

GENERACIÓN DE UNA ORTOIMAGEN DIGITAL A PARTIR DE UN SENSOR ESPACIAL DE ALTA RESOLUCIÓN (QUICKBIRD)

Rafael Ruiz Marín, Luis Ángel Ruiz Fernández

(raruima@topo.upv.es, laruiz@cgf.upv.es)

ETSI Geodésica, Cartográfica y Topográfica. Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n, 46022 - Valencia

Palabras clave: ortoimagen, QuickBird, alta resolución, MDE, georreferenciación

Resumen

En este trabajo se describe el procedimiento metodológico para la creación de una ortoimagen digital de alta resolución, del área metropolitana de Valencia, a partir de la fusión de las imágenes pancromática y multiespectral del satélite QuickBird.

En el proceso de corrección radiométrica, un aspecto específico es la atenuación de los destellos o saturaciones que afectan a estos sensores de elevada sensibilidad en el momento de la adquisición, para lo cual se ha diseñado un procedimiento de filtrado selectivo. Posteriormente, se realiza la georreferenciación y el registro de las imágenes respecto a la cartografía existente mediante una transformación polinomial de segundo orden.

Tras ensayar y evaluar varios métodos de fusión de imágenes, se ha optado por el método de sustitución basado en la transformación de componentes principales, ya que ofrecía mayor calidad espectral que los otros métodos ensayados. A continuación, se aplica un tratamiento de realce basado en la creación de bandas sintéticas y el ajuste de las LUT's de color para aumentar su calidad visual.

Con el apoyo de un modelo digital de elevaciones extraído a partir de la cartografía 1:10.000, se ha generado la ortoimagen a la que, finalmente, se le ha aplicado un filtro de realce de las altas frecuencias, obteniendo como resultado una imagen con calidad geométrica y visual.

1. Introducción

El objetivo del presente proyecto es definir una metodología de trabajo para la obtención de ortomágenes a partir de imágenes de alta resolución adquiridas por el sensor espacial QuickBird, y que pueda servir para los sectores profesionales que necesitan información referenciada de alta precisión, con una representación completa de la realidad y una métrica rigurosa.

Debido a estas características y debido a la calidad del producto final, a su fácil interpretación por parte de usuarios no especializados en cartografía, y a su bajo coste en la generación respecto a la producción tradicional de cartografía, se está produciendo una incesante demanda de ortomágenes a escalas medias y grandes como soporte cartográfico en los SIG y en Internet, unido a su uso en tareas de actualización, análisis, planificación y gestión territorial.

Esta demanda ha hecho que se desarrollen diferentes métodos de generación de ortomágenes. Por un lado, tenemos el método mediante *puntos de anclaje*, donde se selecciona un conjunto de puntos tridimensionales tanto en la imagen como en la cartografía base [1,2]. Por otra parte, hay una solución más rigurosa conocida como *píxel-by-píxel* donde se consideran las variaciones tridimensionales del terreno, asociando un modelo digital del terreno para la generación de la ortoimagen [2,3].

La transformación geométrica se ha obtenido mediante este último método, y previamente se han realizado varias operaciones de procesado (ver figura 1) sobre las imágenes originales y los datos de partida. Estas operaciones comienzan con la corrección de las saturaciones sufridas por el sensor QuickBird mediante modelos de corrección automática. A continuación, se ha georreferenciado tanto la imagen pancromática como la multiespectral a partir de la cartografía base. Después, se ha realizado la fusión de la imagen multiespectral a partir de la imagen pancromática obteniendo mayor resolución espacial en el espectro visible. Seguidamente se han realizado diferentes tratamientos de realce, como la creación de bandas sintéticas para poder reducir las deficiencias visuales inherentes de las imágenes del espectro visible, el ajuste de las LUT's de color y la aplicación de un filtro de realce de las altas frecuencias.

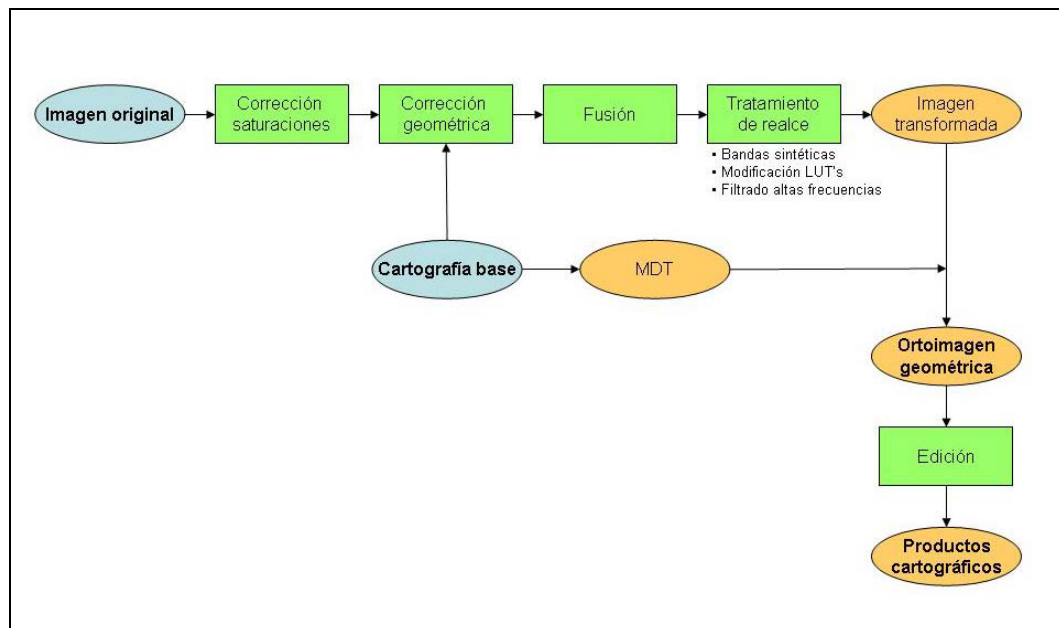


Figura 1. Flujo de trabajo propuesto en el proceso completo de generación de la ortoimagen

2. Datos de partida

2.1. Imágenes

Las imágenes que se han utilizado son las proporcionadas por el satélite QuickBird, de órbita heliosíncrona que se encuentra a una altitud de 450 km y con una inclinación de 97,2 grados. Por lo que respecta a la resolución espacial, en la imagen pancromática varía desde 0,61 metros (nadir) a los 0,72 metros (ángulo de observación de 25°), mientras que en la imagen multiespectral varía desde 2,44 metros (nadir) hasta los 2,88 metros (ángulo de observación de 25°).

El rango dinámico de las imágenes es de 11 bits por píxel y resolución espectral de la imagen pancromática es de 450-900 nm. En cuanto a la resolución espectral de la imagen multiespectral, la sensibilidad espectral de la banda azul está comprendida entre 450-520 nm, la banda verde entre 520-600 nm, la roja entre 630-690 nm y la infrarroja cercana entre 760-900 nm.

Los datos de partida son una imagen pancromática y una multiespectral correspondientes a dos escenas diferentes. El mosaico total de la imagen pancromática tiene unas dimensiones de 20000x31972 píxeles, mientras que el de la multiespectral es de 5000x7918 píxeles.

2.2. Cartografía base

La cartografía base utilizada ha sido obtenida de tres fuentes diferentes: cartografía catastral urbana, cartografía municipal y la cartografía de la serie 1:10000 de la Comunidad Valenciana editada por el Instituto Cartográfico Valenciano. Las dos primeras se usaron para el proceso de georreferenciación mientras que la última para la generación del modelo digital de elevaciones.

La cartografía procedente del catastro abarca la totalidad del casco urbano de cada municipio, mientras que la cartografía municipal sólo cubre una porción del casco. Las escalas de dichas cartografía oscilan entre 1:500 y 1:2000.

3. Preprocesamiento

Los procesos a realizar en esta fase son: la corrección de errores en la adquisición de la imagen y a continuación, su georreferenciación. La primera se centra en la corrección de las saturaciones (*flares*) que sufre el sensor QuickBird debido a la sensibilidad de sus detectores, los cuales se colman como consecuencia de la elevada reflectancia de algunos objetos, generalmente metálicos. Una vez corregida radiométricamente, se ha realizado la referenciación de la imagen respecto al sistema de referencia mediante la cartografía base.

3.1. Corrección de las saturaciones

Las correcciones radiométricas efectuadas tratan de corregir la saturación puntual que han sufrido los detectores del sensor debido a elementos que producen una alta reflectancia (Figura 2). Tanto en la imagen pancromática como en la imagen multiespectral se ha definido las morfologías de error. Una vez determinada la morfología se establecieron unos los umbrales para su corrección, mediante el análisis visual y el estudio del histograma.

En la **imagen multiespectral**, sólo encontramos saturaciones puntuales que generaban niveles digitales anómalamente muy elevados, bien en alguna de las bandas espectrales o en todas ellas. Para su corrección se han determinado unos umbrales de intensidades para cada banda espectral determinados por el valor digital del 95% de los píxeles acumulados. Una vez determinado el umbral se realizaba un suavizado sobre los píxeles saturados para reducir su valor de intensidad (tabla 1).

BANDA	ND
Azul	315
Verde	496
Roja	424
Infrarroja	560

Tabla 1. Umbral ND para la imagen MS

En cambio, la saturación del sensor en la **imagen pancromática** es más compleja. La figura 2 se muestra la morfología del error producido por la saturación.

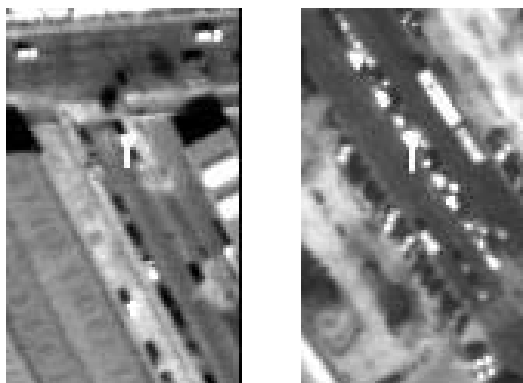


Figura 2. Ejemplos del error por saturación de detectores en la imagen pancromática

Una vez determinada la morfología del error, se desarrolló un modelo para la corrección automática de los errores. Los pasos seguidos se describen a:

1. Establecimiento de umbrales para determinar las zonas que han sufrido saturaciones. Estos umbrales deben ser dos, uno para determinar los elementos puntuales que han provocado la saturación del sensor cuyo valor se estableció en 1800. Por otro lado, un umbral inferior para determinar las zonas de transición hasta que se estabiliza el sensor cuyo valor fue determinado en 600. (Ver figuras 3, 4.b, 4.c).

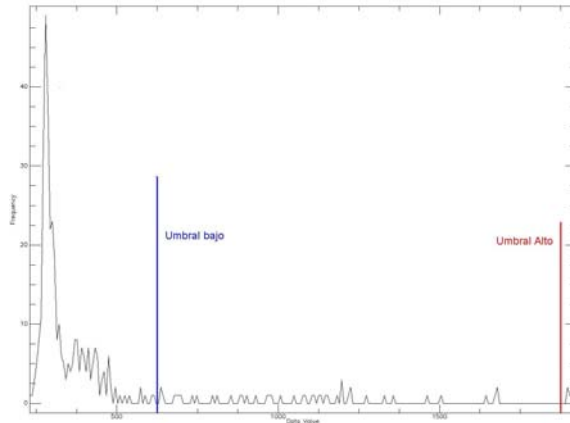
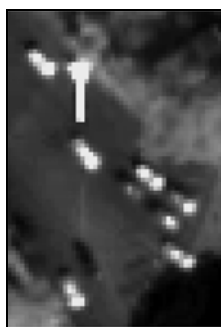


Figura 3. Ejemplo del histograma de la imagen PAN y de los umbrales definidos para la localización de las saturaciones

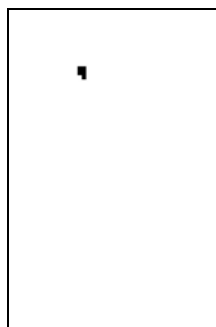
2. Proceso de dilatación de las áreas de umbral alto para delimitar las zonas de umbral bajo que han sido producidas por el error en la saturación del sensor. Este proceso se ha realizado mediante sucesivas dilataciones, primeramente en todas las direcciones y a continuación en sentido vertical hacia abajo siguiendo la fisonomía del error. (Ver figura 4.d)
3. Selección de las zonas del umbral bajo afectadas por el área generada tras el proceso de dilatación. (Ver figura 4.e)
4. Separación de los centros que han provocado el error del destello generado en el transcurso de la estabilización del sensor. (Ver figura 4.f)
5. Una vez separadas, las saturaciones puntuales y los destellos se han corregido de diferente manera. La eliminación de los destellos se realiza aplicando un filtro de media de los valores que los envolvía pero sin tener en consideración los píxeles que estaban afectados y que se querían corregir. En cambio, en las zonas puntuales de gran saturación se aplica un filtro de suavizado de ventana 7x7 y con ponderaciones concéntricas, dándole al píxel central menos peso y a los extremos el máximo, como se muestra a continuación:

1	1	1	1	1	1	1
1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1
1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,7	1
1	0,7	0,3	0,1	0,3	0,7	1
1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,7	1
1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1
1	1	1	1	1	1	1

Una vez aplicadas las correcciones obtenemos una imagen libre de saturaciones, como se puede ver en el detalle de la figura 4.g.



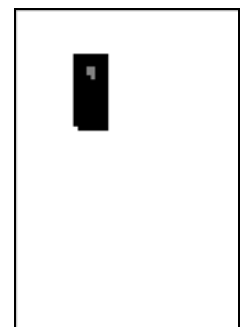
4.a



4.b



4.c



4.d

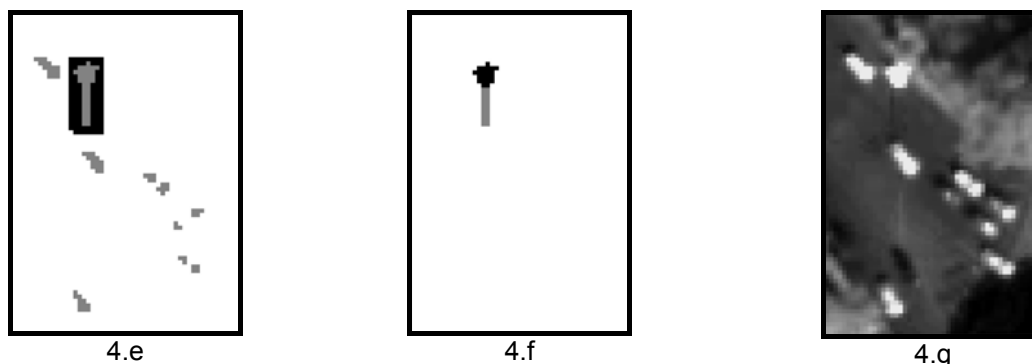


Figura 4. Proceso de corrección automática de la saturación en la imagen PAN. a) Imagen original, b) Zonas de umbral alto, c) Zonas de umbral bajo, d) Áreas originadas a partir del proceso de dilatación, e) Zonas de umbral bajo afectadas por el área de dilatación, f) Separación de los centros que provocan la saturación y el destello generado, g) Imagen corregida.

3.2. Rectificación

Se ha realizado un proceso de rectificación de la imagen pancromática, utilizando como cartografía base la cartografía catastral de urbana y la cartografía municipal comentada anteriormente. Para ellos, se han empleado 274 puntos de control distribuidos en función de la disposición de la cartografía. De hecho, hay una mayor densificación de puntos en la parte centro y parte inferior de la imagen debido a las diferencias constatadas en cuanto a la fiabilidad de la cartografía catastral del municipio de Valencia.

Se ha aplicado un ajuste polinomial de 2º grado y los residuos del ajuste se muestra en la tabla 2:

ERROR PUNTOS DE CONTROL	
X	0,6182 píxel
Y	0,6915 píxel
Total	0,9272 píxel

Tabla 2. Error medio cuadrático de la rectificación

Se han utilizado 36 puntos de evaluación, o *check-points*, para comprobar la fiabilidad del ajuste. El error medio cuadrático total de los puntos de evaluación es de 0,9337 píxeles.

3.3. Registro

La imagen multiespectral se ha registrado geométricamente respecto a la imagen pancromática ya georreferenciada. Para este proceso se emplearon 113 puntos de control distribuidos homogéneamente sobre de toda la imagen.

También se ha aplicado un ajuste polinomial de 2º grado y los residuos del ajuste se muestran en la tabla 3.

ERROR PUNTOS DE CONTROL	
X	0,3369 píxel
Y	0,3199 píxel
Total	0,4646 píxel

Tabla 3. Error medio cuadrático del registro

Se han utilizado 18 *check-points* para comprobar la fiabilidad del ajuste. El error medio cuadrático total de los puntos de evaluación es de 0,4944 píxeles.

4. Fusión de imágenes

El objetivo de la fusión de imágenes es combinar en una misma imagen la elevada resolución espacial de la imagen pancromática con la mayor cantidad de información espectral de la imagen multiespectral.

Se ha llevado a cabo un estudio de diferentes métodos de fusión para elegir el más adecuado para el tipo de imágenes utilizadas. Los diferentes métodos estudiados fueron:

- Método multiplicativo
- Método Brovey
- Método de transformación al espacio HSI
- Método de transformación de componentes principales

Una vez realizados los diferentes métodos se ha pasado a la fase de la evaluación de la calidad de la fusión mediante un punto de vista espacial y espectral. La evaluación de la calidad espacial se ha realizado mediante un análisis visual, lo que implica una cierta subjetividad asociada.

Por lo que respecta a la calidad espectral, se ha estudiado la similitud espectral entre la imagen original y la imagen fusionada. Los índices utilizados son las diferencias entre medias y el coeficiente de correlación entre las bandas originales y las bandas obtenidas mediante los procesos de fusión.

En las tablas 4 y 5 se muestran cada uno de los estudios realizados:

BANDA	AZUL	VERDE	ROJO	INFRARROJO
Original	227,080	317,521	226,266	344,617
Multiplicativo	59,552	85,707	63,292	95,677
Brovey	131,855	84,787	117,641	83,482
HSI	224,121	313,124	222,659	-
Comp principales	224,597	312,903	221,366	338,684

Tabla 4. Comparación de la evaluación espectral mediante el índice diferencia de medias

BANDA	AZUL	VERDE	ROJO	INFRARROJO
Multiplicativo	0,8705	0,9107	0,9204	0,8906
Brovey	0,8029	0,8761	0,9242	0,9330
HSI	0,9370	0,8913	0,8237	-
Comp principales	0,9415	0,9309	0,9311	0,9353

Tabla 5. Comparación de la evaluación espectral mediante el coeficiente de correlación de bandas

Con todo este análisis espacial y espectral realizado hemos llegado a la conclusión que el método más adecuado para la fusión de la imagen multiespectral QuickBird es el basado en la transformación de componentes principales porque presenta una buena calidad visual, la correlación entre las bandas obtenidas y las originales son buenas y no existe una gran variación entre las medias de las bandas originales y fusionadas.

5. Generación de la ortoimagen geométrica

Para la realización de la ortoimagen se ha hecho uso del método comentado anteriormente denominado de aproximación *pixel-by-pixel*., donde se hace uso de un modelo digital del terreno para corregir las variaciones tridimensionales [2,3].

La correspondencia entre el píxel imagen y su conjugado en el terreno se caracteriza por una condición de colinealidad. Esto se ha dispuesto mediante relación directa que consiste en proyectar el espacio imagen sobre la superficie objeto

5.1. Generación del modelo digital de elevaciones

Para la generación del MDT se ha utilizado la cartografía digital disponible de la serie 1:10000 (696 y 722 de la serie) con una equidistancia entre curvas de nivel de 10 metros.

A partir de los ficheros de curvas de nivel y puntos de cota, se ha realizado una red irregular de triángulos (TIN). Posteriormente, se han corregido los errores encontrados y, por último, se ha realizado el curvado. En figura 5 se muestra el curvado generado.

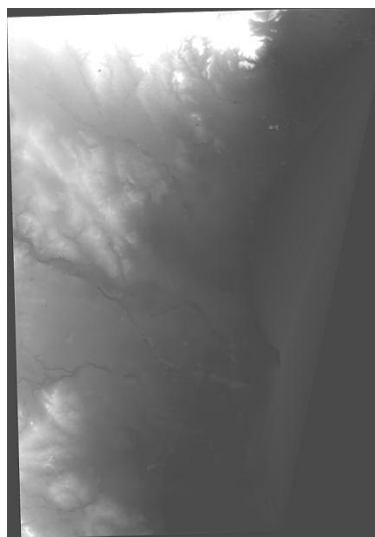


Figura 5. Modelo digital de elevaciones

5.2. Corrección altimétrica

Para este proceso se ha realizado una orientación interna, seguida de una orientación externa de la imagen. Antes de aplicar el proceso de orientación interna se han consultado las características ópticas del sensor QuickBird, como su distancia focal, el tamaño del detector y el número de columnas del sensor. También se han fijado los parámetros del modelo. Estas características se pueden ver en la tabla 6.

INFORMACIÓN GENERAL		PARÁMETROS DEL MODELO			
Distancia focal	8836,202 mm	X	2	Omega	0
Tamaño detector	0,0068 mm	Y	2	Phi	0
Columnas del sensor	27552	Z	2	Kappa	2

Tabla 6. Parámetros orientación interna

Una vez realizada la orientación interna, se da paso a la orientación externa de la imagen. Para ello, se ha realizado una triangulación teniendo como referencia planimétrica la imagen pancromática rectificada anteriormente, y como referencia altimétrica el modelo digital de elevaciones generado.

Se han utilizado 30 puntos de control para la ortorrectificación y 7 *check-points* para evaluar la transformación. En la tabla 7 se muestra la precisión de la triangulación.

	CONTROL	CHECK
Ground X (m)	0,1638	-
Ground Y (m)	0,1889	-
Ground Z (m)	0,2931	-
Imagen x (píxel)	0,0026	0,3285
Imagen y (píxel)	0,0592	0,2299

Tabla 7. Precisión de la triangulación

5.3. Remuestreo

En el proceso de remuestreo final se ha aplicado el método de interpolación bilineal, generando un píxel de salida interpolado a 0,60 metros.

6. Tratamiento de realce

Los elementos de realce utilizados son:

- Creación de bandas sintéticas
- Ajuste del histograma a partir de LUT's de color
- Filtro de realce de altas frecuencias

Con la creación de las bandas sintéticas se pretende mejorar la apariencia visual de la imagen, paliando los defectos inherentes que presentan las bandas del visible debido a los efectos de la dispersión atmosférica. Por ese motivo, se crearon nuevas bandas azul y verde a partir de combinaciones lineales de las bandas visibles e infrarroja:

$$\text{Verde}' = (4 \cdot \text{verde} + \text{NIR})/5$$

$$\text{Azul}' = \text{Verde}$$

Mediante el ajuste del histograma a partir de LUT's de color se intenta conseguir una mejor apariencia visual de la imagen ortorrectificada. La relación entre los valores radiométricos de la imagen y los niveles digitales de salida se realizó mediante la utilización de *breakpoints* elegidos para mejorar la calidad visual.

Estos dos primeros procesos se han realizado previamente a la generación de la ortoimagen, y una vez se obtuvo la ortoimagen se realizó un filtrado de realce de altas frecuencias con ventana 7x7 y con ponderación del píxel central de 55.

En las figuras 6-9 se muestra la serie de transformaciones realizadas sobre un fragmento de la imagen hasta llegar al resultado empleada en la edición y maquetación de los productos cartográficos resultantes.



Figura 6. Imagen original



Figura 7. Imagen obtenida mediante fusión componentes principales



Figura 8. Imagen mediante bandas sintéticas



Figura 9. Imagen final

7. Edición y maquetación

La edición cartográfica ha consistido en la generación de ortoimágenes de los distritos de Valencia y de los municipios de su área metropolitana. Para ello, se ha realizado una imagen compuesta situando en primer plano una imagen pancromática remuestreada a 2,4 metros recortando el municipio o distrito elegido y debajo la ortoimagen generada.

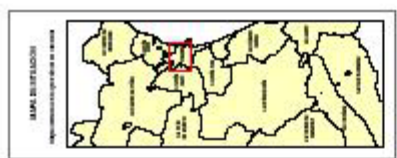
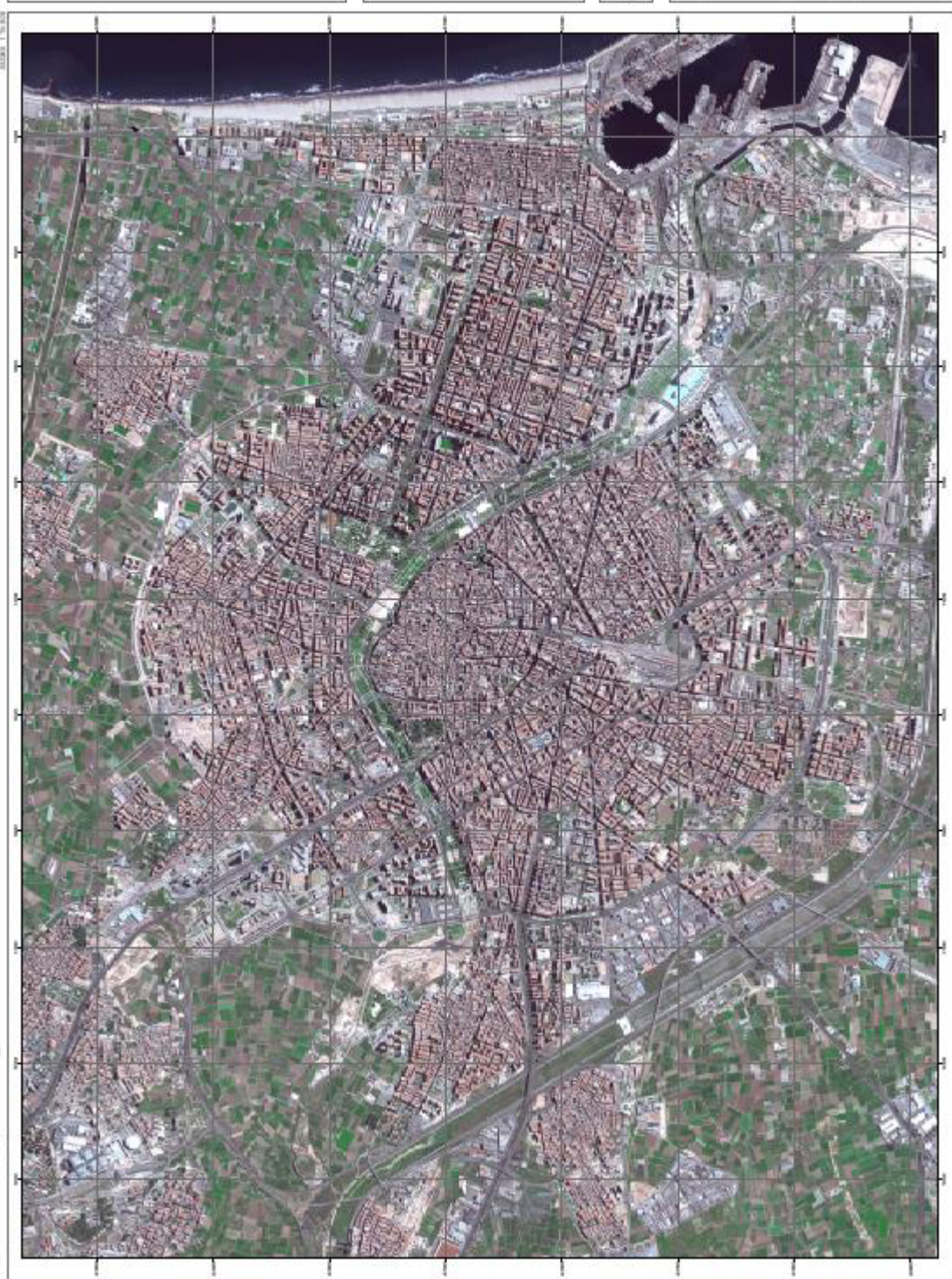
En lo referente a la maquetación, se han dispuesto composiciones tanto horizontales como verticales, donde en la parte central se ha ubicado la composición con una malla que representa el sistema de referencia UTM. Además, en los bordes se ha detallado información marginal referente a un mapa de situación, información general (sistema de referencia cartográfico, sistema de representación e información del sensor QuickBird) y un breve resumen de la metodología utilizada.

Las figuras 10 y 11 muestran ejemplos realizados



Figura 10. Ejemplos de las ortoimágenes de municipios y distritos

Ortoimagen de Valencia



INFORMACIÓN GENERAL

Este mapa de ortofotografía satelital de la ciudad de Valencia y su área metropolitana, ha sido elaborado a partir de imágenes de satélite de alta resolución, obtenidas por el Instituto Geográfico Nacional.

El mapa muestra la ciudad de Valencia y su área metropolitana, incluyendo la zona de la Turia y la zona de la Albufera.

El mapa está elaborado a escala 1:50.000.



NOTAS

Este mapa de ortofotografía satelital de la ciudad de Valencia y su área metropolitana, ha sido elaborado a partir de imágenes de satélite de alta resolución, obtenidas por el Instituto Geográfico Nacional.

El mapa muestra la ciudad de Valencia y su área metropolitana, incluyendo la zona de la Turia y la zona de la Albufera.

El mapa está elaborado a escala 1:50.000.

Figura 11. Póster de Valencia y área metropolitana

Referencias

- [1] Liang-Chien Chen and Loiang-Hwei Lee. Rigorous generation of digital orthophotos from SPOT images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59(5):655-661, 1993.
- [2] Liang-Chien Chen and Chiu-Yueh Lo. Generation of digital orthophotos from Ikonos GEO images. In *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 2001.
- [3] S. Vassilopoulou, L. Hurni, V. Dietrich, E. Baltsavias, M. Pateraki, E. Lagios and I. Parcharidis. Orthophotos generation using IKONOS imagery and high-resolution DEM: A case study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece). *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 24-28, 2002.
- [4] Liang-Chien Chen and Tee-Ann Teo. Rigorous generation digital orthophotos from Eros a high resolution satellite images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34: 620-625, 2002
- [5] Ruiz Marin, Rafael. Generación de una ortoimagen digital y de cartografía derivada a partir de imágenes espaciales de alta resolución (QuickBird) del área metropolitana de Valencia. *Proyecto Final de Carrera*. ETSIGCT, Universidad Politécnica de Valencia. Diciembre 2004.