

RECTIFICACIÓN Y ORTORRECTIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE: ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN

CUARTERO, A. y FELICÍSIMO, A. M.

Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría

Departamento de Expresión Gráfica. Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura.

10071 Cáceres, España

acuartero@unex.es amfeli@unex.es

RESUMEN

La corrección geométrica es un proceso que se realiza rutinariamente en teledetección pero que ofrece resultados de calidad muy variable en función del diseño del trabajo. Se destaca la importancia de tres aspectos básicos de la corrección: método (rectificación / ortorrectificación), interpretación de los estadísticos del ajuste y estimación del error de la corrección mediante puntos de control independientes. Se presentan los resultados de tres correcciones hechas con métodos diferentes y los estadísticos del error del producto final. Se destaca la gran mejora de la corrección cuando se utilizan datos de elevación (ortorrectificación) ante los peores resultados de los métodos polinómicos basados en las coordenadas planimétricas. Finalmente, se hace énfasis en la necesidad de prestar una gran atención a esta etapa del proceso debido a que la calidad de la corrección va a influir en todas las etapas posteriores del trabajo.

Palabras clave: corrección geométrica, rectificación de imágenes, ortorrectificación

ABSTRACT

Geometric correction is a routine activity in remote sensing which quality results widely vary depending on process design. Here we highlight the importance of three basic aspects on geometric correction: employed method (rectification vs. orthorectification), interpretation of goodness-of-fit statistics, and error estimation using independent control points. We present the results and their error statistics obtained using three different approaches. It should be emphasized the great improvement in correction gained when using elevation data (orthorectification) over polynomial approaches based on planimetric coordinates. Finally, in order to avoid or minimize error propagation, we stress the importance of this step on the quality of the final product, as geometric correction is a milestone affecting each further step in the analysis.

Key words: geometric correction, image rectification, orthorectification

1. Introducción y objetivos

En el contexto de la teledetección, entendemos por *corrección geométrica* a un proceso de cambio de *espacio de referencia*: la imagen original tomada por el sensor está definida en un sistema local donde la localización de cada píxel queda determinada por su situación en filas y columnas: es el *espacio imagen*. La corrección geométrica ajusta esta imagen a un nuevo espacio de referencia donde cada píxel tiene asignado el valor XY que le corresponda en un sistema de proyección geográfica determinado: es el *espacio de proyección*.

En la práctica de la teledetección con imágenes de alta resolución existen dos procedimientos para realizar la corrección geométrica de una imagen: la rectificación y la ortorrectificación (también llamada ortocorrección). El uso de otros métodos de corrección basados en parámetros orbitales no ha dado buenos resultados con estos sensores (Huseby and Solberg, 1998).

Tanto en la rectificación como en la ortorrectificación se utiliza un conjunto de *puntos de apoyo* que podemos definir como puntos identificables en la imagen de los cuales se conocen también sus coordenadas en el sistema de proyección geográfica. Es decir, se conocen las coordenadas en los dos espacios de referencia.

El objetivo de este trabajo es comprobar la calidad de la corrección geométrica de imágenes de satélite en función del método de trabajo. Para ello se aplicarán los dos métodos más habituales en teledetección, rectificación y ortorrectificación, a una imagen SPOT-HRV de una zona montañosa de la provincia de Granada. Asimismo, se analizará la influencia del número de puntos de apoyo en la calidad del ajuste. Paralelamente se revisarán y definirán los conceptos básicos del proceso para contribuir a evitar algunos errores de concepto o interpretación que la bibliografía muestra como comunes.

2. Los métodos

2.2. La rectificación geométrica

En el primer método de corrección, las coordenadas de los puntos de apoyo identificados en la imagen se utilizan para calcular funciones de ajuste entre los dos espacios de referencia. En este caso, las funciones son bidimensionales ya que sólo intervienen las coordenadas X e Y. El objetivo es conseguir una expresión que estime la función de correspondencia entre ambos espacios; genéricamente $X_p = \xi_1(X_I, Y_I)$, $Y_p = \xi_2(X_I, Y_I)$, donde X_p e Y_p son las coordenadas en el espacio de proyección y X_I e Y_I las del espacio imagen. Este tipo de corrección debería llamarse formalmente *rectificación*.

La rectificación no puede resolverse normalmente mediante una transformación de primer grado, que permitiría transformaciones de rotación, traslación y cambio de escala, ya que los espacios de referencia están distorsionados de forma compleja: proyección cónica o cilíndrica en el espacio imagen y la proyección geográfica en el espacio de proyección.

Es más habitual que las funciones ξ sean funciones polinómicas de segundo o tercer grado ajustadas por mínimos cuadrados. Las funciones se calculan a partir de las coordenadas de los puntos de apoyo y son bidimensionales puras, es decir, la coordenada Z o elevación de cada punto no se considera.

La gran ventaja de la rectificación es la sencillez del método y que no es necesario disponer de otros datos que la propia imagen y los puntos de apoyo. Su gran inconveniente es que ignora el relieve y considera implícitamente planos ambos espacios de referencia. En Buiten y Putten (1997) puede encontrarse un buen ejemplo de análisis de este tipo de transformaciones pero donde no se utilizan puntos de control independientes para la medida del error. Oetter *et al.* (2001, 142) utilizan polinomios de primer y segundo grado para realizar un registro multitemporal y posteriormente realizar la corrección conjunta del total de imágenes.

2.3. La ortorrectificación

El segundo método incluye la elevación de cada píxel en el cálculo de las funciones de transformación. Como es sabido, el motivo que justifica este proceder es que la elevación de un punto del terreno provoca un desplazamiento aparente de dicho punto en la imagen. Este desplazamiento depende de parámetros como la localización y orientación de la imagen, de la propia elevación del punto en el terreno y otros específicos del tipo de sensor; en el caso de las cámaras fotogramétricas, de la posición planimétrica del punto respecto a la intersección del eje óptico de la toma con el terreno.

El principal inconveniente de este método es la necesidad de disponer de un modelo digital de elevaciones (MDE) de la zona cubierta por la imagen. Una opción posible es la construcción del MDE de la zona a partir de imágenes estereoscópicas si el sensor utilizado lo permite. En este caso tendríamos garantizado un ajuste perfecto entre las imágenes y el MDE aunque sería necesario disponer de una aplicación informática fotogramétrica. La otra opción es conseguir el MDE de fuentes externas para luego utilizarlo en la ortorrectificación.

El método de cálculo se basa, en este caso, en la reconstrucción de la geometría de la toma a partir de las coordenadas de los puntos de apoyo en el espacio imagen y espacio de proyección. Los trabajos que utilizan este método son menos numerosos y puede observarse que los autores o la temática suelen estar relacionados con la fotogrametría (por ejemplo, Vassilopoulou *et al.* 2002).

2.3. El control de calidad

Sea cual sea el método utilizado para la corrección geométrica, el resultado es una imagen modificada geoméricamente para que se adapte al espacio de proyección. La corrección ha cambiado de lugar los píxeles en función de las diferentes propiedades geométricas de los espacios de referencia. La calidad de la corrección es, en principio, una incógnita ya que depende de numerosos factores y debe ser comprobada empíricamente.

Debemos hacer aquí una distinción importante entre dos conceptos: *calidad del ajuste* y *calidad de la corrección geométrica*. La calidad del ajuste mide exclusivamente la capacidad de las ecuaciones de transformación para calcular las coordenadas de los puntos de apoyo en el espacio de proyección a partir de las del espacio imagen. Este ajuste puede ser bueno, incluso perfecto, pero no es garantía de la corrección del producto final. Un ejemplo aclarará la cuestión: si partiendo de sólo tres puntos de apoyo se realiza una transformación de primer grado de una imagen, siempre es posible construir una transformación basada en rotación, traslación y cambio de escala que haga encajar perfectamente las coordenadas de los puntos de apoyo en ambos sistemas de referencia. El ajuste, por tanto, es perfecto pero eso no garantiza que la imagen se adapte igualmente bien en su totalidad al nuevo espacio de proyección: la corrección de la transformación *sólo está garantizada en los propios puntos de apoyo*, no en el resto de las localizaciones.

Por este motivo se recomienda en los manuales básicos usar un conjunto de puntos de apoyo más numeroso que el estrictamente necesario para construir las ecuaciones de transformación. La redundancia de datos hará que la bondad del ajuste tenga significación estadística y nos dará una idea más fiable de hasta qué punto las ecuaciones de transformación han podido relacionar los puntos de apoyo en ambos espacios de referencia.

La calidad de la corrección mide la exactitud posicional del producto: la imagen corregida. Un producto de buena calidad es aquel en el que todos y cada uno de los píxeles de la imagen original han sido colocados en el sitio correcto en el espacio de proyección. La calidad de la corrección sólo puede estimarse a partir de un conjunto de *puntos de control independiente de los puntos de apoyo*. En nuestra opinión no es razonable extrapolar la bondad del ajuste a la del proceso global a pesar de que se presentan en ocasiones como si tuvieran el mismo significado. Por ejemplo, en Hansen *et al.* (2001, 53), Reese *et al.* (2002, 40) y Wicks *et al.* (2002, 166) se mencionan correcciones de imágenes TM sin hacer referencia al método ni a los puntos de control. A partir de esto y de los valores del ECM reseñados (0.375, 0.5 y 1 píxel respectivamente) parece claro que se refiere a la bondad del ajuste y no a la del proceso global. En otros casos el proceso de corrección parece considerarse de interés marginal ya que sólo se menciona que se ha realizado pero sin revelar el método ni la calidad del ajuste o resultados (ver, por ejemplo, Mumby y Edwards, 2002, 249, Lunetta *et al.* 2002, Franco-López *et al.*, 2001, 255 o Liu *et al.*, 2002, 265). En otra aproximación Cheng *et al.* (2000), conscientes de las limitaciones de los métodos polinómicos, proponen acciones complementarias para reducir los errores residuales pero su aproximación sigue siendo sobre el ajuste, no sobre el producto final.

La comparación de las coordenadas reales (medidas en el campo) y predichas (resultante de la corrección) de los puntos de control permite disponer de estadísticos que nos valoran, ahora ya sí, la calidad de la corrección. En este proceso podemos interpretar que a cada píxel en el espacio de proyección se le asigna un *vector de error* que define la diferencia entre su localización espacial real y la calculada en la corrección. Lógicamente, la localización real tanto de los puntos de apoyo como de los de control debe determinarse por métodos independientes que, habitualmente, son medidas GPS. Sadeghian *et al.* (2001) es una muestra de los muy escasos trabajos que utilizan puntos de control independientes. En este caso el problema está en el escaso número de puntos utilizado (7) que se refleja en una bajísima fiabilidad del valor de ECM que presentan los autores. Estos aspectos ya fueron tratados por Li (1991) que propone estadísticos para calcular la fiabilidad del control de error en función del número de puntos de control.

El conjunto de vectores de error puede analizarse estadísticamente mediante métodos de estadística circular que nos dan información sobre la magnitud del error, su aleatoriedad o la presencia de sesgos, así como la isotropía o anisotropía en su distribución espacial. Estos métodos no son de común aplicación a pesar de que la teoría estadística ya está sólidamente establecida (Mardia, 1972, Fisher, 1993).

3. Material

Este trabajo se ha realizado con imágenes SPOT-HRV de la zona Sureste de Granada ([figura 1](#)). Se ha dispuesto de un par estereoscópico de la zona lo que ha permitido construir el modelo digital de elevaciones con el fin de realizar la ortorrectificación y compararla con la rectificación. El tamaño de píxel de estas imágenes es de 10 m. La corrección geométrica se ha realizado con la imagen tomada verticalmente, reservando la toma oblicua para la construcción del MDE por métodos fotogramétricos.

La selección de un total de 20 puntos de apoyo se realizó previamente en las imágenes para asegurar su identificación y sus coordenadas fueron tomadas posteriormente en el campo con técnicas de GPS diferencial (DGPS) que garantizan precisiones de unos cm ([figura 2](#)). Con las mismas técnicas se determinó la traza de un conjunto de caminos presentes en la zona para realizar el control del ajuste de las imágenes corregidas. Llamaremos al conjunto de estos datos *líneas de control* ([figura 3](#)).

Las rectificaciones se realizaron con la aplicaciones ENVI 3.4 (Research Systems, <http://www.rsinc.com/>) y la ortorrectificación con SOCET SET 4.3.1 (Leica Geosystems, <http://www.gis.leica-geosystems.com/>). Para la comparación de imágenes y el control del error se utilizó ArcView GIS (ESRI, <http://www.esri.com/>).

4. Resultados

4.1. Rectificación

La rectificación se realizó mediante el cálculo de polinomios de primer y segundo grado utilizando desde un mínimo de 4 puntos de apoyo hasta la totalidad de los 20 disponibles. Los resultados de la calidad del ajuste, expresada mediante el error cuadrático medio o ECM, se muestran más adelante en la [tabla 1](#), donde puede observarse el mejor ajuste que se consigue con las transformaciones de segundo grado respecto a las de primero. Tal como hemos comentado anteriormente, los ajustes realizados con el número mínimo de puntos de apoyo son exactos pero obviamente no fiables.

4.2. Ororrectificación

Como ya se ha indicado, esta corrección exige disponer de un MDE de la zona. En este trabajo no se utilizó un MDE previo sino que, al disponer de un par estereoscópico SPOT-HRV, se construyó a partir de las propias imágenes originales.

Este proceso se realizó en una estación fotogramétrica digital por métodos fotogramétricos convencionales (aunque adaptados expresamente al caso SPOT). En este caso, los puntos de apoyo son utilizados en el proceso de orientación de las imágenes. Como en el caso anterior, se varió el número de puntos de apoyo desde el mínimo posible (4) hasta el total de 20.

La [tabla 1](#) muestra los resultados conjuntamente con los de rectificación polinómica. Puede observarse el mejor ajuste del caso tridimensional frente a los que sólo usan las coordenadas X e Y, así como una mayor estabilidad en los resultados, que son menos variables. Debe hacerse énfasis en la escasa fiabilidad de los ajustes polinómicos cuando el número de puntos de apoyo está próximo al mínimo exigible. Por este motivo se observa, por ejemplo, un fuerte incremento en el error cuando se pasa de 11 a 12 puntos en el ajuste de segundo grado.

4.3. Control del error

Como hemos indicado antes, un buen ajuste en los puntos de apoyo no garantiza una buena corrección global de la imagen. Para comprobar esto se han superpuesto las líneas de control tomadas con GPS sobre las imágenes sometidas a corrección con los diversos métodos. Ningún punto de estas líneas forma parte de los puntos de apoyo por lo que pueden considerarse una muestra de puntos de control independiente.

En caso de un buen ajuste, las líneas GPS deberían superponerse con fidelidad a los caminos o pistas visibles en la imagen corregida. Se han elegido una zona de la imagen para realizar el control de la corrección dentro de la cual se ha medido el error a partir de las distancias entre cada punto GPS y los caminos reconocibles en la imagen ([figura 4](#)). Los resultados se expresan

como error medio y han sido calculados con tramos de un mínimo de 226 puntos de control. Hemos de hacer la salvedad de que la localización exacta de los caminos en las imágenes es difícil de precisar. Por ese motivo, el análisis se ha repetido 5 veces (previo borrado de los vectores anteriores) y se ha incluido un factor aleatorio de desplazamiento en las medidas equivalente al tamaño del píxel (10 m); de esta forma, sin perder de vista que se trata de estimaciones, podemos estar razonablemente seguros de no infravalorar los resultados del error. La [tabla 2](#) muestra los resultados obtenidos para los tres métodos probados.

En la [figura 5](#) se muestran los ejemplos de la correspondencia entre las líneas de control y las imágenes corregidas por los diversos métodos en la zona de ejemplo. En concordancia con la tabla anterior, puede observarse una mejor correspondencia de la ortorrectificación frente a la rectificación polinómica de segundo grado y de ésta frente a la de primer grado. Comparando las tablas [1](#) y [2](#) podemos observar que el error de la corrección supera al del ajuste, aspecto que parece lógico en función de los comentarios que hemos hecho anteriormente. En el caso de la ortorrectificación el incremento es del 17% y de un 19% en el caso de la transformación polinómica de primer grado. Sin embargo, en la transformación de segundo grado la relación EM/ECM es mucho mayor. Este resultado da a entender que aunque se ha podido realizar un ajuste con un éxito relativo aparente, sólo debe aplicarse a los propios puntos de apoyo y no al producto final.

5. Conclusiones y discusión

La corrección geométrica de las imágenes tomadas por satélites parece, en principio, una cuestión ya resuelta. Sin embargo, lo más habitual en el trabajo diario es limitarse a realizar rutinariamente rectificaciones basadas en puntos de apoyo. En este trabajo hemos querido llamar la atención sobre la limitada calidad que se consigue con este tipo de procedimiento ante la corrección mediante modelos digitales de elevaciones, que hace intervenir la elevación de cada píxel en los cálculos de cambio de espacio de referencia. La baja calidad de los resultados puede pasar inadvertida debido al uso de un número muy reducido de puntos de apoyo y a la ausencia de control del error mediante puntos de control independientes. En ocasiones se llegan a eliminar los puntos de apoyo con error elevado buscando un mejor ajuste aparente pero carente de significado estadístico.

El segundo aspecto clave es confundir la calidad del ajuste con la calidad de la corrección geométrica del producto final. En este sentido, hemos destacado en este trabajo que la bondad del ajuste sólo es aplicable a los propios puntos de apoyo, pudiendo existir un error significativo en zonas diferentes de la imagen. No faltan ejemplos de trabajos donde la ausencia de puntos de control independientes hacen que sólo se aporte como prueba de la calidad del proceso el ECM del ajuste (ver apartado sobre el control de calidad).

Los resultados han mostrado la necesidad de utilizar la elevación en el cálculo de la corrección geométrica. Esta necesidad es aplicable no sólo a las correcciones geométricas en sentido estricto sino también a trabajos donde se deben ajustar imágenes entre sí, multitemporales o procedentes de sensores diversos. Por ejemplo, Fuller *et al.* (1998, 107) analizan imágenes multitemporales y destacan los problemas derivados de una mala corrección geométrica en los resultados de los análisis; sin embargo, no queda claro si el ECM de 0.8 píxeles es el error del ajuste

o del control con puntos independientes. Algo similar ocurre en Buiten y Putten (1997), donde sólo se analizan los errores de los puntos de apoyo generalizando los resultados al proceso global de corrección. Esto les lleva a plantear en algún caso (p. 71) la aceptación de transformaciones de primer grado ya que los residuales de los puntos de apoyo no varían con el aumento del grado de ajuste polinómico. Esto puede ser cierto para los propios puntos de apoyo pero no puede aplicarse con garantías al proceso global de corrección.

Finalmente, queremos destacar la necesidad de disponer de un número elevado de puntos de control para realizar las estimaciones de error. El método usado en este trabajo es simple ya que básicamente se trata de un receptor GPS montado sobre un vehículo y trabajando en modo diferencial. Este método permite disponer de un número muy elevado de puntos de control con un esfuerzo reducido y una exactitud razonable (errores inferiores a 1 m). Una línea de trabajo interesante es la resolución del problema de detección de las pistas y caminos mediante técnicas de procesamiento de imágenes; la detección automática podría completarse con el cálculo también automático de los vectores de desplazamiento. El desarrollo de estos métodos supondría un avance notable en el uso de las líneas de control para la valoración del error posicional.

Agradecimientos

A Aurensa, por la cesión de las imágenes SPOT-HRV para este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Buiten, H. J.; Putten, B. van (1997): "Quality assessment of remote sensing image registration and testing of control point residuals analysis", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52, pp. 57-73.
- Cheng, K-S., Yeh, H-C., Tsai, C-H. (2000): "An anisotropic spatial modeling approach for remote sensing image rectification", *Remote Sensing of Environment*, 73, pp. 46-54.
- Fisher, N. I. (1993): *Statistical analysis of circular data*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Franco-Lopez, H., Ek, A. R., Bauer, M. E. (2001): "Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the *k*-nearest neighbors method", *Remote Sensing of Environment*, 77, pp. 251-274.
- Fuller, R. M., Wyatt, B. K., Barr, C. J. (1998): "Countryside survey from ground and space: different perspectives, complementary results", *Journal of Environmental Management*, 54, pp. 101-126.
- Hansen, M. J., Franklin, S. E., Woudsma, C. G., Peterson, M. (2001): "Caribou habitat mapping and fragmentation analysis using Landsat MSS, TM, and GIS data in the North Columbia Mountains, British Columbia, Canada", *Remote Sensing of Environment*, 77, pp. 50-65.
- Huseby, R. B., Solberg, R. (1998): *A model-based approach for geometric correction of optical satellite images*. Report 932, 24 p. Oslo, Norwegian Computing Center.
- Li, Z. (1991): "Effects of check point on the reliability of DTM accuracy estimates obtained from experimental test". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 10, pp. 1333-1340.

Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003): "Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión", *GeoFocus (Artículos)*, n° 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157

- Liu, X-H., Skidmore, A.K., Oosten, H. van (2002): "Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, pp. 257–268.
- Lunetta, R. S., Ediriwickrema, J., Johnson, D. M., Lyon, J. G., McKerrow, A. (2002): "Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA", *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 258–270.
- Mardia, K. V. (1972): *Statistics of directional data*. London, Academic Press.
- Mumby, P. J., Edwards, A. J. (2002): "Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy", *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 248-257.
- Oetter, D. R., Cohen, W. B., Berterretche, M., Maiersperger, T. K., Kennedy, R. E. (2000): "Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data", *Remote Sensing of Environment*, 76, pp. 139-155.
- Reese, H., Nilsson, M., Sandström, P., Olsson, H. (2002): "Applications using estimates of forest parameters derived from satellite and forest inventory data", *Computers and Electronics in Agriculture*, 37, pp. 37-55.
- Sadeghian, S., Zojj, M. J. V., Delavar, M. R., Abootalebi, A. (2001): "Precision rectification of high resolution satellite imagery without ephemeris data", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3, 4, pp. 366-371.
- Vassilopoulou, S., Hurni, L., Dietrich, V., Baltsavias, E., Pateraki, M., Lagios, E., Parcharidis, I. (2002): "Orthophoto generation using IKONOS imagery and high-resolution DEM: a case study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece)", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57, pp. 24– 38.
- Wicks, T. E.; Smith, G. M.; Curran, P. J. (2002): "Polygon-based aggregation of remotely sensed data for regional ecological analyses", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, pp. 161–173.

TABLAS

Tabla 1. Valores de la calidad del ajuste en las rectificaciones geométricas mediante funciones polinómicas de primer y segundo grado y en la ortorrectificación.

PA	ECM, grado 1	ECM, grado 2	ECM, orto
20	35.4	19.6	12.3
19	32.6	20.0	12.4
18	33.5	20.4	12.5
17	33.3	21.0	12.5
16	31.2	19.2	12.3
15	32.2	19.7	12.3
14	33.3	20.2	12.5
13	32.3	18.9	11.1
12	32.5	19.0	11.9
11	31.0	12.7	11.6
10	32.2	12.9	10.9
9	22.3	0.0	10.8
8	23.4	-	11.2
7	24.9	-	11.7
6	26.6	-	12.1
5	28.5	-	10.4
4	0.0	-	10.7

PA: número de puntos de apoyo, ECM: error cuadrático medio (m)

Tabla 2. Resultados de la medida del error mediante líneas de control en las tres zonas mediante los diferentes métodos de corrección geométrica.

Relación entre el error de la corrección y el error del ajuste.

EM, error medio (m)	Tipo de corrección		
	ECM, grado 1	ECM, grado 2	ECM, orto
Relación EM/ECM	42.0	33.3	14.4
	1.2	1.7	1.2

FIGURAS



Figura 1. Localización de la provincia de Granada y de la zona de trabajo en el Sureste de la Península Ibérica.

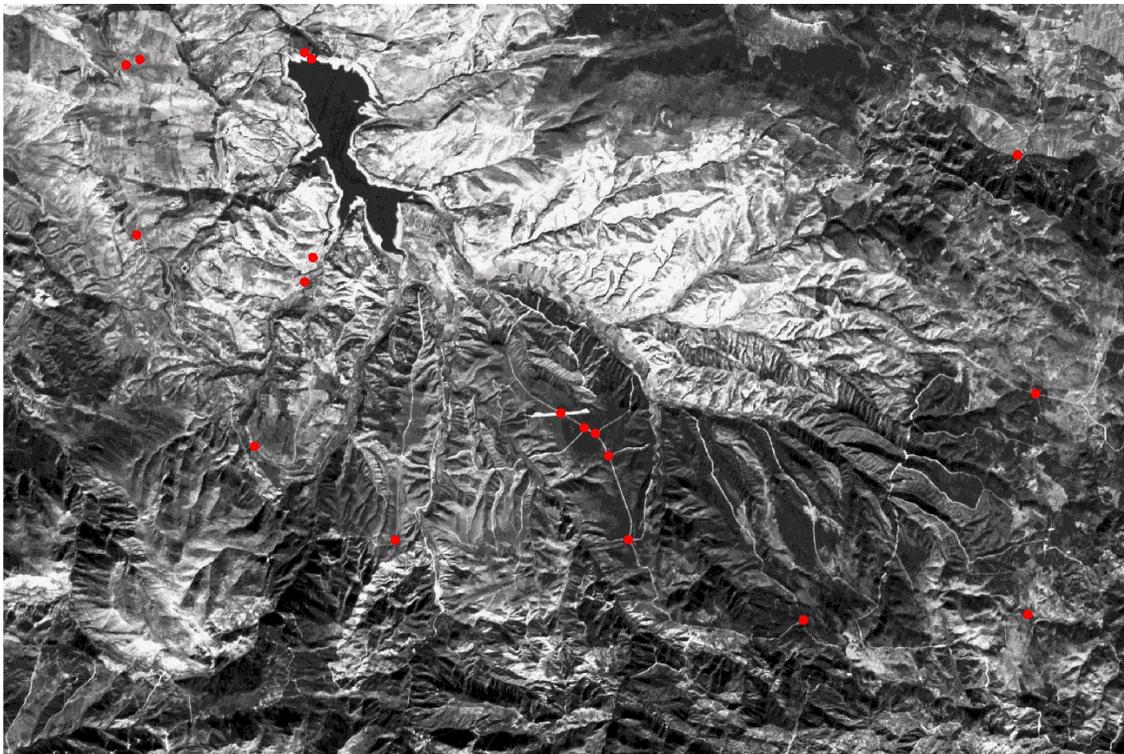


Figura 2. Puntos de apoyo y tomados con métodos DGPS sobre la zona de trabajo

Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003): "Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157

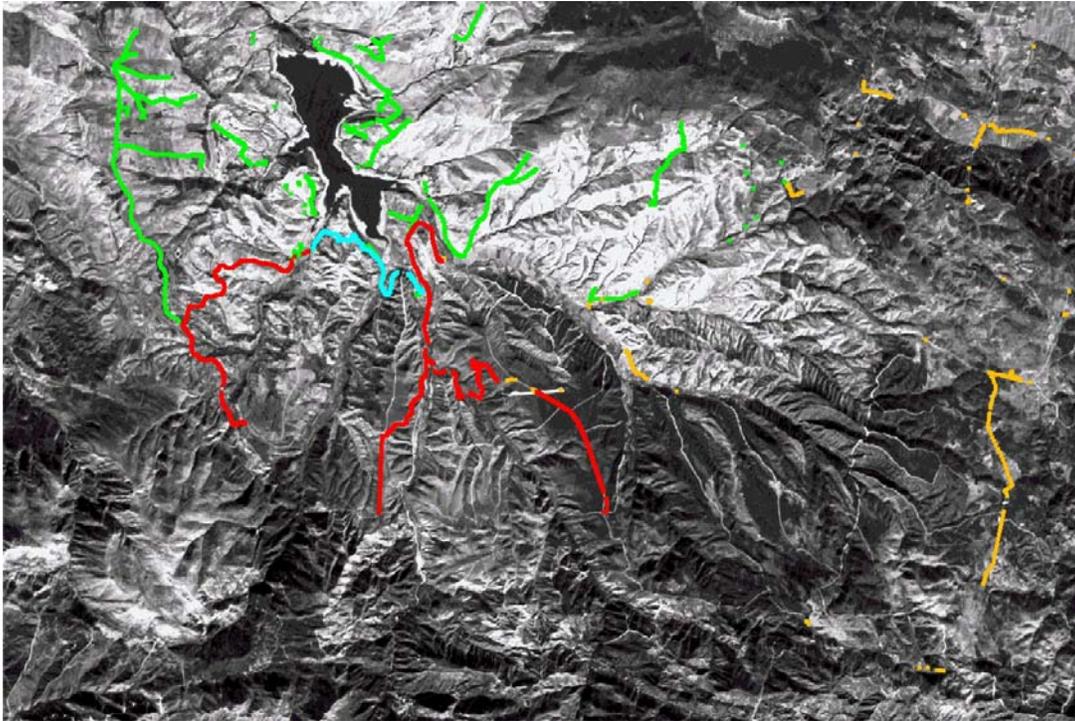


Figura 3. Líneas de control tomadas con métodos DGPS sobre la zona de trabajo.
Los colores representan conjuntos de datos tomados en días diferentes.

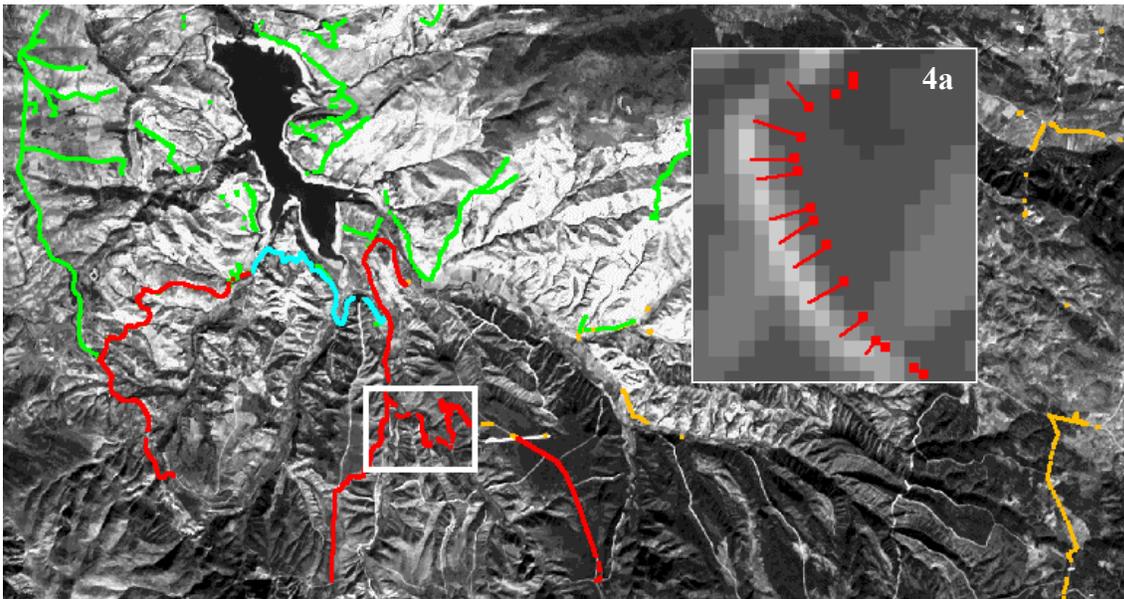
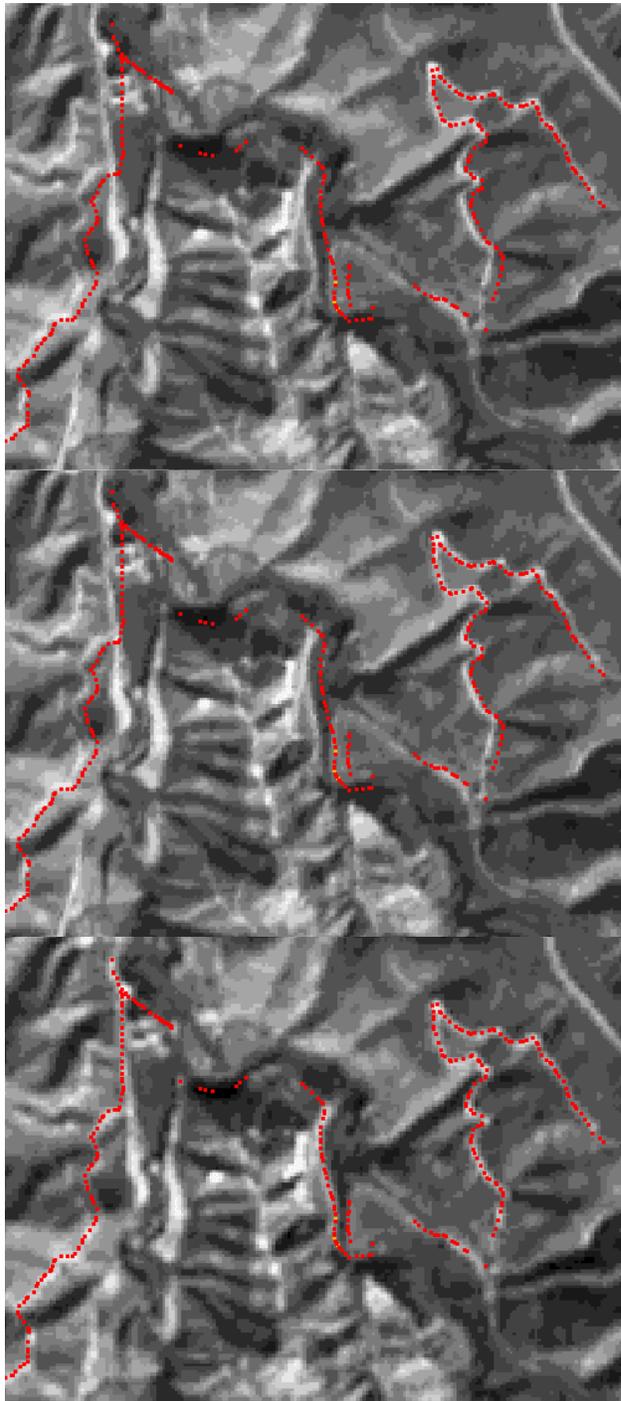


Figura 4. El rectángulo blanco encuadra la zona donde se ha realizado la medida del error a partir de las líneas de control. En la imagen 4a superpuesta se muestra el trazado de los vectores de error para un fragmento de la imagen.

Cuartero, A., Felicísimo, A. M. (2003): "Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión", *GeoFocus (Artículos)*, n° 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157



Rectificación polinómica de primer grado

Rectificación polinómica de segundo grado

Ortorrectificación

Figura 5. Superposición de líneas de control sobre las imágenes corregidas geoméricamente con 20 puntos de apoyo en la zona de ejemplo. Puede observarse el diferente ajuste de los puntos GPS según el método usado y la casi perfecta superposición en la ortorrectificación.