

## Diversos aspectos del tratamiento digital de imágenes Thematic Mapper para estudios territoriales y producción de cartografía temática. Su aplicación en Galicia.

J. M<sup>a</sup> López, J. Delgado y R. Quirós

Sección de Teledetección del Instituto Geográfico Nacional

### Introducción

En los últimos años estamos asistiendo a una nueva revolución en las técnicas empleadas por los estudios de Ciencias de la Tierra. Probablemente una de las que tiene mayores posibilidades de futuro sea la teledetección espacial, que se ha visto enormemente favorecida por el desarrollo de la informática. Con estos nuevos instrumentos se han impulsado los estudios del territorio.

Aunque la teledetección ya viene siendo una técnica muy común en los países más desarrollados, España se ha incorporado recientemente con un elevado número de proyectos. A pesar de haber sido uno de los pioneros, la labor iniciada no tuvo inmediata continuidad.

Paralelamente hay un interés cada vez mayor por la realización de estudios de ordenación del territorio, que precisan una valoración rápida de los recursos y una cartografía detallada de las áreas de interés. Efectivamente la teledetección ha demostrado ser útil en inventarios de ocupación del suelo, estudio de ciudades, reconocimiento y cartografía de áreas metropolitanas, evaluación de cultivos y superficies forestales, investigación de superficies hídricas, dinámica litoral, etc.. También estudios sobre dinámica medioambiental se han perfeccionado gracias al estudio de esta técnica.

Hemos de reconocer tanto la rapidez como la versatilidad en

el tratamiento de la información, además de la repetitividad de los datos (útil para tratamientos multitemporales). No obstante uno de los escollos con los que nos hemos encontrado los usuarios, ha sido la débil resolución espacial de algunos sensores, actualmente ya relativamente superada. Estas dificultades, bien patentes a la hora de obtener la información temática necesaria, se acrecientan en aquellas regiones donde la complejidad en la ocupación del suelo se manifiesta muy claramente. Quizás la España atlántica, y muy especialmente Galicia, sea la región donde las dificultades se acrecientan. Las características de su relieve, la variada gama de tipos de ocupación del suelo y la fuerte humanización del espacio, con una marcada dispersión de los asentamientos ; inciden en que sea difícil sacar el máximo rendimiento a la teledetección, utilizando técnicas que en otras regiones serían menos costosas y de eficacia comprobada.

En esta comunicación tratamos de exponer de forma somera algunos tratamientos llevados a cabo en el sector más septentrional de la provincia coruñesa. Así ofrecemos algunos de los procesos desarrollados en las diferentes áreas de estudio de la Geografía, tanto visuales como ensayos de clasificación digital. A pesar de las dificultades encontradas, hemos propuesto una leyenda aplicable a la cartografía de ocupación del suelo en espacios atlánticos. Finalmente y para que los estudios de obtención de la información puedan ser convenientemente aprovechados, tanto por lo que se refiere a evaluación de superficies como a producción de cartografía temática, es necesario corregir los datos y ajustarlos a un formato cartográfico tipo; en este caso la clasificación digital ha sido transformada a la proyección U.T.M..

Los datos utilizados proceden del sensor Thematic Mapper y se corresponden con el primer cuarto de la escena 204/030 de 9 de julio de 1985 y de 12 de noviembre del mismo año.

Los equipos informáticos han sido los siguientes:

- Equipo de tratamiento de imágenes PICTRAL-500, con pantalla de visualización, "software" elemental de tratamiento de imágenes. Unidad de disco con capacidad de 120 Mg.

- Ordenador central del I.G.N., FACOM M180N.
- Paquetes de programas para el tratamiento digital de imágenes con vistas a la obtención de información territorial.

#### Características geográficas del área estudiada.

La mayor parte de los tratamientos realizados se efectuaron sobre una escena de 1024 X 1024 pixels, que engloba a buena parte de la comarca de As Mariñas. Esta se extiende a orillas del océano Atlántico, jerarquizada por dos núcleos urbanos de indudable importancia a escala ga llega: La Coruña y Ferrol, y cuya unidad física viene remarcada por el ar co del escarpe que forma la penillanura central en su descenso hacia el mar. El conjunto comarcal consta de variadas formaciones montañosas, de importantes contrastes litológicos y de interesantes gradaciones climáticas. Además la presencia de fuertes densidades de población le da un in terés adicional en relación con la modificación del paisaje y el intenso fenómeno de urbanización.

Por otro lado esta misma imagen la hemos ampliado en dirección Norte y Este hasta conseguir una escena de 2048 X 2048 pixels que comprende la mayor parte del territorio coruñés dentro del total de la escena TM. Esta nueva zona nos ha permitido el estudio de la ocupación del suelo en zonas menos humanizadas y con características físicas sensiblemente diferentes, muy determinadas por la presencia de un medio montañoso de induda ble interés desde el punto de vista de los aprovechamientos forestales. Es ta nos permitió evaluar las posibilidades de las clasificaciones digitales para la cartografía y evaluación de superficies quemadas (López Vizoso, 1986).

El principal obstáculo encontrado en todos los procesos es, en definitiva, la enorme fragmentación de los diferentes tipos de ocupación en unidades a veces de difícil identificación por el sensor TM, lo que se traduce en una respuesta espectral que no se corresponde con una única clase si no seleccionamos bien las áreas de entrenamiento.

## Aproximación al estudio de las cubiertas mediante tratamientos visuales.

En muchas ocasiones con simples operaciones de mejora visual conseguimos destacar aquella información del terreno que nos puede ser útil. Con ello conseguimos ahorrarnos el laborioso proceso que exige una buena clasificación digital. Para muchas de las aplicaciones de la Teledetección conseguimos extraer la información útil con las operaciones más usuales: expansión del contraste, filtros, y combinaciones de bandas. Antes de emprender cualquier proceso, conviene conocer las características espectrales de los objetos que queremos destacar. Así, partiendo del supuesto de que la vegetación posee altos valores espectrales en el infrarrojo próximo y bajos en la región espectral del rojo, podemos, con ambas bandas, disponer de un amplio abanico de posibilidades. La combinación típica TM (4,3,2) nos aporta información sobre actividad clorofílica, estado de salud de la vegetación y "stress". Este tratamiento, resultado del ajuste de los valores de radiancia de la imagen al rango total permitido por el equipo, nos ha permitido una primera aproximación a los grandes tipos de ocupación del suelo. Los rojos más intensos se corresponden con las caducifolias, colores que se tornan más oscuros en las formaciones arbóreas a base de coníferas y frondosas de repoblación. Los tonos más claros (rosas), serían áreas cultivadas. Además la identificación de ciertas características texturales nos aporta una información adicional, muy útil para valorar las diferentes densidades de las cubiertas. Ciertos aspectos de la destrucción del bosque, como talas o incendios forestales, pueden ser fácilmente identificados en tal visualización.

Sin embargo conseguimos una información más completa mediante la aplicación de filtros texturales que realzan las fronteras entre las ocupaciones principales y nos ofrecen una información más detallada sobre su forma y densidad. Esta combinación, TM (4,5,2) es muy útil para diferenciar las poblaciones forestales y valorar el desarrollo vegetal, además permite delimitar áreas homogéneas. Los contrastes tonales del amarillo al marrón nos indican diferentes cubiertas vegetales.

El estudio de la ciudad sería otra de las aplicaciones posibles en un tratamiento visual con una combinación de bandas. Nuevamente resulta

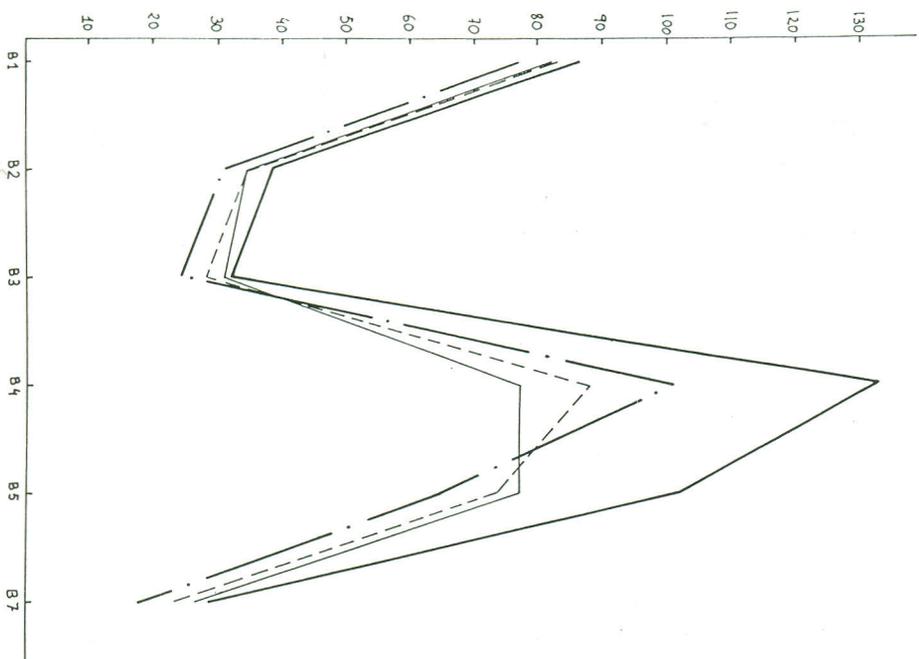
de sumo interés el conocimiento previo de los valores espectrales. Así incluso con una visualización monocanal (espectro visible) conseguimos excelentes resultados para el reconocimiento de los límites urbanos. La combinación TM (4,3,2) nos aporta indudable información, puesto que relacionamos los fuertes contrastes entre los valores de radiancia de la superficies edificadas y las clases vegetales. Combinando la información que nos suministra tanto el infrarrojo próximo como el rojo, es posible, mediante el adecuado tratamiento de la imagen (filtros y realces), abordar el estudio del entramado urbano y del viario. Con el análisis de estas imágenes llegamos a valorar diferentes unidades urbanas según la densidad de edificación y el entramado viario. También se percibe con claridad la red viaria de segundo y tercer orden, usualmente oculta en la mayor parte de las combinaciones posibles.

La combinación de la información suministrada por el visible infrarrojo próximo es adecuada para el estudio de las aguas continentales y marinas. Mediante el análisis de turbideces logramos una primera aproximación al estudio de las costas y su dinámica, en el cual no nos detenemos por ser objeto de otra comunicación.

#### Clasificaciones digitales

Un apartado clave en el proceso de imágenes es la clasificación de la información en clases temáticas atendiendo a su homogeneidad espectral. Este paso es vital para la producción de cartografía temática, la cual se ha visto enormemente impulsada por la aportación que supone la teledetección.

El primer escalón consiste en seleccionar las diferentes áreas de entrenamiento atendiendo a las diferencias existentes en el área de estudio. Siempre existe una cierta dispersión en torno a la signatura espectral teórica, la cual conviene conocer para considerar, en caso de necesidad varias subclases. En cualquier caso se trataba de encontrar áreas de gran uniformidad espectral. Durante esta fase nos vimos obligados a la



- 16 - · - -
- 17 ———
- 18 - - - -
- 19 - - - -

Fig 1, Curvas espectrales de los campos matorral con arbolado, brezal, brezal y pradol.

selección de numerosas áreas, atendiendo a los diferentes factores geográficos de la zona de estudio. El tamaño de los campos de entrenamiento varió en función de la homogeneidad espectral de cada uno.

Para conseguir áreas lo suficientemente claras como para que los parámetros deducidos fuesen fiables en la clasificación, fue necesario obtener previamente visualizaciones que nos aproximasen a las características espectrales de cada una de las categorías consideradas. Por ello sometimos la imagen en falso color, utilizada para seleccionar los campos, a un proceso de mejora utilizando un filtro de paso alto. Estos tratamientos nos permitieron delimitar con bastante precisión las áreas que habrían de ser utilizadas para obtener los parámetros estadísticos empleados en la clasificación (medias, desviaciones y matrices de varianza y covarianza).

Uno de los grandes problemas encontrados en la clasificación fue la enorme compartimentación del espacio gallego. Tanto el habitat como la fuerte fragmentación del parcelario, fruto de la diversidad de ocupaciones vegetales (con el consiguiente grado de desarrollo variado), han sido factores que nos plantearon grandes problemas en la clasificación. Para llegar al nivel de precisión conseguido fue necesario reafinar sucesivamente las estadísticas mediante un minucioso estudio de las mismas y unos límites adecuados en los campos de entrenamiento utilizados. A título de ejemplo en la fig.1 se observan las curvas espectrales del matorral con arbolado, dos tipos de brezal y un tipo de superficies con pradería.

Una de las ocupaciones que plantearon mayores dificultades fueron los prados, por la similitud en la respuesta espectral de cualquier superficie herbácea, aunque tras detenidos trabajos de campo pudimos diferenciar con cierta precisión praderas naturales y praderas de siembra. Sin embargo no descartamos confusiones con jardines u otras ocupaciones similares.

Dado el elevado número de parcelas, con su consiguiente reducido tamaño, resulta de gran dificultad pretender cartografiar tipos de cultivos. A modo de ejemplo, en 1982 la superficie media por parcela era

CLASIFICACION DE OCUPACIONES DEL SUELO PROPUESTA PARA ESPACIOS

ATLANTICOS

1. AREAS EDIFICADAS
  - 1.1 Edificación densa
  - 1.2 Edificación de media densidad.
  - 1.3 Edificación laxa.
2. SUPERFICIES CULTIVADAS
  - 1.1 Cultivos herbáceos.
  - 1.2 Tubérculos y hortalizas.
  - 1.3 Cultivos leñosos.
  - 1.4 Clases mixtas.
3. PRADOS
  - 3.1 Praderas artificiales.
  - 3.2 Prados naturales o permanentes.
4. MATORRALES (Landa atlántica)
  - 4.1 Brezales.
  - 4.2 Matorral espinoso y  
vegetación nitrófilo-ruderal.
5. BOSQUES
  - 5.1 Perennes.
  - 5.2 Caducos.
  - 5.3 Mixtos.
  - 5.4 Bosque con matorral alternante.
6. SUPERFICIES DEFORESTADAS (Incendios...)
7. AGUAS
  - 7.1 Aguas marinas.
  - 7.2 Aguas continentales.
8. MARISMAS, ZONAS DE INUNDACION PERIODICA Y VEGETACION HALOFILA.
9. SUPERFICIES IMPRODUCTIVAS
  - 9.1 Roquedo y suelo desnudo.
  - 9.2 Playas y arenas.
  - 9.3 Canteras y minas.
10. OTRAS OCUPACIONES
  - 10.1 Nubes.
  - 10.2 Sombras.

de 0,26 ha.. Sin embargo, considerando el futuro que pueden abrir sensores con mayor resolución espacial, y pensando en otras zonas menos fragmentadas, hemos propuesto la subdivisión del nivel cultivo en cuatro subniveles (ver tabla I).

Otro punto de gran interés ha sido el análisis de las áreas ocupadas por matorral, ya que en función de diversos aspectos (pendiente, suelo...) el grado de ocupación, desarrollo y especies experimentan una importante variación. De momento hemos definido dos tipos principales:

a) brezales: formaciones leñosas propias de las zonas de suelos pobres, constituidas por especies ericáceas, papilionáceas y gramíneas.

b) matorral espinoso: formaciones vegetales constituidas por arbustos espinosos y plantas trepadoras propias de las áreas ruderales, claros de los bosques y cultivos abandonados. Formados principalmente por *Rubus sp*, *Pteridium aquilinum*, *Ulex europaeus*...

A nosotros además nos interesaba abordar el diseño de una leyenda. Hasta el momento probablemente el estudio metodológico llevado a cabo por Anderson y colaboradores (1976) sea uno de los más logrados. Esta leyenda ha sido adaptada por Chuvieco (1985) para espacios mediterráneos.

Con los estudios anteriores y la consiguiente información adquirida, se emprendió la fase de clasificación en la cual se asigna cada uno de los pixels de la imagen tratada a una de las clases consideradas. Sobre las clasificaciones existen variadas opiniones tanto respecto al método como al algoritmo empleado. Nosotros hemos preferido el método supervisado utilizando el procedimiento de mínima distancia euclidiana, el cual mediante la distancia euclidiana calcula la separación existente entre cada pixel y los centros de clase utilizando la fórmula de cálculo:

$$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}$$

siendo:

$X_i$  : el valor del pixel en la banda  $i$ .

$Y_i$  : el valor del centro de clase en la banda  $i$ .

$d_{xy}$  : la distancia del pixel al centro de clase.

A pesar de ciertos errores, los resultados, con una precisión media próxima al 80 %, nos parecen bastante alentadores.

En las clasificaciones finales, que presentamos en esta comunicación, las diferentes clases se generalizaron en las siguientes categorías:

Bosque perennifolio denso (asociación *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*); bosque perennifolio claro; matorral denso con arbolado disperso; matorral denso con abundancia de especies leñosas; caducifolias; brezales; praderas; cultivos mixtos; edificación densa; edificación de media densidad; edificación laxa; suelo y roquedo; marismas y áreas de inundación periódica; aguas; superficies quemadas.

También, y puesto que el objetivo principal de esta reunión es mostrar los trabajos realizados, queremos exponer muy brevemente, para no alargar el contenido de esta comunicación, el proyecto desarrollado sobre cartografía automática y valoración de superficies quemadas, cuyas conclusiones iniciales ya fueron presentadas durante las reuniones del grupo de trabajo "Cartography of Environmental Dynamics" de la U.G.I. en agosto del año en curso.

El objetivo principal de este proyecto era la cartografía de superficies quemadas utilizando los registros del satélite Landsat-5, evaluando las pérdidas de los principales tipos de ocupación en hectáreas. Para ello utilizamos dos cintas magnéticas del primer cuarto de la escena 204/30; una del 9 de julio de 1985, que nos permitiría la cartografía de los principales tipos de ocupación del suelo, y otra del 12 de noviembre del mismo año para evaluar las superficies quemadas entre ambas fechas. Para este fin fue necesario ajustar geoméricamente los registros de ambas imágenes.

Utilizamos diversas áreas de entrenamiento en función de la antigüedad del incendio forestal ( el rebrote de la vegetación se produce con las primeras lluvias ). Para lograr un máximo afinamiento de la clasificación es necesario tener sumo cuidado en los parámetros estadísticos.

A pesar de ciertos errores, se consigue una gran rapidez en el tratamiento de la información y podemos valorar las pérdidas, lo que es mucho más difícil mediante fotointerpretación de la imagen en falso color. En la zona elegida (2.048 x 2.048 pixels) se quemaron un total de 8.644,32 hectáreas:

- Coníferas y frondosas de repoblación, 754,83 ha.
- Caducifolias, 473,49 ha.
- Matorral con arbolado disperso, 778,95 ha.
- Matorral leñoso, 953,1 ha.
- Brezal (diferentes tipos y densidades), 5.587,18 ha.
- Otros, 96,77 ha.

Además elaboramos una aproximación a una cartografía de riesgos asignando índices de peligrosidad a las diferentes cubiertas en función de las especies y su densidad. Aunque los resultados son enormemente alentadores, es necesaria la inclusión de otras variables. En resumen podríamos concluir que la teledetección precisa de otras informaciones del terreno, de ahí el gran interés de potenciar los Sistemas de Información Geografica.

#### Correcciones cartográficas.

Para valorar la información extraída de los datos multiespectrales es necesario transformar estos a una proyección cartográfica que nos permita evaluarlos numericamente. Esto mismo puede ser aplicado a estudios multitemporales.

Como ya sabemos las imágenes Thematic Mapper vienen corregidas de las siguientes distorsiones geométricas:

- Velocidad del espejo.
- Rotación de la Tierra.
- Altitud del satélite.
- Actitud del satélite.

Sin embargo, la necesidad de pasar de un documento no métrico a una proyección cartográfica nos obliga a un tratamiento posterior. El sistema utilizado fue el método de puntos de control.

El primer paso sería la selección de dichos puntos de control. Para ello visualizamos en el equipo de tratamiento de imágenes la escena elegida, en la banda 4 de TM. La elección de puntos de control requiere una adecuada distribución espacial para evitar extrapolaciones en la imagen.

Una vez seleccionados los puntos se toman sus correspondientes coordenadas imagen ( $C_x, C_y$ ) y sus homólogos en la cartografía elegida (UTM) (X,Y). En este caso fueron utilizadas las hojas correspondientes en escala 1/50.000 de la provincia de La Coruña. En el caso de aquellas hojas producidas en proyección poliédrica, fue necesario transformar las coordenadas geográficas medidas en el elipsoide de Struve a coordenadas en el elipsoide de Hayford para su posterior transformación a UTM. Esto crea un problema, ya que el paso del elipsoide de Struve a Hayford solo se puede hacer por métodos estadísticos.

Una vez obtenidas las coordenadas en los dos sistemas, se calculan los polinomios de transformación directo e inverso con el programa de regresión EZLS del sistema ORSER, pudiendo llegar a ser hasta de 4º grado. Las salidas que presenta este programa son las siguientes:

- Impresión de la primera observación para comprobar la entrada de datos.
- Número de observaciones.
- Tablas de medias y desviaciones típicas de las variables.
- Matriz de momentos usada para hallar los coeficientes de regresión.
- Análisis de las tablas de varianzas.
- Error standar estimado.

- Coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ).
- Coeficiente de correlación múltiple ( $R$ ).
- Tabla de coeficientes de regresión con sus errores standar y la T de Student.
- Término constante y error standar.
- Matriz inversa de momentos.

Estos polinomios son depurados eliminando los puntos de control con un error superior a 1,5 pixel.

A continuación se calcula el polinomio. Para ello se determina el pixel y la línea en la imagen final en función del pixel y línea de la original.

Sea  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ , un elemento de la imagen original.  $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$ , la posición del elemento  $x$  en la imagen corregida con sus nuevas coordenadas.

$$y_1 = f_1(x_1, x_2) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1^2 + a_4 x_2^2 + a_5 x_1 x_2 + \dots \\ + a_{13} x_1^4 + a_{14} x_2^4$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_2^2 + b_5 x_1 x_2 + \dots \\ + b_{13} x_1^4 + b_{14} x_2^4$$

Los coeficientes  $a_i$ ,  $b_i$  son los que ajustamos por un método de mínimos cuadrados. Estos coeficientes son los datos de entrada para el programa SUBGM del ORSER, que es el que nos proporciona la imagen corregida.

El polinomio inverso se utiliza para hacer el remuestreo en la imagen original, pudiendo emplearse el método del vecino más próximo, bilineal o cúbico. En nuestro caso hemos utilizado el del vecino más próximo para no alterar los valores asignados a la clasificación.

Una vez obtenida la clasificación temática corregida a UTM, estamos en condiciones de evaluar la superficie de cada clase:

- Bosque perennifolio denso.....	1.638,45 ha.
- Bosque perennifolio claro.....	274,77 ha.
- Matorral denso con arbolado disperso....	1.621,98 ha.
- Matorral denso (especies leñosas).....	2.207,88 ha.
- Caducifolias.....	737,01 ha.
- Brezales.....	3.374,91 ha.
- Praderas.....	2.760,21 ha.
- Cultivos mixtos.....	3.166,47 ha.
- Edificación densa.....	19,08 ha.
- Edificación de media densidad.....	84,78 ha.
- Edificación laxa.....	338,94 ha.
- Suelo y roquedo.....	582,39 ha.
- Marismas yáreas de inundación periódica.	231,84 ha.
- Aguas.....	5.918,31 ha.
- Superficies quemadas.....	50,40 ha.

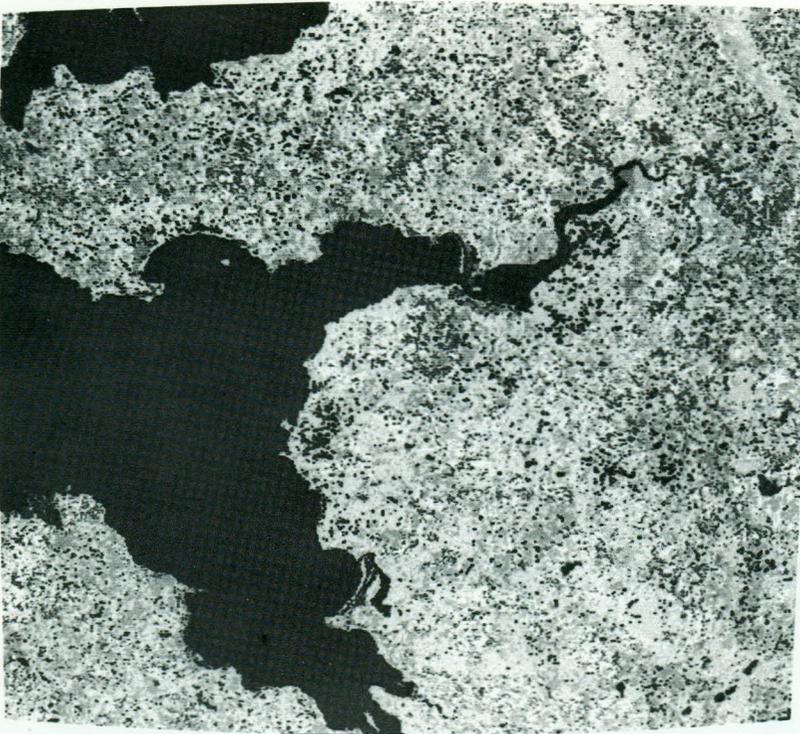


Foto 1. Clasificación supervisada, antes de las correcciones cartográficas.



Foto 2. Clasificación supervisada corregida, en proyección UTM.

## BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J.R. et al. (1976): A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey. Prof. paper 964, 28 pp.

CHUVIECO, E. (1985): Aplicaciones del tratamiento digital de imágenes Landsat a la cartografía de ocupación del suelo. Tesis doctoral, inédita. Univ. Complutense, Madrid.

LOPEZ VIZOSO, J.M. (1986): Computer Assisted Cartography of Forest Fires in Galicia Using TM Information. Comunicación presentada en las reuniones de la U.G.I.. Madrid, agosto 1986.

SWAIN, P.H. y DAVIS, S.M. (1978): Remote Sensing: the quantitative approach. McGraw & Hill, New York.

TOWNSHEND, J.R. (1981): Terrain Analysis and Remote Sensing. George Allen & Unwin Ltd., London.