

# Caracterización de vías rurales a partir de la visualización de imágenes Landsat TM y Spot P

M.L. Gil-Docampo<sup>1</sup>, J. Armesto<sup>1</sup> y I. Cañas<sup>2</sup>  
Correo electrónico: mlgild@correo.lugo.usc.es

<sup>1</sup> Universidad de Santiago de Compostela, España.

Escuela Politécnica Superior de Lugo. Departamento de Ingeniería Agroforestal

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid, España

Escuela de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Construcción y Vías Rurales

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto la caracterización de las vías rurales a partir del análisis visual de la imagen de satélite Landsat TM y SPOT P previamente corregidas y realzadas mediante las herramientas y tratamientos digitales habitualmente disponibles en el software de teledetección.

En este trabajo se buscan los realces más adecuados para resaltar las vías y sus características de modo que la interpretación visual de la imagen pueda sustituir al trabajo de campo en la catalogación de estas infraestructuras lineales.

Se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a la identificación de vías, tipo de firme, altura por la que discurre la vía y generación de vistas de la vía y su entorno. Estos resultados se logran a partir de la composición coloreada de Landsat 2/3/4 y su fusión con SPOT para la identificación y Landsat 7/2/4 para el tipo de firme. La visualización del relieve real, para determinar la altura por la que discurre la vía, se obtiene mediante el primer componente principal del análisis de componentes de la fusión de las imágenes. Este factor también puede ser estudiado partir de la superposición de la imagen sobre el MDT el cual permite además analizar las vistas de las vías.

**PALABRAS CLAVE:** vía rural, teledetección, caracterización visual.

## ABSTRACT

The objective of the present study is the characterisation of rural roads from the visual analysis of the satellite data Landsat TM and SPOT P. Previously, the images are corrected and enhanced with digital processing techniques found in remote sensing software.

We look for the proper enhancements to highlight the routes of communication and its characteristics in order to employ visual interpretation of the image instead of fieldwork for cataloguing the lineal infrastructure.

We obtain satisfactory results about road identification, road surface, height of the road and the analysis of views over the road. We employ Landsat 2/3/4 colour composition and its fusion with SPOT data for identification and Landsat 7/2/4 data for road surface detection. The three dimensional expression of true relief is needed to study the height of the road; it is obtained from the first component taken from the analysis of principal components of the data fusion. It can also be obtained with the image superimposed on the DTM, which even permits the analysis of the views over the roads.

**KEY WORDS:** rural road, remote sensing, visual characterization..

## INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Las vías están consideradas como uno de los elementos distorsionadores del paisaje de mayor importancia por lo que resulta conveniente disponer de una herramienta que permita el conocimiento de las mismas y el desarrollo de un procedimiento que permita llevar a cabo la caracterización de las vías (tipo de vía, tipo de firme, ancho, taludes, altura por donde discurre, etc.).

Se pretenden analizar las vías de baja densidad de tráfico (categoría T4 de la instrucción 6.1 y 2-IC, según clasificación de la vigente norma sobre secciones de firme, aprobada por orden del MOPU, de fecha 23 de mayo de 1989) cuya intensidad media diaria de vehículos pesados es inferior a 50. Estos caminos agrícolas y forestales suelen recibir la denominación de económicos por sus características constructivas y de trazado.

En la actualidad el desarrollo de la teledetección permite, no solo la representación de los caminos y carreteras, sino también la realización de diversos estudios sobre los mismos. Se fija como objetivo el conocer hasta qué punto el tratamiento digital de la imagen de satélite Landsat - TM y SPOT - P, puede sustituir al trabajo de campo para la caracterización de las vías, tratando de optimizar el conocimiento de las mismas para su posterior evaluación. Se identifican cuales son los aspectos que pueden ser estudiados a partir de dichas imágenes y de su fusión.

## ANTECEDENTES

Tradicionalmente la caracterización de las vías se realiza mediante trabajo sobre el terreno, tal y como refleja la metodología aplicada por Cañas et al (1996), en donde las características y variables de

| CATALOGACIÓN DE LA VÍA |              |               |           |         |               |
|------------------------|--------------|---------------|-----------|---------|---------------|
| Tipo                   | Ancho de vía | Recubrimiento | Presencia | Arcenes | Altura        |
|                        |              |               |           |         |               |
| OTROS PARAMETROS       |              |               |           |         |               |
| Punto Km.              | Taludes      | Obras fábrica | Cuneta    | Vistas  | Observaciones |
|                        |              |               |           |         |               |

las mismas se sistematizan según la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Catalogación de la vía. (Fuente: Cañas et al, 1996)

La descripción de las vías sometidas a estudio es realizada a partir de la toma de datos de campo según la tabla indicada. Esta descripción se llega a establecer mediante una serie de factores que son:

- Altura por la que discurre la vía: valle, ladera, cumbre.
- Estado de los taludes: cubiertos de vegetación, con afloramientos rocosos o desnudos
- Presencia de obras de fábrica: muros de piedra, de hormigón, obras de paso, etc.
- Estado de las cunetas: cubiertas de vegetación en su totalidad, semicubiertas o desnudas.
- Vistas desde la vía

Para la realización del presente trabajo, se parte de esta base metodológica descrita por Cañas et al (1996, 1999, 2001) determinando las características de estas infraestructuras lineales que pueden ser

obtenidas utilizando la imagen de satélite como fuente de información.

La extracción automática de carreteras a partir de imagen de satélite es posible siguiendo diferentes algoritmos, sistemas asistidos o bien mediante análisis multitemporales. Sin embargo no siempre se opta por las técnicas de extracción automática que posibilitan mayor eficiencia sino que se prefiere el método visual que posibilita la extracción por parte del fotointérprete de mayor información como el tipo de pavimento, tipo de vía o tipo de acceso a partir de la información de contexto (Jazouli et al, 1994).

## MATERIAL

### Imagen SPOT pancromática

Se emplea una ventana de la imagen de satélite SPOT, sensor HRV (Haute Resolution Visible), modo pancromático (P) de 10 m de resolución espacial y 8 bits de resolución radiométrica. La imagen se tomó en el año 1995; se encuentra libre de cubierta nubosa.

El SITGA (Sistema de Información Territorial de Galicia) proporcionó dicha imagen convenientemente corregida geométricamente según las siguientes especificaciones:

- Corrección mediante polinomio de segundo orden y ajuste por mínimos cuadrados.
- Residuo final inferior a un pixel.
- Toma de puntos de control en cartografía vectorial 1:50.000. y 1:25.000.
- El método para la interpolación utilizado ha sido el de vecino más próximo.
- El tamaño de pixel interpolado es de 10 metros.
- Proyección UTM.
- Sistema Geodésico de Referencia RE-50: European Datum, Elipsoide Internacional, Origen de longitudes: Meridiano de Greenwich.

### Imagen Landsat Thematic Mapper

Se dispone para la realización de este trabajo de las *ortoimágenes digitales* E 1:100.000, generadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a partir de la imagen del satélite Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM). La imagen utilizada es la

escena número TM204-30-4 de fecha de adquisición 30 de Septiembre de 1986

Se dispone de las ortoimágenes correspondientes a las 6 bandas del Landsat TM (de la 1 a la 7 excepto la 6 que corresponde a la banda del infrarrojo térmico). El tratamiento digital de la imagen inicial ha sido efectuado por el IGN, las características de las imágenes son:

- Corrección geométrica mediante funciones polinómicas de segundo grado y ajuste por mínimos cuadrados con residuo final menor de 2 píxeles. El método para la interpolación ha sido el de la convolución cúbica. Remuestreo a 25 m de tamaño de pixel final.
- Toma de puntos de control en cartografía 1/50.000.
- Sistema Geodésico de Referencia RE-50: Europea Datum, Elipsoide Internacional, Origen de longitudes: Meridiano de Greenwich.
- Proyección UTM.
- No se aplicó corrección de los efectos del relieve, ya que los algoritmos existentes en la época en que se realizó el trabajo no lo permitían para imágenes Landsat. (Esto puede causar unas discrepancias, en las zonas de montaña, de 2 a 4 píxeles, según la parte de la escena de que se trate. En las zonas llanas, no debería haber desplazamiento apreciable por ésta causa.

### El Modelo Digital del Terreno

Se utiliza un Modelo Digital del Terreno (MDT) de tamaño de malla 10 m. realizado a partir de pares estereoscópicos de fotografía aérea y generado para el proyecto en el que se enmarca este trabajo.

## METODOLOGÍA

Se analiza la información que puede ser obtenida en cada imagen de cada sensor de forma independiente y posteriormente se procede a su fusión. Se aplican en cada caso las técnicas computacionales habitualmente disponibles en el software de tratamiento digital de imágenes como son la aplicación de filtros, expansión del contraste, realización de composiciones coloreadas, índices y análisis de componentes principales, analizando visualmente los resultados en cada caso.

### Estudio de la imagen Landsat TM

Se describe a continuación los parámetros que pueden ser estudiados a partir de esta imagen:

#### *Identificación de vías*

Los elementos lineales correspondientes a las vías son detectables por su contrastada respuesta espectral respecto al terreno que lo rodea incluso a pesar de tener dimensiones por debajo de la resolución de la imagen (Goossens et al, 1991).

Se describen a continuación los diferentes tratamientos digitales efectuados para la identificación de vías:

- A partir del análisis de bandas independientemente.

Las bandas más útiles para la visualización de las vías son la 2 y la 3 (correspondientes al verde y al rojo), en las que las vías aparecen más claras con respecto al resto de la información del terreno. Por el contrario las bandas 4 y 5 son las peores para la identificación. Este análisis visual proporciona información básica respecto a la respuesta espectral de las vías en las distintas regiones del espectro electromagnético.

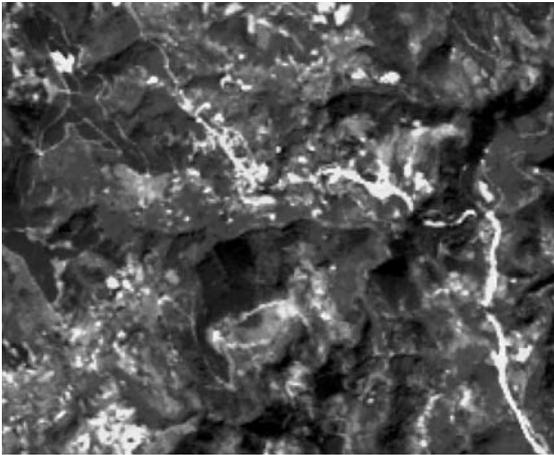
Estos resultados coinciden parcialmente con los indicados por Ton et al (1989) que destaca las bandas 3 y 7 como las más adecuadas para la identificación de carreteras.

El análisis se realiza una vez que la imagen ha sido filtrada con un filtro de realce de bordes 3 x 3 y realzada con expansión lineal del contraste tal y como proponen diversos autores (Jazouli et al, 1994; Marini y Ongaro, 1989), este realce proporciona muy buenos resultados para la visualización.

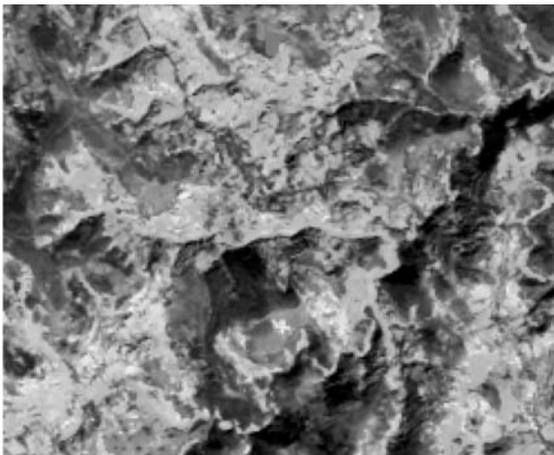
- A partir de la composición coloreada

Se realizan sistemáticamente todas las composiciones posibles centrandó la atención en las bandas que independientemente, proporcionan la mejor visualización. La composición 2/3/4 (R/G/B) reflejada en la Figura 1 es la que mejor información aporta para la identificación de vías, puesto que incorpora las bandas en las éstas pueden ser mejor observadas en los cañones del rojo y verde (las vías aparecen en amarillo) en contraste con el terreno representado por la banda 4 a la que se le aplica el cañón azul (fondo morado), contrasta con otras composiciones, como la mostrada en la Figura 2 en la que las vías no destacan sobre las cubiertas vecinas.

La composición obtenida, no permite discernir entre los tipos de recubrimiento pues no proporciona variabilidad cromática, pero es la que más resalta su trazado sobre el terreno.



\*Figura 1. Composición 2/3/4



\*Figura 2. Composición 7/4/5

El análisis se realiza una vez que la imagen ha sido filtrada con un filtro de realce de bordes 3 x 3 y realzada con expansión lineal del contraste, tal como se indica anteriormente.

– A partir del NDVI.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) proporciona un buen resultado para la identificación, puesto que este índice resalta el contenido en biomasa de la vegetación con respecto al resto de la información de la imagen (Gulinck et al, 1991;

Sader y Winner, 1992). Las vías aparecen, por tanto, muy destacadas pero presenta como inconveniente la pérdida de información de contexto y no mejora la visualización respecto de la composición coloreada.

El resultado es mejorado aplicando un filtro de realce de bordes 5 x 5 (Figura 3).

– A partir del análisis de componentes principales.

El tercer componente principal (filtrado con un filtro de realce de bordes 5 x 5) es el que proporciona la mejor información para la identificación de vías respecto a los tres seleccionados en el análisis de componentes principales (ACP) de las 6 bandas de Landsat. Esto es debido a su alto contraste con el terreno circundante. Aporta mejores resultados que el índice de vegetación aunque también presenta como inconveniente la pérdida de la información de contexto, puesto que aparecen las vías sobre una imagen plana y tampoco mejora la visualización de las mismas con respecto a la composición coloreada (Figura 4).

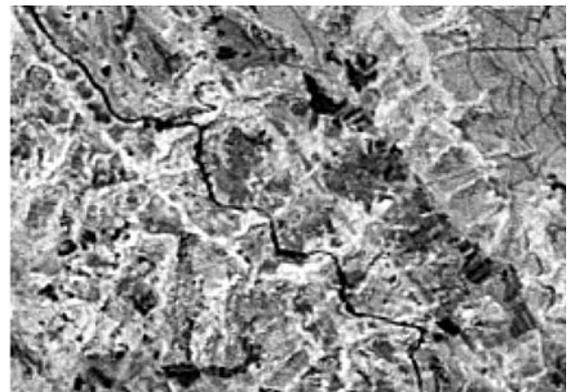


Figura 3. NDVI

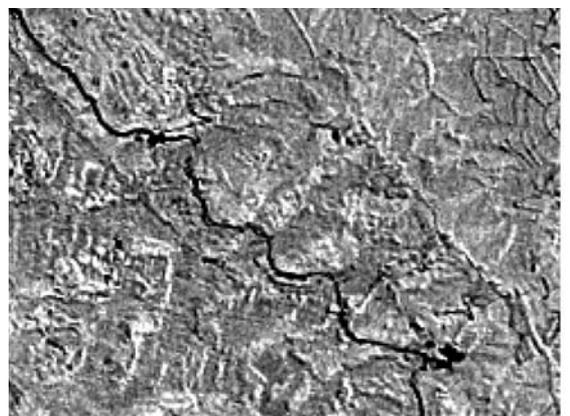


Figura 4. 3CP de las 6 bandas de Landsat

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

- A partir de la aplicación de filtros.

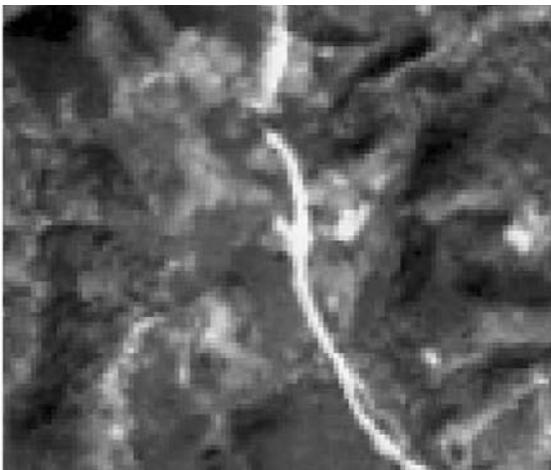
Las vías son destacadas a partir de su diferenciada respuesta espectral respecto a las cubiertas vecinas a pesar de que su ancho es muy inferior a su tamaño de pixel (30 m). Para mejorar la identificación será conveniente, por tanto, resaltar su respuesta radiométrica (composiciones, NDVI, ACP) en vez de su carácter espacial (empleo de filtros). Esta imagen tiene una baja resolución espacial por lo que la aplicación de filtros no aumenta el número de vías identificadas. El filtrado de la imagen Landsat mediante filtros de realces de bordes 3 x 3 o 5 x 5, sirven para mejorar únicamente la visualización general de la imagen.

- Selección del tratamiento óptimo.

De los procedimientos propuestos para la extracción de vías los que proporcionan mejores resultados son la composición coloreada 2/3/4 (Figura 1) y el tercer componente principal (3CP) (Figura 4) ya que son los que más destacan las vías de la imagen. El tercer componente presenta como inconveniente la completa eliminación de la información de contexto puesto que es una imagen en la que se elimina la sensación de relieve y aparece en blanco y negro. La composición coloreada mantiene en un segundo plano la información del terreno y resalta las vías en amarillo por lo que resulta más útil para la digitalización manual.

### *Tipos de firme*

La imagen permite la clasificación visual de las vías según la respuesta espectral de la capa de rodadura, lo cual posibilita el estudio del tipo de firme.



**Figura 5.** Carretera Nacional. Composición 7/2/4



**Figura 6.** Carretera Local



**Figura 7.** Pistas de tierra

Existen diversas composiciones que permiten un estudio sobre este aspecto como la 7/2/4, 2/7/4, 7/3/1 2/3/7, 3/7/4. De entre todas las combinaciones realizadas la que mayor gama cromática ofrece para este fin es la 7/2/4. Ello es debido a que se obtiene una baja correlación entre bandas y una máxima varianza al combinar en una misma composición una banda en el infrarrojo medio, otra en el visible y otra en el infrarrojo cercano.

El color de la vía en la imagen depende de su recubrimiento. Se obtienen así tres colores diferenciados que se corresponden con la carretera nacional (color amarillo intenso), carretera comarcal o local (color verde apagado) y pistas (color pardo rojizo) según las figuras. 5, 6 y 7 respectivamente.

Se realiza el análisis visual directamente sobre la imagen Landsat ya que con la fusión se altera la variación radiométrica que permite diferenciar las vías.

### **Información de contexto**

Cabe destacar que diferentes estudios resaltan la importancia de la información contextual independientemente que se opte por análisis automáticos o manuales (Ton et al, 1989; Bogges, 1993; Jazouli et al, 1994). Es por ello que se selecciona la composición en color real (3/2/1) para su empleo en el análisis de vistas y se trata de no eliminar esta información con las diferentes técnicas empleadas.

### **Estudio de la imagen Spot P**

El canal pancromático de Spot complementa a la imagen Landsat pues aporta la resolución espacial, permitiendo trabajar a una escala de 1:50.000 (Vivas, 1993).

### **Identificación de vías y visión global de la red**

Dowman (1989) destaca que las autopistas, las principales carreteras y los ferrocarriles de doble pista son generalmente 100% visibles en una imagen Spot P. En el contexto que nos ocupa (zona de montaña arbolada) la imagen Spot P identifica un 70% de las vías que figuran en la Hoja del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (Gil et al, 2001).

- Realce del contraste.

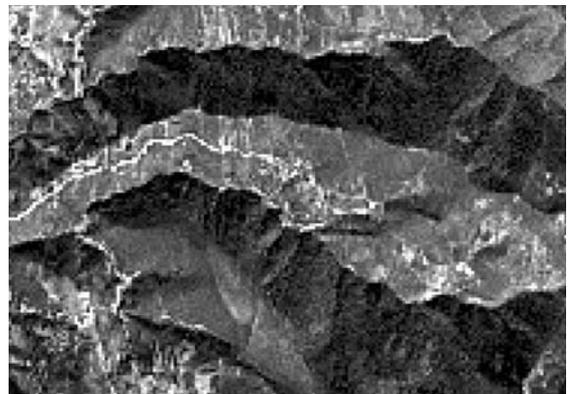
La expansión lineal de contraste, tal y como se refleja en la Figura 8, mejora la visualización general de la imagen. Presenta como inconveniente que la imagen aparece con el relieve invertido debido al efecto de la iluminación en el momento de captura de la imagen (Gallego, 2001), este aspecto puede ser solucionado invirtiendo la tabla de referencia (look up table: LUT) o matriz numérica de correspondencia entre el nivel visual de pantalla y el nivel digital de la imagen (Armesto y Gil, 2001). De esta forma aparecen las vías en tonos oscuros sobre fondo claro lo que mejora la visión de las vías sobre el relieve real, en ausencia de un MDT (Figura 9). Esta imagen origina, sin embargo, peores resultados en la fusión que la realizada por expansión lineal.

La imagen con la LUT invertida proporciona una visión global y sinóptica del terreno e información visual del territorio sobre el que se asienta la vía con la percepción del relieve real; ello permite el estudio de efectos aditivos o sinérgicos con respecto a otras infraestructuras ya realizadas.

- Filtros de realce de bordes.

Tras la aplicación de diversos filtros, testando diferentes tamaños de matriz, se obtiene el mejor resultado tras la aplicación del filtro de realce de bordes (predefinido en el software y denominado "edge sharpening filter") con un tamaño de matriz 9 x 9 aplicado dos veces sucesivas.

Se han realizado pruebas con otros filtros propuestos en la bibliografía (Maillard, 1988) y no se han mejorado los resultados alcanzados con el filtro de realce de bordes 9 x 9 en aplicación múltiple y con inversión de la tabla de referencia, teniendo en cuenta que interesa mantener la información de contexto.



**Figura 8.** Ejemplo de carretera de ladera



**Figura 9.** Relieve real. Inversión de la LUT

- Filtros direccionales.

Los filtros direccionales aplicados sobre la imagen Spot seleccionan aquellos tramos de trazado lineal en detrimento de los tramos sinuosos (Figura 10). Estos filtros permiten el estudio de la linealidad del trazado, en detrimento de los rasgos del terreno adyacentes.

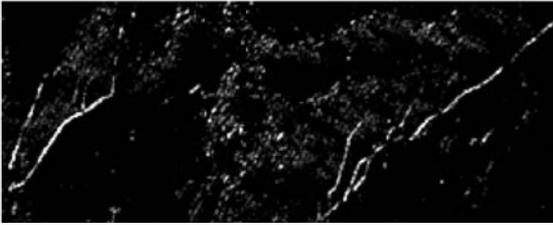


Figura 10. Filtro direccional (-3,2,-3)

### Estudio de la fusión de ambas imágenes Landsat TM y Spot P

La imagen Landsat TM resulta fundamental para el estudio de las vías debido a su alta resolución espectral, sin embargo, no constituye por sí misma una fuente de información óptima debido a que la escala que proporciona esta imagen (1:100.000) resulta insuficiente para la realización de estudios a nivel municipal, por lo que se procede a la fusión con Spot P.

Integrando ambas fuentes se consigue un material adecuado, con una baja carga computacional, para identificar y estudiar las vías a escala 1:50.000.

De todas las pruebas realizadas para la fusión, la mejor opción se obtiene cuando se emplea la imagen Spot filtrada, realzada y ponderada según la expresión  $(2 \times P_{\text{realzada}} + \text{IRc})/3$  en donde  $P_{\text{realzada}}$  es el canal pancromático de Spot realzado mediante realce lineal y filtrado con un filtro de realce de bordes  $9 \times 9$  dos veces; IRc es el canal infrarrojo cercano de Landsat - TM sin filtrar ni realzar (Chuvieco, 1996; Gil et al, 2002). La aplicación de filtros de realce de bordes a esta segunda imagen no implica mejoría alguna en la fusión final puesto que la imagen Landsat aporta básicamente la información relativa al color y no la nitidez de la imagen.

#### Identificación de las vías

Se mejora la visualización de las vías mediante la fusión de Spot filtrada con filtro de paso alto y realzada con expansión lineal del contraste con la composición 2/3/4 por ser la más adecuada para la identificación y digitalización de las vías.

#### Tipo de firme

Se emplea la fusión de la imagen Spot filtrada y realzada con la imagen Landsat 7/2/4 para el estudio del tipo de firme.

#### Visión de la información de contexto

Se realiza la fusión de la imagen Spot filtrada y realzada con la composición de Landsat 3/2/1 por corresponder al color real, por su utilidad para el estudio del contexto de la vía.

La radiometría resultante deberá ser mejorada para hacer más asequible la información al fotointérprete no familiarizado con la teledetección (Gil et al, 2002). En cualquier caso, la imagen resultante presentará un efecto pseudoscópico; para evitarlo se procede a la realización de un nuevo ACP sobre esta fusión, seleccionándose el ICP que es el componente asociado al estudio de las diferencias de iluminación y brillo (Mather, 1989), (Figura 11).

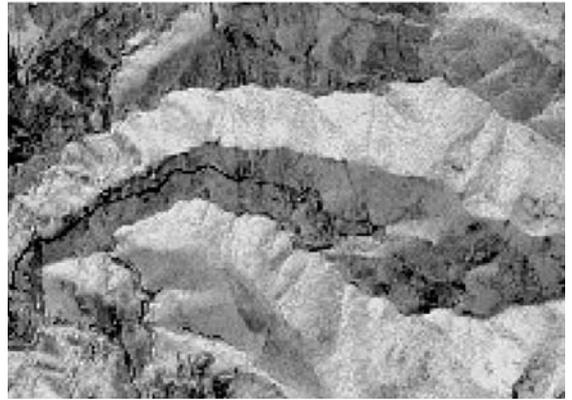


Figura 11. Primer CP de la fusión de imágenes. Visión del relieve real

#### Empleo del MDT

El software de teledetección puede proporcionar al usuario una herramienta para la visualización tridimensional que permita el análisis de las vistas. Para ello es necesaria la introducción de la información relativa a la elevación (a partir de un MDT) y a la imagen en color (procedente de la imagen de satélite o foto aérea).

Se incorpora el MDT disponible de la zona de estudio así como la fusión con la composición coloreada 3/2/1 (R/G/B) correspondiente al color real con la radiometría mejorada para la visualización

Se introduce la opción de niebla para la visualización del cielo y el horizonte, puesto que en caso contrario el color azul del cielo proporciona un resultado muy artificial y ocasiona rupturas bruscas del terreno cuando se termina la imagen. (Figura 12).



**Figura 12.** Visión tridimensional del terreno para el análisis de las vistas. Dirección Este-Oeste

Para no ver la cuadrícula del píxel se multiplica por 0,01, reduciendo así en 100 veces el tamaño de píxel para mejorar la calidad visual del resultado.

## RESULTADOS

### Identificación de vías

La identificación de vías se puede realizar, a partir de los elementos lineales visibles en la imagen.

La imagen de partida utilizada ha sido la fusión de Spot -P filtrada con filtro de paso alto  $9 \times 9$  y realizada por realce lineal con Landsat- TM 2/3/4 (que es la mejor composición coloreada para la distinción de vías). Se ha trabajado sobre la fusión debido a que ésta proporciona la resolución espacial de Spot -P y la resolución espectral de Landsat-TM. Esta información multispectral permite distinguir las vías de otros elementos lineales presentes en la imagen.

En la imagen seleccionada se observa un color diferenciado y destacado de las vías (blanco/amarillo) con respecto al resto del terreno (morado) y unos bordes de las vías nítidos. Contiene toda la red de vías visibles para estas imágenes, puesto que se han hecho patentes vías inexistentes o vías que aparecerían confusas en las imágenes originales.

Una vez identificada la vía podrá ser analizado si discurre en un entorno agrícola, forestal o se utiliza como acceso a construcciones (uso de la vía).

Si bien, la fusión HSI no mantiene la radiometría original (el color amarillo intenso de las vías sobre la composición 2/3/4 de Landsat adquiere tonos más pálidos debido a la influencia del color blanco

de las vías de la imagen Spot) la fusión mejora la identificación de las vías pues permite visualizar vías no patentes en la imagen Landsat.

### Tipos de firmes

Contrastando el análisis *de visu* de las vías con los datos de campo se deduce que son discernibles por color tres tipos de vías. Si bien se aprecian desviaciones del comportamiento radiométrico predominante para cada tipo; sí ha podido apreciarse una pauta en el comportamiento espectral. Cuando la vía está asfaltada y tiene un gran ancho (doble carril o superior), aparece sobre la imagen con un color amarillo intenso para la composición seleccionada. Si la vía tiene un ancho menor (carril simple) y el asfalto es antiguo, su color tiende más hacia el verde y si la vía es de tierra su color será el pardo.

La aplicación de otros métodos de clasificación automática no permiten diferenciar los tipos de infraestructuras lineales con un alto grado de acierto, sin embargo, pueden ser fácilmente extraídas por interpretación visual a partir de las imágenes multiespectrales y con ayuda de información auxiliar.

Cabe destacar, sin embargo que en este caso la fusión de la imagen Landsat 7/2/4 con Spot P provoca la pérdida de la gama cromática necesaria para la catalogación de las vías en función del tipo de firme. Este análisis podrá ser realizado, por tanto, únicamente sobre la imagen Landsat, debido a la alteración de la radiometría tras la fusión. Ello implica que existirán vías que queden sin clasificar en función de su recubrimiento por no ser patentes en esta imagen.

## Altura de la vía

Para analizar si la vía discurre por cumbre, ladera o valle, es preciso visualizar la imagen sobre el relieve real eliminando el efecto pseudoscópico que proporcionan las imágenes de partida, ello se consigue invirtiendo la tabla de referencia en la imagen SPOT o a partir del ICP del ACP de la fusión de Landsat y SPOT, siendo esta última la que presenta una mejor información de contexto. Ambas imágenes tienen la ventaja de evitar la confusión entre vías de cumbre y vías de valle en ausencia del MDT pero tienen el inconveniente de ser visualizadas en blanco y negro.

La altura de la vía puede ser estudiada de forma análoga y en color, si se dispone de un MDT de la zona.

## Estudio de las vistas

La imagen tridimensional, obtenida superponiendo la fusión de las imágenes (color real) con el MDT, permite analizar las vistas en el entorno de la vía. Para analizar las vistas desde la vía, sería necesario disponer de una imagen de mayor resolución.

Se resumen los distintos aspectos enumerados en la tabla adjunta:

| Nº | VARIABLES<br>Cañas, 96,99,01     | REALIZABLE CON<br>TELEDETECCION |
|----|----------------------------------|---------------------------------|
| 1  | Tipo/uso (agrícola, forestal...) | SI                              |
| 2  | Ancho                            | NO                              |
| 3  | Recubrimiento (tipo de firme)    | SI                              |
| 4  | Presencia arcones                | NO                              |
| 5  | Altura (cumbre, ladera, valle)   | SI                              |
| 6  | Estado taludes y/o cunetas       | NO                              |
| 7  | Presencia obras de fábrica       | NO                              |
| 8  | Vistas                           | SI                              |

**Tabla 2.** Variables para la caracterización de vías a partir de la teledetección.

Es posible, por tanto, la catalogación de la vía a partir de las imágenes empleadas en función de los parámetros: tipo, altura, firme y vistas, prescindiendo de aspectos como la presencia de arcones y el ancho de vía. Permite incorporar además otro parámetro de caracterización como es la linealidad del trazado, que puede ser analizado a partir de la imagen de satélite, mediante filtros direccionales.

Por el contrario no se pueden caracterizar las vías por el estado de cunetas y taludes y por la presencia de obras de fábrica. La teledetección permite como contrapartida el análisis de contexto de la vía.

## CONCLUSIONES

Tras la comparación y verificación de los resultados obtenidos a partir de la imagen de satélite con respecto a los datos tomados en el campo, se deducen las conclusiones que se indican a continuación.

Cabe destacar la utilidad de la teledetección para el fin propuesto, pues las diferentes técnicas de tratamiento digital de la imagen permiten extraer o realzar diversos aspectos y características de las vías para su estudio. Ello permite limitar el trabajo de campo a aquellos aspectos no visibles en la imagen y a labores de comprobación.

Esta técnica no permite el análisis de todas las variables incluidas en la base metodológica para la catalogación de las vías y su integración en el paisaje analizada por Cañas et al (1996):

Las imágenes empleadas no permiten el estudio del ancho de la vía, el recubrimiento de cunetas y taludes o la presencia de arcones, ya que el ancho de los mismos es muy inferior al tamaño de pixel (10 m) este factor tendría que ser analizado con una imagen de mayor resolución como la Ikonos o Quick Bird de 1 m y 70 cm de resolución espacial respectivamente.

Debido a la naturaleza de la fuente de información que se maneja tampoco es posible analizar la presencia de obras de fábrica.

Las imágenes de satélite empleadas sí permiten la identificación de las vías para una escala de trabajo de 1:50.000 y la visión global de la red, lo que posibilita el análisis de efectos sinérgicos (aunque en algunos casos se requiera de información auxiliar como la fotografía aérea).

También pueden ser analizadas las vistas desde la vía utilizando modelos tridimensionales, aunque para acercarse a la percepción que el observador tiene sobre el terreno sería conveniente trabajar con imágenes de muy alta resolución.

Sí pueden ser descritos el tipo de firme, la altura por la que discurre la vía (cumbre ladera o valle) y el uso de la vía (agrícola, forestal, de acceso).

## AGRADECIMIENTOS

El presente artículo ha sido realizado gracias a la financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. Programa Nacional de Medioambiente y Recursos Naturales, otorgada al Proyecto de Investigación titulado “Evaluación cuantitativa del impacto paisajístico producido por las vías de baja densidad de tráfico. Caso particular de la sierra de Ancares” AMB95-C225.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARMESTO, J. y GIL, M<sup>a</sup> L. 2001. Tratamiento digital de la imagen pancromática de satélite para la digitalización automática de elementos lineales. *Mapping*. 68:10-14.
- BOGGESESS, J. E. 1993. Identification of roads in satellite imagery using artificial neural networks: a contextual approach. [www.cs.msstate.edu/publications/technical\\_reports/93081abs.html](http://www.cs.msstate.edu/publications/technical_reports/93081abs.html).
- CAÑAS, I. RÚIZ, M. A. FANJUL, M. J. y ARIAS, P. 1996. Las vías forestales y el medio ambiente. *Proceedings of -III Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 2: 736-743.
- CAÑAS, I. RUIZ, M<sup>a</sup> A. ARIAS y P. MARTÍNEZ, R. 1999. Introducción a la caracterización de las vías forestales por medio de sistemas digitales: el GPS y GIS. *Mapping*. 52:40-47.
- CAÑAS, I y RUIZ, M<sup>a</sup> A. 2001. Técnicas de estudio del impacto paisajístico de las infraestructuras lineales”. En *Gestión sostenible de paisajes rurales*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 121-145 p.
- CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ed. Rialp S. A. Madrid. 568 p.
- DOWMAN, I. J. 1989. Information Content of high resolution satellite imagery. *Photogrammetry*. 43:295-310.
- GALLEGO, F. J. 2001. Producción y manipulación de ortofotografías digitales de una comarca olivera para su integración en un sistema de información geográfica como expresión realista de las formas y usos de suelos. *XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Badajoz. 9 p.
- GIL, M<sup>a</sup> L. y ARMESTO, J. 2001. Estudio comparativo de las técnicas de realce geométrico de imágenes de satélite para la elaboración de cartografía de elementos lineales. *III Congreso Europeo sobre Agricultura de Precisión*. Montpellier. Francia. 10 p.
- GIL, M<sup>a</sup> L, CAÑAS, I y ARMESTO, J. 2001. Análisis de las ortoimágenes SPOT – P e IRS – P como fuente de información para la identificación de las vías de baja densidad de tráfico. Caso particular de la Sierra de Ancares (Lugo – España). *Topografía y Cartografía*. Vol. XVIII. N<sup>o</sup> 103.
- GIL, M<sup>a</sup> L. ARMESTO, J. y REGO, T. 2002. El realce radiométrico de la fusión de imágenes Landsat TM y SPOT P para la creación de mapas en color real. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería gráfica*. Santander.
- GIL, M<sup>a</sup> L. TOBAR, A; y ARMESTO, J. 2002. Estudio de las variables que influyen en la transformación HSI para la fusión de imágenes multispectrales y pancromáticas. Correlación entre el canal pancromático y la intensidad. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería gráfica*. Santander.
- GOOSSENS, R. D’HALUIN, E. y LARNOE, G. 1991. Satellite image interpretation (SPOT) for the survey of the ecological infrastructure in a small scaled landscape (Kempenland, Belgium). *Landscape Ecology*. 5 (3): 175-182.
- GULINCK, H. WALPOT, P. JANSSENS, P. y DRIES, I. 1991. The visualisation of corridors in the landscape using SPOT data. En *Nature conservation 2: the role of corridors*. Edit Denis A. Saunders and Richard J. Hobbs. Surrey Beatty and Sons. 9-17.
- JAZOULI, R. VERBYLA, D. L. and MURPHY, D. L. 1994. Evaluation of SPOT Panchromatic digital imagery for updating road locations in a harvested forest area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60 (12): 1449-1452.
- MAILLARD, P. and CAVAYAS, F. 1988. Extraction des éléments planimétriques des cartes topographiques á moyenne échelle á partir des images SPOT. *Remote Sensing and Land Use Change*, 37-49.
- MAILLARD, P. 1989. Automatic map-guided extraction of roads from SPOT imagery for cartographic database updating. *Remote Sensing*. 10 (11): 1775-1787.
- MARINI, C. M. and ONGARO, L. 1989. Thematic cartography through digital satellite imagery combining SPOT P with Landsat TM multispectral data. *XIV World Conference of the*

- International Cartographic Association*. Budapest, 169-173.
- MATHER, P.M. 1989. *Computer processing of Remotely Sensed Images*. Ed. John Wiley and Sons. 352 p.
- SADER, S. A. and WINNER, J. C. 1992. RGB-NDVI colour composites for visualising forest change dynamics. College of Forest Resources, Department of Forest Management, University of Maine, Orono, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*. 13 (16): 3055-3067.
- TON, J. JAIN, A. K. ENSLIN, W. R. and HUDSON, W. W. 1989. Automatic road identification and labelling in Landsat 4 TM images. *Photogrammetry (PRS)*. 43: 257-276.
- VIVAS, P. 1993. 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). *V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. (Las Palmas de Gran Canaria, Spain), p. 907 – 917.

# NOTICIAS

LIBRO: RECENT ADVANCES IN QUANTITATIVE REMOTE SENSING, Editor: José A. Sobrino, Servicio Publicaciones Universitat de Valencia, ISBN: 84-370-5515-6, 1000 pp.

Este libro contiene las comunicaciones al primer congreso Internacional Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, organizado por la Unidad de Cambio Global de la Universitat de Valencia, que se celebró en el Auditorio de Torrent (VALENCIA), durante los días 16 al 20 de Septiembre del 2002. El congreso reunió a más de 200 congresistas de un total de 25 países. El alto nivel científico de los asistentes queda claramente reflejado en la publicación. El libro incluye un total de 133 trabajos repartidos en 5 temas: Espectro solar, Sinergia, Infrarrojo Térmico, Microondas, Proyectos recientes y Misiones de Observación de la Tierra. El carácter puntero de los trabajos publicados será sin duda de gran utilidad para la comunidad científica tanto nacional como internacional en teledetección.

Aquellos interesados en adquirir el libro contactar con el Servicio de Publicacions de la Universitat de Valencia (Tf: 96 3864115, e-mail: [publicacions@uv.es](mailto:publicacions@uv.es)).