

Aplicación de un sistema de información geográfica para visualizar vías pecuarias y obtener información sobre las mismas a partir de imágenes de satélite SPOT

Isabel OTERO PASTOR, Encarnación GONZÁLEZ ALGARRA
y Eduardo MORENO CUESTA

Recibido: 10-XII-2001
Aceptado: 5-II-2002

1. INTRODUCCIÓN

La Teledetección es una técnica de demostrada aplicación a numerosas ciencias del medio ambiente. Constituye una fuente de información muy rica y de ayuda muy importante para la gestión de los recursos naturales.

En concreto, en este artículo se estudian las posibilidades de la teledetección como herramienta para la visualización y detección de vías pecuarias, en concreto, del término municipal de Torremocha de Jarama situado en la Comunidad de Madrid. En los tramos de vías pecuarias visibles en la imagen de satélite se estudia la posibilidad de identificar sus puntos origen y final, ocupaciones, conexiones a caminos y vías pecuarias, y cortes con vías de comunicación, y se compara dicha información con la obtenida en el campo para dichos factores.

Como paso previo a la visualización se llevan a cabo los procesos de georeferenciación de la imagen de satélite de partida, y posteriormente, de realce para mejorar la calidad visual de la misma.

2. ELECCIÓN DEL TIPO DE IMAGEN A UTILIZAR

Cuando se trabaja con teledetección es fundamental elegir el tipo de sensor más conveniente ya que éste depende de los objetivos y del nivel de precisión requerido en el proyecto.

En el caso que nos ocupa, visualización de las vías pecuarias de una determinada zona, es la resolución espacial del sensor el elemento fundamental a te-

ner en cuenta por cuanto marca el nivel de detalle de la imagen. Se entiende por resolución espacial el tamaño del pixel o unidad mínima de información contenida en la imagen. La resolución espacial tiene una repercusión importante sobre la interpretabilidad de la imagen. De entrada, sólo son discriminables sobre la imagen elementos de tamaño superior, como mínimo, al del pixel. Por otra parte, cuanto menor sea el tamaño del pixel, menor será también la probabilidad de que éste sea un compuesto de dos o más cubiertas fronterizas, y por lo tanto su correcta identificación será más fácil. En lo que se refiere a análisis visual, es fundamental por tanto utilizar un sensor con una alta resolución espacial para facilitar así una interpretación más certera de la imagen.

Se ha elegido para el estudio una imagen captada por el satélite Spot, sensor HRV en su modo de funcionamiento pancromático, el cual presenta una resolución espacial de (10×10) m, superior a la resolución del Landsat TM y del Spot HRVX. «La mejora en resolución espacial del Spot HRVP frente al HRVX y al Landsat TM, hace a las imágenes Spot HRVP idóneas para tareas de análisis visual»(CHUVIECO, E., 1996).

Se ha elegido una imagen adquirida en el verano pues en ese momento la radiancia media percibida por el sensor es máxima como consecuencia del mayor ángulo de elevación solar. Además, en el caso de nuestro clima mediterráneo, el verano coincide con la época de menor nubosidad y precipitación lo cual facilita el tratamiento visual de la imagen. Concretamente la fecha de adquisición data de julio de 1996. La imagen utilizada abarca la zona noreste de la Comunidad de Madrid.

El estudio se ha realizado con el programa de tratamiento de imágenes de satélite Idrisi.

3. GEORREFERENCIACIÓN DE LA IMAGEN

La georeferenciación es el proceso realizado para transformar las coordenadas de la imagen de partida expresadas en número de fila y columna en coordenadas cartográficas (coordenadas UTM). Esto se hace modificando la posición de las celdillas originales de la imagen. Se trata de funciones numéricas que aplicadas a cada pixel permiten modificar la geometría de la imagen. Dichas funciones son del tipo:

$$\begin{aligned}f(x) &= f_1(c,l) \\ f(y) &= f_2(c,l)\end{aligned}$$

Las coordenadas (x,y) de la imagen corregida son función de las coordenadas (c,l) (columna, línea) de la imagen de entrada.

El proceso de corrección consiste en ajustar la imagen de satélite a un mapa de la zona tomado como referencia (RICHARDS, J.A, 1986). Dicho proceso se aborda en tres fases:

1. Localización de puntos de control

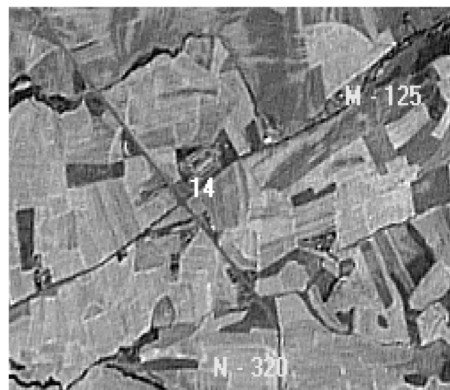
Se trata de puntos comunes a la imagen y al mapa tomado de referencia, y fácilmente identificables en ambos. «A partir de las coordenadas de los puntos de control puede estimarse una función que relacione las coordenadas de la imagen con las del mapa. Dado que las funciones se estiman a partir de esa muestra de coordenadas, la calidad del ajuste dependerá de la precisión con que se localicen los puntos de control. De lo contrario, la estimación resultará sesgada. El establecimiento de puntos de control resulta la fase más crucial del proceso de corrección y la que demanda mayor dedicación humana» (RONALD EASTMAN, J., 1997).

Se han tomado un total de 15 puntos de control, número suficiente para el tamaño de la imagen, y distribuidos uniformemente sobre toda la imagen. Se ha evitado tomar puntos de control en zonas sometidas a dinamismo temporal como cursos de agua, embalses, etc. En la figura 1 se muestran los puntos de control 13 y 14.

Al mismo tiempo que se han ido tomando los puntos de control se ha recogido el nivel de confianza de cada uno de ellos dividiéndose en tres cate-



Fig. 1. Cruce de caminos.



Corte de M-125 con N-320.

gorías (pobre, medio, bueno). Posteriormente, en el proceso de georeferenciación, será posible omitir aquellos puntos que presenten un nivel de confianza bajo.

En la figura 2 se presenta la imagen a georeferenciar y los puntos de control tomados con sus identificadores correspondientes y una indicación de su fiabilidad.

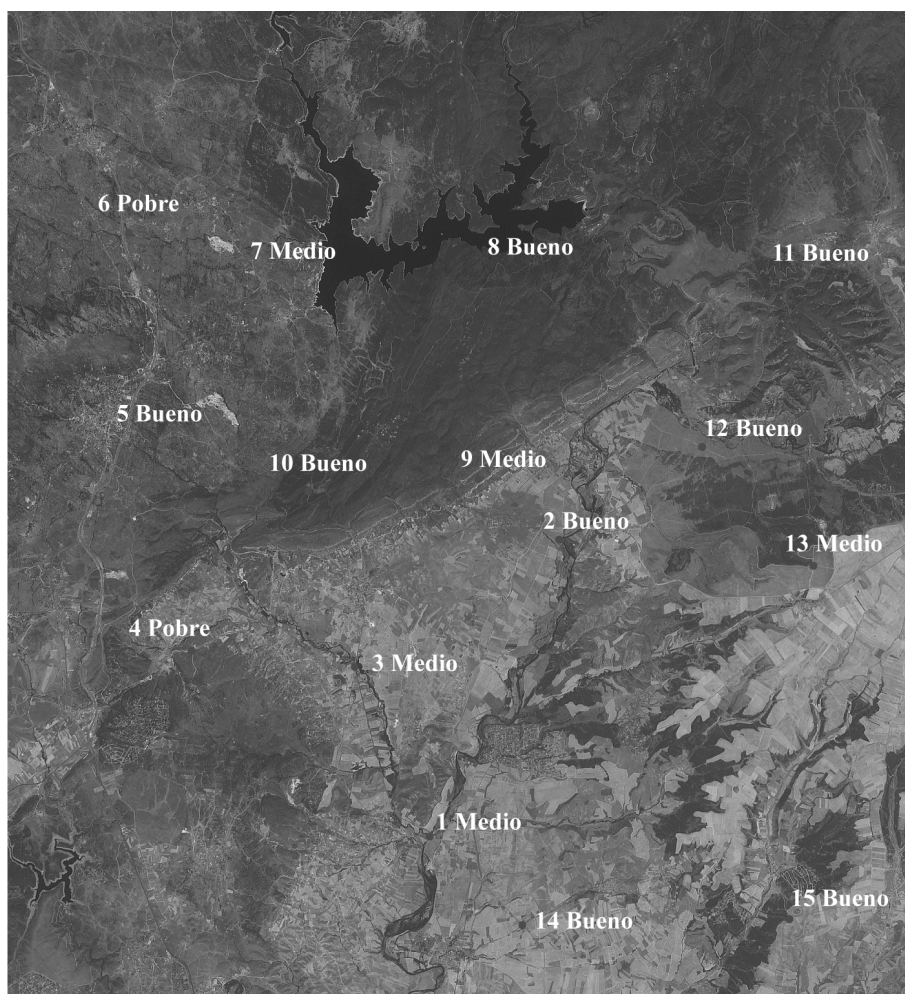


Fig. 2. Imagen de entrada a georeferenciar.

2. *Cálculo de las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen y las del mapa*

Se ha utilizado una regresión lineal múltiple donde a partir de las coordenadas columna y línea de cada pixel de la imagen de entrada se estiman las coordenadas (x,y) de la imagen de salida.

$$\begin{aligned}\hat{X}_i &= a_0 + a_1c_i + a_2l_i \\ \hat{Y}_i &= b_0 + b_1c_i + b_2l_i\end{aligned}$$

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ = Coeficientes de regresión.

c_i, l_i = Variables independientes (coordenadas columna y línea de la imagen).

X_i, Y_i = Variables dependientes (coordenadas (x,y) del mapa).

Los coeficientes de regresión se calculan a partir de las coordenadas de los puntos de control mediante un ajuste por mínimos cuadrados. La bondad del grado de ajuste se mide por la importancia del residual de la regresión que es la diferencia entre el valor estimado y el real para cada una de las observaciones. Obtenida la ecuación de ajuste es posible visualizar el error medio cuadrático total y los residuales de cada punto de control. Los puntos con un error residual mayor, con un nivel de confianza bajo, y que no se encuentren espacialmente aislados se pueden omitir y calcular de nuevo la ecuación hasta que el error medio cuadrático total esté por debajo de un cierto umbral fijado previamente. El umbral se ha fijado en 0,5 puntos y ha sido necesario omitir los puntos de control 4, 6 y 9 (GONZÁLEZ, E., 2000).

3. *Transferencia de los niveles digitales originales a la posición corregida*

Las funciones de transformación permiten calcular la posición correcta de cada pixel pero no originan una nueva imagen puesto que suponen solamente un trasvase de coordenadas y no de Nd. La transferencia de los Nd originales a la posición corregida es el objetivo de esta última fase.

Al aplicar las funciones de transformación se modifica la posición de los pixeles de la imagen de partida de manera que cada pixel de la nueva imagen se sitúa entre varios de la original (véase figura 3). Es necesario por tanto asignar a cada pixel de la nueva imagen un nivel digital. Para ello se ha utilizado el método de Interpolación bilineal el cual «asigna a la celdilla corregida la media ponderada de los niveles digitales (Nd) correspondientes a los cuatro pixeles más cercanos en la imagen original. El peso asignado a cada Nd es proporcional a la distancia entre los centros de la celdilla original y corri-

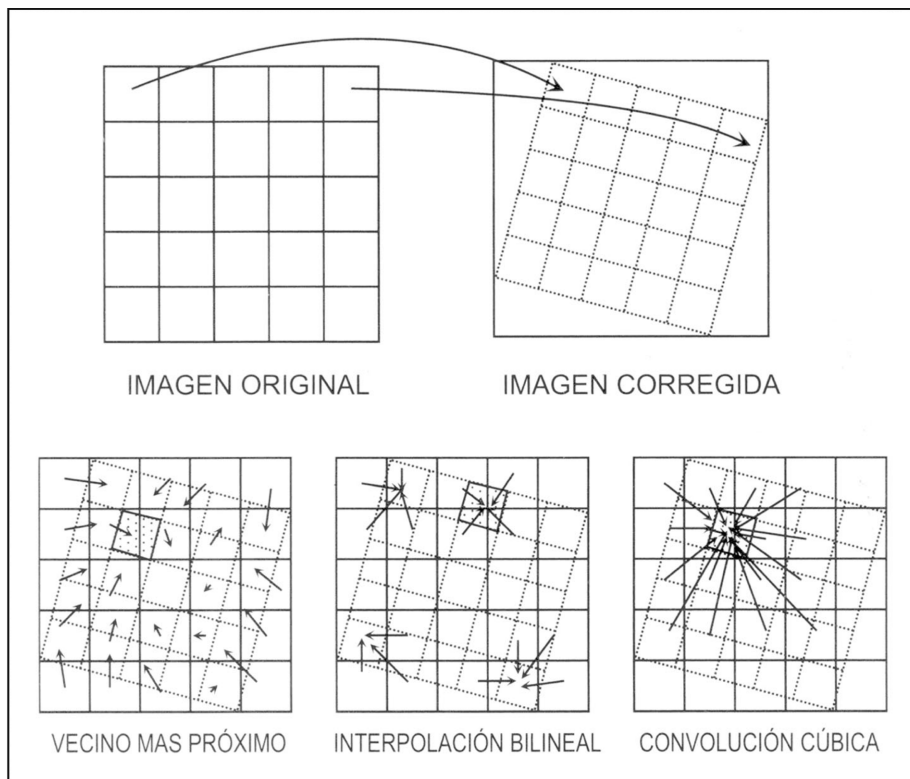


Fig. 3. Procedimientos para transferir los Nd de la imagen a su posición corregida.

da» (PINILLA, C., 1995). La ventaja de este método frente a otros (método del vecino más próximo, convolución cúbica) es que no introduce distorsiones en los rasgos lineales de la imagen, lo cual es fundamental si lo que se pretende es el análisis visual de elementos lineales como son las vías pecuarias.

4. REALCES Y MEJORAS REALIZADAS SOBRE LA IMAGEN

Se trata de técnicas orientadas a mejorar o realzar la calidad de las imágenes para facilitar el análisis visual de las mismas de forma que los rasgos de interés que presentan se hagan más evidentes. El ajuste del contraste es una de estas técnicas. Consiste en adaptar la resolución radiométrica o número de niveles digitales de la imagen a la capacidad de visualización del monitor. Generalmente el número de niveles visuales (N_v) que es capaz de distinguir el

monitor es de 256 niveles de gris, correspondiendo el nivel 0 al color negro y el 255 al blanco. La relación entre Nd y Nv es lineal de forma que los píxeles que tengan un Nd 0 serán mostrados por pantalla con color negro y los que tengan 255 con blanco, el resto de valores intermedios con el gris correspondiente de la gama.

Si observamos el histograma de la figura 4 vemos que el mínimo Nd es 17 y el máximo 255. Además la mayoría de los píxeles presentan niveles digitales comprendidos en el intervalo de 60-110 aproximadamente, por eso la imagen es gris en su mayoría. Es necesario por tanto realizar una expansión del contraste de la imagen.

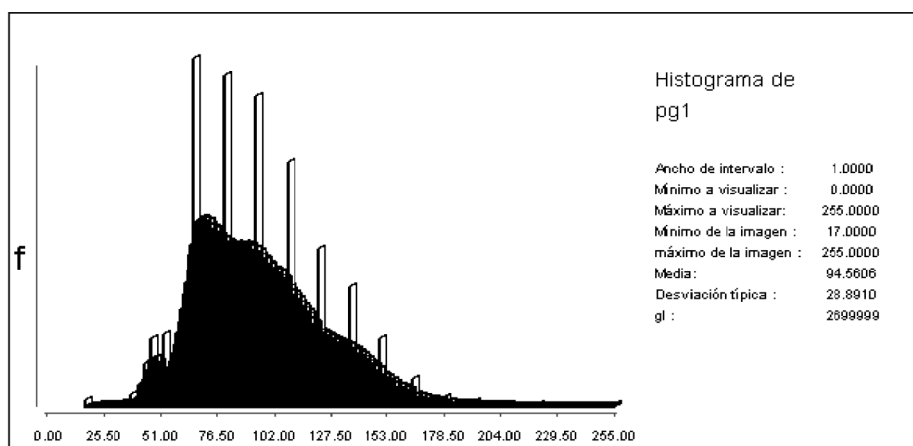


Fig. 4. Histograma de frecuencias de la imagen georeferenciada.

Las tres técnicas de expansión del contraste más utilizadas son Expansión lineal con y sin saturación y Ecuilización del histograma. Se han aplicado las tres sobre la imagen y la que mejores resultados ha dado ha sido Expansión lineal con saturación del 2,5%. Consiste en asignar al 2,5% respecto al total de píxeles de la cola izquierda del histograma el Nd 0 y al 2,5 % respecto al total de píxeles de la cola derecha del histograma el Nd 255. El resto de niveles digitales se distribuyen linealmente entre ambos márgenes. Esta técnica de ajuste es muy útil para la visualización ya que concentra los valores de salida en los valores menos extremos (y de mayor frecuencia), forzando a un intervalo de los valores extremos a tener la misma clase de salida.

El histograma y la imagen que se han obtenido como resultado de la aplicación se presentan en las figuras 5 y 6 respectivamente.

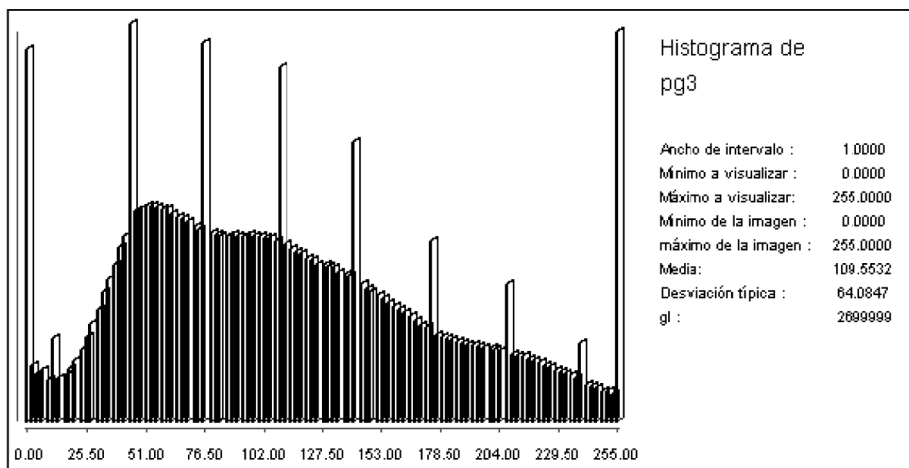


Fig. 5. Histograma de la imagen georeferenciada tras aplicar una expansión lineal con saturación del 2,5%.

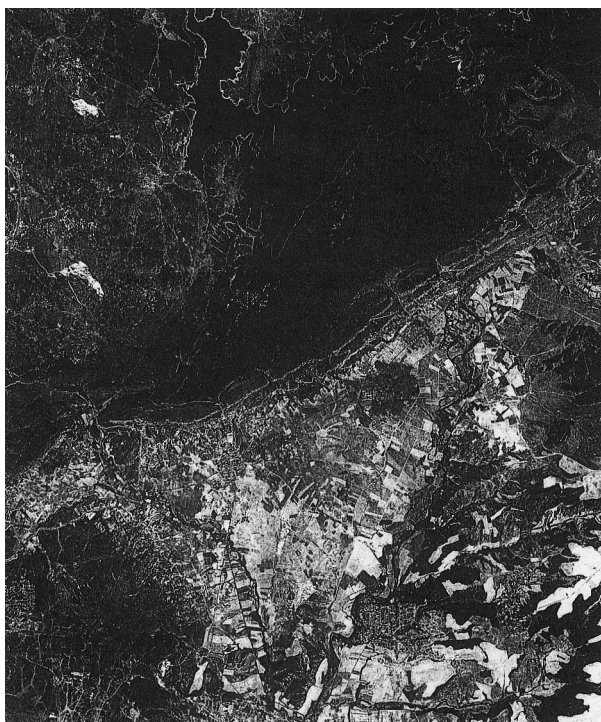


Fig. 6. Imagen realzada con expansión lineal del 2,5%.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA ZONA DE APLICACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA IMAGEN DE SATÉLITE RESTRINGIDA A DICHA ZONA

Se ha elegido el término municipal de Torremocha de Jarama para llevar a cabo el estudio sobre la visualización de vías pecuarias y detección de sus ocupaciones, conexiones y cortes. Constituyen las vías pecuarias de este municipio un ejemplo representativo del conjunto de situaciones que pueden darse en una red pecuaria.

Las características de los tramos de vías pecuarias de esta zona son muy diversas: desde tramos con una alta presencia de obstáculos e incluso en situación de abandono, hasta tramos que carecen de ocupación alguna. También es frecuente la existencia de caminos y carreteras en la totalidad del tramo o en parte de él. En cuanto a las conexiones, se dan también todo tipo de situaciones: tramos que conectan con otras vías pecuarias, con caminos, con caminos y vías pecuarias o tramos que no presentan ningún tipo de conexión. En general los cortes con carreteras son escasos, aunque no inexistentes.

Para facilitar el trabajo posterior se ha aislado el área de estudio del resto de la imagen. Para ello se han llevado a cabo los siguientes pasos (GONZÁLEZ, E., 2000):

1. *Digitalización del contorno del término municipal de Torremocha de Jarama originándose una cobertura vectorial*

Digitalizar es el proceso de trasladar los elementos espaciales de un mapa a un formato digital. Los elementos puntuales, lineales y de área del mapa se convierten en coordenadas (x,y) que se almacenan en un fichero denominado vectorial. Se han utilizado para la digitalización las hojas del mapa topográfico nacional a escala 1:25.000 que comprenden la zona de aplicación 485 III, 484 IV y 510 I).

2. *Conversión de la cobertura vectorial en una cobertura raster*

Una cobertura raster es una retícula compuesta por celdas o píxeles identificables por su número de fila y columna, de tal forma que a cada celda le corresponde un único valor relativo a la variable que se está representando. «La conversión vector-raster se conoce como rasterización de información vectorial. Básicamente se trata de volcar la información vectorial sobre las celdas del mapa raster mediante un procedimiento de presencia-ausencia: si una celda queda ocupada (parcial o totalmente) por un objeto, sea punto, línea o

polígono, se registra su presencia, y en caso contrario su ausencia» (GUTIÉRREZ PUEBLA, J., *et al.*, 1994) (véase figura 7).

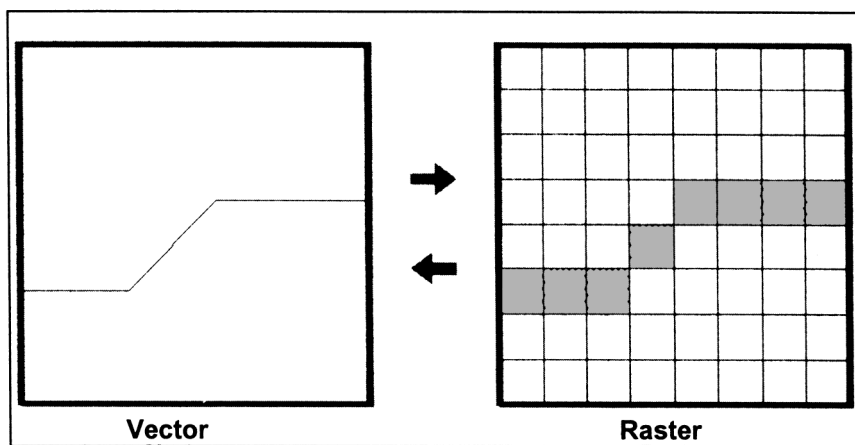


Fig. 7. Conversión vector-raster y raster-vector.

Para llevar a cabo la rasterización de nuestra cobertura vectorial se han seguido los siguientes pasos:

- a) Se ha creado una cobertura raster con valor cero en todas sus celdas. Los parámetros espaciales de dicha cobertura (límites de la imagen, número de filas y columnas) se han copiado de la imagen de satélite.
- b) Se ha volcado la cobertura vectorial sobre la capa raster creada anteriormente. En este proceso de conversión, se actualiza una imagen raster con los valores de atributo de los polígonos de un archivo vectorial. Cuando se digitalizó la cobertura vectorial de polígonos compuesta por el límite del término de Torremocha se asignó el identificador 1 a dicho contorno poligonal. Al rasterizar la cobertura vectorial se forma un polígono con sus correspondientes celdas las cuales contienen todas valor 1 en su interior. Este polígono, correspondiente al término de Torremocha, es una máscara. Se define ésta como un polígono raster en cuyo interior todas las celdas tienen valor 1, y fuera de él todas las celdas contienen valor 0.

3. *Obtención de la imagen correspondiente al término municipal de Torremocha*

Se ha aplicado la máscara creada anteriormente a la imagen original, aislando todos aquellos píxeles que se sitúan en el interior de la máscara de los que se encuentran fuera. Estos últimos pasarán a tener un Nd de 0. Para llevar a cabo esta operación se ha multiplicado la imagen original por la máscara, obteniéndose una nueva imagen cuyas celdas contienen el valor resultado de la multiplicación de los valores de las celdas correspondientes de las dos imágenes. En la nueva imagen todas las celdas que no pertenecen al término de Torremocha tienen valor 0, y el resto conservan su valor inicial al haber sido multiplicadas por 1.

6. IDENTIFICACIÓN DE LOS TRABAMOS DE VÍAS PECUARIAS VISIBLES EN LA IMAGEN

Para llevar a cabo la identificación de los tramos de vías pecuarias de Torremocha de Jarama reconocibles sobre la imagen de satélite se han seguido los siguientes pasos:

1. *Digitalización de las vías pecuarias de Torremocha de Jarama*

Se han digitalizado con una tableta digitalizadora los tramos de las vías pecuarias de Torremocha de Jarama utilizando el croquis de vías pecuarias elaborado por la Consejería de Economía de la Comunidad de Madrid (Servicio de Infraestructuras y Estructuras Agrarias) a escala 1:25.000 (año 1991). (Los tramos se han determinado en el campo y posteriormente se han señalado en dicho croquis).

Las vías pecuarias de Torremocha de Jarama según el proyecto de clasificación aprobado en 1955 son las siguientes:

1. Cañada de la Caleriza.
2. Colada de Araguz.
3. Colada de la fábrica.
4. Cordel de la casa de la barca.

2. *Identificación de los tramos de vías pecuarias en la imagen*

Con ayuda del mapa topográfico de la zona y superponiendo sobre la imagen los tramos digitalizados se ha podido llevar a cabo la identificación de los

tramos de vías pecuarias sobre la imagen, obteniéndose como resultado tres situaciones diferentes:

1. Tramos que se visualizan en su totalidad

Se visualizan totalmente los tramos 2, 3, 4 y 5 de la vía número 2, así como el tramo 1 de la vía número 3 y el tramo 1 de la vía número 5.

2. Tramos visibles solamente en algunas partes de su trazado

La mayor parte del tramo 2 de la vía número 1 no se identifica sobre la imagen, exceptuando un pequeño subtramo (subtramo 1.2) situado al final de la vía casi ya limitando con el término de Torrelaguna que coincide con la carretera de la urbanización Los Tomillares.

El tramo 2 de la vía número 3 tampoco se identifica totalmente. Se visualizan dos subtramos. El primero de mayor longitud (subtramo 3.2.1) comprende aproximadamente la mitad del tramo 2 y se inicia en el punto de inicio del tramo 2. El segundo subtramo visible (subtramo 3.2.2) de longitud aproximadamente la mitad del primero termina en el punto final del tramo 2.

El tramo 2 de la vía número 5 tampoco se visualiza en su totalidad. Sólo es posible identificar un subtramo de longitud un poco menor que la mitad del tramo cuyo punto final coincide con el final del tramo. Se trata del subtramo 5.2.

3. Tramos totalmente irreconocibles sobre la imagen

No se visualizan en ninguna parte de su trazado el tramo 1 de la vía número 1 y los tramos 1 y 6 de la vía número 2.

3. Digitalización en pantalla de los tramos y subtramos visibles

Localizados los tramos y subtramos que se identifican en la imagen de satélite se ha procedido a su digitalización en pantalla para realizar un posterior análisis de su ocupaciones, conexiones, cortes y puntos origen y final.

Se puede observar en la figura 8 los tramos y subtramos de vías pecuarias que se han identificado en la imagen de satélite.

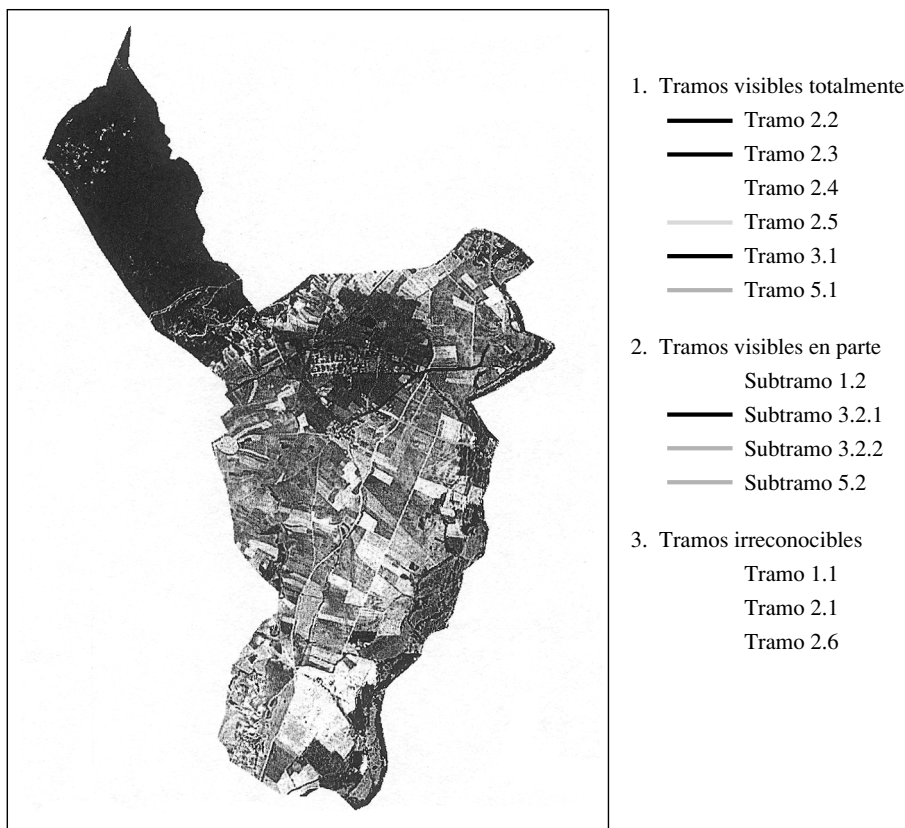


Fig. 8. Tramos y subtramos de vías pecuarias de Torremocha de Jarama visibles en la imagen de satélite.

7. DETECCIÓN DE LOS PUNTOS ORIGEN Y FINAL, OCUPACIONES, CONEXIONES Y CORTES EN LOS TRAMOS Y SUBTRAMOS VISIBLES, Y COMPARACIÓN CON LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL CAMPO REFERENTE A DICHOS FACTORES

Para cada tramo y subtramo visible se ha intentado detectar en la imagen sus puntos origen y final, ocupaciones, conexiones a caminos y vías pecuarias, y cortes con vías de comunicación, y se ha comparado dicha información con la obtenida en el campo. Se exponen a continuación los resultados obtenidos (GONZÁLEZ, E., 2000).

Subtramo 1.2

Subtramo de longitud 89,14 m, ocupado por la carretera de la urbanización Los Tomillares. Conecta en su punto final con la vía 1 de Torrelaguna (Colada de San Sebastián). Se observa en la figura 9 la urbanización y las carreteras de la misma.

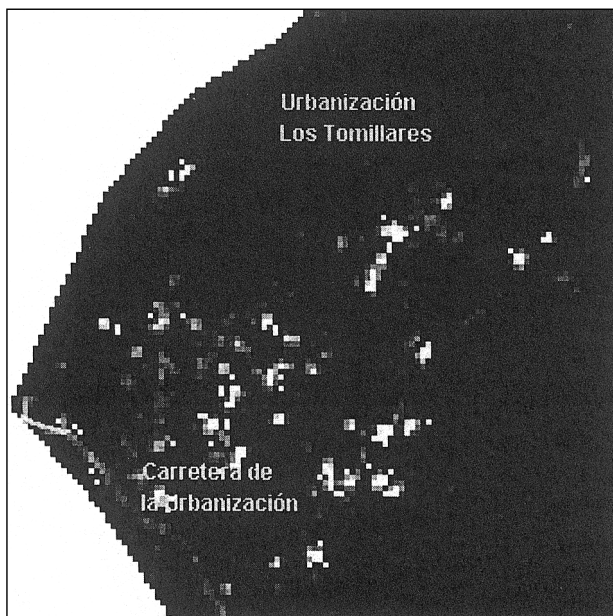


Fig. 9. Subtramo 1.2.

Tramo 2.2

De longitud 1.267,11 m. Se inicia en el camino de servicio del Canal del Jarama. Continúa por un camino cortando a la carretera M-102 que una Torrelaguna con Patones de Abajo. Próximo a la urbanización El Retiro, el tramo conexiona con el camino de servicio del Canal del Lozoya, y continúa por dicho camino hasta llegar a la carretera M-128. Continúa por esta carretera hasta la entrada al núcleo urbano de Torremocha de Jarama donde finaliza el tramo.

Se observa en la figura 10 la granja existente en la parte final del tramo, situada en el lado izquierdo de la M-128.

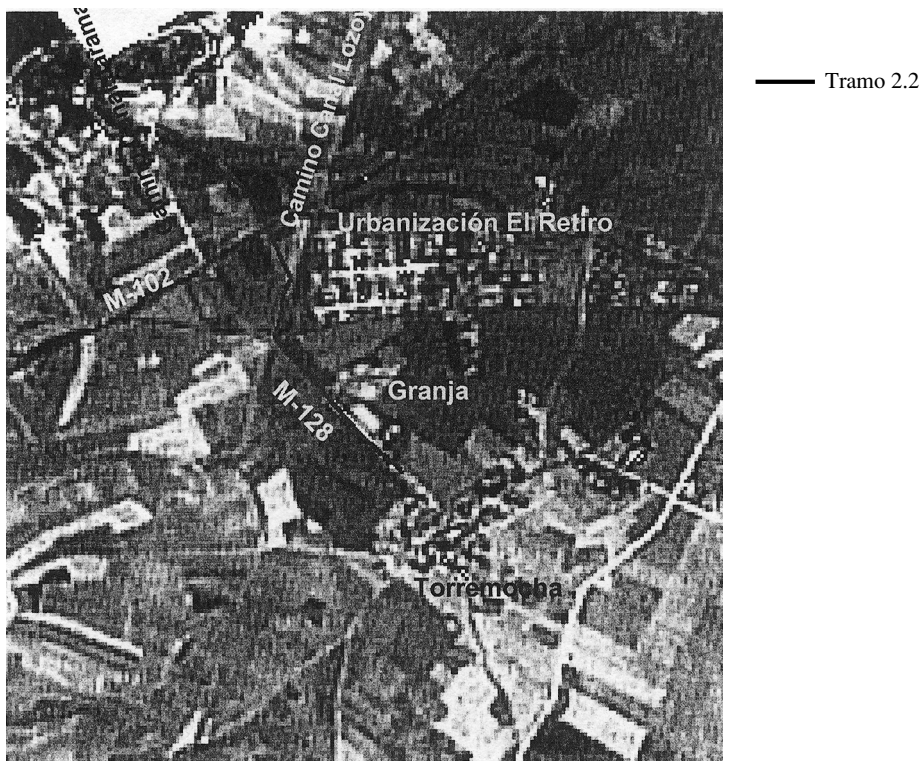


Fig. 10. Tramo 2.2.

Si comparamos la información recogida en el campo para este tramo (punto inicial y final, ocupaciones, conexiones y cortes) con la información que se puede observar en la imagen de satélite, se deduce que para este tramo en la imagen de satélite es posible detectar el punto inicial y final, todas las ocupaciones, el corte con la M-102 y la mayoría de las conexiones con caminos, exceptuando la conexión con el camino que llega hasta la granja.

Tramo 2.3

Presenta una longitud de 592 m, y está ocupado por la carretera M-128 en su totalidad. Atraviesa el núcleo urbano de Torremocha. A unos 50 m de abandonar Torremocha conexiona con el camino que une la M-128 con Patones de Abajo. Termina el tramo en el punto donde el camino de la Cañada se une

con la M-128, que a su vez es el punto de inicio de la vía 3 (Colada de la fábrica).

Al igual que en el tramo anterior es posible detectar en la imagen todas las ocupaciones, conexiones y cortes que aparecen en las fichas referidas a la información de campo.

Tramo 2.4

Tramo de escasa longitud (279,7 m), ocupado totalmente por el camino de la Cañada. En su punto inicial conexas con la Colada de la fábrica. Termina en el punto de intersección del camino de la Cañada con el camino del Canal de Cabarrús. Se observan en la figura 11 unas casas a ambos lados del camino, pero que no constituyen una ocupación del mismo.



Fig. 11. Tramos 2.3 y 2.4.

Para este tramo, toda la información de campo referente a ocupaciones del mismo, conexiones, cortes y puntos inicial y final se detecta perfectamente en la imagen de satélite.

Para los *tramos* 2.5 y 3.1, y los *subtramos* 3.2.1, 3.2.2 y 5.2 toda la información observable en la imagen referida a los puntos origen y final, ocupaciones, conexiones y cortes coincide con la información recogida en el campo.

Para el *tramo 5.1* la situación es diferente. No toda la información de campo referida a los factores considerados se detecta en la imagen. En concreto, no se visualizan en la imagen algunas ocupaciones de poco tamaño y el corte con la carretera M-128.

8. CONCLUSIONES

1. Cuando se trabaja con teledetección es fundamental elegir el tipo de sensor más conveniente dependiendo de los objetivos del trabajo. Si el objetivo es el análisis visual de una determinada zona, es fundamental utilizar un sensor con una alta resolución espacial. Las imágenes procedentes de satélites Spot HRV en modo de funcionamiento pancromático debido a su alta resolución especial son adecuadas para llevar a cabo tareas de visualización de vías pecuarias.
2. Las correcciones geométricas de las imágenes de satélite son necesarias como fase previa de trabajo si se pretende superponer otra información cartográfica. El método de Interpolación bilineal no introduce distorsiones en los rasgos lineales de la imagen, lo cual es fundamental si lo que se pretende es el análisis visual de elementos lineales como son las vías pecuarias.
3. Las técnicas de expansión del contraste están orientadas a realzar y mejorar la calidad de las imágenes para facilitar el análisis visual de las mismas de forma que los rasgos de interés que presentan se hagan más evidentes. Se utilizan cuando el número de niveles digitales que presenta la imagen es menor que el número de niveles visuales que es capaz de facilitar la consola gráfica del ordenador. De las tres formas que básicamente existen para llevar a cabo esta operación (Expansión lineal con y sin saturación y Ecuilibración del histograma) se ha elegido Expansión lineal con saturación del 2,5% ya que es una técnica de ajuste muy útil para la visualización pues concentra los valores de salida en los valores menos extremos (y de mayor frecuencia), forzando a un intervalo de los valores extremos a tener la misma clase de salida. La imagen obtenida como consecuencia de este realce se visualiza muy bien.
4. La longitud de las vías pecuarias visibles en la imagen de satélite representa un 55,4% respecto a la longitud total de vías de la zona estudiada.
5. Los tramos de vías pecuarias que presentan una anchura efectiva aproximadamente menor de 4 m no se visualizan en la imagen debido a que la resolución espacial de la misma es de 10 m.
6. De la información que se puede obtener en el campo se identifican en la imagen de satélite fundamentalmente los factores:

- Punto de partida y final del tramo.
- Ocupaciones.
- Conexiones a caminos y vías pecuarias.
- Cortes con vías de comunicación.

La información relativa a dichos factores obtenida en el campo coincide prácticamente con la información observable en la imagen para todos los tramos y subtramos visibles.

7. La teledetección es una herramienta válida para la visualización de vías pecuarias y detección de información de campo, lo cual facilita en gran medida el trabajo de campo y puede ayudar a su planificación. Sin embargo, no todos los factores medibles en el campo se pueden analizar en una imagen de satélite. Es necesario por tanto ir al campo.

Por último es importante reseñar que se ha detectado algún caso en el que el trazado de la vía pecuaria visualizado en la imagen de satélite no coincide exactamente con el trazado existente en el croquis de vías pecuarias elaborado por la Consejería de Economía (Servicio de Infraestructuras y Estructuras Agrarias) en el año 1991. Es por tanto aconsejable como paso previo en cualquier trabajo sobre vías pecuarias detectar mediante imágenes de satélite el posible error de trazado que pueda existir en los mapas o croquis de vías pecuarias existentes y subsanarlo, para obtener así una mayor calidad de trabajo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- BRACHET, G. (1986): *SPOT: The first Operational Remote Sensing Satellite*, en K. H. Szekiolda, Ed. *Satellite Remote Sensing for Resources Development*. London.
- CHEVREL, M. *et al.* (1981): «The SPOT satellite remote sensing mission». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 47.
- CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial* (3.^a edición revisada). Ediciones Rialp, S.A., Madrid.
- ESTES, J. E. y SIMONETT, D. S. (1975): «Fundamentals of imagen interpretación», en *Manual of Remote Sensing*, 1 st. Ed. (R. G. Reeves, Ed.). American Society of Photogrammetry. Falls Church.
- GONZÁLEZ ALGARRA, E. (2000): *Desarrollo de un modelo para la valoración de vías pecuarias. Aplicación a una zona de la Comunidad de Madrid: Patones, Torremocha de Jarama, Torrelaguna*. Tesis doctoral. E.T.S.I. Montes. U.P.M. Madrid.
- GONZÁLEZ ALONSO, F. (1982): *Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal*. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, J., y GOULD, M. (1994): *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Ed. Síntesis, S.A., Madrid.
- PINILLA, C. (1995): *Elementos de Teledetección*. Ed. Ra-Ma. Madrid.

- RICHARDS, J. A. (1986): *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. Berlín.
- RONALD EASTMAN, J. (1997): *Idrisi for Windows version 2.0. Tutorial Exercises*. Clark University. USA.
- SABATÉ MARTÍNEZ, A. (1997): *Análisis e interpretación de imágenes de satélite*. Dpto. de Geografía humana. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid.