	Error relativo (%)
<b>Estrato 1</b>			
NPm	165,406	195,787	118,367
NPM	266,074	166,214	62,467
AB	20,311	10,746	52,907
VFC	129,709	68,077	52,484
VTC	162,905	85,721	52,620
VCRF	2,208	1,307	59,194
VCRT	2,814	1,571	55,828
<b>Estrato 2</b>			
NPm	205,581	217,714	105,902
NPM	251,144	154,330	61,450
AB	18,015	10,199	56,613
VFC	115,656	64,391	55,675
VTC	144,950	81,178	56,004
VCRF	1,952	1,307	66,957
VCRT	2,592	1,485	57,292
<b>Estrato 3</b>			
NPm	192,454	194,799	101,218
NPM	197,825	156,038	78,876
AB	14,257	10,360	72,666
VFC	92,034	66,973	72,769
VTC	115,114	83,707	72,769
VCRF	1,504	1,285	85,439
VCRT	2,046	1,497	73,167

NPm = Número de pies menores por hectárea

NPM = Número de pies mayores por hectárea

AB = Area basimétrica (m<sup>2</sup>/ha)

VFC = Volumen de fuste con corteza (m<sup>3</sup>/ha)

VTC = Volumen total con corteza (m<sup>3</sup>/ha)

VCRF = Volumen de crecimiento de fuste con corteza (m<sup>3</sup>/ha)

VCRT = Volumen de crecimiento total con corteza (m<sup>3</sup>/ha)

información Landsat TM permite definir áreas muy relacionadas con las características dasométricas de las masas forestales.

Los resultados habrían sido probablemente aún mejores si se hubiesen empleado tarifas de cubicación específicamente construidas para cada estrato obtenido

**TABLA 5****TABLA DE CONTINGENCIA DE LAS PARCELAS DE INVENTARIO SEGUN LAS ESTRATIFICACIONES REALIZADAS A PARTIR DE LA INFORMACION LANDSAT TM Y CON EL METODO ITE**

*Contingency table of the inventory ground plots according to the stratifications obtained in base to the Landsat TM information and with the ITE method*

		ITE			
		1	2	3	Total
T	1	60	73	13	146
	2	97	109	46	252
M	3	114	111	29	254
	Total	271	293	88	652

a partir de la información Landsat TM y si se hubiese utilizado una imagen de la misma calidad que la usada pero de fecha más próxima a la toma de los datos de campo del inventario.

Una gran ventaja de la utilización de imágenes de satélite, para estos y otros fines similares, es el hecho de que ofrecen información de todo el área en estudio al nivel de resolución espacial de la imagen utilizada.

**CONCLUSIONES**

Las imágenes captadas por el sensor Thematic Mapper de los satélites de recursos naturales de la serie Landsat han mostrado su gran interés para la inventariación forestal, en este caso por muestreo, pues su utilización como fuente de información para la estratificación ha conducido a estratos significativamente diferentes respecto a los parámetros dasométricos de las masas forestales incluidas en ellos.

**SUMMARY**

**Study of the utility of the spectral information Landsat TM for the inventory of beech forests in North Spain**

The spectral information of a Landsat TM image has been used to stratify through not supervised clustering the ground inventoried area of the forests of the Council of Oroquieta-Erviti, in the west part of the beech forests in the Autonomous Community of Navarra (Spain). The obtained strata are significantly different for the dasometric values of the ground plots in them included. The results show that Landsat TM information is a tool of great interest for the forests inventory stratification.

**KEY WORDS:** Sampling forest inventory  
Landsat TM  
Beech forests  
*Fagus sylvatica*

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AHERN F.J., ERDLE T., MACLEAN D.A., KNEPPECK I.D., 1991. A quantitative relationship between forest growth and Thematic Mapper reflectance measurements. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 12(3), 387-400.
- BROCKHAUS J.A., KHORRA S., 1992. A comparison of SPOT and Landsat-TM data for use in conducting inventories of forest resources. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 13(6), 3035-3043.
- COHEN W.B., SPIES A., FIORELLA M., 1995. Estimating the age and structure of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, USA. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 16(4), 721-746.
- CUEVAS J.M., 1989a. Ecuaciones de cubicación para el haya de la Navarra orocantábrica. *Comunicaciones INIA, Serie Recursos Naturales*, 51.
- CUEVAS J.M., 1989b. Aplicación del método ITE de estratificación a la inventariación de los montes del Concejo de Oroquieta-Erviti (Navarra). *Ecología*, 3, 121-129.
- CUEVAS J.M., BARRIOS S., 1992. Estimación del crecimiento en volumen de fuste en un inventario por muestreo de un hayedo navarro. *Invest. Agrar., Sist. Recur. For.*, Vol. 1(1), 83-93.
- CUEVAS J.M., 1992. Determinación de la calidad en un hayedo navarro. *Invest. Agrar., Sist. Recur. For.*, Fuera de Serie, 1, 190-196.
- CUEVAS J.M., GONZALEZ-ALONSO F., HERRON M., 1993. Utilización de información espectral Landsat TM en el reconocimiento y clasificación de los hayedos cantábricos. Comparación de dos metodologías. *Ecología*, 7, 521-528.
- CUEVAS J.M., GONZALEZ-ALONSO F., HERRON M., 1994. Reconocimiento de eucaliptares en el sureste de la provincia de Huelva mediante análisis de una imagen Landsat MSS. *Invest. Agr., Prod. Prot. Veg.*, Vol. 9(3), 439-449.
- CUEVAS J.M., GONZALEZ-ALONSO F., 1995. Superficie cubierta por el agua en el Parque Nacional de Doñana en un momento de gran inundación, obtenida mediante análisis digital de una imagen Landsat MSS. *Ecología*, 9, 3-8.
- GEMMELL F.M., 1995. Effects of forest cover, terrain, and scale on timber volume estimation with Thematic Mapper data in a Rocky Mountain site. *Remote Sens. Environ.*, 51, 291-305.
- GAYDOS L., 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.
- IFN, 1980. Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. ICONA, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- JOFFRE R., LACAZE B., 1993. Estimating tree density in an oak savanna-like "dehesa" of southern Spain from SPOT data. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 14(14), 685-697.
- OZA M.P., SRIVASTAVA V.K., DEVAIAH P.K., 1992. Estimating the mean canopy diameter of teak plantations from MSS Landsat data. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 13(12), 2363-2369.
- RIPPLE W.J., WANG S., ISAACSON 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 Sens.*, Vol. 12(9), 1971-1977.