

## Generación y comparación de ortofotos realizadas a partir de procedimientos fotogramétricos como insumo en la adopción del catastro multipropósito urbano en Colombia

### Generation and Comparison of Ortofotos Carried Out from Photogrammetric Procedures as an Supplies in the Adoption of the Urban Multipurpose Cadastre in Colombia

Cristian Camilo Fontalvo Jaraba<sup>1</sup>, Christopher Giovanni Ortiz Montero<sup>2</sup>, Debbie Carolina Castro Rivera<sup>3</sup>, Luisa Fernanda Santana Callejas<sup>4</sup>, & Oscar Fernando Borda Casas<sup>5</sup>

**Para citar este artículo:** Fontalvo-Jaraba, C.C., Ortíz-Montero, C.G., Castro-Rivera, D.C., Santana-Callejas, L.F. & Borda-Casas, O.F. (2018). Generación y comparación de ortofotos realizadas a partir de procedimientos fotogramétricos como insumo en la adopción del catastro multipropósito urbano en Colombia. *Revista de Topografía Azimut* (9) pp 1-8

Fecha de Recepción: 23 de noviembre de 2017

Fecha de Aceptación: 15 de enero de 2018

#### Resumen

En el presente artículo se realizó una comparación de la Distancia de Muestra en el Terreno (GSD) de dos productos fotogramétricos a diferentes escalas, extraídos de una imagen digital de escala 1:7500 y generados por medio de procesos fotogramétricos en el *software Inpho Digital Photogrammetry and Laser*. Teniendo en cuenta que la imagen corresponde a una zona urbanizada, los productos cartográficos están encaminados a ser utilizados para aplicaciones referentes a catastro, ya que según el documento CONPES 3859, la escala apropiada para implementar un catastro multipropósito en zonas urbanas corresponde a 1:2000. A partir de este documento se adecua la primera escala, es decir, 1:2000, mientras que la segunda va de acuerdo con la amplitud que se le puede dar a la imagen, de esta forma se selecciona 1:5000. Los productos se obtuvieron a partir de la generación de ortofotos con un Modelo Digital de Superficie (DSM) común y diferentes GSD, a partir de la escala de visualización, evaluando además la calidad y resolución requeridas para la adopción del catastro multipropósito en el país para los

próximos años.

**Palabras clave:** catastro multipropósito, Modelo digital de superficie, fotogrametría digital, Distancia de muestra de Tierra, imagen digital, ortofotos.

#### Abstract

In the present article a comparison of the GSD (Ground sample distance) of two photogrammetric products to different scales, extracted from a digital image of scale 1: 7500 and generated by means of photogrammetric processes in the software *Inpho Digital Photogrammetry & Laser*. Taking into account that the image corresponds to an urbanized zone, the cartographic products are intended to be used for cadastre applications since, according to CONPES 3859 document, the appropriate scale for implementing a multipurpose cadastre in urban areas corresponds to 1: 2000. From this document we adapted the first scale, that is, 1: 2000, the second scale is according to the amplitude that can be given to the image, this way 1: 5000 is selected. The products were obtained from the generation of orthophotos

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: cfontalvoj@correo.udistrital.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: cgortizm@correo.udistrital.edu.co

<sup>3</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: dccastor@correo.udistrital.edu.co

<sup>4</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: lfsantanac@correo.udistrital.edu.co

<sup>5</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ofbordac@correo.udistrital.edu.co

with a common DSM (Digital Surface Model) and different GSD in base to the visualization scale, evaluating also the quality and the resolutions required for the adoption of the multipurpose

cadastre in the country for the last years.

**Keywords:** multipurpose cadastre, Digital Survey Model, digital photogrammetry, Ground sample distance, Digital image, Orthophotos.

## INTRODUCCIÓN

El uso de fotografías aéreas brinda una representación del terreno; en ellas se pueden implementar técnicas y métodos apropiados que alcanzan grandes precisiones respecto al objetivo planteado; además, son el insumo principal para la elaboración de cartografía con gran nivel de detalle en zonas de pequeña extensión (Altamirano *et al.*, 2016).

A medida que estas técnicas e insumos han tenido un gran progreso tecnológico en los últimos años, se ha contribuido cada vez más a que los progresos de trabajo en cartografía estén en constante evolución, por ende, se han decidido implementar las técnicas fotogramétricas en un sinnúmero de áreas de estudio para la obtención de resultados de una manera más rápida, precisa y eficaz.

Históricamente se ha recurrido a la cartografía urbana como una importante herramienta de control y utilidad en diversos ámbitos catastrales, como son: el planeamiento urbanístico, la gestión, el análisis territorial y medioambiental (Sánchez y Lerma, 2012). Las aplicaciones que explotan este conocimiento usualmente se basan en los *modelos de elevación digital* (DEM, por su sigla en inglés) para representar la superficie y una gama cada vez mayor y sofisticada de técnicas para el análisis topográfico y su correspondiente visualización (Wilson, 2010).

Desde el punto de vista fotogramétrico, la generación de *modelos digitales de superficies* (DSM, por su sigla en inglés) y ortofotos es un proceso principal para la elaboración de cartografía urbana a diferentes escalas. Se denomina DSM al modelo que representan

distintas características de la superficie terrestre (incluyendo terreno, copas de árboles y construcciones) derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina DEM (Felicísimo, 1994).

Por otro lado, una ortofoto es la imagen generada a través de computador a partir de una fotografía aérea de la cual se eliminaron los desplazamientos debidos a la orientación de la cámara y al relieve del terreno (García y Martínez, 2007).

Los desarrollos de *software* para la compensación de los procesos enmarcados en el flujo fotogramétrico marcan todo un hito en la historia del diseño y elaboración de técnicas fotogramétricas (Pinzón, 2010). Como resultado de estas iniciativas tecnológicas nace *Inpho Digital Photogrammetry and Laser*, una colección especializada de productos de software de sistemas fotogramétricos digitales que realiza triangulación aérea, mapeo digital de modelos de terreno, corrección digital de ortofotos, fusión de imágenes, entre otros (Xiaozhen, 2007). El DSM y las ortofotos generados en el proyecto fueron elaborados en este *software* con licencia académica.

Como los productos fotogramétricos generados están encaminados a apoyar las labores propias del *ingeniero catastral* y *geodesta* en su estudio del espacio, se pretende determinar si la ortofoto generada con un GSD (tamaño que representa un píxel en el terreno) de 0,018 m a escala 1:2000 cumple los requisitos de calidad y viabilidad métrico/visual para la elaboración de insumos geográficos que evidencien el comportamiento del terreno en el territorio colombiano en el marco de la adopción del catastro

multipropósito en el país, entendido este último como una herramienta insustituible de planificación e información para promover el adecuado ordenamiento y aprovechamiento productivo del territorio, la restitución y formalización de los derechos de propiedad, y el manejo o reducción de la conflictividad por el uso del suelo, entre otros aspectos (DNP, 2016). El catastro multipropósito pretende tomar como insumos productos fotogramétricos y cartográficos para obtener información geográfica de espacios urbanos a escala 1:2000; sin embargo, ¿es posible generar ortofotos de óptima calidad a escala 1:2000 con un GSD de 0,018 m y a escala 1:5000 con un GSD de 0,045 m tomando como base fotografías aéreas a escala 1:7500?

El proyecto evalúa esta premisa y presenta evidencias en productos fotogramétricos dirigidos al catastro multipropósito a partir de imágenes digitales para evaluar la eficiencia del detalle, determinando en el proceso si la escala presente en las imágenes es apropiada para los productos cartográficos y atacando además la carencia de insumos que soporten un inventario consistente para la regencia a cabalidad del recurso tierra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona de estudio plasmada en las fotografías aéreas corresponde a un barrio popular de la ciudad de Riohacha, La Guajira (Colombia), que se caracteriza geográficamente por ser de topografía plana.

El par estereoscópico de imágenes fue tomado por una cámara digital ULTRACAM D propiedad del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Se adquirió en formato digital por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Las coordenadas del fotocentro  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; los parámetros de orientación exterior de la cámara  $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $K$ , y las coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de los puntos de control para cada imagen

fueron extraídos previamente al proyecto.

### Cálculo de GSD para escalas de visualización 1:2000 y 1:5000

En la generación de los productos fotogramétricos para el proyecto es importante analizar el GSD, el cual hace referencia al tamaño del pixel proyectado sobre el terreno y se obtiene mediante un producto de la escala de visualización de la imagen por el píxel de la misma (García, 2015). Esta escala es importante para el proyecto porque la comparación de productos fotogramétricos en dos escalas diferentes depende fundamentalmente del GSD (tabla 1).

**Tabla 1:** Relación de GSD y escala de visualización de los productos fotogramétricos generados.

ESCALA DE VISUALIZACIÓN	TAMAÑO DEL PIXEL	GSD
1:2000	$9 \times 10^{-6}$ m	0,018 m
1:5000	$9 \times 10^{-6}$ m	0,045 m

**Fuente:** Elaboración propia.

### Generación de productos fotogramétricos: DSM y ortofotos con GSD de 0,018 m y 0,045 m

Se inicia generando un nuevo proyecto en el *software Inpho*, donde se especifica el tipo de cámara con la que fueron tomadas las fotografías y su respectiva calibración. De igual forma se importan las fotografías, los puntos de control y un archivo donde se encuentran las coordenadas del fotocentro junto con los parámetros  $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $K$  de cada fotografía denominado GMS/IMU que se pueden observar en la tablas 1 y 2

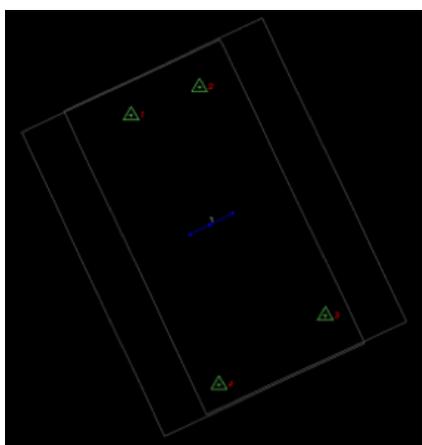
Cabe mencionar que el *software Inpho*, al igual que el software AGISOFT, inicia el proceso de ajuste a partir de coordenadas aproximadas del centro de perspectiva (Quispe O, 2016).

**Tabla 2:** Datos de la orientación exterior

ID FOTO	c-2806-0438	c-2806-0439
$X_0$	1126719.28	1126815.16
$Y_0$	1767202.19	1767248.99
$Z_0$	788.17	787.27
$\Omega$	-0.38	-0.26
$\Phi$	-0.36	-0.32
$K$	25.19	25.19

**Fuente:** Datos obtenidos del software Summit. Elaboración propia.

Para estos dos últimos archivos se aplican las desviaciones estándar correspondientes para las imágenes por defecto, y para los puntos de control 1/4 del tamaño del píxel. Por último, en la pestaña *Strips* se genera el modelo con el par de fotografías. A continuación, por medio del menú *Georeferencing*, junto con la herramienta *Multipoint Measurement* se hace la medición de los cuatro puntos de control monoscópicamente sobre el par de fotos, cuya localización en el modelo se puede observar en la figura 1. Se procede por medio de la herramienta *Aerial Frame Triangulation* inicializar la orientación exterior y la extracción automática de puntos *Tie* ajustadas al bloque.



**Figura 1:** Localización de puntos de control en la ventana principal del software *Inpho*

**Fuente:** Elaboración propia

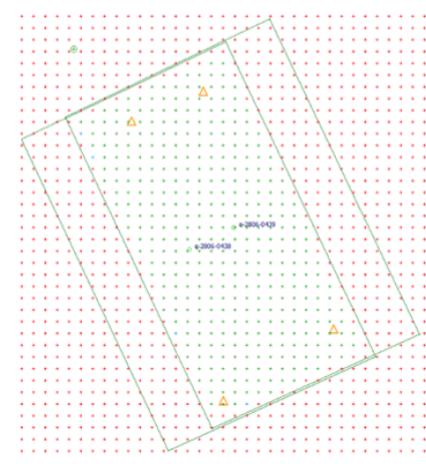
**Tabla 3:** Coordenadas puntos de control

ID	X	Y	Z
1	1126586.093	1167471.997	13.574
2	1126741.529	1767536.723	13.823
3	1127024.714	1767017.082	14.287
4	1126784.636	1766860.179	12.477

**Fuente:** Datos obtenidos de la imagen. Elaboración propia.

Luego desde el menú *Capture*, en la herramienta *Match t DTM*, se genera el DSM con un tamaño de grilla de 1,587883 m, el cual se encontraba por defecto por ofrecer mayor precisión, aunque según estándares cartográficos un producto a escala de 1:7500 le corresponde un tamaño de grilla de 7,5 m. A partir del DSM se generan dos ortofotos con un GSD de 0,018 m y 0,045 m para las escalas 1:2000 y 1:5000, respectivamente, como se propone.

Por medio del menú *Imaging* y la herramienta *Orthomaster* se puede observar el esquema de las fotografías, el área en común, los puntos de control, junto con los lugares donde el DSM se encuentra (cruces verdes), como se evidencia en la figura 2.



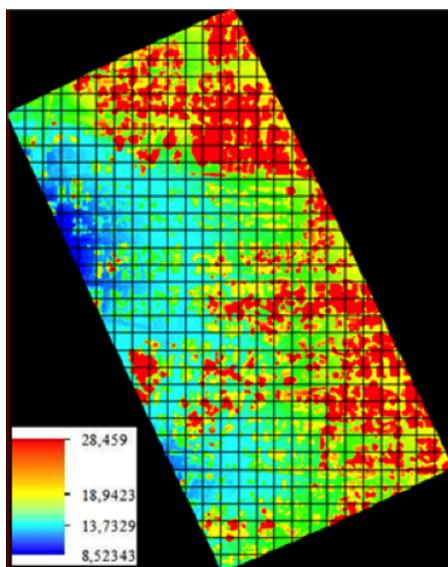
**Figura 2:** Grilla de puntos DSM en el esquema del recubrimiento de las fotografías en la ventana de *Orthomaster* del software *Inpho*.

**Fuente:** Elaboración propia

## RESULTADOS

Se obtiene después de la aerotriangulación un valor Sigma Naught de  $1,6\mu$ , el cual cumple con el estándar requerido de precisión de máximo  $1/3$  del tamaño de píxel ( $3\mu$  para el proyecto).

En la figura 3 se puede observar el DSM resultante del procedimiento mencionado. El DSM refleja que los valores más cálidos son los más altos, y por consiguiente, los más fríos son más bajos. Si se tiene en cuenta que la zona es relativamente plana, la escala en la que varían estos valores de altura no es muy amplia. Como el *software* elaboró un DSM, también toma valores de altura, como por ejemplo en techos de los predios y las copas de los árboles. A raíz de esto se denotan tonalidades rojas con una altura de 28,459 m, siendo un valor que no está presente sobre el terreno, sino sobre la superficie.



**Figura 3:** DSM elaborado con el *software Inpho*.

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto a la generación de las ortofotos, para el GSD de 0,045 m se obtuvieron dos ortofotos para cada fotografía correspondiente, las cuales presentan la

misma información sobre el área en común de manera georreferenciada. Para el GSD de 0,018 m se generaron cuatro secciones por cada fotografía de manera georreferenciada.

Estas ortofotos se formaron a partir del mismo DSM y se pueden observar en las figuras 4 y 5, respectivamente.



**Figura 4:** Ortofoto con GSD de 0,045 m elaborado con el *software Inpho*.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5:** Ortofoto con GSD de 0,018 m elaborado con el *software Inpho*.

**Fuente:** Elaboración propia

Tras un análisis de objetos puntuales sobre las ortofotos se encontró que algunos objetos presentaban mayor distorsión en su tipología y forma en la ortofoto con un GSD de 0,018

m. De la misma manera, siendo una escala permitida 1:5000 con un GSD de 0,045 m, se presenta también una leve distorsión en los objetos, pero no con el mismo impacto en comparación. En la figura 6 se observa la comparación de algunos objetos entre las dos ortofotos generadas.

Se observa en la figura 6 cómo el separador de la vía y las líneas presentes en ella se ven distorsionadas en cuanto a su forma recta, de igual forma en la ortofoto con un GSD de 0,018 m se presenta una mayor distorsión de este objeto, perdiendo así sus propiedades tipológicas al momento de realizar una restitución sobre este producto. Cabe resaltar que los objetos se encuentran espacialmente ubicados en una de las esquinas de la ortofoto donde la posibilidad de que haya más distorsión es mayor.



**Figura 6:** Comparación de la vía entre la ortofoto con GSD de 0,018 m y 0,045 m (arriba y abajo, respectivamente)

**Fuente:** Elaboración propia

Con respecto al análisis del edificio presente en la figura 7, los segmentos de recta que

unen el polígono tienen una distorsión en cuanto a su geometría, que de igual forma impide la captura de aquel, en un proceso de restitución si se habla de cartografía enfocada en catastro y toma de información espacial métrica y visual de predios.



**Figura 7:** Comparación de un edificio entre la ortofoto con GSD de 0,018 m y 0,045 m (arriba y abajo, respectivamente)

**Fuente:** Elaboración propia

Las zonas que se encuentran hacia el centro de la ortofoto no presentan ninguna distorsión (figura 8), donde los predios conservan una forma adecuada a su naturaleza, donde sí serviría la ortofoto con un GSD de 0,018 m para un catastro multipropósito, pero a su vez sería un limitante con respecto al área que se puede restituir; entonces, el costo de adquirir una mayor cantidad de imágenes, en las que solo se utilice el área del centro, sería más elevado y poco eficiente.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La fotogrametría digital es una herramienta clave para la focalización y desarrollo de la nueva etapa que el país quiere proyectar y generar en sus nuevos alcances en materia ca-



**Figura 8:** Comparación de una región de predios entre la ortofoto con GSD de 0,018 m y 0,045 m (arriba y abajo, respectivamente)

**Fuente:** Elaboración propia

tastral. Sin embargo, es objeto de estudio hasta qué punto puede ser una herramienta objetiva y de calidad óptima para la generación de resultados pertinentes.

La resolución y la calidad del detalle de las ortofotos generadas para cartografía urbana disminuyen considerablemente a medida que se reduce el GSD, cuando estos productos son obtenidos de fotografías aéreas de cámara digital.

Las ortofotos urbanas con un tamaño de GSD de 0,018 m derivadas de fotografías aéreas a escala 1:7500 no se consideran un insumo fotogramétrico viable ni de óptima calidad para la elaboración de productos geográficos que apoyen el proceso de implementación de catastro multipropósito en el país, ya que la alta distorsión de los elementos presentes en el producto alteran sustancialmente sus propiedades métricas y visuales.

Las ortofotos urbanas con un tamaño de GSD de 0,045 m derivadas de fotografías aéreas a escala 1:7500 reflejan con buena calidad, alta precisión y baja distorsión los elementos geográficos presentes en un área urbana. Dicho producto fotogramétrico mantiene uniformemente las propiedades métricas y visuales que se requieren para adoptar productos cartográficos en el marco del catastro multipropósito que se adelanta en el país.

El modo de adquirir las fotografías aéreas, en función de su plataforma y altura de vuelo, influye en la calidad de las ortofotos analizadas desde el GSD porque mientras fotografías aéreas tomadas con una cámara digital a escala 1:7500 alcanzan un GSD de 0,045 m con escala 1:5000 para ser considerado un buen insumo fotogramétrico, fotografías aéreas tomadas desde un UAV con cámara no métrica alcanzan un GSD hasta de 0,006 m con escala 1:500 manteniendo precisión de los elementos, tal y como se demuestra en la investigación realizada por Quispe (2016). De esta forma tendrían que generarse más estudios enfocados a reconocer cómo cambia la implementación de ambos tipos de cámaras en los insumos con su impacto cartográfico en los productos finales. Se resalta además que en el proyecto se utilizó una cámara métrica la cual no permite llegar a escalas tan grandes sin perder precisión y calidad en los productos.

Es importante señalar que el DSM se generó automáticamente sin ninguna edición, lo que no permite manipular la información ni corregir errores presentes en él. Como el único parámetro que se tuvo en cuenta para la generación del DSM fue el tamaño de la grilla, se recomienda variar el factor en pruebas futuras para analizar de igual forma su impacto en la calidad de las ortofotos.

Para la generación de productos fotogramétricos

se sugiere contar previamente con insumos adquiridos desde diferentes modos y plataformas de captura, ya que factores como la altura de vuelo, escala de vuelo y tipo de cámara, influyen en la calidad del producto cartográfico final, cuando se estandarizan escalas fijas por decreto en grandes y costosos proyectos como la adopción de catastro multipropósito en el país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, B.; Enríquez, A.; García, H.; Hidalgo, D. y Rodríguez, F.O. (2015). *Investigación y modelación geográfica de un catastro hidráulico para la distribución de agua potable en Irapuato, Guanajuato*. (Tesis de pregrado en Ingeniería topográfica y fotogrametría). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán. México D.F., México.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2016). *Política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural-urbano*. Documento CONPES 3859, Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conp es/Econ %C3 %B3micos /3859.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conp%20es/Econ%C3%B3micos/3859.pdf)
- Felicísimo, A.M. (1994). *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales*. Recuperado de: [http://www6.uniovi.es/feli/pdf/libromdt .pdf](http://www6.uniovi.es/feli/pdf/libromdt.pdf)
- García, E. (2015). Planificación de vuelos fotogramétricos para UAV (Trabajo de Magister en Teledetección y SIG). Universidad de Oviedo, Escuela Politécnica de Mieres. España.
- Felipe, B.; Hernández-López, D. y Lerma, J.L. (2012). *Analysis of the Ground Sample Distance on large photogrammetric surveys*. *Revista Geomática Aplicada*; 4(4): 231-244.
- García, H. y Martínez, G. (2007). *Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México*. *Agricultura Técnica en México*, 33(3), 271-280.
- Pinzón, M (2010). *Fotogrametría terrestre aplicada a modelos físicos del laboratorio de procesos geotécnicos* (Tesis de pregrado en Ingeniería civil). Universidad de la Salle, Bogotá DC.
- Quispe, O. (2016). *Análisis de GSD para la generación de cartografía utilizando la tecnología drone, huaca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 18(36), 21-26.
- Sánchez, J. y Lerma, J.L. (2012). *Actualización de cartografía catastral urbana mediante LiDAR y SIG*. *GeoFocus*, 12, 53-70.
- Wilson, J.P. (2010). *Digital terrain modeling*. Los Ángeles: Spatial Sciences Institute, University of Southern California.
- Xiaozhen, D. (2007). Production of digital orthophoto map based on INPHO software. *Modern Surveying and Mapping*, 30, 27-29.