Ordenamiento del Territorio y Medio Marino. V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Servicio de Publicaciones.
Las Palmas de Gran Canaria, 10, 11 y 12 de noviembre de 1993. pp. 907-917.
Editor: Manuel Cantón Garbín.

# Un esquema de fusión de datos para la formación de cartografía a escala 1/50.000 desde datos spot (P+XS) y spot (P) + LANDSAT (TM)

*P. Vivas*
Área de Teledetección
Instituto Geográfico Nacional - Madrid

RESUMEN

Se describe en esta comunicación el esquema desarrollado en el Instituto Geográfico Nacional para la edición de ortoimágenes espaciales a escalas medias mediante fusión de datos de distinta resolución provenientes de diferentes sensores. Se presenta una forma de elaboración de una banda sintética que simula el rango espectral del azul en SPOT-XS. Este esquema ha sido aplicado en ediciones recientes de distintas hojas MTN (escala 1/50.000) y a escala 1/25.000 en la serie de ortoimágenes espaciales España'92 que se realizaron sobre las ciudades de Madrid, Barcelona y Sevilla.

ABSTRACT

In this comunication I present un process developed by the Instituto Geográfico Nacional for la publication of ortoimages spatiales a medium scale merge data images of distinct resolution from different sensors. Here I present un process for to make for simuler the blue canal in SPOT-XS data. This scheme is applied for mapping the Mapa Topográfico Nacional shets (1/50.000 scale) and un new cartographic serie of three shets over the Madrid, Barcelona y Sevilla city by to be sedes of important events in 1992 year in Spain.

## *Introducción*

La disponibilidad de una amplia gama de sensores aeroespaciales con diversa resolución espacial y espectral ha provocado un enorme interés en la comunidad científica para aprovechar simultáneamente la riqueza espacial y espectral de los mismos sobre una base de fusión de datos digitales obteniendo una cobertura única que integre ambos niveles de información.

Las experiencias de fusión de datos de satélite no fueron más que una consecuencia lógica de un paso anterior realizado en la integración de datos digitales de dos fuentes muy distintas: los datos aerotransportados y los datos aeroespaciales. Antes del lanzamiento del satélite SPOT y a se habían integrado fotogramas aéreos digitalizados con datos Landsat-TM (Chávez, 1986), datos radar con Landsat-MSS (Daily et

al., 1978), datos RBV con Landsat-MSS (Lover y Todd, 1981), remontándose el trabajo pionero sobre estas técnicas de fusión de datos espaciales a Schowengerd utilizando datos HCMM y Landsat-MSS.

Las experiencias con datos SPOT parten desde las campañas de los datos simulados pancromáticos (P) y multiespectrales (XS) (Chávez y Berlin, 1984; Crist y Cicone, 1984) con lo que el paso a usar datos reales no fue más que esperar a el lanzamiento del SPOT-1 (1986).

Los resultados expuestos en este trabajo parten de las experiencias de las referencias mencionadas de estos autores y de la labor de investigación desarrollada en el IGN sobre estas técnicas de teledetección. Se presenta aquí un modelo de fusión de datos SPOT (P+XS) que resuelve el problema de la ausencia de la banda del azul del sensor HRV del satélite SPOT por técnicas de proceso de imagen creando una banda sintética a partir de los datos de otras bandas.

El autor quiere agradecer la labor realizada por dos miembros del equipo de desarrollo del área de Teledetección J.M. Olivares y M.A. Fernández sin la cual este trabajo no podría haberse realizado.

***Esquemas alternativos de fusión de datos***

Las técnicas de fusión de datos han seguido una trayectoria acorde con la disponibilidad de estos en distintas resoluciones espaciales y espectrales. El objetivo final siempre ha sido conseguir integrar estos datos en una sola imagen que reuniera las mejores características de ambas obteniendo un producto híbrido de calidad útil para el fin elegido: interpretación visual, actualización, síntesis de datos, etc.

En la fusión de sensores sólo estamos interesados en el IGN en las consideraciones espaciales y espectrales y no tanto en las consideraciones temporales y radiométricas. Por otro lado la integración de información digital la planteamos en términos de complementariedad sobre sensores de resolución espacial similar y aunque a veces no simultánea, si al menos muy próximos temporalmente (J. Moreno, 1991).

En todo esquema de fusión de datos de distintos sensores se han de realizar dos tareas diferenciadas: 1) Combinación geométrica (registro) de los distintos conjuntos de datos digitales que se han de superponer, ya sea por métodos polinómicos u orbitales, 2) obtención de las tres bandas sintéticas que nos proporcionen el color RGB.

El primer paso no tiene complicaciones y es en el segundo donde aparece un amplio abanico de posibilidades. Las técnicas más al uso son la transformación de la

imagen del espacio de color RGB al espacio IHS. Sin embargo aparecen complicaciones cuando queremos obtener una imagen en pseudo color natural partiendo de datos de sensores que no han captado alguna banda del rango óptico. En particular el sensor HRV del sistema SPOT no capta la ventana espectral correspondiente al azul.

Para la fusión de datos SPOT (P+XS) y obtener un documento en pseudo color natural necesitamos una banda que simule el azul. Se han propuesto varios métodos, algunos de ellos los describiré aquí y el objetivo de esta ponencia es presentar un esquema alternativo a los métodos ya conocidos. Entre los métodos conocidos se pueden reseñar (M. Gavoret, 1988): 1) clasificación supervisada (se dan colores elegidos por el usuario a una clasificación de las bandas multiespectrales el sensor), 2) si definimos X = XS3-XS2 e Y = XS2-XS1, la banda sintética del azul (B) la podemos obtener a través de B = A(X,Y)*X + B(X,Y)*Y + C*XS1, donde A, B y C se determinan empíricamente, pero una vez obtenidos permiten estandarizar el método.

La transformación IHS establece un esquema de color diferente al RGB. En este espacio de color los objetos no son descritos por sus proporciones de rojo (R), verde (G) y azul (B) sino en términos de intensidad (I), tono (H) y saturación (S), que describen las sensaciones subjetivas de brillo, color y pureza del color.

Hay varios algoritmos para pasar las tres bandas RGB al esquema IHS: Jud y Wyszki (1975), Lillesand y Kiefer (1987), Carper et al. (1990), etc., diferenciándose todos ellos en el modo de obtener la intensidad (Carper et al., 1990).

La transformación IHS tiene dos notables virtudes (Dennis N. Grasso, 1993): primero puede separar eficazmente la información espacial (intensidad) de la espectral (tono y saturación) partiendo de una imagen RGB y segundo existe ademas la transformación inversa.

En el estudio comparativo que Chávez (1991) hace de tres métodos de fusión de datos: IHS, Componentes Principales PCA) y filtrado paso-alto (HPF), utilizando tres criterios: estadístico, visual y gráfico actuando sobre características espectrales de los datos establece que el método HPF distorsiona menos las características espectrales que el IHS, concluyendo la superioridad del método PCA sobre los otros dos.

Otros autores (W. Joseph Carper, Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer, 1990) han estudiado sustituir la intensidad del esquema IHS por un promedio de la banda pancromática (P) y NIR (XS3) del SPOT de definido de distintas formas. La mejor fórmula para este promedio resulto ser [(2*P) + XS3] / 3, obteniendo mejores resultados que el sustituir P directamente.

En resumen las bandas para una imagen de salida obtenida a través de fusión de datos sigue algunas de las ecuaciones siguientes (R. Welch, Manfred Ehlers, 1987):

$$M'_i = a_i (M_i P)^{1/2} + b_i$$

$$M'_i = a_i (w_1 M_i + w_2 P) + b_i$$

donde $M'_i$ es el valor digital del pixel en el i-ésima banda de la imagen fundida; $M_i$ es el valor correspondiente en la i-ésima banda de la imagen multiespectral; P es el valor digital del pixel correspondiente de la banda pancromática de referencia; $w_i$ y $w_2$ son factores de peso y $a_i$ y $b_i$ son factores de escalado para colocar los valores digitales resultantes dentro del rango dinámico (0,255).

***Fusión de datos spot (P) + spot (XS): serie España'92***

La serie cartográfica España'92, constituida por tres mapas a escala 1/25.000, se formó a partir de la fusión de datos de los modos pancromático (P) y multiespectral (XS) del satélite SPOT, representando las ciudades de Barcelona, Madrid y Sevilla, sedes de los grandes acontecimiento de carácter internacional ocurridos en España durante el año 1992.

El esquema de fusión de datos P+XS de SPOT utilizado para la realización de esta serie cartográfica partió de las imágenes originales cuyos datos se reúnen en la Tabla 3.1 y se esquematiza en el Gráfico 3.1.

| | Coordenadas Hoja | Modo WRS | Resolución metros | Inclinación grados | Fecha Toma |
|---|---|---|---|---|---|
| Barcelona | K45J267 | P | 10 | 1.06 | 20/08/91 |
| | K45J267 | XS | 20 | 1.04 | 20/08/91 |
| Madrid | K34J269 | P | 10 | 0.70 | 24/08/91 |
| | K34J269 | XS | 20 | 0.80 | 24/08/91 |
| Sevilla | K31J275 | P | 10 | 1.00 | 29/08/91 |
| | K31J275 | XS | 20 | 1.04 | 29/08/91 |

Tabla 3.1
Datos SPOT utilizados en la serie ESPAÑA'92

En primer lugar las imágenes originales fueron geocodificadas por métodos polinómicos sobre proyección UTM independientemente con polinomio de segundo orden e interpolación por convolución cúbica con un RMS inferior al valor nominal de la resolución espacial del pixel en cada caso. Posteriormente se realizó una ampliación (x2) de la imagen XS de 20 m por replicación de pixeles e interpolación por convolución cúbica, obteniendo una imagen XS de pixeles de 10 metros. Ante la falta de registro de la imagen XS sobre una sobre la imagen P se procedió a realizarlo mediante stereocorrelación automática con polinomios cruzados de tercer orden.

La ausencia de una banda correspondiente al rango óptico del azul del sensor HRV del satélite SPOT nos fuerza a buscar una banda sintética correspondiente a este rango óptico con el fin de obtener una imagen color 'natural' en la que aparezca la vegetación verde, los suelos ocres y las aguas negras, ya que lo que se pretende es un documento de características cartográficas y de alta calidad visual. Este mismo problema tiene el sensor MSS del satélite Landsat. Según la bibliografía al uso se puede conseguir una respuesta correspondiente al azul a través de la operación de restar a tres veces la respuesta de la banda del verde el valor correspondiente a la banda del infrarrojo próximo. Para el SPOT sería $B_s = 3\ XS1 - XS3$.

La imagen RGB que necesitamos la creamos por tanto con las bandas XS2, XS1 y la Bs respectivamente. La segunda fase de la fusión de datos, fusión propiamente dicha, la realizamos a través del esquema de cambio del espacio de color RGB al espacio IHS. Procedemos por tanto a pasar la imagen color anterior al espacio IHS y posteriormente sustituimos el canal I por la banda del pancromático (P) al 100% obteniendo una imagen color PHS. Para poder realizar esta sustitución con garantía se ha de comprobar previamente la correlación entre la P y la I, en nuestro caso ese valor fue siempre superior al 85%, valor que nos daba seguridad en cuanto a que el cambio realizado no era un despropósito. Queda realizar la operación inversa pasando del espacio IHS en el que esta definida la imagen PHS al espacio RGB.

La imagen obtenida es del tipo 'natural' pero la vegetación aparece muy os- cura debido a la información del pancromático. Sin embargo no podemos reducir el porcentaje de esta banda en el proceso de sustitución pues estamos trabajando en un territorio de alto contenido urbano y cualquier disminución de P provoca una perdida de resolución espacial. Por tanto hemos de buscar una alternativa al canal que visualizamos en el verde del monitor. Para localizar la vegetación en la imagen usamos un Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), que para SPOT está definido como NDVI = (XS3-XS2) / (XS3+XS2). Con este NDVI creamos una máscara de donde existe vegetación y de donde no existe poniendo los valores positivos a 0 (negro en el monitor) y los negativos a 255 (blanco en el monitor).

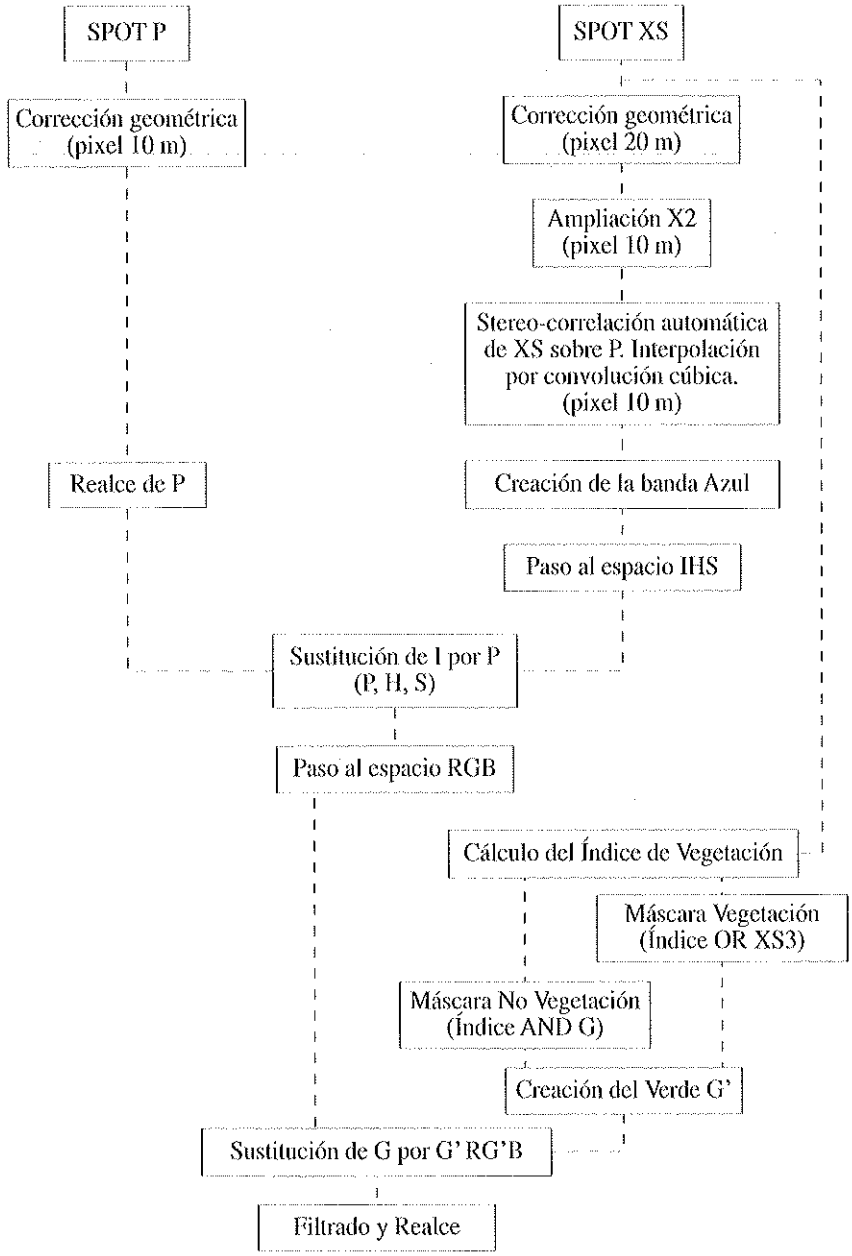


GRÁFICO 3.1
Diagrama de flujo seguido en la fusión de datos SPOT (P+XS)

La máscara anterior nos va a permitir crear un canal sintético para visualizar el color verde. Donde más influye el aspecto visual de las zonas de vegetación es en el canal G, para lo cual utilizamos este canal de la imagen color 'natural' para seleccionar la información de las zonas que no tienen vegetación, y utilizamos la banda XS original para seleccionar las zonas que tienen vegetación. El método de selección de información de una imagen y otra se realiza con operaciones lógicas boolenas entre imágenes:

| | |
|---|---|
| Vege = (Máscara NDVI) OR (XS3) | (área de vegetación) |
| No_Vege = (Máscara NDVI) AND (G) | (área sin vegetación) |

A continuación procedemos a sumar las imágenes Vege y No_Vege (operación ADD):

$$G' = (Vege)\ ADD\ (No_Vege) + 1$$

y por último G' sustituye a G en la imagen color RGB procedente del paso inverso del espacio IHS. Esta Imagen RG' B resultante es una imagen de resolución de 10 metros donde se han modificado los tonos verdes para dar mayor interpretabilidad a la imagen color.

Una vez concluido el proceso de fusión anterior se ha procedido a realizar un filtrado de convolución tipo laplaciano de orden 3x3 para destacar los detalles planimétricos de la imagen y un realce tipo 'piecewise'.

Por motivos de impresión gráfica se remuestreo la imagen a 5 metros por replicación de pixels e interpolación por convolución cúbica, con lo que el efecto de 'blocking' queda muy suavizado.

En las láminas 3.x se puede apreciar la mejora sustancial en cuanto al aspecto visual y en cuanto a la interpretabilidad de los detalles que no aparecen borrosos para esta escala de 1/25.000, ni difuminados.

***Fusión de datos spot (P) + LANDSAT (TM)***

Un segundo esquema de fusión de datos se ha aplicado en el IGN con un objetivo claro de visualización e interpretabilidad para obtener un documento digital que permitiera una actualización de la cartografía de capitales de provincia y/o regiones que hayan sufrido un elevado volumen de cambios en sus características geográficas. En este sentido se pretende aprovechar la riqueza espectral del sensor TM del Landsat y la resolución espacial del sensor HRV del SPOT en modo pancromático.

El método aplicado esta basado en la transformación RGB a IHS sobre las imágenes del TM con selección previa de tres bandas (5, 4, 3) y sustitución del canal de la I por la banda del pancromático (P) del SPOT.

Se partía de la cobertura nacional existente en el IGN de toda España del sensor TM y de las imágenes SPOT(P) con las que contamos actualmente. Para el desarrollo del método se han utilizado las imágenes reseñadas en la Tabla 4.1 y un diagrama de flujo del método se presenta en el Gráfico 4.1.

La escala de edición de las imágenes fundidas es 1/50.000 y sus distribución sigue la oficial del MTN. Esta escala puede parecer excesiva para los 30 m originales del TM pero los posibles defectos que pueden introducir estos datos son sobrellevados por la alta calidad de los datos SPOT(P) y los tratamientos de eliminación del 'blocking' al que se somete la imagen final.

***Figuras e imágenes***

Los resultados de las experiencias anteriores se pueden apreciar en las imágenes siguientes, en las que presento detalles ampliados de las distintas hojas editadas en base a la fusión de sensores SPOT (P+XS) y Landsat (TM) + SPOT (P) en las distintas escalas de edición. Se pueden apreciar en las imágenes de la serie ESPAÑA'92 la riqueza de detalle urbano (calles, estructuras, manzanas, ...) y el aspecto visual con altos contrastes entre el tejido urbano del extrarradio (menos denso) y las zonas verdes que rodean a este. En la imagen de Sevilla, debido a la hora de captura de la imagen, estaba presente una neblina en la parte superior que obligo a aplicar filtros específicos para eliminarla y enturbio el resultado en edición.

La calidad de las imágenes a escala 1/50.000 (Madrid y Huelva) provenientes de fusión TM+P se aprecia mucho mejor con el documento gráfico editado. Sin embargo en los detalles que aquí presento podemos apreciar el colorido y resolución de las marismas y arrozales de la zona de Doñana, la resolución geométrica de la zona del puerto y las diferencias de colorido en las aguas de la desembocadura del río debido tanto a sedimentos arrastrados como a diferencias de temperatura de las mismas.

En la hoja de Madrid (MTN 559) se han añadido un conjunto de información exógena a la imagen de satélite con el fin de ayudar al usuario a interpretarla y localizar diferentes áreas y zonas de la ciudad. Con este fin se editó esta hoja con toponimia de los distritos de Madrid, aeropuertos, vías de comunicación radiales más importantes y de algunos enclaves geográficos que son cosustanciales a su entorno geográfico (Casa de Campo, Monte del Pardo, ...).

| | **MTN559 (Madrid)** | | **MTN999 (Huelva)** | |
|---|---|---|---|---|
| ***Satélite*** | ***SPOT*** | ***LANDSAT*** | ***SPOT*** | ***LANDSAT*** |
| Sensor | HRV | TM | HRV | TM |
| Coordenadas WRS | K34J269 | 201-32 | K29J275 | 202-34-3 |
| Modo | P | XS | P | XS |
| Resolución (m) | 10 | 30 | 10 | 30 |
| Inclinación (°) | 0.70 | 0.00 | 9.00 | 0.00 |
| Fecha Toma | 24/08/91 | 11/08/87 | 29/09/86 | 18/08/87 |

Tabla 4.1
Datos SPOT y Landsat utilizados en la fusión de datos para las hojas 559 (Madrid) y 999 (Huelva) del MTN

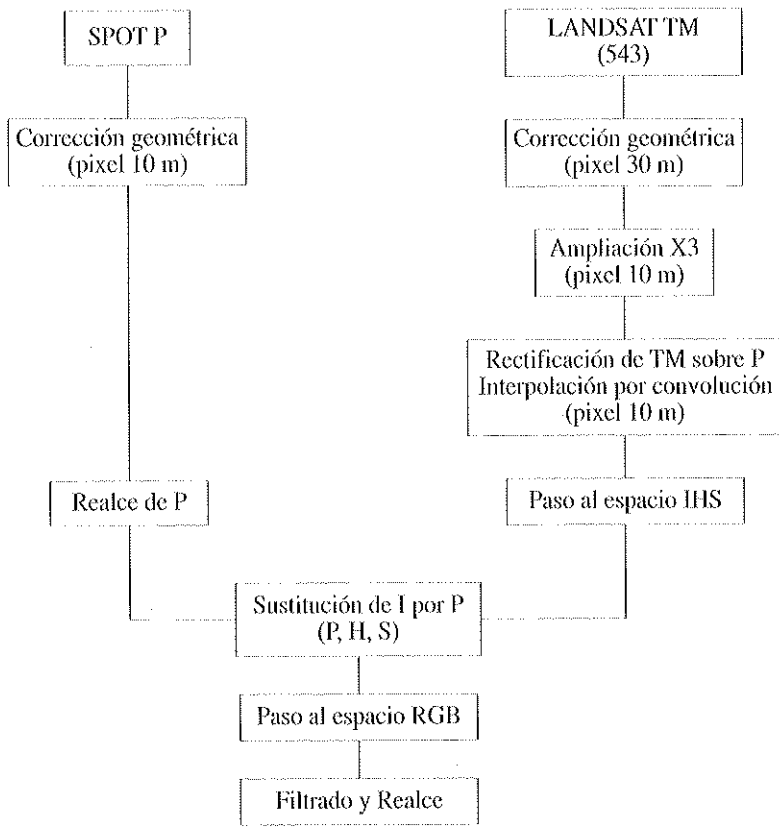


Gráfico 4.1
Diagrama de flujo seguido en la fusión de datos

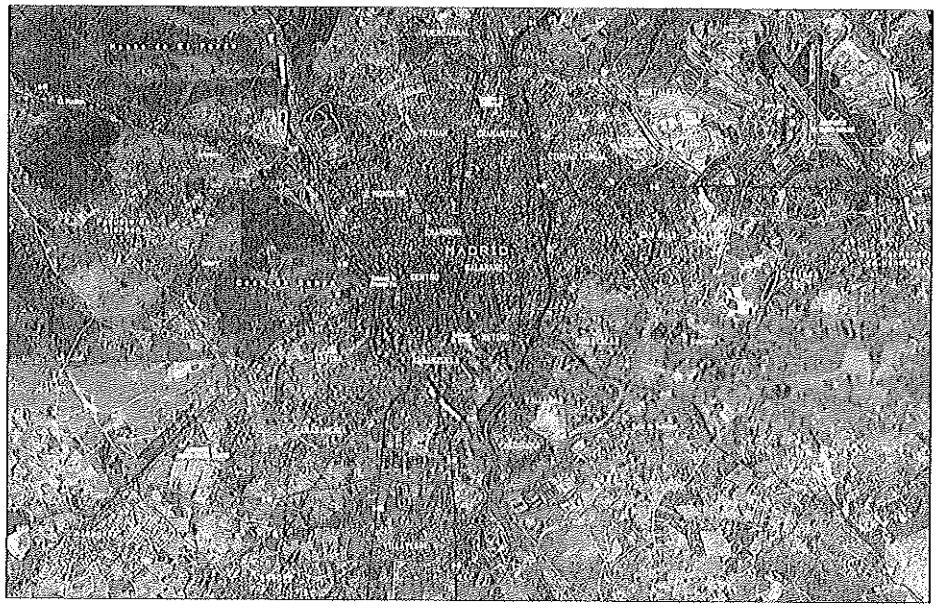


FOTO 1
Hoja 559 Madrid del MTN: Landsat TM + SPOT P + Toponimia. **(A. 97)**

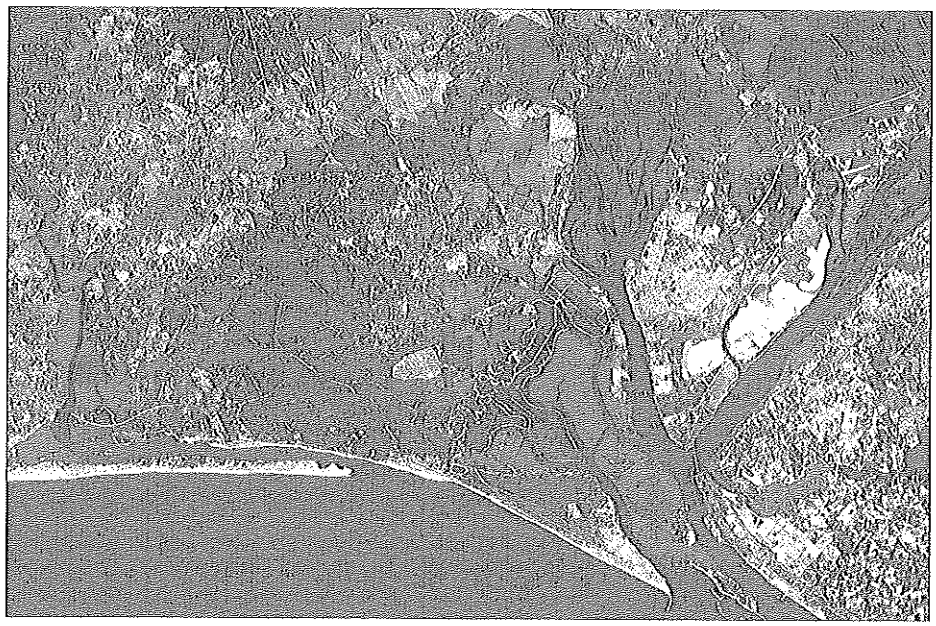

FOTO 2
HOJA 999 Huelva del MTN: Landsat TM + SPOT P. **(A. 98)**

### *Referencias*

**A.H.J.M. Pellemans, R.W.L. Jordans, and R. Allewijn:** Merging Multispectral and Panchromatic SPOT Images with Respect to the Radiometric Properties of the Sensor, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1, pp. 81-87.

**Dennis N. Grasso:** Applications of the IHS Color Transformation for 1:24.000-Scale Geologic Mapping: A Low Cost SPOT Alternative, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1, pp. 73-80.

**J. Moreno:** Integración de información procedente de distintos sensores, *La teledetección en el seguimiento de los recursos naturales. Recursos renovables: Agricultura*, Valencia, 1991.

**M. Gavoret:** False color and pseudonatural color for SPOT images as a basis for space map. Production procedures, *The SPOT system and its cartographic applications*, CERCO-IGNF, Paris, 1988.

**Pat S. Chávez, Jr.:** Digital Merging of Landsat TM and Digitized NHAP Data for 1:24.000 Scale Image Mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 10, pp. 1637-1646.

**Pat S. Chávez, Jr., Stuart C. Sides, and Jeffrey A. Anderson:** Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchroma tic, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 3, pp. 295-303.

**R. Welch & Manfred Ehlers:** Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 3, pp. 301-303.

**W. Joseph Carper, Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer:** The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 4, pp. 459-467.