

ANALISIS MULTITEMPORAL DE IMAGENES HRV-SPOT A ESCALA DE SEMIDETA- LLE. SU UTILIZACION EN LA ACTUALIZACION PLANIMETRICA Y DE USOS DEL TERRITORIO

A. FERNANDEZ-PALACIOS; A. LOBATO; J.M. MOREIRA; F. GIMENEZ DE AZCARATE y D. SANCHEZ
Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Avda. Eritaña, 1. Sevilla

RESUMEN

En el presente trabajo se expone la metodología desarrollada para la obtención de ortoimágenes a escalas 1:50.000 y 1:25.000 que combina información de los sensores HRV-P y HRV-X del satélite SPOT, recogidas en fechas diferentes. Igualmente se valora su aplicación como instrumento de actualización y elaboración de mapas de usos del territorio a dichas escalas, así como su aptitud para la actualización de detalles planimétricos en cartografías básicas, analizando las ventajas derivadas de su dimensión multitemporal y la mayor capacidad de registro de fenómenos del mismo, por combinar datos de dos sensores diferentes.

Palabras clave: Ortoimágenes, HRV-SPOT, Escala Semidetalle, Mapas de Uso, Detalles Planimétricos.

ABSTRACT

The Methodology for obtaining geometrically corrected orthoimages (1:50.000 and 1:25.000 Scale) overlapping Panchromatic and Multispectral HRV-SPOT data from different dates, is exposed in this work. Their application as a tool for updating Land Use maps at those scales, and updating planimetric details on topographic maps, is outlined. Their multitemporal characteristics and their wide ability for registering phenomena, thanks to the combination of data from the two different sensors, have revealed as a great advantage in thematic mapping approaches.

Keywords: Orthoimages, HRV-SPOT, Semi-detailed Scales, Land Use Maps, Planimetric Details.

INTRODUCCION

Desde comienzos de la década de los años setenta, la Teledetección espacial fue considerada como un instrumento de gran utilidad para el seguimiento y cartografía de los cambios que se producen en el territorio. Su versatilidad, la resolución temporal y espacial de los satélites, y la diversidad espectral de los sensores, la convierten en una técnica idónea para la actualización de mapas de ocupación del suelo, frente a los procedimientos tradicionales basados en foteointerpretación e intenso trabajo de campo, si bien estos últimos continuaron siendo los únicos operativos para escalas superiores a 1:50.000.

La Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, como organismo competente en la vigilancia de las alteraciones que se producen sobre el espacio de la Comunidad Autónoma, viene desarrollando un Sistema de Información Geográfico (SINAMBA), en el que la teledetección se contempla como una fuente de información dinámica dentro del sistema (Moreira, 1987), que permite la monitorización de fenómenos de gran movilidad en el tiempo y en el espacio, como áreas afectadas por incendios, deforestaciones, modificaciones de líneas de costa, y en general toda alteración sobre el territorio susceptible de ser registrada cartográficamente a través de datos procedentes de sensores remotos.

En anteriores trabajos se han expuesto métodos diferentes para obtener resultados operativos en la elaboración de cartografías de ocupación del territorio mediante el tratamiento digital de imágenes de satélite (Moreira et al. 1988). En dichos estudios se han planteado distintas líneas de trabajo destinadas a llevar un control de los cambios de usos del suelo, pudiendo resumirse éstas en dos:

— Por un lado, clasificaciones asistidas por ordenador que, debido a las laboriosas tareas de tratamiento digital y al elevado coste de los productos finales, sólo resultan operativas bien para inventarios muy

específicos, bien para mapas de usos de leyendas muy simplificadas. Sin embargo, esta metodología puede constituir el medio idóneo para el seguimiento de problemáticas concretas, como las anteriormente reseñadas, y para obtener resultados estadísticos de superficie ocupada por algún tipo de uso del suelo específico (Moreira et al. 1987).

- La segunda línea de trabajo en teledetección consiste en la obtención de ortoimágenes de alta calidad visual mediante tratamiento digital de datos procedentes de sensores remotos, a partir de los cuales, por procedimientos convencionales de fotointerpretación, obtener cartografías de ocupación del territorio.

Este segundo método permite acercar la información numérica de la imagen a los procedimientos tradicionales de trabajo, pudiendo recogerse una gama de ocupaciones susceptibles de ser representadas en una leyenda más o menos amplia.

Las ventajas de la utilización de productos digitales, corregidos geoméricamente y mejorados visualmente, en la elaboración y actualización de mapas de usos a escalas de reconocimiento, sobre las fotografías aéreas, quedan ampliamente justificadas por los menores costos económicos y en tiempo, por la simplificación de los problemas de restitución, y por la superior carga de información que le concede la dimensión multispectral y multitemporal a la imagen de satélite.

Algunos proyectos operativos desarrollados, o en proceso de elaboración, basados en ésta última metodología, pretenden la realización de una cartografía de ocupación del territorio a escala 1:100.000 mediante fotointerpretación de ortoimágenes Landsat TM (Direction Generale de l'Environnement, 1987 y Heymann, 1988), y la actualización de hojas del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000, realizada por el Ministerio de Agricultura, también con ortoimágenes Landsat TM(*). Las informaciones obtenidas en estos procesos de interpretación son digitalizadas, generándose bases de datos que actualizan los usos del territorio en sucesivas fechas.

Sin embargo, además de las capturas de información a escala de reconocimiento para espacios territoriales amplios, el uso de imágenes de satélite puede permitir un segundo nivel de desarrollo, en el que es posible incorporar cartografía temática y básica a escalas de semidetalle para territorios más restringidos.

Si, como se dijo con anterioridad, la utilización de imágenes de satélite de alta calidad se consolida como el método más adecuado para emprender la elaboración y actualización de mapas de uso a escalas inferiores a 1:50.000, su competitividad frente a las fotografías aéreas no parece tan clara cuando nos aproximamos a escalas de detalle y semidetalle.

Para abordar estos problemas a escala de semidetalle, y continuando en su línea de elaboración de imágenes de satélite de alta calidad, como instrumento de control de la ocupación del suelo, el Grupo de Trabajo en teledetección de la A.M.A., presenta el producto objeto de esta comunicación, una imagen del sensor SPOT-HRV restituida a escalas 1:50.000 y 1:25.000, en la que se combina información recogida, en fechas diferentes, por los dos modos de operar de dicho sensor: pancromático (19-2-88) y multispectral (27-7-86) para una misma zona. La metodología desarrollada para la elaboración de estos productos, así como sus ventajas y aplicaciones en la actualización y cartografía de ocupación del territorio a escalas de detalle y semidetalle, centrarán el presente trabajo. Para ello se ha escogido un área, el entorno de la ciudad de Sevilla, pues une, a una variada gama de paisajes y ocupaciones del suelo, el presentar un intenso dinamismo, derivado del desarrollo urbanístico y la construcción de numerosas infraestructuras asociadas a los acontecimientos del año 1992, que a su vez han dado lugar a intensas transformaciones en el medio rural más próximo. (Figura 1).

MATERIAL Y METODOS

Los requisitos de escala y máxima calidad visual de los que parte el proceso de trabajo, hacen obligatoria la elección de los sensores del satélite SPOT como los únicos capaces de suministrar la información que permite la restitución de una imagen, de forma que cumpla dichas premisas.

Como se indicó con anterioridad, en el caso de las imágenes HRV-SPOT, las técnicas desarrolladas han permitido alcanzar imágenes restituidas de gran calidad tanto a escala 1:50.000, como 1:25.000. Para lograr dichos objetivos se han realizado una serie de tratamientos (*) destinados a lograr la superposición

(*) Realizada para algunas hojas en el marco del Convenio A.M.A. Consejería de Agricultura 1989, que pretende la estimación de superficie ocupada por algunos cultivos y la actualización de las hojas de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos de la zona de estudio.

(*) Los programas de ordenador han sido desarrollados por el Grupo de Trabajo en Teledetección de la Agencia de Medio Ambiente sobre un ordenador Digital VAX-6310.

y restitución de imágenes SPOT de fechas y resoluciones espaciales diferentes, (**) con vistas a extraer el máximo beneficio de la resolución espacial del sensor HRV-P (10 metros) y la superior amplitud espectral del otro sensor HRV-X (3 canales). Además se llevaron a cabo procedimientos de realce visual de la información teledetectada, lo que unido a su carácter multitemporal, incide directamente en el contraste interno del producto final.

El proceso completo, similar a los utilizados en otros trabajos (Arbiol, et al. 1986; Moreira, et al. 1987) consta de las siguientes etapas:

1. ZOOM X2 SOBRE LA IMAGEN MULTIESPECTRAL

Dada la disparidad de resoluciones presentadas por el sensor HRV-X multiespectral (20 m.), y el pancromático (10 m.), y antes de proceder a la corrección geométrica de una de ellas respecto a la otra, orientada a la superposición de ambas, se realiza una ampliación al doble de la imagen multiespectral. Esto va a permitir que los procesos de toma de puntos de control y corrección sean más precisos.

El método de zoom empleado es tal que la pérdida de calidad de la imagen ampliada por turbidez (aleasing), es la menor posible (Traizet, 1981). Se basa en un sistema de restitución de la imagen al doble de su tamaño, mediante interpolación cúbica.

Al final de este proceso tanto la imagen multiespectral como la pancromática tienen un tamaño de pixel de 10 m, facilitándose su comparación a efectos de búsqueda, en ambas, de puntos de control homólogos y su posterior superposición.

2. TOMA DE PUNTOS DE CONTROL SOBRE AMBAS IMAGENES

El siguiente proceso de corrección geométrica se basa en la identificación y captura de un conjunto de puntos de control homólogos sobre las dos imágenes que intervienen (la de referencia y la que se va a corregir).

3. CORRECCION GEOMETRICA

Debido al menor número de canales a corregir y, por tanto, al menor tiempo de cálculo necesario, se efectúa la corrección geométrica del canal pancromático respecto al multiespectral.

Mediante este proceso se pretende que la imagen pancromática corregida se superponga perfectamente con la multiespectral, lo que permitirá su unión.

El proceso se basa en los puntos de control tomados anteriormente, a partir de los cuales se obtienen unas funciones de transformación que permiten convertir el espacio geométrico de la imagen pancromática en otro espacio igual al de la imagen multiespectral. Se emplean, para ello, funciones de transformación polinómicas, de grado 1 a 5 (opcional) y bivariables. Sus coeficientes se determinan mediante un método de mínimos cuadrados a partir de los puntos de control (***), existiendo la posibilidad de eliminar aquellos puntos que proporcionen residuos altos, recalculándose entonces las funciones.

El proceso completo de corrección geométrica incluye las siguientes etapas:

- Determinación de las funciones de transformación geométrica.
- Restitución de la imagen mediante la aplicación de las funciones de transformación, realizándose una interpolación para la determinación de los valores de los nuevos pixeles.

El método de restitución empleado fue el de interpolación cúbica con un entorno de 16 pixeles.

(**) Una imagen SPOT-HRV que combina información de los Sensores Pancromático y Multiespectral de diferentes fechas fue editada en Julio de 1988 por el Instituto Cartográfico de Cataluña.

(***) Fueron utilizados inicialmente 157 puntos de control para cada imagen, empleando distintos grados de polinomio, siendo el de grado 3 con 57 puntos seleccionados, en los que los residuos obtenidos eran menores que 1, el procedimiento finalmente aplicado.

4. UNION DE FICHEROS

Una vez que el canal pancromático se ha corregido y se superpone con el multiespectral, se realiza la unión de ambos ficheros. El fichero resultante tiene 4 canales (3 del multiespectral más 1 del pancromático corregido) y una resolución de pixel de 10 m.

5. INCLUSION DEL CANAL PANCROMATICO COMO COORDENADA BRILLO

A partir de aquí se efectúa una inclusión del canal pancromático, apoyada en la similitud de naturaleza entre este canal y la coordenada brillo, en un espacio de coordenadas de color HLS (color, brillo, saturación).

Para ello se asignan los tres canales multiespectrales a los colores básicos RGB:

- Canal 1: Azul (B).
- Canal 2: Verde (G).
- Canal 3: Rojo (R).

Para cada uno de los pixeles de la imagen se efectúa el siguiente proceso:

- Conversión de coordenadas de color RGB → HLS.
- Sustitución del valor de la coordenada brillo (L) por el valor de ese mismo punto en el canal pancromático (L').
- Conversión de coordenadas de color HL'S → R'G'B'.

Finalmente, se obtiene un fichero de imagen de salida con sólo 3 canales (ligados ya a los colores rojo, verde y azul) que contienen engloba la información de los canales multiespectral y del canal pancromático. La visualización en falso color de este fichero da como resultado una imagen mucho más rica que el falso color directo de los 3 canales multiespectrales. Se trata de una imagen con las características de la multiespectral y la resolución del pancromático.

6. FILTRADO DE REALCE

La calidad visual de una imagen es claramente mejorable mediante un tratamiento de filtrado en el dominio espacial (convolución) que permita extraer aspectos de la imagen antes ocultos.

Se ha empleado un filtro de realce Laplaciano:

$$\begin{array}{ccc} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{array}$$

7. EXPANSION DEL HISTOGRAMA

Una vez que se tienen las tres variables que compondrán la imagen final tras el proceso de restitución láser, se les aplica una expansión del rango de valores del histograma, para que éste ocupe el máximo rango posible (0 — 255), con lo que se aprovecha mejor la variedad de colores disponible en la restitución, incrementándose el contraste visual. El proceso consiste en una transformación lineal del rango de valores, con un corte previo de colas al 1 por 100.

8. RESTITUCION MEDIANTE TECNOLOGIA LASER

El resultado de todos los procesos anteriores es grabado en cinta magnética para su restitución mediante tecnología láser sobre producto fotográfico (3 fotolitos, uno por color básico), a partir de los cuales es posible generar la edición directa del documento a escala.

La información de los tres canales grabados, se somete a una conversión previa al sistema de color amarillo, magneta, cyan, que es el empleado por el restituidor.

El producto de salida presenta una excelente calidad con más de 16 millones de colores simultáneos posibles.

RESULTADOS E INTERPRETACION

El resultado final de los tratamientos descritos en el capítulo anterior es un valioso documento de trabajo del cual puede extraerse una variada carga de información, susceptible de ser representada cartográficamente (ver figura 2).

Son varias las características de este producto que le diferencian de las fotografías aéreas convencionales, y que le convierten en un instrumento operativo a la hora de obtener una cartografía de ocupación del territorio a partir de su fotointerpretación.

- **El hallarse geoméricamente corregidos.** Frente a las dificultosas tareas de restitución de la información obtenida a partir de fotografías aéreas, el hecho de que las imágenes se hallen a escala (1:50.000 y 1:25.000) facilita el uso de información adicional (Mapas de Cultivos y Aprovechamientos, Mapas Topográficos, Fotografías Aéreas), que es de gran utilidad para la identificación de fenómenos sobre la imagen, permitiendo, a la vez, una leyenda más diversa.
- **Las escalas de restitución y la calidad visual de las imágenes favorecen el reconocimiento de fenómenos de menor entidad espacial.** De hecho, la mayoría de elementos lineales o puntuales apreciables sobre una hoja del M.T.N. a escalas 1:50.000 y 1:25.000 son identificables, lo que refuerza su valor como documento de actualización de detalles planimétricos de las cartografías de base (ver figura 3).
- **El carácter multiespectral** de la imagen que, unido a los tratamientos de realce, derivan en una mayor calidad visual y una superior carga de información.
- **La multitemporalidad de la información**, pues al recoger el estado del territorio en dos situaciones diferentes permite distinguir con mayor claridad aquellos fenómenos que mantienen un comportamiento estable en el tiempo, frente a los que presentan una dinámica cambiante. En resumidas cuentas, la multitemporalidad va a incidir en que aumenten los contrastes entre los distintos tipos de cubiertas en el conjunto de la imagen, pues, no sólo va a registrar las diferencias en una fecha, sino en dos estaciones opuestas: invierno y verano.
- A la superior calidad visual y la mayor carga de información que presentan las ortoimágenes multitemporales SPOT-HRV, cabría añadir el **menor coste económico** con respecto a un vuelo aéreo y el inferior coste en tiempo de interpretación en relación a los procedimientos convencionales sobre fotogramas aéreos.

Además de estos rasgos generales del producto, antes reseñados, de la fotointerpretación del mismo se pueden extraer algunas conclusiones sobre las posibilidades de diferenciar informaciones concretas, que se exponen a continuación (ver figura. 2):

- Las grandes infraestructuras (canales, red viaria, trazado ferroviario, etc.) se observan con nitidez, pudiendo representarse todas aquéllas que se incluyen en las cartografías básicas a esas escalas. Mayor problema presentan los caminos y otros trazados viarios de menor entidad en el medio rural, pues a veces se confunden con límites del parcelario.
- En el interior de los casos urbanos históricos la imagen pierde claridad, no diferenciándose edificios individuales ni el callejero de menor anchura. Sin embargo, las avenidas de mayor entidad y muchas de las vías secundarias son apreciables, así como manzanas y conjuntos de bloques, permitiendo una interpretación de los distintos sectores de los núcleos urbanos: áreas industriales, comerciales, residenciales, etc...

Otros elementos del tejido urbano que se diferencian sin dificultad son: zonas verdes, grandes edificios, zonas sin construir, etc...

- Muy importante para la cartografía de usos del suelo es la nitidez con que se aprecian las edificaciones en el ámbito rural, pues se registra el desarrollo de nuevas urbanizaciones en el entorno metropolitano, que constituyen uno de los fenómenos más significativos de los últimos años, y que no ha sido recogido aún por los M.T.N.
- Delimitación precisa de las áreas cultivadas en secano y en regadío. Ello es posible por la elección de la fecha de la imagen multispectral (27 de Julio), pues a estas alturas del verano los cultivos de secano ya están agostados y cosechados, de modo que la única vegetación que presenta una alta reflectancia en el canal infrarrojo (en rojo) es la irrigada. Por otra parte, la superposición de una fecha invernal, en que los arrozales presentan un suelo muy húmedo, con otra del estío, en que el cultivo está en su punto culminante, permite diferenciar este cultivo de otros herbáceos en riego (ver figura 2).
- Diferenciación de los cultivos permanentes de los anuales, pues el registro multitemporal da lugar a que respondan de forma distinta según su comportamiento estacional. Así, se distinguen con precisión los cultivos herbáceos en regadío, de aquellos permanentes (esencialmente naranjos).

Igualmente discernibles son las respuestas de la vegetación natural de leñosas, por su comportamiento regular en las dos fechas, frente a formaciones de comportamiento estacional diferenciado, como los pastizales, que se agostan en verano. Estos, por similares razones, se distinguen con facilidad de las áreas cultivadas en secano, lo cual puede resultar dificultoso sobre imágenes monotemporales y en fotografías aéreas.

- El registro multitemporal y la gran resolución espacial de ambos sensores, ampliada por los tratamientos digitales, explican la claridad con la que se aprecian elementos tales como el parcelario, tanto en secano como en regadío, y otros de menor entidad superficial como canteras, áreas de vertidos, pequeños embalses, lagunas, estanques, depósitos, depuradoras, etc.

El remuestreo de los píxeles de la imagen original a 10 m para la escala 1:50.000 y a 5 m para la escala 1:25.000, permite que se puedan distinguir elementos puntuales de pequeño tamaño, como el arbolado disperso de las dehesas, o un avión en las pistas del aeropuerto, pero siempre que dichos elementos presenten una respuesta contrastada del entorno que les rodea.

Por similares razones un tipo de cubierta como el olivar mantiene una tonalidad distinta al secano o a los pastizales, con los que, en otros productos, suele confundirse. Ello se debe a su distinto comportamiento estacional, y a la diferente textura que originan las copas de los olivos.

Estas diferencias de texturas son: igualmente, de gran utilidad para distinguir las cubiertas de matorral denso, de aquellas de arbolado natural.

CONCLUSIONES

Las ortoimágenes multitemporales SPOT-HRV son un instrumento sumamente valioso para la elaboración de cartografías de ocupación del territorio a escalas de detalle y semidetalle.

La calidad visual de estos productos y las ventajas derivadas de su superposición multitemporal le convierten en una alternativa operativa en costes económicos y de tiempo, para la elaboración de dichas cartografías a escalas hasta 1:25.000, frente a los procedimientos basados en fotografías aéreas, o aquellos que se derivan de clasificaciones asistidas por ordenador de los datos teledetectados.

Mediante el empleo de información de apoyo, y partiendo de la calidad visual de estas ortoimágenes, y de su escala de restitución, se pueden obtener mapas donde se recogen una variada gama de usos, así como otros detalles de carácter planimétrico. De hecho estos productos pueden subsanar las deficiencias de actualización de la cartografía de base en lo referente a infraestructuras viarias, urbanizaciones, y otros elementos lineales y puntuales.

El uso simultáneo de fechas muy contrastadas en la generación de imágenes multitemporales procedentes del satélite SPOT, permite obtener un producto cuya gama cromática es muy superior a la obtenida si sólo se usaran imágenes de distinta resolución, pero de una misma fecha. Es ésta multitemporalidad la que genera toda una serie de matices de color, e incluso de texturas sobre la imagen resultante, las cuales facilitan una interpretación de múltiples detalles planimétricos y de usos de suelo a una escala conforme 1:25.000.

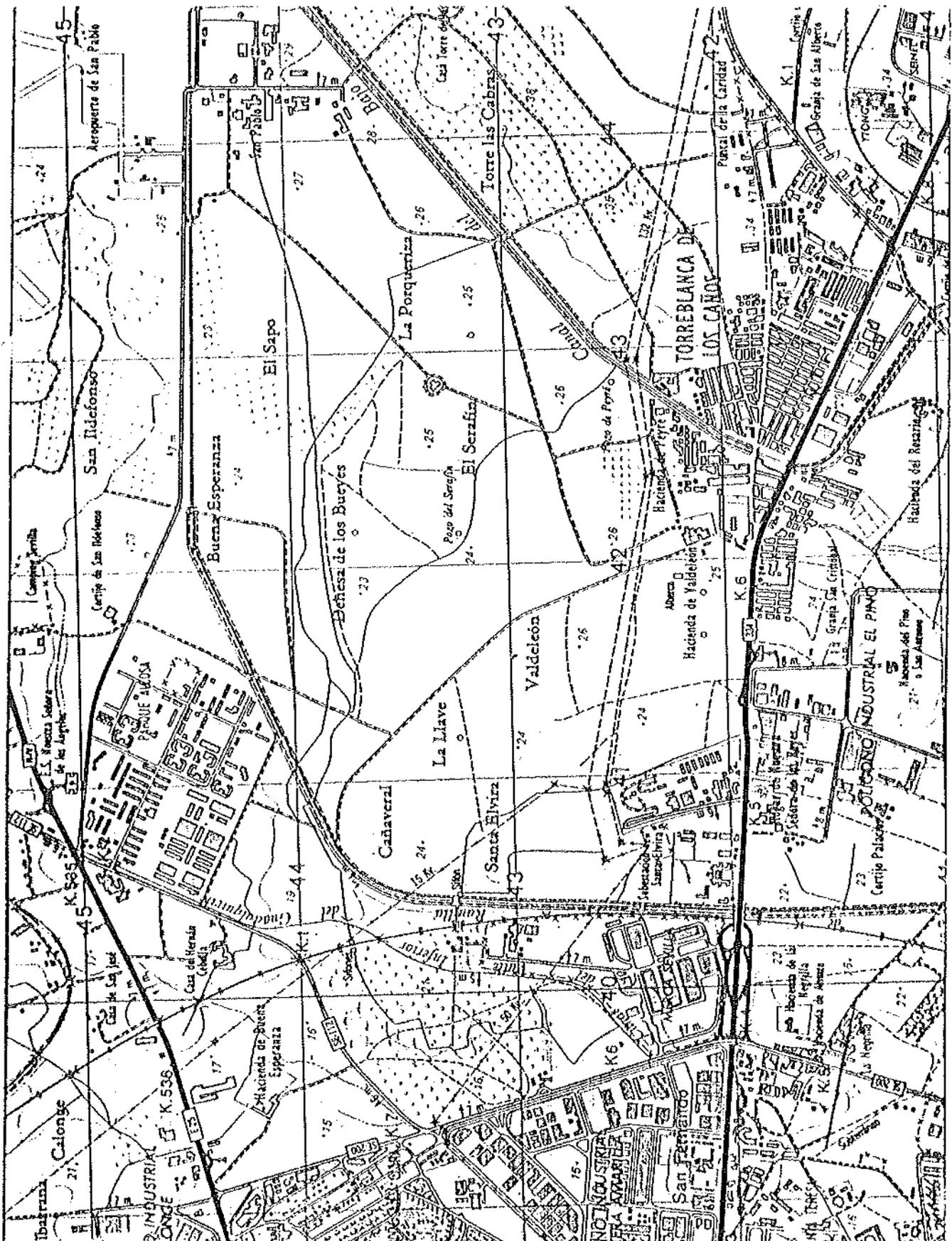


Figura 1.— Detalle de la hoja 24-80 (Serie 5V) del Servicio Geográfico del Ejército a E: 1:25.000, publicada en el año 1977 (1ª Edición), correspondiente al sector Nororiental de la Ciudad de Sevilla.



Figura 2.— Detalle de la ortoimagen multitemporal (Febrero 88 y Julio 86) SPOT-HRV a E: 1:25.000 correspondiente al sector Nororiental de la Ciudad de Sevilla.

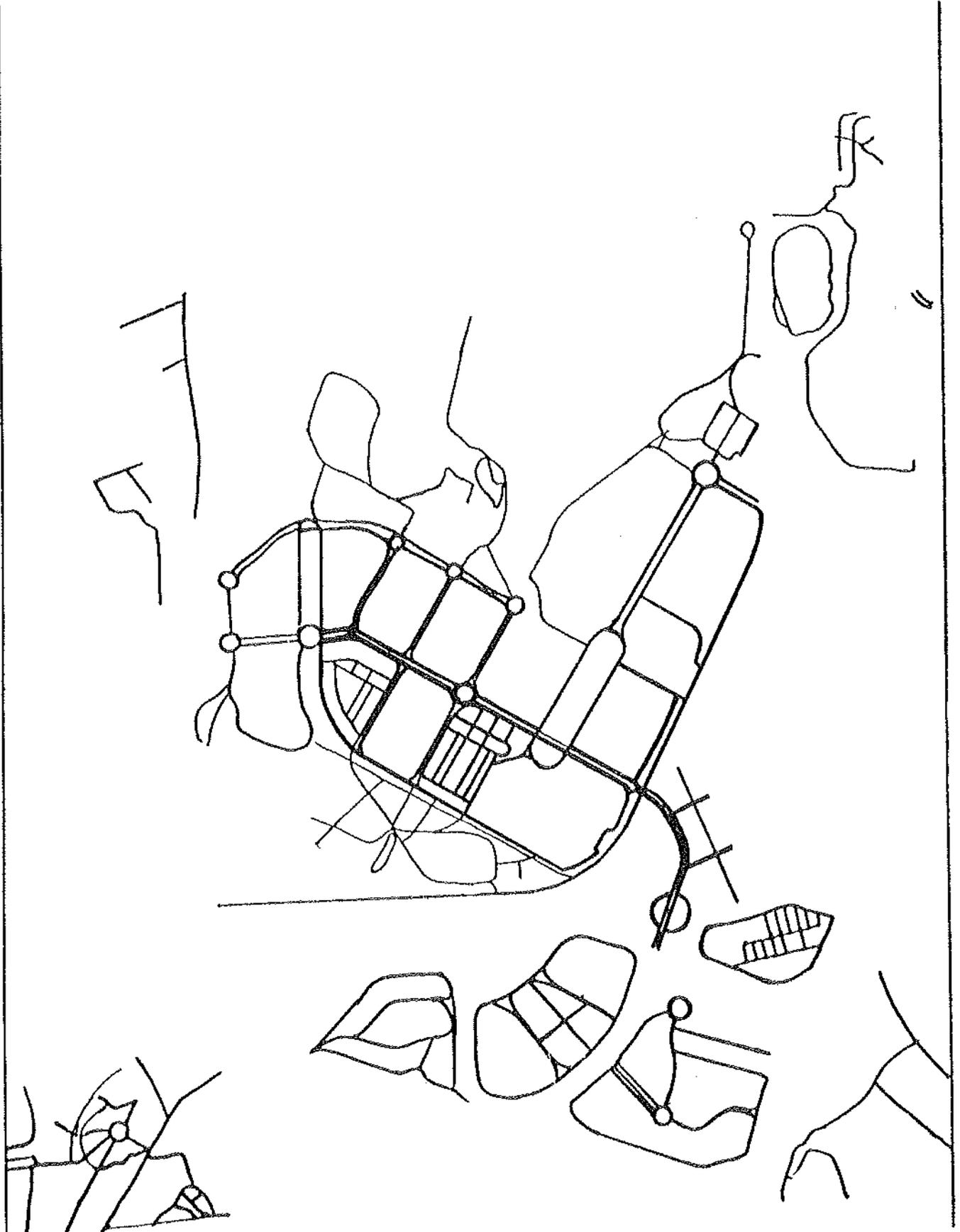


Figura 3.— Se representan aquellas infraestructuras viarias que se aprecian sobre la ortoimagen multitemporal HRV-SPOT (figura 2) y que no aparecen sobre el M.T.N. a E: 1:25.000 (figura 1).

BIBLIOGRAFIA

- Arbiol, R., Romeu, J., and Viñas, O. 1987: Mapa Falso Color de Cataluña a escala 1:100.000 a partir de imágenes del sensor TM del satélite Landsat-5. **I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección**; pp. 7-9. Barcelona, 1986.
- Direction Generale de l'Environnement. 1987. Etude de Faisabilité. **Proyecto CORINE-Land Cover**. Comisión de Comunidades Europeas.
- Heymann, Y. 1988. Metodología del Proyecto de Ocupación del Suelo. **Seminario CORINE**.
- Moreira, J.M. et al. 1988. La teledetección como instrumento para el reconocimiento del territorio. Un caso de estudio en el contexto del Programa CORINE de la C.E.E. En **I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección**; pp. 75-90. Barcelona, 1986.
- Moreira, J.M. et al. 1987. El tratamiento de imágenes TM como ayuda para la actualización de mapas de usos del territorio. En **II Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección**; pp. 291-394. Valencia, 1987.
- Moreira, J.M. 1987. Nuevas Tendencias en Teledetección: Sistemas de Información, Datos de Terrenos e Imágenes Espaciales. En **I Jornadas sobre Teledetección y Geografía**. Excmo. Diputación Provincial de Almería.
- Moreira, J.M. y Ojeda, J. 1988. Control de cambios en el Territorio de Andalucía a través del tratamiento digital de imágenes. En **Coloquio Hispano-Francés sobre Teledetección y Planificación Integrada del Territorio**; pp. 31-44.
- Traizet, M. 1981. Qualité radiométrique des images rectifiées. Illustration des diverses méthodes de re-échantillonnage. **Note Technique n° 102**. CNES. Toulouse.