

Mapa falso color de Catalunya a escala 1:100.000 a partir de imágenes del sensor TM del satélite Landsat-5

R. Arbiol, J. Romeu y O. Viñas

Generalitat de Catalunya. Dep. de Política Territorial i Obres
Públiques. Institut Cartogràfic de Catalunya.

1.- INTRODUCCIÓN.

Desde su creación en 1983, el " Institut Cartogràfic de Catalunya " (ICC) emprendió una línea de trabajo destinada al estudio de las imágenes captadas por los satélites artificiales de uso civil, y a desarrollar los algoritmos necesarios para realizar el tratamiento digital de dichas imágenes para establecer metodologías que permitieran emplearlas con fines estrictamente cartográficos.

El primer trabajo de la oficina de Percepción Remota del ICC fue un mapa falso color de toda Catalunya a escala 1:450.000 partiendo de información obtenida por el sensor MSS del LANDSAT-2, realizándose un mosaico compensado de seis imágenes digitales.

A partir de esa primera experiencia y con la aparición en el mercado de imágenes captadas por el sensor "TM" instalado en los satélites LANDSAT-4 y LANDSAT-5, se investigó la posibilidad de realizar una serie

cartográfica a escala 1:100.000, analizando tanto la calidad final de las imágenes como la posible utilización del producto final.

En el presente artículo se describe la realización de la serie de 27 hojas que, a escala 1:100.000, cubren holgadamente los 32.000 kilómetros cuadrados que tiene el territorio de Catalunya, la información digital utilizada, los procesos desarrollados, los principales problemas encontrados y finalmente la manera en que se procedió a publicar y a poner a disposición del público esta nueva forma de cartografía.

2.- DATOS UTILIZADOS.

Dado que la aparición de sombras en las imágenes y las características fenológicas de la vegetación vienen condicionadas por las fechas de la adquisición de las imágenes, es preciso efectuar previamente un estudio sobre esta variable.

La realización de diferentes pruebas con las mismas imágenes pero de fechas de adquisición distintas, permitió centrar la decisión entre las coberturas de principios de verano o de pleno invierno.

La única ventaja clara que ofrecían las imágenes de invierno sobre las de verano era la mejor visión del relieve producida por la aparición de sombras en las zonas montañosas. Por otra parte la cobertura de verano ofrecía mejores oportunidades de encontrar imágenes sin nubes ni nieblas, así como las áreas de alta montaña exentas de nieve y de sombras. Los puntos definitivos a favor de escoger las imágenes de verano fueron su mayor luminosidad y la presencia de la vegetación en un estado fenológico favorable que permitía un máximo de diferenciación entre distintas coberturas del suelo.

Finalmente las imágenes seleccionadas para la realización de la serie han sido las siguientes:

<u>Orbita</u>	<u>Zona</u>	<u>Quarto</u>	<u>Fecha</u>
197	030	3,4	24/07/85
197	031	1,2,3,4	24/07/85
198	030	3,4	28/07/84
198	031	1,2,3	28/07/84
198	031	4	10/06/84
198	032	1,3	28/07/84
198	032	2	26/06/84
198	030	4	19/07/84
199	031	2	19/07/84

Además se utilizaron otras imágenes para substituir pequeñas zonas cubiertas de nubes; sin embargo estas imágenes no han sido incluidas en la anterior relación, ya que su información fue alterada radiométricamente y las zonas cubiertas de nubes eran muy pequeñas.

Los otros datos utilizados para la realización de la serie 1:100.000 falso color, corresponden a todo el conjunto de elementos que proporcionan información colateral a la ofrecida por la imagen de satélite. Bajo este punto de vista se han usado mapas de línea a escala 1:50.000 (MTN) del Servicio Geográfico del Ejército, así como algunas de las informaciones contenidas en el " Mapa Topogràfic de Catalunya 1:250.000 " (realizado en el ICC).

Otra parte de los datos e informaciones utilizadas en la realización de los mapas ha sido aportada por parte de las oficinas del ICC (Sitemes Gràfics, Suport Tècnic, Impremta, Laboratori Fotogràfic, Publicacions

Cartogràfiques), siendo el Negociado de Publicaciones, el coordinador final de la edición.

3.- EQUIPOS UTILIZADOS.

El equipo informàtico del que dispone el ICC para el tratamiento digital de imágenes está constituido por un ordenador DIGITAL VAX-750, con 5 MB de memoria central, un sistema operativo VMS y las utilidades habituales. También se dispone de una unidad de cinta magnética de 1600 BPI y de tres unidades de disco con 800 MB de capacidad total. Como sistemas de representación completan el equipo una impresora de caracteres PRINTRONIX y un sistema de visualización de imágenes COMTAL SYSTEM ONE-20 con 512x512x28 bits de memoria para almacenar gráficos e imágenes.

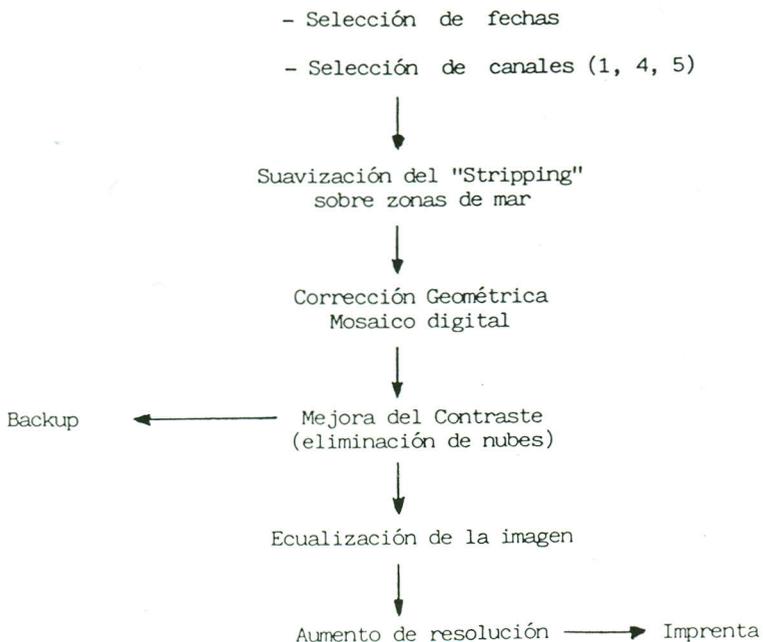
El " Software " de tratamiento de imágenes digitales está constituido por unas 35.000 líneas de código FORTRAN (unos 80 programas), desarrollados en su núcleo central por el Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Catalunya (CCUPC). Sobre este núcleo central, el mismo ICC ha desarrollado todo el conjunto de programas necesarios para la realización de cartografía a partir de imágenes satélite.

También se han empleado otros equipos, para realizar las operaciones complementarias al tratamiento de imágenes, es decir que gran parte de la infraestructura de ICC ha servido para el proceso final de los mapas.

4.- METODOLOGÍA.

La descripción del proceso de realización de uno de los 27 mapas que conforman toda la serie, nos servirá más que para exponer la metodología de la investigación, para esquematizar las distintas etapas necesarias y las transformaciones que tienen lugar en cada paso, dando una explicación de los algoritmos elegidos, los procesos seguidos y sus consecuencias en el resultado final.

Para facilitar el seguimiento secuencial de los pasos que comporta el proceso de obtención de un mapa 1:100.000 hemos realizado el esquema siguiente:



4.1.- Selección de canales.

El color con que aparecen los diferentes objetos representados en las imágenes depende principalmente, de la combinación de canales que se elija. Partimos de la posibilidad de combinar 3 de los 6 canales "TM" (se desecha el canal térmico debido a su resolución, 120 metros contra los 30 metros que tienen los seis restantes) asignando cada uno de ellos al Cyan, Magenta y Amarillo.

El gran numero de combinaciones que se podrían realizar (120), hace necesaria una definición de objetivo y de contenido espectral. Este es, principalmente, que el producto sea utilizable por el mayor número posible de usuarios, con lo que si se aumenta al máximo la gama cromática, el número de "objetos" diferenciables será mucho mayor.

Para no tener que decidir visualmente sobre todas las combinaciones posibles, se analizaron las matrices de covariancia de varias "ventanas" elegidas al azar (tabla 1) sobre las imágenes de verano, y se obtuvieron las combinaciones de canales que contenían más información (según la idea de COVOLCORESSES 1984). La combinación que mejor respondió a las exigencias de cantidad de información contenida y deromaticidad, fue el canal 1, el canal 4 y el canal 5. Este triplete de canales se compone de una banda situada en el visible, de otra en el infrarojo cercano y de la tercera dentro del espectro del infrarojo medio.

TABLA 1

<u>Ran</u>	<u>SUB 1</u>	<u>SUB 2</u>	<u>SUB 3</u>
1	1,4,5	1,4,5	1,4,5
2	3,4,5	3,4,5	3,4,5
3	4,5,7	4,5,7	4,5,7
4	1,4,7	1,4,7	1,4,7
5	2,4,5	2,4,5	2,4,5
6	1,5,7	1,5,7	3,4,7
7	3,4,7	3,4,7	1,5,7
8	3,5,7	3,5,7	1,3,5
9	1,3,5	1,3,5	3,5,7
10	2,4,7	2,5,7	2,4,7

TABLA 1 : Rango obtenido por las 10 combinaciones con mayor contenido de información, recogido por el análisis de covarianza realizado sobre tres subescenas elegidas al azar sobre imágenes de verano y centradas en Catalunya.

Comparamos la combinación 1,4,5 con otras alternativas más habituales, como la 1,2,3 (color natural) y la 2,3,4 (falso color típico), y hemos comprobado este enriquecimiento de información y el aumento de color que favorece la interpretación visual del mapa (FOTO 1). El principal inconveniente de esta combinación surge del hecho de que los colores, además de ser falsos, son poco habituales, pero puesto que el mapa lo interpretarán tanto usuarios que por primera vez ven una imagen de satélite, como usuarios más experimentados, se optó por mantener este incremento de diferenciación entre objetos y empezar la educación en esta nueva lectura de mapas de los usuarios sin experiencia previa.

Una vez seleccionados los tres canales a utilizar se calcularon sus histogramas a partir de una muestra de 1 de cada 10 pixels de la mitad de cada 1/4 de cinta "TM" (formato de trabajo que se utiliza habitualmente en el ICC), procediendo, anteriormente, a enmascarar el área correspondiente al mar. En ningún caso se utilizaron ficheros con valores radiométricos sobre el mar puesto que estos valores aportan distorsiones sobre los valores de tierra firme.

Estos ficheros con la información de los histogramas (canales 1,4 y 5) se reservaron para su posterior uso durante los procesos de ecualización de cada hoja (punto 4.4.).

4.2.- Corrección geométrica.

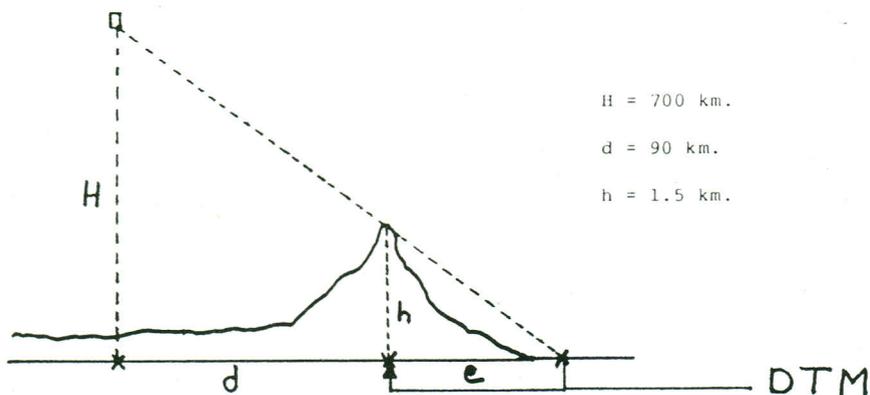
Para corregir las distorsiones que contienen las imágenes en su formato habitual de comercialización, es necesario calcular un polinomio que transforme su geometría a coordenadas UTM.

Para tal fin se establecieron polinomios de corrección a partir de las coordenadas de 20 puntos de control por cuarto de imagen, localizados sobre la pantalla de visualización y sobre mapas topográficos a escala 1:50.000. Una vez establecidos permiten, además de la corrección de la imagen, el cálculo de las coordenadas de cualquier punto en función de sus coordenadas correspondientes en el otro sistema, y por lo tanto conocer las subescenas "TM" que entran a formar parte de cada hoja 1:100.000.

El procedimiento habitual consiste en cargar sobre la memoria del ordenador los diferentes archivos, visualizarlos y en caso de que en alguno de ellos comprenda parte de mar, se aplica un algoritmo sobre toda la imagen que suaviza las desigualdades radiométricas, logrando de esta forma disimular el efecto visual del "stripping" (FOTO 2).

Una vez realizado este paso previo, se corrigen la imágenes correspondientes, mediante la aplicación de los polinómios encontrados durante la fase de búsqueda de puntos de control. La corrección da lugar a una nueva imagen en la que los pixels se repositionan a partir del polinomio de grado 1, calculando la media lineal de los 4 pixels vecinos.

Los errores geométricos obtenidos son inferiores a 1 pixel sobre los mismos puntos de control, error extensible a las zonas llanas. Por otra parte en las áreas montañosas el error aumenta de manera considerable. Este error lo podemos calcular (figura 2) de manera muy sencilla, y puede deducirse que en el peor de los casos (una esquina de la imagen con una montaña de 1.500 metros de desnivel) el error máximo es de 7 pixels.



H = 700 km.

d = 90 km.

h = 1.5 km.

$$\text{ERROR} = d \cdot h / H = 0.21 \text{ Km.}$$

ERROR MÁXIMO = 7 pixels.

Dado que las precisiones requeridas por la cartografía tradicional para la escala 1:100.000 son de 30 metros de error medio y 90 metros de error máximo, y que los errores cometidos son superiores, el ICC esta estudiando a posibilidad de incorporar el Modelo Digital del Terreno (MDT) para poder corregir con el mismo nivel de fiabilidad las zonas llanas y las de montaña. El ICC ha creído conveniente ofrecer la serie 1:100.000 acotando los errores planimétricos, puesto que el uso que tendran estos mapas no es el mismo que tiene un mapa topográfico.

Una vez corregidas todas las subescenas que componen cada hoja, se unen digitalmente en un solo archivo.

4.3.- Mejora del contraste.

Para conseguir una buena georeferenciación es necesario que los elementos lineales y puntuales que están incluidos en la imagen destaquen

lo más posible (FOTO 3). El algoritmo empleado para conseguir este efecto se basa en un operador Laplaciano que convoluciona una matriz de 3 x 3 pixels, logrando que los objetos que ya ofrecían contrastes de radiometría se vean reforzados (carreteras, ríos, canales, líneas de alta tensión).

Este algoritmo no se aplicó en las zonas de mar ya que supondría un paso inverso al realizado en la suavización del "stripping". Por tanto se realizó una máscara sobre la zona de mar que no se trató y que luego reincorporamos a la imagen global una vez aumentado el contraste sobre las áreas de tierra.

En caso de que alguna zona de la imagen esté cubierta por nubes, se realiza un mosaico local con otra imagen de la misma área de fecha diferente. Para que el mosaico sea inapreciable, modificamos la radiometría de la imagen libre de nubes y se sustituyen los pixels afectados por las nubes y sus sombras por los nuevos valores.

Finalmente con la imagen resultante de la mejora de contraste y después de suprimir las nubes, antes de iniciar el proceso que expande la radiometría, se graba el archivo en cinta magnética, (por si es necesario modificar la expansión radiométrica, que no sea necesario repetir de nuevo todo el proceso hasta ahora expuesto).

4.4.- Ecuilización de la imagen.

Una cuestión básica ha sido el decidir si se intentaba mejorar

individualmente cada una de las 27 hojas o bien intentábamos mantener una cierta homogeneidad de tonalidades entre hojas contiguas.

Decidimos, finalmente, la opción que mantenía en mayor medida la homogeneidad de colores. Después de algunos ensayos, el procedimiento definitivo consistió en sumar los histogramas obtenidos de cada 1/8 de cinta que intervenían en la imagen a ecualizar. Con este método logramos que los histogramas que se utilizan en cada hoja también estén presentes en las contiguas a ella, homogeneizando el mosaico.

Para suavizar las zonas de radiometría extrema, modificamos además los histogramas de manera que los valores radiométricos estuviesen contenidos entre 50 y 240.

4.5.- Aumento de resolución.

Dado que el tamaño que adquieren los pixels representados a escala 1:100.000 es de 0.3 mm. y puesto que el ojo humano es capaz de percibir elementos de hasta 0.167 mm. (WIESEL 1985), es preciso realizar un proceso para hacer desaparecer el aspecto angular que presentarían los pixels.

El algoritmo empleado consiste en interpolar nuevos pixels utilizando para ello los 16 pixels vecinos , a los que se aplican los valores discretos de la función $\text{sen } x/x$. De esta forma cada pixel adquiere una dimensión de 0.150 mm. que es suficiente para conseguir el efecto buscado. Mediante la aplicación de esta función conseguimos, a la vez, un

efecto adicional de suavización de la imagen excesivamente contrastada en áreas de bosques y campos debido al operador Laplaciano.

4.6.- Escritura sobre película.

Una vez establecida la resolución final, se codifica el archivo en el formato del restituidor elegido; concretamente para la realización de este proyecto se utilizaron los servicios de una empresa exterior al ICC.

Se generan los negativos en película correspondientes al Cyan (canal 4), al Magenta (canal 5) y al Amarillo (canal 1). Siendo finalmente preciso obtener las planchas para poder imprimir las imágenes.

5.- EDICIÓN FINAL DEL MAPA.

Paralelamente a la realización del tratamiento de las imágenes se trabajó en ofrecer el máximo de información complementaria que facilite la labor del intérprete.

Los principales elementos informativos que rodean a la imagen de satélite impresa y configuran el mapa en su forma más tradicional son los siguientes:

* Mapa de distribución de las hojas 1:100.000, referenciadas al MTN 1:50.000, con las comarcas y los

límites municipales.

* Pequeña leyenda explicativa de los 8 o 10 principales usos del suelo, contemplados en cada hoja, completada por pequeños subescenas extraídas de la imagen a la que hacen referencia.

* Mapa topográfico de la zona, extraído del " Mapa Topográfico de Catalunya 1:250.000 " contiene referencias de los principales accidentes geográficos que ayudan al reconocimiento de los mismos sobre la imagen de satélite.

* Descripción de las principales características del satélite y del sensor Thematic Mapper.

* Referencia a los principales procesos del tratamiento efectuado así como la indicación de las fechas y codificaciones de todas las imágenes utilizadas.

* Especificaciones de escala, convergencia de la malla y declinación magnética referida al centro de cada hoja.

* Sobre la imagen se han incorporado los límites municipales y comarcales extraídos del MTN 1:50.000, además de una selección de la toponimia más relevante.

* En los márgenes de la imagen aparecen las coordenadas UTM, mientras que en cada esquina se señalan los vértices en

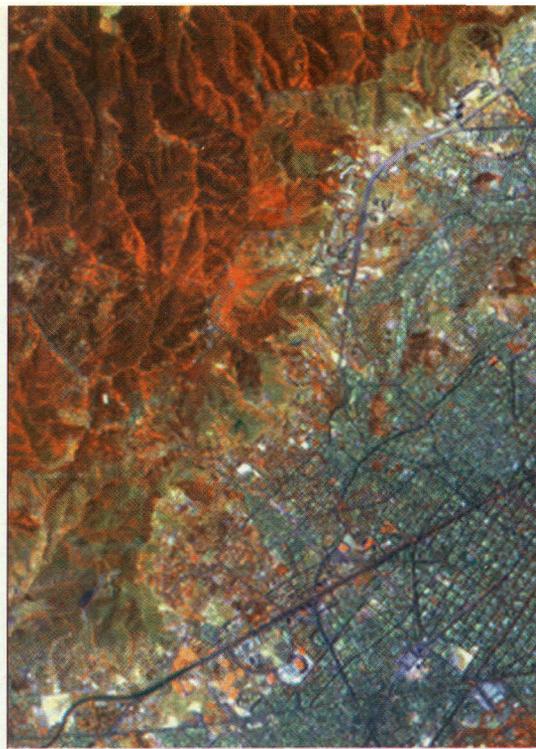
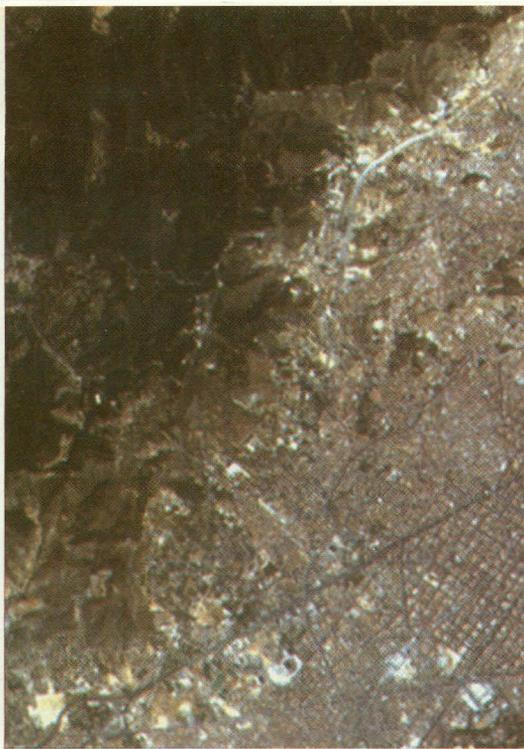
en coordenadas UTM y en coordenadas geográficas.

* La codificación de cada hoja corresponde a la utilizada por el SGE para las hojas 1:100.000 al igual que los nombres que dan título a cada una de ellas.

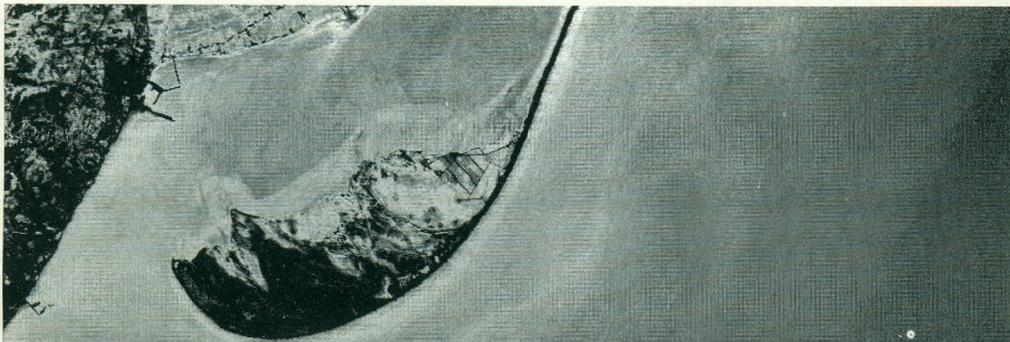
6. CONCLUSIONES.

Más que unas conclusiones de como deben hacerse los mapas a una determinada escala, hemos encontrado una serie de puntos conflictivos en diversas fases del proceso.

- * Correcciones geométricas. Es imprescindible incorporar los MDT para la realización de cartografía equiparable planimetricamente a los mapas topográficos tradicionales. Actualmente, a partir de imagenes TM, solo pueden realizarse dentro de los márgenes topográficos establecidos mapas 1:250.000.
- * Selección de fechas y canales espectrales. Las que este equipo ha considerado óptimas para esta aplicación quizás no lo sean para otro país, por lo que el análisis realizado debe plantearse para cada nueva serie de este tipo.
- * Ecuación y transición entre hojas diferentes. Es uno de los temas que han planteado mayor dificultad de realización. Actualmente el Instituto está trabajando en la puesta a punto de nuevas técnicas para facilitar las tareas de selección de histogramas a aplicar en cada mapa para que las transiciones sean más uniformes.
- * Rapidez de ejecución. La realización de estos trabajos requiere más tiempo en el periodo de desarrollo que durante el tratamiento, por lo que la experiencia conseguida durante el año en que hemos realizado esta serie irá en beneficio de futuras

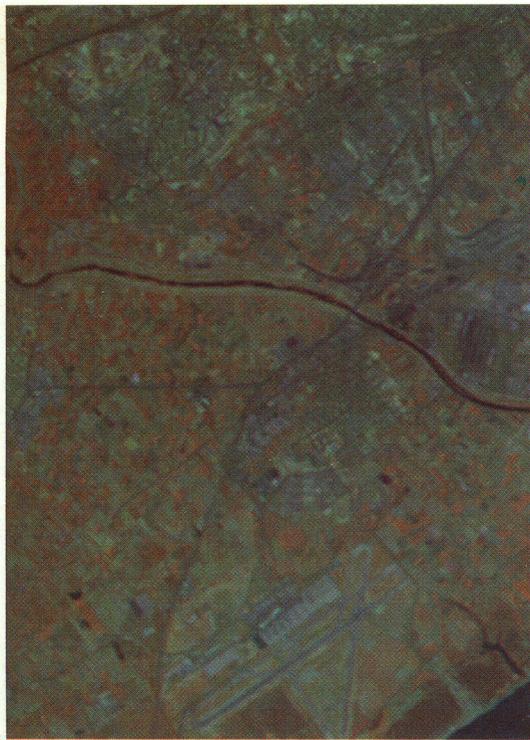


Fotografía 1. Imágenes en falso color sobre Barcelona. A la izquierda combinando los canales TM 3, 2, 1 y a la derecha los canales TM 4, 5, 1.

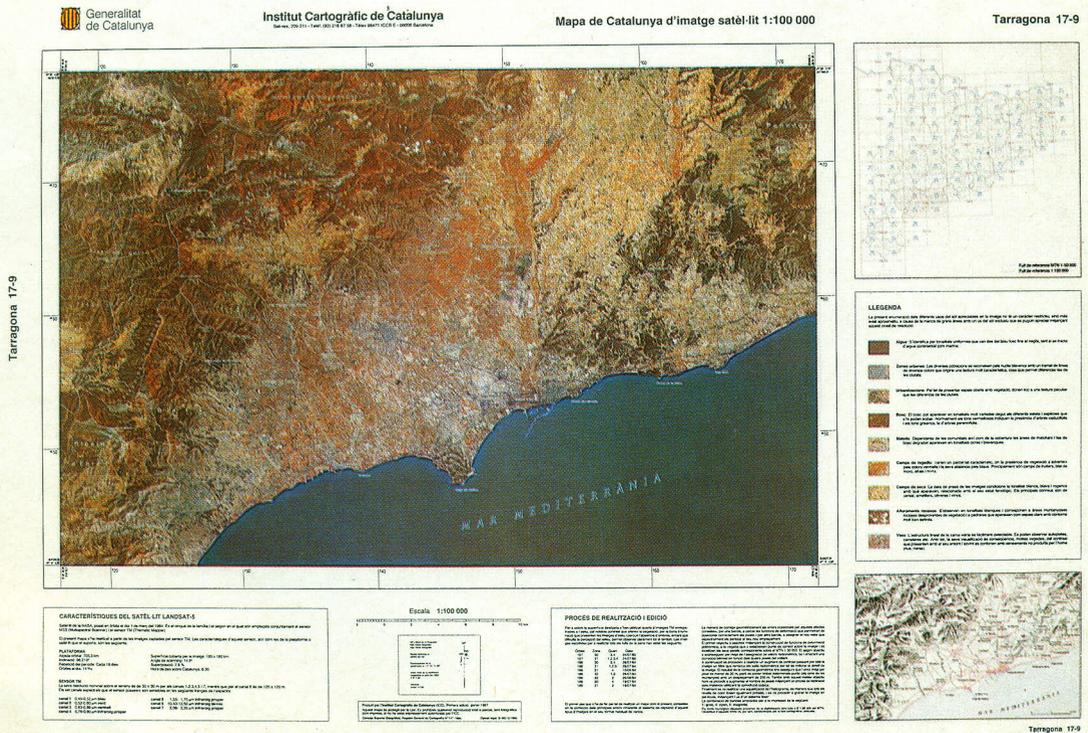


Fotografía 2. Imágenes de la zona sur del delta de l'Ebre. En la imagen superior se aprecia el *stripping* y en la inferior el resultado de su corrección.





Fotografía 3. Imágenes en falso color sobre el aeropuerto de Barcelona. La imagen de la izquierda corresponde al obtenido con los canales 4, 5, 1 originales, mientras que la de la derecha corresponde al resultado del tratamiento definitivo.



Fotografía 4. Hoja número 17-9 de la serie: *Mapa de Catalunya d'imatge satèl·lit 1:100 000.*



realizaciones.

El poner al alcance de los usuarios no habituados a trabajar con este tipo de documentos, nos ayudará por una parte a difundir las imágenes de satélite y por otra, a que esos usuarios nos aporten sus conocimientos específicos que nos sirvan para mejorar este producto.

7.- BIBLIOGRAFIA.

ARBIOL R., PALÀ V., VIÑAS O., 1983, Aplicación R.S. Manual del usuario vol. I y II, Manual del sistema vol. I, Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, pp. 960.

ARBIOL R., ROMEU J., VIÑAS O., 1986, Realisation de cartographie en fausse couleur a partir de donnees LANDSAT, Proceedings, EUROCATO-V, Paris, Francia, pp. ??.

COLVOLCORESSES A., 1984, Mapping of Washington D.C. and Vicinity with the LANDSAT-4 Thematic Mapper, Proceedings, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, EEUU., pp. 757-764.

COLVOLCORESSES A., 1986, Image mapping with the Thematic Mapper, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 9, Septiembre 1986, pp. 1499-1505.

MOCCIA A., VETRELLA S., 1986, An integrated approach to geometric precision processing of spaceborne high-resolution sensors, Int. Journal of Remote Sensing, Vol. 7, No. 3, pp. 349-359.

WIESEL I., 1985, Digital image processing for orthophoto generation, Photogrammetria, 40 (1985), pp. 69-76.

