

Ortofotografía virtual y ortofotografía directa

A. Gutiérrez¹, D.A. Nafría¹, E. Lorenzo¹, V. del Blanco¹, O.O. Rodríguez¹

¹Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL)
Carretera de Burgos km 119, 47071, Valladolid, España
{ ita-gutgaral, nafgarda, lorheren, blamedvi, ita-rodricos}@itacyl.es

Resumen

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), que se realiza en colaboración entre el Instituto Geográfico Nacional y las comunidades autónomas, ha facilitado la obtención de una ingente cantidad de fotografía aérea en soporte digital. Los fotogramas aéreos son transformados en ortofotografías mediante un largo proceso que finaliza con el control de calidad y la distribución del producto a través de internet. Las ortofotografías se pueden visualizar en capas gracias a los servidores de mapas estándar Web Map Service (WMS), o bien se pueden descargar archivos distribuidos por hojas cartográficas.

En Castilla y León (España) y otras comunidades autónomas del país se ha puesto en marcha un sistema de publicación de ortofotografía a través de internet que permite la visualización directa a partir de fotogramas aéreos, sin necesidad de que previamente sean elaborados archivos de ortofotografías por hojas. Por otra parte, y con el mismo objetivo de lograr rapidez, se ha experimentado con éxito la realización de vuelos fotogramétricos a gran altura con cámara de barrido y obtención directa de ortofotografía en una sola etapa.

Palabras clave: Cámara de barrido, Ortofotografía, WMS, PNOA.

1 Introducción

La producción de ortoimágenes en Castilla y León en los últimos años ha estado ligada tanto a la producción del Mapa Topográfico Regional a escala 1:5.000 como a las necesidades cartográficas para los registros agrarios y la Política agraria común de la Unión Europea (PAC) [1].

En el año 2002 fue publicado el *Plan Cartográfico de Castilla y León 2003-2008* [2] que establece como objetivos la actualización de ortoimágenes con una frecuencia de 5 años y una resolución de 0,25 m. Además el vuelo fotogramétrico, el Modelo Digital del Terreno y los productos derivados deberían servir además de base para la producción de todo tipo de proyectos cartográficos y para la planificación de proyectos y obras de infraestructuras.

Al año siguiente, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) lanza el *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)* cuya directriz básica fue realizar una cobertura nacional cada 2 años con una resolución espacial de 0,50 m. El principal usuario de este tipo de producto es El Fondo Español de Garantía Agraria [3] quien lo utiliza para realizar la gestión de los registros agrarios de la Política Agraria Comunitaria (PAC) [4].

La conjunción de ambos planes se hace imprescindible y fue necesario buscar una medida que pudiera satisfacer ambas iniciativas. La solución adoptada consistió en dividir la Comunidad en cuadrantes de forma tal que en un mismo año se volaran dos cuadrantes alternos, uno a 0,25 m y

otro a 0,50 m de resolución espacial. De esta forma, al rotar los cuadrantes, la frecuencia de actualización resultaría de 2 años para la ortofotografía de 0,50 m y de 4 años para la ortofotografía de 0,25 m cubriéndose los requerimientos de ambos Planes.

En el año 2004 se firmó el convenio vigente hasta el año 2007 (que fue prorrogado hasta 2008) en el cual se plasma el planteamiento anteriormente descrito. Los tres organismos implicados en el mismo son el IGN como representante de la Administración General del Estado, el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL) y el Centro de Información Territorial, los dos últimos como representantes de la Comunidad Autónoma.

Desde ese momento es el ITACyL quien realizará los trabajos del PNOA en Castilla y León. Para lograrlo emplea medios propios en ciertas actividades (el proceso de aerotriangulación, entre otros), y realiza la contratación administrativa a empresas especializadas para el resto de las fases de trabajo.

De esta forma, en la actualidad, nos encontramos con dos tipos de proyectos de ortofotografía en Castilla y León cada uno de los cuales aporta unas características distintas:

- Los proyectos de 0,25 m aportan precisión y son la base de la producción de la cartografía topográfica oficial convirtiéndose, de esta forma, en imprescindible.
- Los proyectos de 0,50 m aportan exclusivamente actualidad.

La elevada frecuencia de actualización de los vuelos fotogramétricos determina la vida útil de las ortoimágenes. Para proyectos de grandes superficies (millones de hectáreas) se ha establecido un plazo promedio de un año desde que la imagen fue tomada hasta que los ficheros de ortofotografía están disponibles para el usuario final.

Las incidencias acaecidas durante las fases de producción o la detección de problemas por parte de los controles de calidad posteriores, provocan una dilatación en los tiempos de publicación de la ortofotografía.

El ITACyL desde el año 2004 se planteó el objetivo de tener disponible la ortofotografía de calidad en el mismo año en el que se toma la imagen. La reducción del periodo que pasa hasta que la ortofotografía llega al usuario final pasa por reducir el tiempo de producción por una parte y por otra reducir el tiempo de distribución del producto final.

Los tiempos de producción se pudieron reducir utilizando técnicas de orientación directa, Modelos Digitales de Elevaciones preexistentes y técnicas de mosaicado automático que no necesitan supervisión manual del conjunto de fotogramas.

La influencia de la orientación directa en la reducción de tiempos es clara ya que permite eliminar las fases de aerotriangulación y apoyo topográfico. No obstante, para poder llevar a cabo esta técnica es necesario contar con los datos de la Red GNSS de Castilla y León diseñada y mantenida por el personal técnico del ITACyL. También la existencia de un campo de calibración en las instalaciones del Instituto permitió optimizar los resultados de la orientación directa.

Una revisión del tiempo empleado para cada proyecto se puede observar en la figura 1 y nos permite evaluar el resultado de la aplicación de estas técnicas. De esta manera, para los proyectos de 0,50 m de resolución espacial, se observa que el objetivo de 6 meses de proyecto se cumple en la mayoría de los casos y no se desvía más de 15 días en el caso más desfavorable. El tiempo de ejecución de estos proyectos varía entre 139 días (año 2005) y 124 días de la campaña 2008. El

periodo de ejecución más dilatado fue el del año 2006 que, en cualquier caso, no supuso una desviación superior al medio mes. El periodo medio de ejecución de este tipo de proyectos se sitúa en 148 días o, en otras palabras, 5 meses.

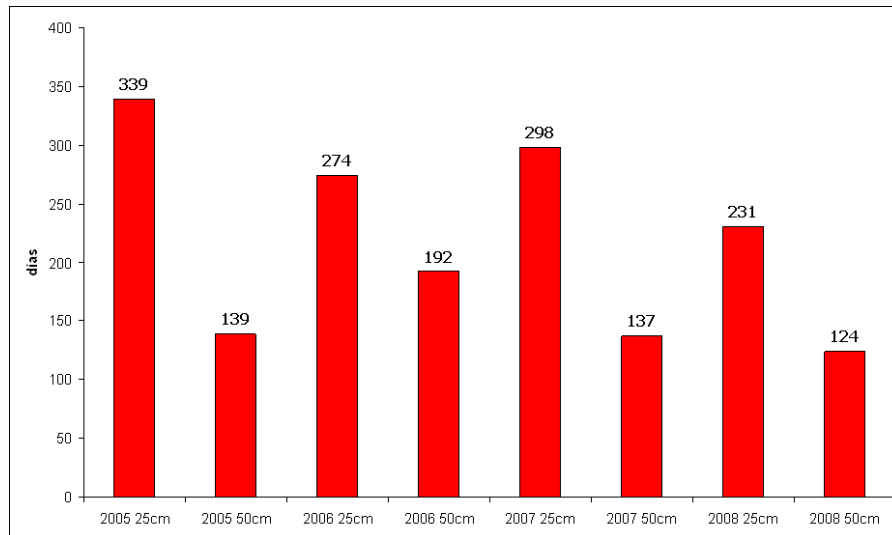


Figura 1. Duración de los proyectos de Ortofotografía del PNOA en Castilla y León.

En los proyectos de 0,25 m de resolución espacial el objetivo no se ve cumplido. Los tiempos de producción varían desde 339 días del año 2005 hasta 231 días del año 2008, situándose la media en 285 días, es decir, nueve meses y medio aproximadamente. El hecho de reducir a la mitad la resolución de la ortofotografía (de 50 cm a 25 cm) supone multiplicar casi por cuatro el volumen de información obtenida y por lo tanto complica substancialmente todos los procesos y la gestión del proyecto.

2 Nuevas propuestas para la publicación y obtención de imágenes orto-rectificadas.

El primer paso para la elaboración rápida de imágenes orto-rectificadas es minimizar al máximo o incluso eliminar la distribución de copias de ficheros de ortofotografía. En este sentido el ITACyL optó inicialmente por ofrecer dos alternativas de acceso: por una parte ofrece un servicio de descarga masiva de ficheros en internet mediante FTP (File Transfer Protocol), y por otra parte un servicio de visualización de ortofotos mediante servicios de mapas estándar WMS (Web Map Services). Ambas alternativas han permitido a los usuarios utilizar inmediatamente las ortofotos una vez que éstas han sido elaboradas, pero para ello han debido esperar al menos 6 meses desde que la imagen fue tomada. Por lo tanto era imprescindible plantearse otras alternativas que redujesen significativamente el plazo de producción. Para ello se ha trabajado en dos sentidos:

- Producción de **ortofotografía virtual o al vuelo**, elaborada en el instante, directamente por un servicio WMS, a partir de los fotogramas del vuelo fotogramétrico.
- Ejecución de **vuelos rápidos**, de gran actualización y baja resolución, gracias a una trayectoria a gran altura y al procesado directo de las imágenes crudas tomadas por la cámara aérea, de forma que se puedan obtener ortoimágenes rectificadas en un solo paso.

En ambos casos la idea consiste en publicar directamente las imágenes capturadas por la cámara, sin añadir ningún procesado al que realiza el propio software del fabricante de la cámara. Se suprimen totalmente las fases de Apoyo topográfico, Aerotriangulación, Edición de MDE, Orto-rectificación, Equilibrado y Mosaicado.

Ambas líneas de trabajo utilizan la técnica de geo-referenciación directa de las imágenes gracias a la infraestructura de la Red GNSS de Castilla y León y el Campo de Calibración de Valladolid. La precisión de estas técnicas ha sido experimentada por el ITACyL durante los últimos años [6], y gracias a las experiencias realizadas se ha comprobado la posibilidad de conseguir precisiones mejores que un píxel (error medio cuadrático por componentes independientes) en planimetría.

2.1.1 Ortofotografía virtual “al vuelo”

2.1.2 Experiencias previas

En los últimos años el OGC (*Open Geospatial Consortium*) ha promovido la creación de especificaciones que permitiesen unificar la forma de publicación y acceso a los datos geográficos publicados a través de Internet. La especificación WMS (*Web Map Service*) es, de todas las publicadas, la que de una forma más sencilla se ajusta a la publicación de la ortofotografía aérea.

Desde los años 2003/2004 el ITACyL ha venido publicando la ortofotografía producida a través de servidores WMS con el fin de facilitar el acceso a la información cartográfica producida. En este sentido, se ha considerado la posibilidad de aprovechar la potencia de cálculo disponible en los servidores informáticos con el objetivo de elaborar la ortofotografía en el mismo instante en que el usuario la ha solicitado al servidor mediante peticiones WMS a través de Internet. La idea es que el servidor sea capaz de aceptar una petición de mapa del estándar WMS (petición *getmap*) y proporcionar al usuario la imagen orto-rectificada del área solicitada usando para ello la información original del vuelo fotogramétrico. Esta información consiste en los siguientes componentes: los fotogramas originales del vuelo, los datos de orientación directa procedentes del sistema de navegación inercial (GPS/INS) y un Modelo Digital de Elevación preexistente. Con esta información el sistema informático del servidor orto-rectifica la imagen de acuerdo con la resolución de pantalla del usuario; al usuario solamente se le envía una imagen ligera de por ejemplo 1000 por 800 píxeles, con reducido coste computacional de orto-rectificación.

El novedoso software servidor WMS capaz de realizar este tipo de operaciones (SgdWMS), ha sido desarrollado por la empresa española Sigrid S.L, con sede en Valladolid y en Madrid, con la colaboración del ITACyL.

2.1.3 Objetivos

El objetivo que se pretende conseguir utilizando esta nueva tecnología es doble: por una parte disponer de una ortofotografía lo más cercana posible temporalmente hablando a la fecha de vuelo utilizando para ello los datos de orientación directa y MDE preexistente y, por otra parte, eliminar el tiempo de distribución de fichero mediante el empleo de servidores estandar WMS.

2.1.4 Realización del proyecto

Para producir la ortofotografía al vuelo el servidor WMS utiliza la misma formulación matemática que en la producción de una ortofotografía digital convencional. Es necesario conocer los parámetros de orientación externa y la coordenada Z (altitud) de cada píxel para poder calcular la ortofotografía. La condición para la exactitud métrica del nuevo sistema será, pues, la misma que la calidad de los datos de entrada: la orientación externa y el Modelo Digital de Elevación. En un contexto de publicación rápida, como ya se ha mencionado, la orientación externa (geo-referenciación de los fotogramas) procederá de datos de orientación directa GPS/INS del avión, y los datos de elevación procederán de un MDE preexistente de épocas anteriores.

Si bien la influencia en la precisión de uso de los datos de orientación directa está bien determinada, en el caso de los MDE preexistentes es de esperar que su resultado sea idéntico a la orto-rectificación convencional excepto en aquellas zonas en las que se hayan producido modificaciones del territorio que afecten a la orografía. En este caso se producirían errores groseros en las ortofotos generadas al vuelo. Estas situaciones sólo habrán de encontrarse en zonas de grandes desmontes o terraplenes a consecuencia de la construcción de nuevas infraestructuras.

La primera experiencia se realizó con el proyecto PNOA 2008 del cuadrante SE de Castilla y León. Las características técnicas de éste se resumen en la siguiente tabla (tabla 1).

Superficie de licitación	2.225.344 (ha)
Tamaño de Píxel (GSD)	0,50 metros
Nº de ficheros almacenados	5.732

Tabla 1. Características técnicas del proyecto.

Por lo tanto los trabajos consistieron en comprimir los fotogramas, generar las orientaciones y generar los proyectos (vistas) que determinarán la forma y escala de visualización de los datos.

El formato de compresión de los fotogramas fue ecw con un factor de compresión 20, factor este que permite una disminución considerable en el volumen del fichero sin una pérdida excesiva en la calidad visual del mismo.

El paso de malla del Modelo Digital del Terreno utilizado fue de 10 metros y se corresponde con el generado en el año 2006 para el proyecto de ese mismo cuadrante con una resolución de 0,25 metros.

Es necesario decir que la ortorectificación se realiza bajo demanda del cliente y por lo tanto es el servidor quién selecciona el fotograma que debe ser procesado. De esta forma, el servidor, escogerá el fotograma más centrado a la zona pedida por el cliente (Bounding Box) como muestra la figura 2.



Figura 2. Ejemplo de zona pedida por el cliente y resultado de la petición.

Dado que la ortorectificación se produce a nivel de fotograma la escala a partir de la que se obtendrá ortofotografía al vuelo será 1:8.000.

2.1.5 Control de calidad

Con el objeto de evaluar la exactitud y la precisión métrica de los servicios WMS de ortofotografía *al vuelo*, en enero de 2009 fue realizada una comprobación métrica de este servicio en el cuadrante anteriormente expuesto. Para el trabajo se midieron exactamente 100 puntos de chequeo recientes procedentes de la base de datos topográfica de Castilla y León. Los puntos de chequeo han sido medidos en campo con receptores GNSS con precisión mejor que 5 centímetros RMS. La capa de ortofotografía al vuelo fue integrada en el sistema de información geográfica gvSIG [7], software libre soportado por la Generalitat Valenciana (España). En la figura 3 se puede observar la capa WMS *Estereo3D_SE_2008* cargada en gvSIG así como la distribución de los puntos utilizados para el análisis. Así mismo, en la figura 4 se puede observar un detalle de uno de los puntos pinchados y la reseña de dicho punto.

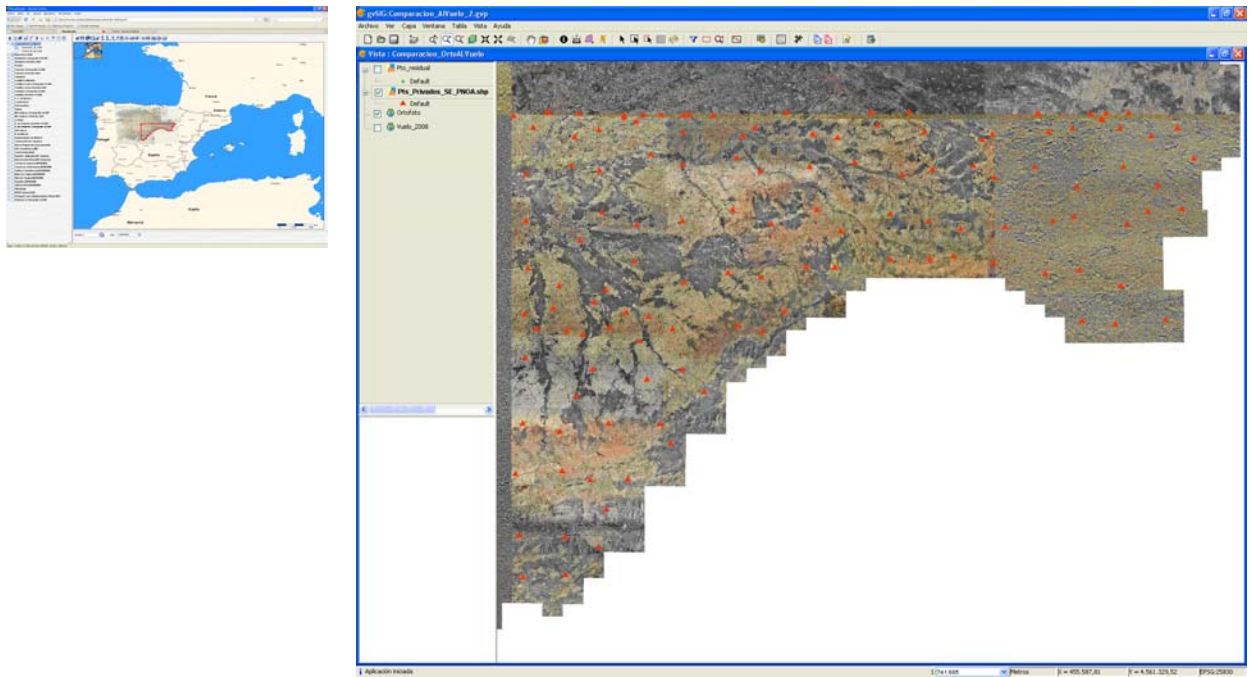


Figura 3. Distribución de los puntos de chequeo a lo largo del bloque.

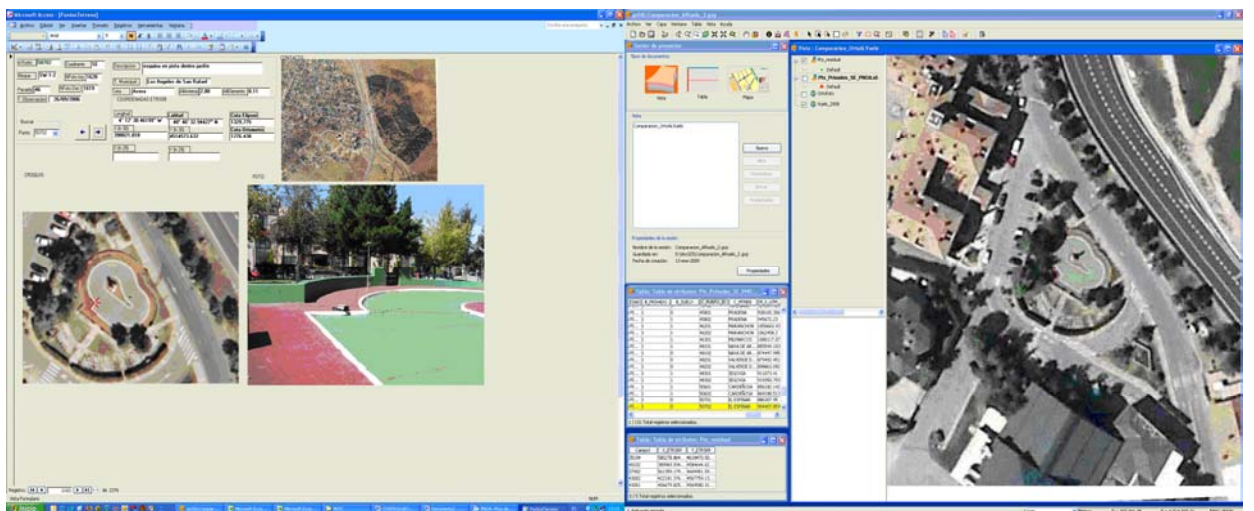


Figura 4. Detalle de uno de los puntos pinchados y la reseña del mismo.

Un resumen de las características del test realizado se recoge en la tabla 2.

Zona controlada	Cuadrante Sureste de Castilla y León
Fecha de control	Enero de 2009

Producto	Ortofotografía al vuelo mediante servicios WMS
Resolución (GSD)	0,50 metros
Cámara fotogramétrica	Vexcel UltraCam D
Software servidor WMS	SigridWMS
Software cliente WMS	gvSIG
Servicio WMS	http://orto.wms.itacyl.es/Server/SgdWms.dll/WMS?
Capa WMS	Estereo3D_SE_2008
Estilo WMS	SGD_StereoModel::OrthoOnTheFlyOn
Formato en servidor	Compresión ECW®
Formato de petición cliente	JPEG
Archivo de datos métrico	Shapafile
Número de puntos de chequeo	100
Precisión de puntos de chequeo	Mejor que 5 cm medidos en campo
Número de observadores	1

Tabla 2. Características del análisis métrico realizado sobre el proyecto.

Los resultados confirman que el servidor se comporta como era de esperar en cuanto a precisión y exactitud, de acuerdo con la calidad de los datos de entrada (precisión de la orientación directa y de MDE). El resultado obtenido en el estudio se pueden observar en la tabla 3.

Error Medio Cuadrático (RMS)	En X: 0,66 metros; en Y: 0,68 metros
Media aritmética	En X: 0,07 metros; en Y: 0,00 metros
Desviación típica	En X: 0,67 metros; en Y: 0,68 metros
Error máximo	En X: 2,05 metros; en Y: 1,73 metros

Tabla 3. Resultado del control métrico de la ortofotografía al vuelo.

2.2 Vuelo rápido a gran altura

2.2.1 Experiencias previas

Siguiendo con el objetivo de obtener una imagen rápida y actualizada del territorio y de un coste económico muy limitado, el Instituto planteó la realización de un proyecto de ortofotografía, que se ha denominado “directa”, aplicando los conceptos de procesado de imágenes de satélite a la fotogrametría aérea.

Con estas premisas durante el año 2008 se diseñó y llevó a cabo un proyecto para volar con cámara de barrido 5.000 km² en un solo día. El objetivo era tomar imágenes desde el techo operativo del avión y evaluar las posibilidades de automatizar y simplificar al máximo todos los procesos hasta la obtención de ficheros de ortofotografía aprovechando las infraestructuras existentes: Red GNSS de Castilla y León, Modelos Digitales de Elevación, etcétera. Los resultados cumplieron las expectativas tanto en la velocidad de producción como en los resultados de precisión métrica y se adquirió experiencia para su implantación en un bloque de producción Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Como resultado de esta experiencia se decidió aplicar la metodología ensayada al cuadrante Suroeste (SW) del vuelo PNOA de Castilla y León del año 2009 (27.703 km²).

2.2.2 Objetivos

Los objetivos de proyecto pasaban por conseguir una ortofoto de calidad similar a la producida en PNOA con resolución de 0,5 metros en un plazo inferior al mes desde la fecha de toma de las imágenes y con un coste inferior a 5 €/km² en contraposición a los 20,56 €/km² que es el precio estándar de actualización establecido por el Instituto Geográfico Nacional. Esta reducción de costes y plazos debe permitir conseguir en un futuro incrementar la superficie de trabajo anual llegando a proporcionar una frecuencia temporal de adquisición de un año.

2.2.3 Realización del proyecto

Para conseguir estos objetivos se han introducido ciertas innovaciones en el sistema tradicional de producción de ortoimágenes más allá del uso de un sensor de barrido que constituye una tecnología disponible desde hace casi 10 años (Schuster et al, 2000 [8]). No es objeto de este artículo comentar las ventajas o deficiencias de los sensores de barrido, sino demostrar una aplicación para la cual este tipo de sensores disponen de unas características esenciales.

La seña de identidad del proyecto es sin duda la altura desde la que se toman las imágenes. Aunque en un principio la idea era subir hasta los 10.000 m por encima del nivel del suelo, las limitaciones impuestas por control aéreo fueron más restrictivas que las capacidades técnicas de muchas aeronaves usadas en fotogrametría. Debido a la regulación aeronáutica solo aeronaves con altímetros certificados para *Reduced vertical Separation Minima* pueden volar por encima del nivel de vuelo FL 280, que se encuentra a 8.500 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto nos encontramos ante un límite práctico desde el que tomar imágenes aéreas.

El vuelo se ejecuta en pasadas de gran longitud (120 km) con dirección norte-sur, lo que permite eliminar el efecto “hot-spot” en la toma nadiral de la cámara de barrido y mantiene prácticamente constante el ángulo solar a lo largo de la pasada. Esto permite conseguir largas pasadas al mismo tiempo que se minimizan las diferencias radiométricas. Los recubrimientos se reducen significativamente hasta un 15% transversal y un 0% longitudinal. La decisión de tomar únicamente imágenes nadirales limita su uso para medición en tres dimensiones por no disponer de estereoscopia, pero permite acelerar significativamente el procesado y proporciona unas ortofotografías de excelente calidad.

Las novedades mencionadas anteriormente van enfocadas a reducir drásticamente las horas de vuelo al mismo tiempo que se consiguen ciertos beneficios para la simplificación de la producción de ortofotos: Menos datos, más compactos y con mejor continuidad radiométrica. Sin

embargo, el sensor fue configurado de forma singular al multiplicar por dos la frecuencia de captura de datos, de tal manera que mientras en la configuración normal el sensor recogería una línea de píxel, en la configuración empleada se recogen dos líneas. De esta manera los píxeles grabados tienen una forma rectangular siendo su tamaño en la dirección de avance del avión la mitad que en sentido transversal (figura 5). Este incremento de datos capturados permite mejorar la calidad visual de las ortofotos finales que deben tener una resolución espacial de 50 centímetros, mayor que la capturada si el píxel fuese cuadrado, sin acudir a técnicas de *pansharpening*.

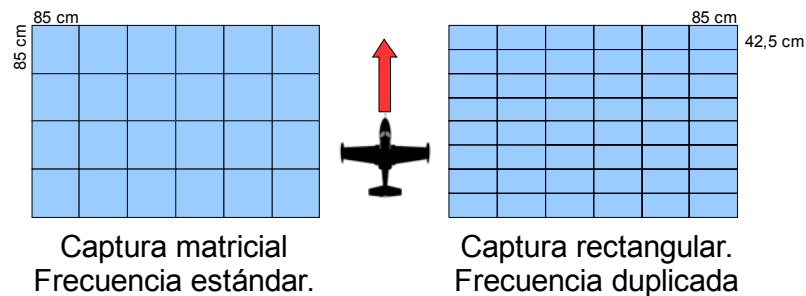


Figura 5. Efecto de duplicar la frecuencia de captura de datos.

En el ámbito del procesado de los datos grabados por el avión también se apostó por opciones que simplifiquen y aceleren la producción. Uno de los aspectos más importantes es la georreferenciación directa de las imágenes a partir de la Red GNSS de Castilla y León. En este proyecto no se han empleado técnicas de aerotriangulación lo que permitió procesar directamente los datos de vuelo hasta ortofoto sin más intervención que el cálculo de la trayectoria GPS del avión. Este aspecto es clave para el cumplimiento de los objetivos ya que en un solo paso somos capaces de convertir los datos crudos capturados por el sensor en tiras de ortofoto de 120 km de longitud y 10 km de anchura. Para la ortorrectificación se empleó el modelo digital de elevaciones procedente del proyecto PNOA en Castilla y León de 5 metros de resolución.

Por último la fase de entrega de datos por parte del contratista (BLOM sistemas Geoespaciales S.L), se ha procurado simplificarla al máximo de tal manera que sólo se exige una copia de ficheros TIFF en composición RGB y la versión infrarroja, evitando la entrega de productos derivados que entorpecieran las labores de producción. Además la entrega de material para control de calidad y evaluación se ha producido mediante FTP facilitando la inmediatez y agilizando las labores de dirección técnica.

Una vez descritas las novedades introducidas se comentan algunos datos singulares sobre los resultados obtenidos. Como se puede ver en la figura 6 el equilibrado radiométrico del bloque es ciertamente atractivo permitiendo identificar a primera vista las diferentes cubiertas de suelo como si se tratase de una imagen de satélite de media o baja resolución. La velocidad de adquisición de los datos, en un breve lapso de tiempo, y la captura en dirección norte-sur facilitan la consecución de estos resultados.



Figura 6. Aspecto visual de todo el bloque tras el equilibrado radiométrico.

Los plazos de ejecución fueron realmente breves desde el momento de la adjudicación, el vuelo se realizó en 9 días (7 misiones) y la primera versión de las ortoimágenes fueron entregadas 22 días después, el 28 de septiembre de 2009, cumpliendo sobradamente el objetivo de producir las ortofotos en menos de 30 días desde la fecha de vuelo.

Los ficheros de ortofotografía entregados fueron colocados en el servicio WMS del Instituto el 30 de septiembre de 2009 acompañando a la cobertura de “ortofotografía al vuelo” de otros 25.000 km² capturados a 25 centímetros de resolución con cámara matricial.



Figura 7. Detalle de la ortoimagen RGB obtenida.

El nivel de detalle obtenido en las ortofotos RGB es el esperado para este proyecto como se puede apreciar en la figura 7 y el hecho de captar la banda infrarroja lo hace especialmente útil para aplicaciones medioambientales (figura 8).

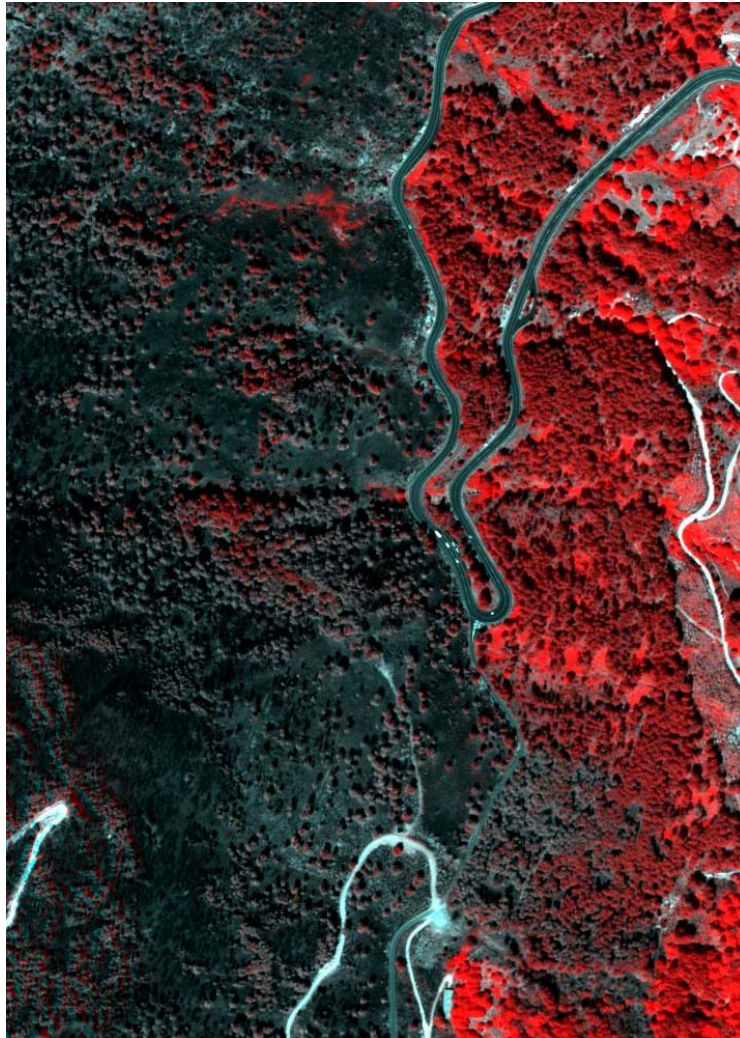


Figura 8. Ortoimagen IrRG del municipio de Arenas de San Pedro(Ávila) incendiada en el mes julio de 2009.

2.2.4 Control de calidad

Apoyándose en la base de datos de puntos topográficos privados del ITACyL se procedió a realizar un control métrico sobre la ortofotografía definitiva que arrojó los resultados consignados en la tabla 4.

Error Medio Cuadrático (RMS)	En X: 0,80 metros; en Y: 0,75 metros
Media aritmética	En X: -0,37 metros; en Y: 0,12 metros
Desviación típica	En X: 0,70 metros; en Y: 0,74 metros

Figura 4. Resultado del control métrico de la ortofotografía directa.

Los resultados muestran una precisión excepcional si tenemos en cuenta que la georreferenciación se basó exclusivamente en los datos GPS del avión y que se usó un MDE preexistente. Los resultados son compatibles con las exigencias de precisión planimétrica en ortofotografía PNOA 50 cm puesto que el límite de aceptación se encuentra en un error medio cuadrático de un metro calculado independientemente para cada coordenada.

3 Conclusiones

- Tanto la ortorrectificación al vuelo de fotogramas aéreos como la ortofotografía directa son dos técnicas complementarias que permiten disponer de ortofotografía publicada a través de Internet en un plazo de tiempo muy breve desde su captura con una drástica reducción de costes.
- Los resultados de precisión métrica de ambas alternativas son compatibles con las especificaciones más estrictas. La calidad recae en la precisión de la orientación basada en GPS/INS por lo que la calibración del conjunto de sensores es crítica.
- Los resultados también dependen de la calidad del MDE de épocas anteriores usado para la rectificación. En general puede considerarse que sólo pueden aparecer errores en aquellos lugares donde el terreno haya sufrido modificaciones significativas (canteras, minas y grandes infraestructuras).
- La publicación de ortofotografía al vuelo tiene limitaciones de rendimiento debido a la carga computacional del servidor y presenta dificultades con peticiones mosaicadas (tiled), pero sin embargo permite la visualización de datos en tres dimensiones. Por el contrario los datos de ortofoto directa son ágilmente servidos pero no disponen de la posibilidad de visión estereoscópica debido a la ausencia de recubrimiento.

Referencias

- [1] Política Agraria Común de la Unión Europea (PAC)
<http://www.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla66y33/1246988895689/ / />
- [2] Plan Cartográfico de Castilla y León 2003-2008
http://www.sitcyl.jcyl.es/sitcyl/recursos/pdf/Decreto_Plan_Cartografico.pdf
- [3] Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA)
<http://www.fega.es>
- [4] Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC)
<http://www.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla66y33/1141304547617/ / />
- [5] Decreto de ordenación de la Cartografía en Castilla y León
http://www.sitcyl.jcyl.es/sitcyl/recursos/pdf/Normativa/Decreto_Ordenacion_Cartografia.pdf
- [6] *Establishing a camera-IMU calibration procedure for the Spanish National Orthophoto Programme*. D.A. Nafría, B. Arias, V. Blanco, O.O. Rodríguez, M. Blanco, F.J. Antolín, J. Gómez
http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/108.pdf
- [7] gvSIG, Sistema de Información Geográfica soportado por la Generalitat Valenciana, Spain.
<http://gvsig.gva.es>. (sitio oficial)
<http://www.gvsig.org> (sitio de la comunidad)
- [8] Schuster, R., Braunecker, B., 2000. Calibration of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor. *Proc. XIXth Congreso of the ISPRS*, Ámsterdam, The Netherlands, 16-23 July, 7p.