

ORTOIMÁGENES ESPACIALES 1/50.000 DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA COMUNIDAD DE MADRID

R. HERRERO¹ y S. MONTESINOS².

¹ Servicio Cartográfico Regional, Comunidad de Madrid. Madrid.

² IBERSAT, S.A. Madrid.

RESUMEN

Se describe el proceso de formación de una serie de ortoimágenes espaciales correspondientes a las nueve hojas del Mapa Topográfico Nacional de la zona metropolitana de Madrid. Las ortoimágenes en falso color se han obtenido mediante la integración de imágenes SPOT pancromáticas con tres bandas del LANDSAT-TM. El trabajo ha sido dirigido por el Servicio Cartográfico Regional de la Comunidad de Madrid y realizado por IBERSAT, S.A.

ABSTRACT

Description of the creation process of a series of spatial ortoimages related to the Topographical National Map nine sheets of the metropolitan zone of Madrid.

The ortoimages in false colour have been obtained through the integration of SPOT panchromatic images and three LANDSAT T.M. bands.

The work has been directed by the Cartographical Regional Service of the Comunidad of Madrid and has been done by IBERSAT, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

Una imagen digital del territorio es la representación de una zona de la superficie terrestre mediante una matriz cuyos elementos son números que representan el valor radiométrico de la energía que recibe un sensor.

Los valores radiométricos corresponden a la radiación electromagnética reflejada por un elemento de superficie terrestre en un determinado rango del espectro, y se convierten en un valor numérico comprendido entre 0 y 255 (1 byte de información).

Cada elemento de superficie se denomina píxel (picture element).

En el caso del sensor HRV, el tamaño nominal del píxel es de 10 x 10 m en modo pancromático, y de 20 x 20 m. en modo multiespectral. Para el sensor TM el píxel es de 30 x 30 m.

Las imágenes transmitidas se denominan escenas. Una escena SPOT corresponde a una superficie terrestre de 60 x 60 Km. La correspondiente al LANDSAT tiene un tamaño de 185 x 185 Km.

Tanto el sensor TM del LANDSAT como el HRV captan información en diferentes bandas del espectro electromagnético. El HRV puede funcionar de dos modos diferentes: el pancromático, con una banda espectral amplia, o en modo multiespectral, sobre tres bandas más estrechas.

En el cuadro adjunto se especifican los segmentos del espectro registrados por los sensores de uso más generalizado.

BANDAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO REGISTRADAS

Satélite SPOT, sensor HRV

Canal	Longitud de onda
-------	------------------

Modo Multiespectral

1	0,50-0,59
---	-----------

2	0,61-0,68
---	-----------

3	0,79-0,89
---	-----------

Modo pancromático

1	0,51-0,73
---	-----------

Satélite LANDSAT, sensor TM

1	0,45 - 0,52
---	-------------

2	0,52 - 0,60
---	-------------

3	0,63 - 0,69
---	-------------

4	0,75 - 0,90
---	-------------

5	1,55 - 1,75
---	-------------

6	10,40 - 12,50
---	---------------

7	2,08- 2,35
---	------------

Como puede apreciarse, comparando estos datos con el gráfico del espectro electromagnético, los diferentes canales están distribuidos en la zona visible, en el infrarrojo próximo, medio e incluso en el térmico.

En una ortoimagen la información bruta es numérica, y sólo después del tratamiento informático adecuado se transforma en analógica.

Las ortoimágenes son imágenes corregidas por procedimientos numéricos de modo que, al adquirir propiedades

métricas, representan el territorio en un sistema de proyección cartográfica.

2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la obtención de ortoimágenes de las siguientes hojas del Mapa Topográfico Nacional: 533, 534, 535, 558, 559, 560, 581, 582 y 583. El conjunto de estas nueve hojas incluye la totalidad de la zona metropolitana de Madrid.

Al plantearse la formación de una serie de ortoimágenes de satélite para la zona metropolitana de Madrid resulta evidente la necesidad de utilizar escenas con la mayor resolución espacial posible, por ello se utilizan imágenes SPOT pancromáticas -con un tamaño de píxel de 10 x 10 m. Pero al tratarse de una amplia banda de la parte visible del espectro, la resolución radiométrica ofrecida por estas imágenes SPOT es pequeña comparada con la ofrecida por las imágenes LANDSAT TM con 7 bandas espectrales relativas al azul, verde y rojo visible, infrarrojo cercano medio y térmico.

Con el fin de aprovechar al máximo la resolución espacial del SPOT, junto con la posibilidad de discriminar el mayor número posible de usos del suelo diferentes mediante la fotointerpretación de la ortoimagen se decidió superponer al SPOT pancromático tres bandas del LANDSAT TM, una vez remuestreada la información en píxel de 10 x 10 m, a partir de los de 30 x 30 m nominales.

3. OBJETIVOS DE TRABAJO

La fotointerpretación de las imágenes -una vez transformadas en película color- tiene que proporcionar una identificación clara, distinta y expresiva, basada en el tono, color y textura, de los siguientes elementos:

- Zonas urbanas, permitiendo la delimitación de clases en función de la morfología.
- Red de drenaje superficial.
- Utilización agrícola del suelo, permitiendo la clasificación en diferentes grupos.
- Vegetación natural.
- Utilización forestal.
- Grandes infraestructuras básicas y de transporte.
- Zonas desprovistas de vegetación, afloramientos rocosos, canteras, etc.

4. SELECCIÓN DE BANDAS TM

La resolución espacial requerida para la representación de las diferentes tramas urbanas obliga al uso de imágenes SPOT en modo pancromático.

Los criterios expuestos en el epígrafe anterior en relación con la obtención de clases de uso del suelo exigen la utilización de bandas del sensor TM con preferencia sobre las de HRV.

La selección de las tres bandas debe realizarse a la vista de los siguientes objetivos.

1. Máxima diferenciación entre las zonas urbanas y el resto.

2. Máxima discriminación entre las diferentes clases de vegetación.
3. Identificación clara de las estructuras lineales, a efectos de representación de la red de drenaje, la red de transporte y las diferentes tramas urbanas.
4. Asignación de bandas del espectro a los colores primarios de modo que se facilite la interpretación visual.

Las combinaciones entre bandas han sido objeto de diversos estudios comparativos, los resultados de estos trabajos permiten partir de orientaciones muy claras a la hora de realizar la elección definitiva.

Las mejores combinaciones a efectos de clasificación temática se consiguen con una banda de cada una de las tres regiones del espectro (visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio). Las bandas TM del infrarrojo medio permiten la máxima discriminación entre clases.

Las clasificaciones en las que interviene la banda TM1 adolecen de baja precisión al resultar más afectadas por la dispersión atmosférica que las de onda más larga. La banda TM6 -infrarrojo térmico- al presentar una resolución espacial de 120 x 120 m no suele utilizarse en las aplicaciones de cartografía temática.

Para seleccionar inicialmente las bandas de la serie de ortoimágenes de la zona metropolitana de Madrid se combinaron las bandas 2, 3, 4 y 5. Las combinaciones en las que aparecía la banda 2, no proporcionaron una buena identificación de las estructuras lineales en zonas urbanas, mientras que la introducción de la banda 3 mejoró sensiblemente su representación.

Las bandas del sensor TM finalmente seleccionadas fueron las siguientes:

Canal	Rango de longitud de onda	Zona del espectro	Aplicaciones
3	0,63 - 0,69	rojo	Al ser absorbidas estas longitudes de onda por la clorofila. Una elevada reflectividad implica ausencia de vegetación.
4	0,76 - 0,90	Infrarrojo cercano	Reflectividad más elevada para la vegetación vigorosa y sana
5	1,55 - 1,75	Infrarrojo medio	Reflectividad más elevada para la vegetación con menor contenido de agua en la hoja.

5. ASIGNACIÓN DE COLORES A LAS BANDAS ESPECTRALES

Los resultados de diversas pruebas de identificación de composiciones en color obtenidas a partir de imágenes de satéli-

te muestran que las bandas anteriores proporcionan una discriminación de clases idónea mediante la siguiente asignación de colores.

ASIGNACION DE COLORES A LOS CANALES SELECCIONADOS

Canal	Color Asignado
4	Rojo
5	Verde
3	Azul

De este modo las zonas urbanas aparecen en tonos grises y azulados, los verdes y verdes grisáceos corresponden a secanos y matorrales. Tonos amarillentos se refieren a zonas sin vegetación -arenales, canteras, suelos desnudos, etc. Todo ello acorde con la imagen que percibe el ojo humano. Los regadíos y praderas aparecen en rojo, los pinares en rojo-magenta, encinares y carrascales adquieren un tono marrón-rojizo. Es en estas últimas tonalidades donde existe una mayor separación entre el color verde con el que vemos normalmente estas cubiertas y el color que digitalmente se les asigna, la razón, como ya se ha indicado, es la mayor capacidad de discriminación que se consigue con estos colores, así se ha demostrado recientemente en la cartografía del proyecto CORINE-Land Cover para la ocupación del suelo en España, que utiliza esta misma correspondencia.

6. ESCENAS UTILIZADAS

Para la realización de la serie de ortoimágenes se han empleado las escenas siguientes:

SENSOR	FECHA ADQUISICION	ANGULO DE TOMA
Landsat TM	201-032 11/08/90	0°
Spot pancromático	33-268 05/10/90	14,8°
" "	33-269 05/10/90	14,8°
" "	34-268 29/07/90	26,5°
" "	34-269 01/08/90	18,4°

Se decidió trabajar sobre imágenes del verano de 1990. No se ha conseguido disponer de más de 3 ó 4 escenas SPOT libres de cobertura nubosa. La mayoría de ellas con una inclinación grande (entre 14° y 19°) por estar tomadas desde órbitas adyacentes.

7. PROCESO DE FORMACIÓN

La formación de esta serie -formada por las nueve hojas del Mapa Topográfico Nacional 1/50.000 que abarcan la zona metropolitana de Madrid- es un proceso en el que se diferencian los siguientes pasos:

- Correcciones radiométricas iniciales.
- Correcciones geométricas.
- Remuestreo de las imágenes.
- Delimitación subescenas según bordes de hojas.
- Registro de subescenas TM con SPOT.
- Integración de datos SPOT y TM.
- Correcciones radiométricas finales.
- Formación del marco e integración con la ortoimagen.

8. CORRECCIONES RADIOMÉTRICAS INICIALES

Al corresponder a épocas diferentes las escenas SPOT presentan diferente radiometría. Es necesario realizar determinados ajustes, puesto que al tratarse de una serie cartográfica, no son admisibles diferencias apreciables de color entre los mismos tipos de uso del suelo correspondientes a diferentes hojas. Como resultado de la diferencia radiométrica de las escenas SPOT las zonas comunes a dos escenas presentan diferente media y desviación típica. Para homogeneizar el trabajo, evitando las diferencias citadas se ha procedido a igualar las estadísticas radiométricas de las cuatro escenas, teniendo en cuenta las variaciones debidas a la diferente población de cada una de ellas.

9. CORRECCIONES GEOMÉTRICAS

Las escenas originales están ya corregidas de algunas distorsiones geométricas, sin embargo es necesario convertirlas en un mapa mediante su transformación a un sistema de proyección, en nuestro caso la proyección UTM a partir del sistema de referencia ED50.

La transformación consiste en un ajuste polinómico que transforma la imagen original al plano UTM mediante una traslación y una rotación. Los coeficientes de los polinomios de transformación se obtienen a partir de la identificación en la imagen de un conjunto de puntos de control, cuyas coordenadas UTM son conocidas por estar perfectamente definidos en el mapa. El número de puntos de control es superior a 30 en cada escena, distribuidos lo más homogéneamente posible. Haciendo mínima la suma de los cuadrados de los residuos -entre las coordenadas de salida conocidas y las calculadas para los puntos de control- se obtienen los parámetros de transformación de los píxeles brutos en puntos del sistema de salida.

10. REMUESTREO DE LAS IMÁGENES

Es necesaria la asignación de valores radiométricos a los centros de los píxeles de la imagen corregida, pero la transformación inversa de esos puntos no corresponde con los puntos centrales de los píxeles de la imagen bruta, para realizar esta asignación de valores se realiza una interpolación por el método de convolución cúbica a partir de los valores de los 16 píxeles vecinos.

11. DELIMITACIÓN DE MARCOS DE HOJAS 1/50.000

Tras la corrección de las escenas TM y SPOT se procede a la división de las mismas en las subescenas correspondientes a cada una de las hojas 1/50.000. Este proceso es laborioso, ya que en varios casos una hoja del mapa corresponde a dos o más escenas.

12. REGISTRO DE SUBESCENAS TM CON SPOT

Con el fin de facilitar la integración de datos TM con SPOT se procede al registro de cada una de las bandas TM con las subescenas SPOT correspondientes. Las relaciones entre las dos imágenes se establecen mediante un ajuste mínimo-cuadrático análogo al descrito al exponer la transformación de imagen bruta a imágenes cartográficas.

13. INTEGRACIÓN DE DATOS SPOT Y TM

Con la integración de datos procedentes de sensores que poseen diferente resolución espacial y espectral se consigue el aprovechamiento máximo de los recursos disponibles para las aplicaciones de la Teledetección a la Cartografía Temática y los estudios ambientales y de ordenación del territorio.

En este sentido se han realizado diversos trabajos en los que se combina información SPOT multispectral y pancromática, pudiendo citar en este grupo los trabajos realizados por el Instituto Cartográfico de Cataluña, así como datos SPOT pancromático con LANDSAT TM (Welch, 1985). En ambos casos se ha utilizado la información de más alta resolución espacial como soporte de los datos con mejor resolución espectral.

La resolución de estos productos permite la formación de cartografía a escala 1/50.000 mediante la combinación del SPOT pancromático con TM, o con SPOT multispectral. La mejor resolución espacial se consigue al utilizar este último, sin embargo, si la finalidad es la obtención de cartografía temática -de clases de vegetación, en particular- es preferible combinar con el TM ya que así se dispone de la posibilidad de utilizar un rango más amplio del espectro.

Los métodos de integración de los datos de dos sensores diferentes pueden clasificarse en dos grupos. En el primer grupo se utilizan diferentes algoritmos que relacionan los valores del pancromático y los de cada una de las bandas TM con una serie de constantes a determinar. Los resultados obtenidos al utilizar estos procedimientos se han mostrado faltos de contraste, predominando los tonos oscuros. El segundo grupo incluye los algoritmos de transformación de color RGB a HSI. Un color en RGB (Red, Green, Blue) queda definido por el porcentaje de cada uno de los tres colores primarios rojo, verde y azul. En el modelo HSI (Hue, Saturation, Intensity) se utilizan los conceptos de Tono -la longitud de onda dominante que se aprecia en un color- Saturación -que indica si el color es puro, o bien está mezclado- e Intensidad -el brillo con el que se percibe-.

Para la mezcla de SPOT pancromático con Landsat TM, mediante la transformación HSI, se parte de ambas imáge-

nes corregidas geoméricamente y remuestreada la TM, para que pueda superponerse a la imagen SPOT. La composición de los colores básicos de cada píxel TM, uno para cada una de las tres bandas, se transforma al espacio HSI. La información espectral se asocia a los componentes tono y saturación, mientras que la intensidad se relaciona sólo con la información espacial, esto es con la banda SPOT pancromática (10 m de resolución espacial). De esta manera es posible tratar independientemente la información espacial, manteniendo el balance de color de la imagen original. Mediante la transformación inversa se obtienen un producto final en RGB.

14. CORRECCIONES RADIOMÉTRICAS FINALES

La imagen obtenida aún no es la idónea para la fotointerpretación. Por una parte los niveles de brillo de las imágenes están comprimidos, por otro lado las estructuras lineales no tienen toda la nitidez que pueden adquirir. Para mejorar la imagen se efectúa en primer lugar un realce los bordes aplicando un filtro laplaciano, sumando el resultado a la imagen original, con lo cual se consigue realzar las estructuras lineales.

Posteriormente se realiza una expansión del histograma aumentando el contraste de la imagen. El método empleado consiste en la expansión lineal del histograma mediante funciones escaleras, para no alterar los valores relativos de reflectancia en la imagen consiguiendo que las diversas coberturas de suelo presenten un equilibrio semejante al de la imagen original.

15. FORMACIÓN DEL MARCO E INTEGRACIÓN CON LA ORTOIMAGEN

En el marco de la hoja se incluye la siguiente información:

- Título de la serie, nombre y número de hoja.
- Leyenda de utilización del suelo, en la que se incluyen hasta doce clases.
- Cuadrícula UTM cada 2 Km.
- Resumen del proceso de formación.
- Datos cartográficos.
- Datos de realización.
- Gráficos del conjunto de la Comunidad y de la hoja en particular.

El equipo de proceso digital de imágenes utilizado ha sido I2S (Sistema 600) con un procesador hardware M75.

El trabajo ha sido encargado por la Oficina de Planeamiento Territorial de la Comunidad de Madrid, dirigido por el Servicio Cartográfico Regional y realizado por IBERSAT, S.A.