CONTROL GEOMETRICO DE IMAGENES QUICKBIRD PARA FINES CARTOGRAFICOS

Nilda Sánchez Martín. nilda@usal.es
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales
Universidad de Salamanca
Av. Filiberto Villalobos 119
37007 SALAMANCA

Carlos Pérez Gutiérrez. carpegu@usal.es
E.U.P. Superior de Ávila
Universidad de Salamanca
Av. Sto. Tomás s/n
05003 ÁVILA

Palabras clave

Ortorrectificación, ortoimagen, cartoimagen, QuickBird, IKONOS, alta resolución espacial.

Resumen

La cartografía elaborada a partir de imágenes de alta resolución espacial se ha convertido en una de las actividades de mayor producción y demanda en la actualidad. Esta posición emergente supera en ciertos casos a otras vertientes tradicionales. Fotogrametría y Teledetección compiten en la confección de cartografía de imagen (ortoimágenes, cartoimágenes) complementándose entre sí, si bien desde concepciones ligeramente diferentes.

Actualmente, las imágenes satelitales de muy alta resolución espacial (VHR) más extendidas son IKONOS y QuickBird, que ofrecen distintos productos según el nivel de tratamiento geométrico previo que se les haya aplicado. El presente trabajo analiza la metodología y problemática asociada a la obtención de cartografía de imagen a escala media y grande mediante imágenes QuickBird. Se analizarán los dos productos que comercializa Digital Globe desde el punto de vista geométrico: la imagen "en bruto" o Basic Imagery, y la Standard Imagery, que incluye una rectificación previa aproximada.

Se abordará la aplicación de los métodos más usuales de ortorrectificación y el estudio de los errores asociados a los Puntos de Control en Tierra (GCPs) y los puntos de control independientes (CPs). Seguidamente se efectúan una serie de test y simulaciones que permiten valorar la calidad métrica (en términos de posición geométrica y precisión asociada) de los objetos representados en las distintas ortoimágenes generadas.

Finalmente, queremos hacer una reflexión acerca de la idoneidad de estas imágenes VHR para hacer cartografía a escala grande desde el punto de vista métrico.

1. Introducción

La irrupción en el mercado de imágenes VHR ha creado nuevos retos de diseño cartográfico y tratamiento métrico, accediendo a escalas de representación en torno a la 1:10.000, lo que hasta hace unos pocos años era impensable.

En este trabajo se muestra la experiencia desarrollada en la obtención de ortoimágenes a partir de información procedente del satélite QuickBird. El fin perseguido es la incorporación de las imágenes dentro de la producción de cartografía de imagen a escalas medias y grandes, integrándolas con cartografía vectorial ya existente.

Hasta la fecha, las imágenes de alta resolución han tenido una gran acogida y divulgación en tareas de actualización de cartografía topográfica (catastro, parcelarios, urbanos), temática (usos de suelo, vegetación, clases agrológicas, etc.) e implementación de datos geográficos dentro de aplicaciones SIG. Para la incorporación de la imagen es necesario el control del propio proceso de ortorrectificación y de la métrica del producto resultante. Este

es el objetivo del presente estudio, en el que realizaremos una comparativa de los resultados de distintos métodos de ortorrectificación sobre dos imágenes pancromáticas QuickBird, la Standard Imagery y la Basic Imagery.

2. Productos QuickBird y su relación con la ortorrectificación

Las imágenes distribuidas por Digital Globe, atendiendo a su componente métrica, se pueden caracterizar en los siguientes tipos:

2.1. Basic Imagery

Es el producto más básico, dirigido a usuarios que deseen efectuar la ortorrectificación por sus propios medios. Consecuencia de ello, presenta únicamente corrección radiométrica y corrección por sensor (focal y chip, distorsiones ópticas y distorsiones de barrido).

La escena es de un tamaño mínimo de 16.5x16.5 km, y como metadatos se proporcionan los datos de la toma (altitud y efemérides) y el modelo de cámara. Esta información resulta de interés al ortorrectificar según el modelo paramétrico o riguroso. Paralelamente, se adjuntan los coeficientes de funciones racionales (RPCs) para la transformación de la imagen atendiendo a este método. Por tanto no se puede aludir a la resolución geométrica en unidades terreno, debido a que la imagen se remuestrea en un sistema de coordenadas definido para el modelo ideal de la cámara en lugar de cualquier sistema cartográfico terrestre.

2.2. Standard Imagery

Además de la corrección radiométrica, la imagen presenta una corrección geométrica preliminar. A la corrección de geometría propia de la imagen Basic, se le añade la corrección de distorsiones por posición en la órbita y altitud del sensor, rotación y curvatura terrestre y distorsión panorámica [1].

A su vez, existen dos nuevos niveles de tratamiento: Standard Imagery, que corrige de forma aproximada el desplazamiento producido por el relieve mediante un Modelo Digital de Elevación (DEM) de baja precisión; y la Orthoready Standard, donde este proceso no se realiza, y en su lugar se proporcionan los coeficientes de las funciones racionales que podrán ser utilizados en una georreferenciación hecha por el propio usuario auxiliándose de un DEM más refinado para su zona.

Con cierta crítica, el producto Standard Imagery no puede considerarse como ortorrectificado. El DEM de cobertura mundial utilizado por Digital Globe (GTOPO30) no reúne las características adecuadas para las precisiones que una resolución geométrica por debajo del píxel requieren. Aparte de ello, aún disponiendo de un DEM de la precisión adecuada, las propias efemérides de QuickBird no resultan lo suficientemente estables, lo que hace que la condición de colinealidad no se cumpla de manera satisfactoria en los términos que una resolución de 1m requeriría.

Como evidencias de lo anterior, la precisión estimada del producto en "geo-localización absoluta" es de 23 m para el 90% de los puntos (CE90%), excluyendo desplazamientos por topografía y por desplazamientos del ángulo nadiral de la toma, aunque en terrenos llanos se puede llegar a los 14 m. El control terreno no se hace mediante puntos de control sino que se extrae de la información de las efemérides del satélite y su altitud, como ya se dijo. Con esos valores aproximados, resulta casual que punto de vista, píxel en la imagen y cota del mismo sobre el DEM puedan estar alineados, tal cual impone como premisa la condición de colinealidad.

3. Modelización matemática del proceso de ortorrectificación

3.1. Conceptos

En la adquisición de las imágenes VHR se producen distorsiones debidas a:

- El propio sensor: distorsión física de las lentes, variaciones de la focal, distorsión en el barrido.

- Las condiciones de la toma: posición de la plataforma del sensor (variaciones en su órbita: orientación, velocidad y altitud), oblicuidad de la toma.
- La superficie terrestre: curvatura, rotación, relieve y errores derivados de la propia proyección cartográfica en la que se tome la imagen.

Todo ello se traduce en distintos errores geométricos: variación del tamaño de píxel, paralaje, desplazamientos en las direcciones fila-columna, etc. La ortorrectificación busca corregir o minimizar en lo posible estos errores y obtener un producto imagen comparable a un mapa. Este proceso tiene, además, sus propias fuentes de error: indeterminación en la identificación de los puntos imagen, errores en las coordenadas terreno de los puntos de control, baja calidad del modelo digital del terreno, etc.

Los modelos matemáticos a utilizar varían en gran medida dependiendo del grado de tratamiento de la imagen original y los datos que la acompañen. Raramente la imagen es adquirida por el usuario "en bruto", pues normalmente los proveedores le aplican una rectificación por sensor derivada de los parámetros ópticos y físicos internos del mismo, como se ha citado. Ese el caso de las imágenes QuickBird, tanto en Basic como en Standard. También hay que prestar atención a las efemérides del satélite o si, por el contrario, se proporcionan los RPCs.

Genéricamente, se pueden afrontar dos enfoques matemáticos para la georreferenciación:

1) *Riguroso o paramétrico*, que trata de englobar las distorsiones debidas a la plataforma, sensor, modelo terrestre y proyección cartográfica [2]. Utiliza funciones paramétricas en tres dimensiones, la más generalizada entre ellas es la de ecuaciones que aplican la condición de colinealidad. Tiene la desventaja de que se necesita conocer los datos del sensor y la plataforma (trayectoria y aptitud a lo largo de la toma), lo cual no siempre es posible.

2) *No paramétrico*, usado en el caso de que no se faciliten los parámetros de los sistemas de adquisición. Se basa en dos funciones matemáticas: las funciones polinómicas racionales y las funciones polinómicas simples. Estas son una aplicación de los clásicos polinomios bidimensionales a los que se añade la coordenada Z para incluir la información del relieve del terreno [3]. Tienen el problema de que son dependientes de la distribución de los puntos de control terreno, además de no ser aplicables a zonas grandes por su falta de robustez.

Las funciones polinómicas racionales conectan coordenadas imagen con coordenadas terreno y se aplican de dos formas: la primera se basa en el conocimiento de la geometría del sensor y su posición, expresado en los 20 coeficientes de las funciones racionales 3D que son proporcionados por el vendedor. La segunda, en el caso de que no se disponga de estos datos, se aplica utilizando un número de GCPs conocidos en sus coordenadas terrestres (X,Y,Z) [4].

Otros modelos no paramétricos utilizados son la transformada DLT y transformación afín (con pares de imágenes y ajuste en bloque), que pueden considerarse casos particulares del modelo de funciones racionales y pueden utilizarse por su mayor simplicidad. El problema estriba en que si se producen variaciones del ángulo de toma o de la altitud se introducen condiciones no lineales en el sistema y se invalida el proceso. También aparece el método de redes neuronales en [5].

La aplicación de estos métodos a los productos QuickBird se deriva de los datos que acompañen a la imagen:

- En el producto Basic Imagery podemos utilizar el método riguroso, ya que se proporcionan los datos del sensor y la plataforma. La imagen se abre con estos parámetros orbitales y además se incluyen los GCPs y el DEM propios. Otra posibilidad es utilizar las funciones racionales, bien con los coeficientes RPCs proporcionados por Digital Globe (es una opción cuando no se pueden tomar datos de campo), o añadiendo además los puntos GCPs (en ambos procesos también se introduce el DEM).

- El producto Standard Imagery ya está corregido por las distorsiones sistemáticas, pero el mayor problema es que también corrigen por relieve utilizando un DEM de baja precisión. Ello implica que la imagen está ya pseudo-ortorrectificada y que la geometría original del producto (satélite-sensor-Tierra) ha sido destruida, por lo que no se puede volver a corregir. Se proporciona en coordenadas UTM con WGS84 como sistema geodésico de referencia.

- El producto OrthoReady no tiene correcciones por topografía del terreno, lo que permite ortorrectificarla por el método de los RPCs proporcionados por Digital Globe junto con un DEM propio.

3.2. Tratamiento de los errores y control geométrico

La precisión geomética de los productos imagen VHR una vez rectificados puede verificarse también desde distintos puntos de vista, a saber:

- Verificación del procedimiento propiamente dicho mediante estadísticos de control aplicados normalmente a los puntos de control terreno [6].

- Verificación de la posición imagen/terreno de puntos de control independientes (CPs) [7,8]. Una versión de este método es la de utilizar en lugar de puntos trayectorias terreno [9]. Las coordenadas terreno en ambos casos se obtienen por métodos de GPS diferencial.

- Control de la precisión del DEM generado tras el proceso de ortorrectificación en una serie de puntos independientes [10,11]

- Comparación de la ortoimagen resultante con cartografía vectorial o imagen a una escala adecuada [12,13]

Algunas disposiciones oficiales que recogen las normas de ortorrectificación y los controles sobre los productos finales pueden encontrarse en "Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery", de la Comisión Europea [14] y "Contents Standards for Digital Ortho Imagery", del Federal Geographic Data Comitee del U.S. Geological Survey [15].

4. Experiencias de ortorrectificación de las imágenes QB

4.1. Datos implicados

· Imágenes pancromáticas (datos extraídos de los ficheros .imd proporcionados por Digital Globe)

Standard Imagery

- Formato: geotiff
- Fecha de la toma: 7 de julio de 2002
- Tipo de producto: Standard 2A
- Tamaño de la banda pancromática: 11356 (filas) x 11612 (columnas)
- Tamaño terreno: 8x8 km
- Resolución radiométrica: 16 bits
- Resolución espacial: 0.61 m (teórica), 0.717 m (real).
- Ángulo off-nadir: 22º
- Altura del sol: 66º.9623
- Proyección UTM, huso 30, zona T, elipsoide WGS84

Basic Imagery

- Formato: geotiff
- Fecha de la toma: 5 de diciembre de 2004
- Tipo de producto: Basic 1B
- Tamaño de la banda pancromática: 28460 (filas) x 27552 (columnas). En el proceso de ortorrectificación se ha realizado un recorte de la imagen para adaptarse al tamaño de la Standard.
- Tamaño terreno: 16.5x16.5 km
- Resolución radiométrica: 16 bits
- Resolución espacial: 0.61 (teórica), 0.633 (real)
- Ángulo off-nadir: 12º.9
- Altura del sol: 26º.0
- Sin proyección

· DEM de la zona

La zona se sitúa a unos 25 km de Salamanca, en la comarca de Alba de Tormes. El desnivel máximo es de unos 80 m. El DEM utilizado se ha extraído de la cartografía oficial 1:10.000 de la Diputación de Salamanca mediante los puntos acotados y las curvas de nivel.

· Datos del control métrico

- Datos GPS diferencial: GPCs (XYZ) materializados con pintura (Figura 1), CPs independientes (XYZ) y trayectorias lineales sobre caminos (figura 2)
- Puntos extraídos de la cartografía 1:10.000

Figura 1. Dianas terreno para los puntos GCPs

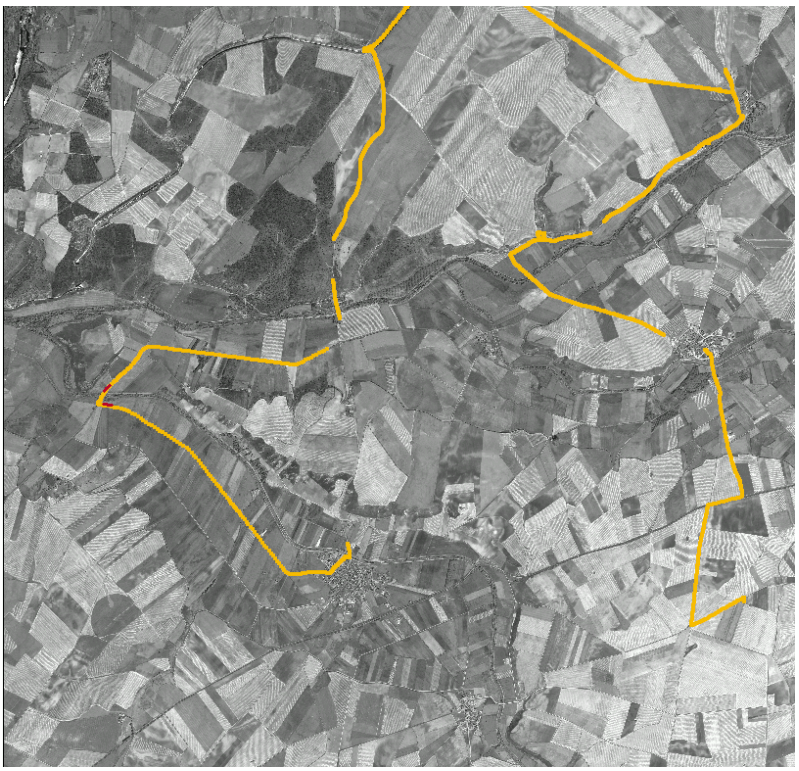

Figura 2. Trayectorias GPS sobre caminos

4.2. Ortorrectificación de la imagen Standard Imagery

La primera aclaración que se ha de hacer en este punto es que las imágenes Standard son productos ortorrectificados, aunque sea con un bajo nivel de precisión. La ortodoxia dicta que no se puede volver a rectificar una imagen ya tratada [1]. Sin embargo, dado el error de posición de la imagen original, ha sido necesario transformar la imagen de forma que pudiera ser cruzada con la cartografía, pues el objetivo final del trabajo es obtener una cartoimagen. Sorprendentemente, además, el fichero de la imagen incorpora los parámetros orbitales.

Por tanto se ha procedido a la ortorrectificación por los métodos de los citados parámetros orbitales y el de polinomios racionales, ambos mediante puntos de control terreno (10 GCPcs y 3 CPs) y el DEM procedente de la 1:10.000. Como ya se dijo, la zona es pequeña (64 km^2) y el desnivel reducido.

Los resultados estadísticos en términos del error medio cuadrático se exponen en la Tabla 1:

Standard Imagery	Funciones racionales		Parámetros orbitales	
	RMSX (m)	RMSY (m)	RMSX (m)	RMSY (m)
10 GCPs	4.36	2.44	2.93	2.02
3 CPs	6.20	4.39	8.06	5.89

Tabla 1. Errores en el proceso de ortorrectificación de la imagen Standard

La causa de estos resultados de tan baja precisión creemos que se debe a que la imagen original comporta un error aproximado de entre 25 y 30 m; y también nos hace dudar de la fiabilidad de la ortoimagen como fuente cartográfica a escalas grandes.

4.2. Ortorrectificación de la imagen Basic Imagery

Para poder comparar con el proceso de la Standard se ha procedido a una ortorrectificación similar con los parámetros orbitales y las funciones racionales. En último término se ha desechado el proceso de funciones racionales con los RPCs por esta misma razón y porque se disponía de los datos de campo. Las estadísticas arrojan los siguientes resultados (Tabla 2) en los que puede observarse que a igual procedimiento el error disminuye considerablemente con la imagen Basic:

Basic Imagery	Funciones racionales		Parámetros orbitales	
	RMSX (m)	RMSY (m)	RMSX (m)	RMSY (m)
10 GCPs	0.67	2.24	0.38	0.78
3 CPs	1.25	4.49	0.94	1.71

Tabla 2. Errores en el proceso de ortorrectificación de la imagen Basic

4.3. Control métrico de las ortoimágenes resultantes

Control mediante la cartografía 1:10.000

Puesto que las ortoimágenes resultantes de la ortorrectificación se van a integrar con la cartografía, se realizará un control de las mismas a partir de una muestra de puntos extraídos en ambas y que sean fácilmente identificables (límites de parcelas, esquinas de construcciones, caminos, etc.), midiendo la diferencia de distancia (en metros) entre el punto en la cartografía y el punto en la imagen. Se ha tomado una muestra de 37 puntos y los resultados de los residuales y el RMS se exponen en la Tabla 3.

STANDARD			
	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	RMS (m)
P. ORBITALES	12.8	6.30	7.84
F. RACIONALES	11.41	5.04	6.04
BASIC			
	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	RMS (m)
P. ORBITALES	2.00	0.69	0.96
F. RACIONALES	5.70	3.47	3.73

Tabla 3. Resultados del chequeo de las cuatro ortoimágenes con los puntos de control cartográfico

Puede observarse que se obtienen mejores resultados con la imagen Basic, tal y como ya podría preverse por los resultados de los errores del punto anterior. Efectivamente, la ortoimagen Standard arroja unas discrepancias métricas con el mapa que resultan inadecuadas para mapas de escala más grande que la 1:25.000, con el inconveniente añadido de que son errores muy variables en su distribución.

Con la Basic Imagery resulta más preciso el método riguroso con los parámetros orbitales, ya que se obtienen errores por debajo del metro. Estos resultados hacen recomendable este método para realizar cartografía con fines métricos en torno a la escala 1:10.000. Sin embargo, con la Standard los resultados son malos tanto si se usa el método riguroso como el de funciones racionales. En la Figura 3 puede observarse un fragmento de las cuatro ortoimágenes con el mapa.

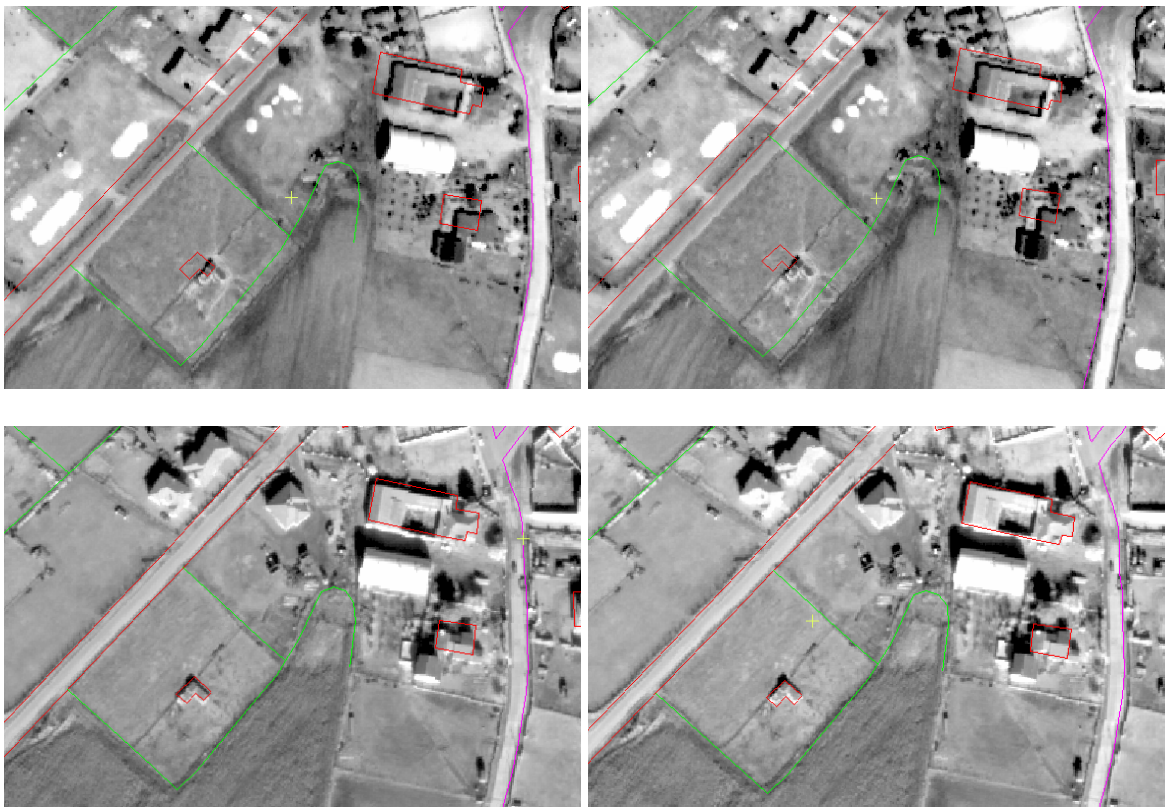

Figura 3. Cruce de la cartografía 1:10.000 con las cuatro ortoimágenes: arriba la Standard (izquierda por el procedimiento de funciones racionales y derecha por parámetros orbitales) y abajo la Basic, en el mismo orden

Control mediante trayectorias independientes GPS

Los resultados obtenidos (Tabla 4) con este control métrico son cualitativamente similares a los del procedimiento anterior: la ortoimagen procedente de la Basic Imagery es mucho más precisa que la de la Standard. Sin embargo, cuantitativamente, podemos señalar que los residuales se reducen al comparar las ortoimágenes con las trayectorias. Este procedimiento se muestra más preciso en el control pues el dato es tomado directamente sobre el terreno y no interviene un proceso posterior de digitalización o restitución como ocurre con la cartografía. En la Figura 4 puede observarse el resultado del volcado de un fragmento de las trayectorias GPS sobre las cuatro ortoimágenes.

STANDARD			
	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	RMS (m)
P. ORBITALES	11.52	4.52	5.21
F. RACIONALES	14.52	4.23	6.25
BASIC			
	Residual máximo (m)	Residual medio (m)	RMS (m)
P. ORBITALES	1.15	0.32	0.56
F. RACIONALES	4.08	2.11	2.50

Tabla 4. Resultados del chequeo de las cuatro ortoimágenes con las trayectorias GPS

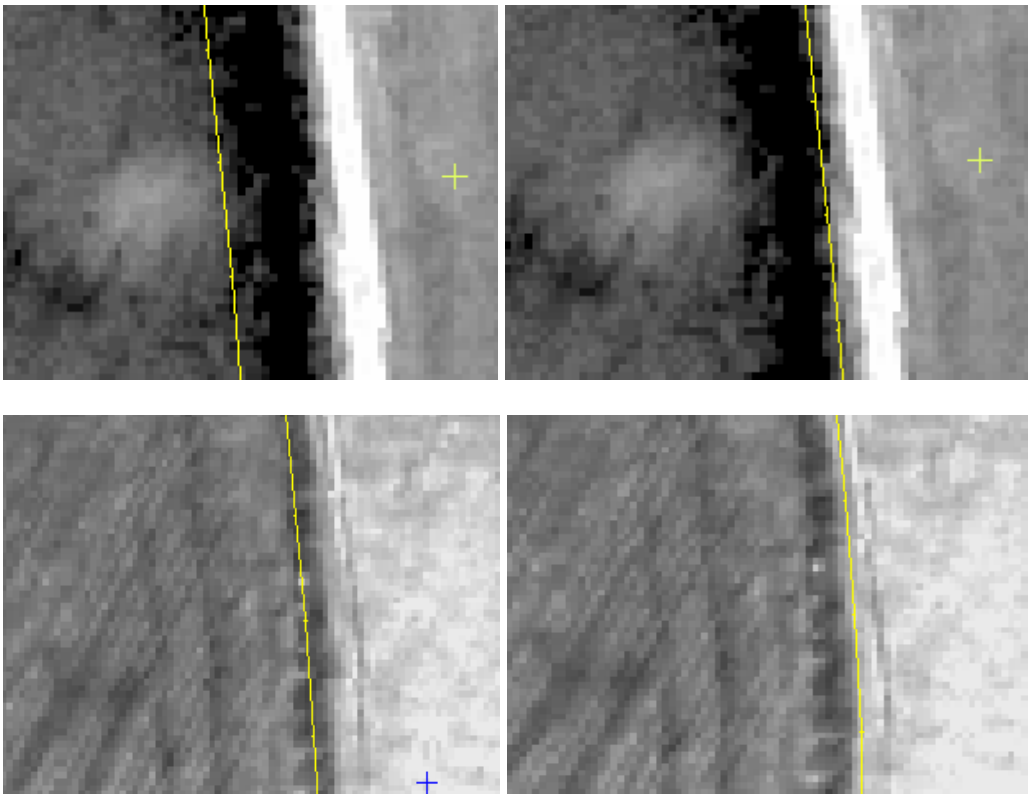

Figura 4. Chequeo de las cuatro ortoimágenes con las trayectorias GPS sobre un camino: arriba la Standard (izquierda por el procedimiento de funciones racionales y derecha por parámetros orbitales) y abajo la Basic, en el mismo orden. El receptor está situado en el lado izquierdo de la calzada

5. Resultados y conclusiones

En este trabajo hemos tratado de analizar desde el punto de vista métrico los productos resultantes de dos procesos de ortorrectificación sobre dos productos comercializados por Digital Globe con su satélite Quick Bird. A la vista de los resultados extraídos del control geométrico y del propio proceso de ortorrectificación podemos concluir que:

- Las ortoimágenes extraídas de la Basic Imagery ofrecen los resultados más adecuados para la realización de cartografía imagen a escalas grandes.

- El proceso de ortorrectificación más adecuado resulta ser el riguroso según el modelo Toutin implementado por PCI, siempre que la imagen original no conlleve un tratamiento geométrico previo, como es el caso de la imagen Standard.

- El mejor método de control del producto final se efectúa con las trayectorias independientes GPS, que no tienen los posibles errores de digitalización e interpretación del mapa.

- Las ortoimágenes procedentes del producto Standard dan unos pobres resultados métricos para trabajar a las escalas citadas. No obstante, las Standard Imagery de Quick Bird pueden resultar interesantes en zonas donde el acceso a los datos de campo sea imposible o donde no haya una cobertura cartográfica previa, y como alternativa se comercializa el producto OrthoReady, no ortorrectificado previamente.

- Si el objetivo final es confeccionar cartografía imagen, tendríamos que hacer una severa reflexión acerca de la comparación de los nuevos métodos propiciados por estos sensores VHR y los métodos tradicionales de fotogrametría. El alto precio de estas imágenes, unido a problemas de adquisición tales como idoneidad de la fecha de la toma, cobertura nubosa, ángulo de inclinación solar, etc., a las que se suma el coste del control terrestre y la necesidad de un DEM de precisión adecuada, nos invita a estudiar minuciosamente los objetivos y expectativas de su utilización para fines cartográficos.

6. Referencias

[1]. Digital Globe, 2002. Quick Bird Imagery Products, Product Guide. Revision 4.3 (10 september 2004). Disponible en http://www.digitalglobe.com

[2]. Toutin, Th 2004. Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods (review paper). International Journal of Remote Sensing, 25 (10), pp. 1893-1924

[3]. Palà, V. and Pons, X., 1995. Incorporation of Relief in Polynomial-Based Geometric Corrections. Photogammetric Engineering &Remote Sensing, 61 (7), pp. 935-944

[4]. Gurcan, B., Murat, O., Karsten, J., 2004. Precise georeferencing of rectified high resolution space images. Actas del Congreso ISPRS 2004. Disponible en http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/34.pdf

[5]. Boccardo, P., Borgogno, E., Giulio, F., Lengua, A., 2004. Orthorectification of high resolution satellite images. Actas del Congreso ISPRS 2004. Disponible en http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/6.pdf

[6]. Toutin, Th., Chénier, R., Carbonneau, Y., 2002. 3D models for high resolution images: examples with EROS, IKONOS and QuickBird. Actas del Congreso ISPRS 2002. Disponible en http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/156.pdf

[7]. Fraser, C.S., Yamakawa, T., 2004. Insights into the affine model for haigh resolution satellite sensor orientation. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, pp. 275-288

[8]. Ganas, A., Lagios, E., Tzannetos, N., 2002. An investigation into the spatial accuracy of the IKONOS 2 orthoimagery within an urban environment. International Journal of Remote Sensing, 23 (17), pp. 3513-35-19

[9]. Cuartero, A., Felicísimo, A.M., (2003). Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión. Geofocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, nº3, 45-57

[10]. Vassilopoulou, S., Hurni, L., Dietrich, V., Baltsavias, E., Pateraki, M., Lagios, E., Parcharidis, I., 2002. Orthofhoto generation using IKONOS imagery and haigh resolution DEM : a case of study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece). ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 57, pp. 24-28

[11]. Kartal, F., Eksioglu, T., Eren, K., Aal, A., 2004. The assessment of high resolution satellite images and applications in regional and local planning. Actas del Congreso ISPRS 2004. Disponible en http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/197.pdf

[12]. Kristóf, D., Csató, E., Ritter, D., 2002. Application of haigh resolution satellite imagen in forestry and habitat mapping-evaluation of IKONOS images through a Hungarian case study. Actas del Congreso ISPRS 2002. Disponible en http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/349.pdf

[13]. Sánchez, N. Santos, G., (2004): Obtención de productos cartográficos a gran escala mediante imágenes de alta resolución espacial. En Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales. Análisis mediante tecnología SIG y Teledetección (vol. I), pp. 287-299. Conesa, C., Álvarez, y., Martínez, J.B.., eds. Universidad de Murcia.

[14]. European Commission, JRC-ISPRA (2004), "Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery". Disponible la version 2.3 (07/04/04) en http://marsunit.jrc.it/Mapping/Guidelines%20for%20ortho%20QA/Ortho%20BP%20Guidelines%20v2-3%20doc2402.pdf

[15]. Federal Geographic for Digital Cartography (1999), U.S. Geological Service, "Contents Standards for Digital Ortho Imagery". Disponible en http://www.fgdc.gov/standards/documents/standards/orthoimagery/orth_299.pdf

7. Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias a Servicio Transfronterizo de Información Geográfica de la Universidad de Salamanca por la adquisición de las imágenes QuickBird.