

VIDEOGRAMETRÍA UAV

Paola Andrea Mejía Zuluaga⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ingeniera Topográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia
paomejia23@gmail.com

Resumen

El objetivo del presente trabajo, es desarrollar una propuesta metodológica y posterior implementación de una primera aproximación al desarrollo de productos cartográficos (ortofotos), por medio de técnicas Videogramétricas sobre una plataforma UAV; con un eje temático orientado a la cartografía. Se desarrolló un lineamiento metodológico, en el cual se determinó como área de estudio el Parque Metropolitano San Cristóbal ubicado en la ciudad de Bogotá – Colombia, y se diseñó una planeación de vuelo orientada a obtener frames extraídos de video como insumo principal; adicional a ello, se posicionaron 7 puntos de control con GPS-RTK, y finalmente se procesó la información obtenida en campo con el fin de obtener una ortofoto. En este producto cartográfico, se obtuvo un valor de $RMSE_x = 3.3$ cm, $RMSE_y = 2.5$ cm y $RMSE_z = 2$ cm. Basados en los resultados del estudio, se concluye que la metodología aquí planteada, para obtener información cartográfica a partir del uso de la Videogrametría Uav, satisface las condiciones de precisión necesarias, otorgando así, una técnica para el mapeo aéreo.

Palabras claves: Videogrametría, Ortofotos, Uav, Cartografía.

1. Introducción

Actualmente se ha hecho necesaria la investigación y profundización, acerca de nuevos procesos para la toma de información y la posterior representación de una superficie (Remondino et al., 2012). Uno de estos nuevos desarrollos, es la Videogrametría Uav, la cual puede ser empleada para capturar información de la superficie terrestre, por medio de un sistema de no contacto; donde el insumo principal es una grabación de video en modo vertical, sobre una plataforma Uav; dicho insumo es posteriormente desfragmentado en frames (Hobbs et al., 2007), que cumplen con los requisitos estereoscópicos para la elaboración de productos cartográficos. Por lo tanto, este trabajo pretende demostrar si la Videogrametría Uav es una técnica apropiada para la producción cartográfica.

En los últimos años se han realizado algunos avances e implementaciones del modelamiento de superficies a partir de la videogrametría. En Colombia, existe una investigación orientada a la descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones (Díaz et al., 2006), en el cual se utiliza un programa Videogramétrico para detectar y graficar el movimiento de marcha de un modelo humano. En el ámbito internacional existen algunos trabajos orientados al modelamiento de diferentes superficies con capturas terrestres de video; Gruen, (1997) publicó una revisión titulada: "Fundamentos de videogrametría", donde relaciona las bases teóricas de la técnica, el desarrollo que ha tenido la misma con las cámaras-CCD, y los algoritmos necesarios para

la elaboración de productos Videogramétricos; el doctor Herráez et al., (2013), realizó otro trabajo representativo denominado: "Diseño y calibración de un sistema de modelamiento 3D, con videogrametría", en este trabajo se desarrolló una plataforma giratoria, que permite (mediante un sistema integrado de cámaras) hacer la reconstrucción del objeto contenido en ella, con base en una metodología Videogramétrica.

El desarrollo de la presente investigación, está basado en un método experimental que usa los fundamentos de la fotogrametría digital (Linder, 2003) y principios teóricos fotogramétricos (Eisenbeiß, 2009; Fernández-Hernández et al., 2015; Remondino et al., 2012; Saadatseresht et al., 2015), para establecer una metodología a partir de la exploración de una primera aproximación a la técnica de video con la modalidad de vuelo Uav; de ello se obtiene un producto cartográfico que se ajusta a las necesidades de precisión requeridas para trabajos profesionales de ingeniería.

2. Propuesta metodológica Videogrametría Uav

Se ha propuesto una metodología que cumple con los principios básicos para el mapeo, a partir de plataformas Uav con grabaciones de Video sobre el terreno (Fig. 1).

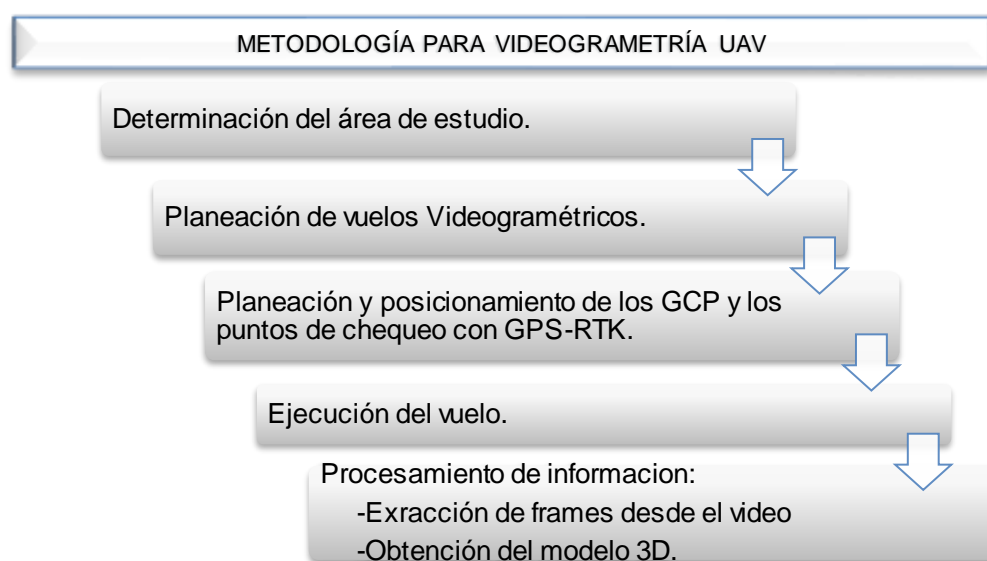


Figura 1. Propuesta metodológica para elaborar Videogrametría Uav

2.1. Planeación de vuelos Videogramétricos

La planeación del vuelo está orientada a determinar los parámetros necesarios para controlar la adquisición de información aérea, de manera que los resultados puedan satisfacer las necesidades del proyecto (Fernández-Hernández et al., 2015), (Fig. 2). Primero se define la resolución del video y la velocidad del vuelo, en segundo lugar, se realiza una calibración de la cámara para conocer los parámetros internos y externos

(Caire Lomeli, 1977), este proceso es de gran importancia debido a que la distancia focal definida por el fabricante de la cámara, no aplica para proyectos con video y es por ello que debe realizarse una calibración previa a la planeación del proyecto (Fathi, 2016). El insumo principal para la calibración, debe ser frames extraídos de un video que haga alusión a la grilla de calibración pertinente (Herráez, 2016).

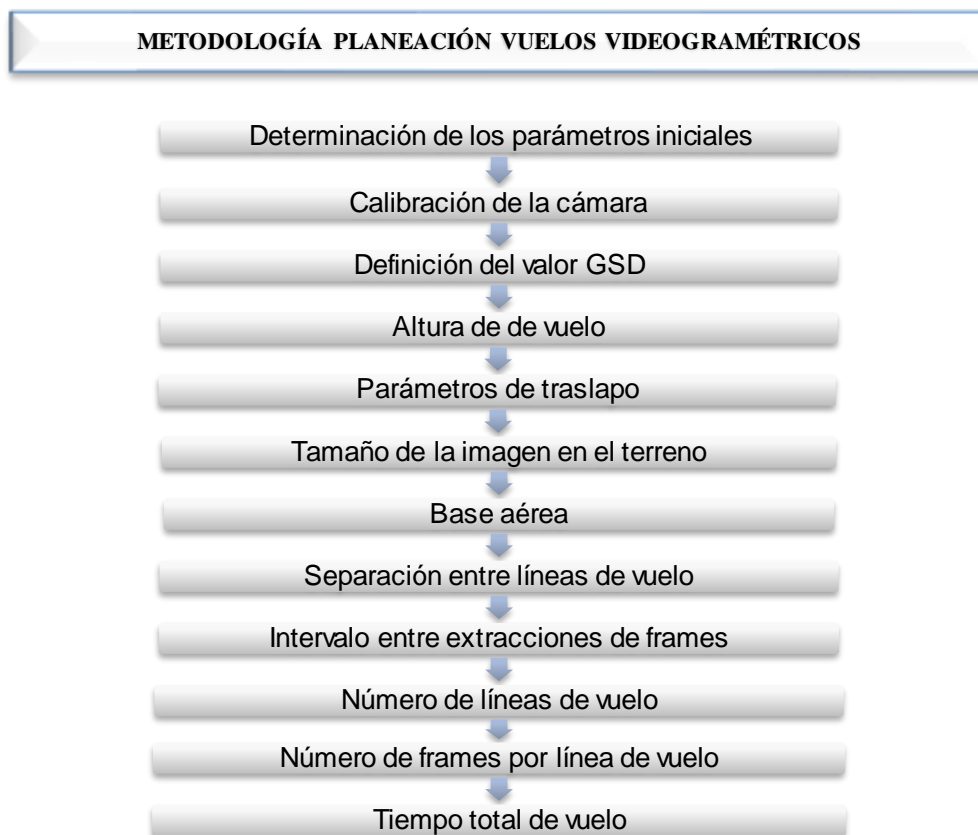


Figura 2. Propuesta metodológica para elaborar Videogrametría Uav

El valor del GSD hace referencia a la distancia que abarca cada pixel en el terreno (m/px), y es posible calcularlo a partir de la ecuación 1 (Vollgger & Cruden, 2016); donde H representa la altura de vuelo necesaria para mantener las características del proyecto, el tamaño del ancho del sensor es definido por el fabricante junto con los tamaños del ancho de la imagen de acuerdo a la resolución de trabajo, y finalmente f es calculada a partir de la calibración de la cámara.

$$GSD = \frac{H * Ancho_{sensor}}{Ancho_{imagen} * f}$$

Ecuación 1. Cálculo del GSD

Al igual que en la Fotogrametría Uav, se determina un valor de traslapo longitudinal del 60-80%, y uno transversal de 20-40% (Deagostini Routin, 1971), para cumplir con el principio estereoscópico de calcular una correspondencia de puntos con el fin de generar un modelo digital del terreno.

2.2. Planeación GCP y puntos de chequeo

Debido a que a la fecha, no existe soporte teórico que determine la cantidad de controles en tierra (GCP), relacionados directamente con el tamaño del terreno, para proyectos de cartografía aérea digital con plataformas Uav (Nizam Tahar, 2016); se determina la cantidad de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, utilizando una distribución uniforme de los mismos.

2.3. Procesamiento de la información

Para el flujo de trabajo Videogramétrico, es necesario realizar una extracción de frames acorde con los resultados de la planeación del vuelo, sobre dichos frames, se efectúa una correspondencia de puntos mediante el cálculo del vecino más cercano en píxeles (Bay et al., 2008), con algoritmos como SURF (Speeded-Up Robust Features: Bay et al., 2008), y SIFT (Scale-Invariant Feature Transform: Lowe, 1999). Por otra parte, debe realizarse el ajuste de bundle (Bundle Adjustment Method) para hacer la reconstrucción de las coordenadas 3D de la orientación exterior (Anai et al., 2014), se realiza una triangulación que lleva a conocer las coordenadas de los nuevos puntos desconocidos (Luhmann, Robson, Kyle, & Harley, 2006); este ajuste está basado en la condición de colinealidad. El DSM se calcula a partir del algoritmo SGM (Semi-global matching), con el cual es posible obtener una resolución por pixel equivalente al valor del GSD (Gonçalves & Henriques, 2015). También es posible realizar un DEM, el cual es calculado a partir del algoritmo de reconstrucción de múltiples vistas, aplicado para producir una malla de polígonos en 3D que opera los valores de pixel para reproducir la geometría de una superficie (Ryan et al., 2015).

3. Experimento

3.1. Materiales

3.1.1. UAV – Phantom 3 Professional

En la figura 3, se observa el Phantom 3 professional utilizado para este experimento, juntos con sus especificaciones presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del UAV

Velocidad Máx.	16 m/s (sin viento)
Altura de vuelo Máx.	6000 m
Tiempo de vuelo Máx.	23 minutos aprox.
Modo GPS	GPS/GLONASS



Figura 3. UAV Phantom 3 professional

En la tabla 2, se muestran las especificaciones de la cámara utilizada en este proyecto.

Tabla 2. Especificaciones de la cámara

Sensor	Sony EXMOR 1/2.3" Píxeles efectivos: 12.4
Objetivo	FOV 94° 20 mm
Intervalo ISO	100-3200 (vídeo) 100-1600 (fotos)
Tamaño máx. imagen	4000 x 3000
Modos de grabación de video	UHD: 4096x2160 FHD: 1920x1080 HD: 1280x720



Figura 4. Cámara Phantom 3 professional

3.1.2. GPS-RTK – Leica Geosystem 500

Se utilizó un GPS-RTK System 500, para obtener las coordenadas en tiempo real de los puntos de control y los puntos de chequeo, con una precisión submétrica (Leica, 2002).

3.2. Implementación Videogrametría Uav

El área de estudio definida para este proyecto, es un fragmento del Parque Metropolitano San Cristóbal, en la localidad de San Cristóbal, ubicado al suroriente de la ciudad de Bogotá – Colombia. La figura 5, representa la zona específica de estudio, a nivel nacional, departamental y distrital. Dicho fragmento (Fig. 6), tiene unas dimensiones de 120 metros de ancho y 220 metros de largo, lo que representa un área de 2.64 hectáreas.

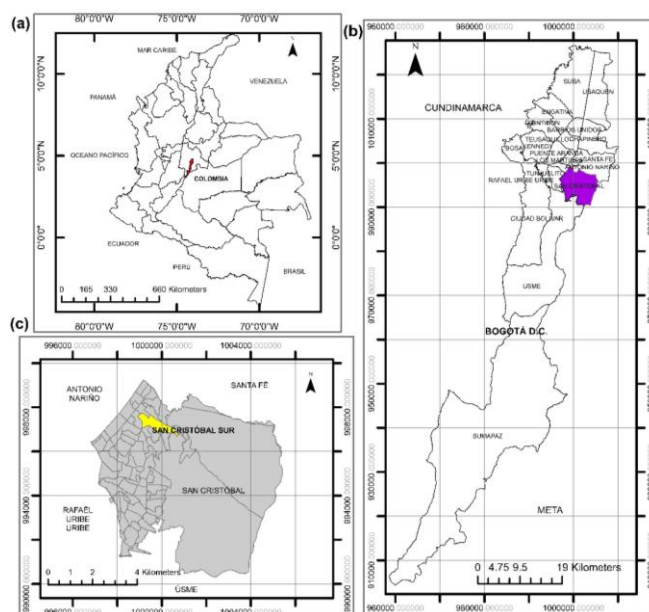


Figura 5. Mapa ubicación del área de estudio, (a) Bogotá - Colombia, (b) Localidad San Cristóbal – Bogotá, (c) Barrio San Cristóbal sur



Figura 6. Área de estudio dentro del parque metropolitano san Cristóbal

Se determina una resolución de Video 4k UHD (4096 x 2160 px), a una velocidad de vuelo de 5 m/segundos. Para conocer la distancia focal en video de la cámara, del uav phantom 3 professional se realiza un proceso de calibración con el software (*Photomodeler Scanner*, 2016), que da como resultado un valor de 4.3 mm. Es importante controlar los parámetros de autoenfoco y de zoom antes de realizar cualquier proyecto de videogrametría, debido a que si alguno de estos dos aspectos cambia, la distancia y por ende la planeación del vuelo también cambia (Herráez, 2016).

Por otra parte, se opta por un valor GSD de 3.5 cm/pixel con base en el criterio del investigador de este trabajo; que da como resultado una altura de vuelo de 88 metros (Eq. 2), y se determinó un traslapo longitudinal de 80%. En la tabla 3, se puede observar los resultados de la planeación del vuelo, haciendo énfasis en la cantidad de frames extraídos por línea de vuelo, siendo ésta, una de las mayores diferencias entre el uso de la Fotogrametría y la Videogrametría.

$$H = \frac{GSD * Ancho_{imagen} * f}{Ancho_{sensor}} = \frac{3.5 \left(\frac{cm}{px} \right) * 4096(px) * 4.8(mm)}{7.81 (mm) * 100} = 88 m$$

Ecuación 2. Altura de vuelo

Tabla 3. Planeación vuelo Videogramétrico del proyecto

RESULTADOS - PLANEACIÓN VUELO VIDEOGRAMÉTRICO	
Distancia focal - f (mm)	4.8
GSD (cm/px)	3.5
Altura de vuelo (m)	88
Ancho tamaño de la imagen (m)	143.36
Largo tamaño de la imagen (m)	75.6

S - Área cubierta x foto (km2)	0.01
Base aérea (m)	15.12
a (m)	86.016
Intervalo extracción frames (seg)	3
Número líneas vuelo	1
Número de frames por línea	15
Tiempo total de vuelo (seg)	45

Se determinan 7 puntos de control (GCP), para reconocer y georreferenciar el área total del proyecto (2.64 ha), y se distribuyen uniformemente, de acuerdo con la topografía del terreno; en la figura 7, se muestra la distribución de los puntos de control (identificados con triángulos rojos), en el área de estudio (polígono azul) y los puntos de chequeo se identifican con círculos color naranja. Por otra parte, se determinan 20 puntos de chequeo de precisión horizontal y vertical (utilizados para realizar el análisis de la precisión de los resultados cartográficos), distribuidos en suelo despejado (sin vegetación arbustiva o arbórea); con la finalidad de conocer las coordenadas reales de los puntos sujetos al terreno (ASPRS, 2014).

La ejecución del vuelo se realizó aproximadamente a las 9.30 de la mañana, con el fin de garantizar que la altura del sol se encuentre aproximadamente entre 30° y 40° (Deagostini Routin, 1971) y reducir la longitud de las sombras que se puedan presentar en el terreno a la hora de vuelo. La captura del video, se realizó en la dirección oeste-este según la planeación del vuelo, a una altura de 88 metros, con una duración de grabación de 45 segundos; se mantuvo una distancia principal fija durante todo el proceso y se conservó la misma resolución para reducir al mínimo la distorsión (Hu et al., 2012).

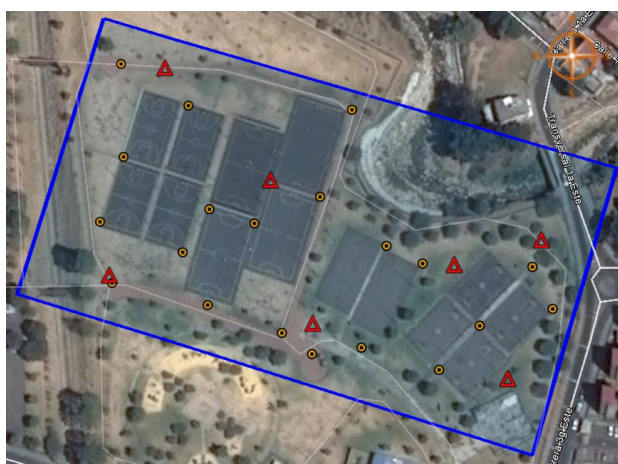


Figura 7. Ubicación preliminar GCP del proyecto

La extracción de frames, se realizó por medio del software Photomodeler Scanner, con la herramienta "Video Frame Extractor", programada para realizar una extracción de imágenes cada 3 segundos; como resultado, se obtienen 15 frames (según planificación

Videogramétrica), con los cuales se abarca el área total de estudio (2.64 ha), con un traslapeo longitudinal del 80% entre uno y otro frame.

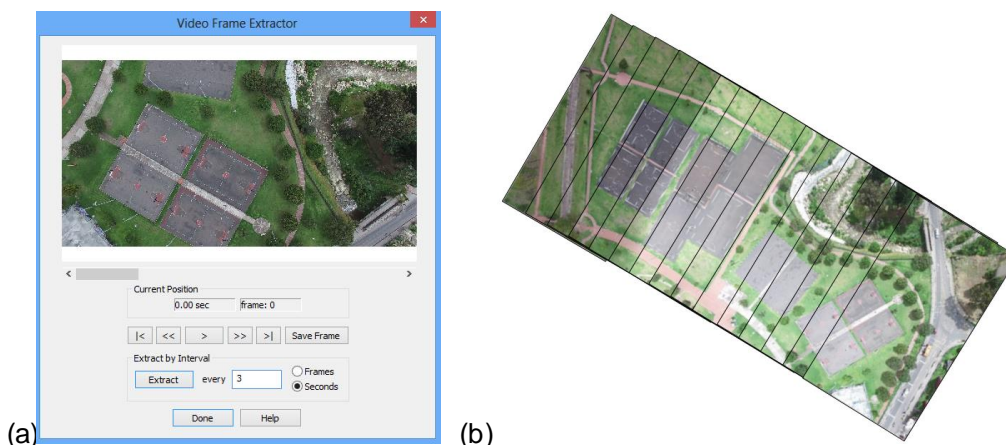


Figura 8. (a) Herramienta "Video frame extractor", (b) frames extraídos del video

Los insumos necesarios para realizar la modelación 3D de un proyecto, son los frames, la calibración de la cámara y los GCP; de ellos y de la precisión con la que fueron elaborados, depende la calidad de los resultados obtenidos en los modelos 3D. El software que se utiliza para la elaboración de este proceso, es Agisoft Photoscan, dentro del cual hay que importar primero los frames, y luego la calibración de la cámara, para proceder con el alineamiento de los mismos, por otra parte, la georreferenciación de la nube de puntos, se realiza por medio de los targets posicionados en el terreno a la hora del vuelo (Figura 9), para lo cual se efectúa la identificación de los mismos en dos frames inicialmente, luego el programa correlaciona la ubicación de dichos puntos en los frames siguientes, y aproxima una ubicación que es posicionada correctamente por el usuario.

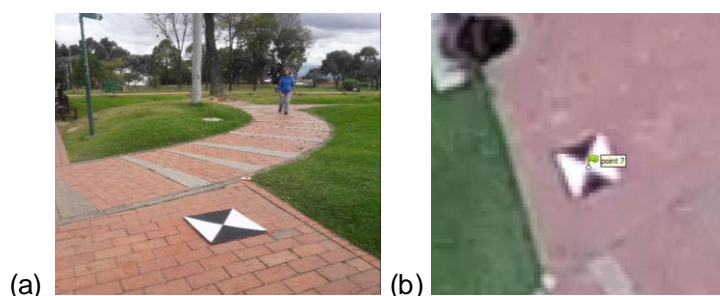


Figura 9. (a) Señalización GCP7 en el terreno, (b) Georreferenciación GCP 7

A partir de la georreferenciación del proyecto, se realiza la triangulación del terreno (con el fin de llenar todos los vacíos puntuales del modelo), mediante la información 2D de todos los puntos; a continuación se generó un DEM con base en los resultados de la nube densa de puntos y la triangulación del terreno, con una resolución de 13.3 cm/pixel y una nube densa de puntos de 56.635 por m². La producción de la ortofoto, se realiza mediante la herramienta "Build orthomosaico"; para su obtención se utiliza un valor de

pixel de 3.32 cm, recomendado por el sistema de acuerdo a la resolución calculada por él mismo. El resultado de la ortofoto se ilustra en la figura 10.b, con un tamaño de 8.765x6.177 px; georreferenciado en el sistema de coordenadas Magna Colombia Bogotá.

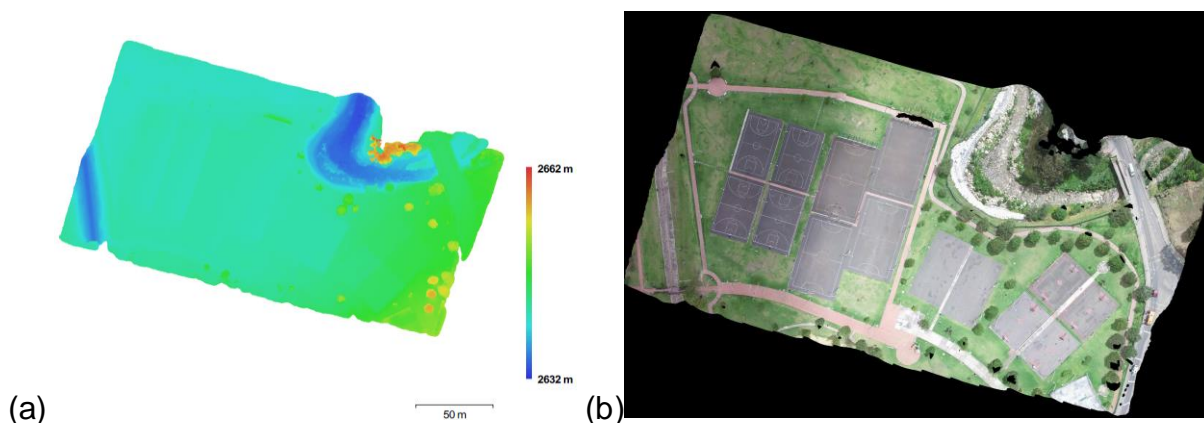


Figura 10. (A) DEM final, (b) Ortofoto final

4. Resultados

Para el análisis de la precisión, se utilizan los 20 puntos de chequeo, distribuidos dentro del área de estudio y posicionados con GPS-RTK; dichos puntos, se toman tanto en campo, como en el modelo digital para obtener la relación que existen entre sus coordenadas. Este conjunto de datos se prueba para cumplir con los estándares de exactitud posicional de datos geoespaciales digitales de la ASPRS; donde, para 5 cm de $RMSE_x/RMSE_y$ de exactitud horizontal, se encuentra una precisión para la posición actual de un $RMSE_x = 3.3$ cm y un $RMSE_y = 2.5$ cm; lo que equivale a una precisión horizontal = ± 7.1 cm con un nivel de confianza del 95%. Por otra parte, para 2.5 cm de $RMSE_z$ de exactitud vertical, se encuentra una precisión para la posición actual un $RMSE_z = 2$ cm; lo que equivale a una precisión vertical = ± 8.1 cm con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4. Análisis de resultados - Puntos de Chequeo

Número de puntos de chequeo	20	20	20
Error medio (m)	-0.010	-0.007	-0.002
Desviación estándar (m)	0.032	0.025	0.020
RMSE (m)	0.033	0.025	0.020
RMSEr (m)	0.041	$RAIZ(RMSE_x^2 + RMSE_y^2)$	
NSSDA exactitud horizontal _r (ACCr) nivel de confianza 95%	0.071	$RMSEr * 1.7308$	
NSSDA exactitud Vertical _r (ACCr) nivel de confianza 95%	0.081	$RMSEr * 1.9600$	

5. Conclusiones

A nivel teórico, este trabajo permite presentar por primera vez, una propuesta metodológica para la implementación de la Videogrametría Uav, como una técnica de no contacto, para reconstruir vistas de la superficie terrestre por medio de Videos.

El análisis estadístico de la producción de una ortofoto a partir de esta técnica, según los estándares de la ASPRS, arroja resultados positivos de los cuales se puede concluir que, el modelo se ajusta teóricamente en precisión a los requerimientos cartográficos, con unos valores de $RMSE_x = 0.033$ m, $RMSE_y = 0.025$ m, $RMSE_z = 0.02$ m. Con esto se puede afirmar que a partir de la Videogrametría Uav, y por medio de la aplicación de la metodología aquí propuesta, es posible realizar productos cartográficos de precisión. Por otra parte, para fines prácticos, la Videogrametría Uav permite el control total de los datos al momento del post proceso, debido a que se pueden realizar reestructuraciones posteriores o incluso, la realización de varios proyectos con diferentes traslapes abarcando la misma zona, por medio de la extracción de frames; sin contar, que el video de captura le muestra al usuario, una perspectiva más real de la zona y con más detalles, lo que le permite analizar y enfocar de una manera más eficaz los productos finales

Trabajo Futuro

La continuación de este trabajo, está precedida por la investigación de la cantidad y distribución de los puntos de control, para ajustar un modelo de acuerdo con el tamaño del área de estudio, utilizando plataformas Uav. Se recomienda realizar otras pruebas de vuelos Videogramétricos, en los cuales existan variaciones en los valores de GSD, altura de vuelo y traslapo deseado; adicional a ello, es importante desarrollar una caracterización y definición de los frames extraídos de video, con el fin de seleccionar las imágenes con menor distorsión.

REFERENCIAS

- Agisoft PhotoScan Professional (Versión 1.2). (2016). St. Petersburg, Russia.
- Anai, T., Sasaki, T., Otani, H., Osaragi, K., & Kochi, N. (2014). Aerial photogrammetry procedure optimized for micro UAV. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5), 41–46. <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-41-2014>
- ASPRS. (2014). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 1–26. <http://doi.org/10.14358/PERS.81.3.A1-A26>
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3), 346–359. <http://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>
- Caire Lomeli, J. (1977). *FOTOGRAFÍA – I Fotogrametría Terrestre*. Editorial Rodríguez. Distrito Federal, México.
- Deagostini Routin, D. (1971). *FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y PLANEACIÓN DE VUELOS*. Centro interamericano de fotointerpretación (Vol. 1). Bogotá: Ministerio de obras públicas.
- Díaz, C. A., Torres, A., Ramírez, J. I., García, L. F., & Álvarez, N. (2006). Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones, CineMED. *Revista EIA*, (5), 85–92.
- Eisenbeiß, H. (2009). *UAV photogrammetry*. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing. <http://doi.org/doi:10.3929/ethz-a-005939264>

- Fathi, H. (2016). Correo electrónico: Question about research article "Progressive 3D reconstruction of infrastructure with Videogrammetry".
- Fernández-Hernández, J., González-Aguilera, D., Rodríguez-González, P., & Mancera-Taboada, J. (2015). Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry*, 57(1), 128–145. <http://doi.org/10.1111/arcm.12078>
- Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101–111. <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>
- Gruen, A. (1997). Fundamentals of videogrammetry — A review. *Human Movement Science*, 16(2), 155–187. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(96\)00048-6](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(96)00048-6)
- Herráez, J. (2016). Correo electrónico: Questions about research article "Design and calibration of a 3D Modeling by Videogrammetry"
- Hobbs, S., Seynat, C., & Matakidis, P. (2007). Videogrammetry: A practical method for measuring vegetation motion in wind demonstrated on wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(3-4), 242–251. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.008>
- Hu, H., Liang, J., Xiao, Z. Z., Tang, Z. Z., Asundi, A. K., & Wang, Y. X. (2012). A four-camera videogrammetric system for 3-D motion measurement of deformable object. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(5), 800–811. <http://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2011.12.011>
- Leica. (2002). *GPS System 500 Manual de Referencia Técnica*. Leica Geosystems.
- Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. In *International conference on computer vision*. IEEE Conference Publications. <http://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410>
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2006). *Close Range Photogrammetry. Collision. The International Compendium for Crash Research* (Vol. 2). <http://doi.org/10.1111/phor.12114>
- Nizam Tahar, K. (2016). Correo electrónico: Question about research article: "Assessment on ground Control point in unmanned aerial system image processing for slope mapping studies".
- Photomodeler Scanner (Versión 2016). (2016). Vancouver, Canadá.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2012). Uav Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling – Current Status and Future Perspectives. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/, 25–31. <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011>
- Ryan, J. C., Hubbard, A. L., Box, J. E., Todd, J., Christoffersen, P., Carr, J. R., ... Snooke, N. (2015). UAV photogrammetry and structure from motion to assess calving dynamics at Store Glacier, a large outlet draining the Greenland ice sheet. *Cryosphere*, 9(1), 1–11. <http://doi.org/10.5194/tc-9-1-2015>
- Saadatseresht, M., Hashempour, A. H., & Hasanlou, M. (2015). Uav Photogrammetry: a Practical Solution for Challenging Mapping Projects. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1-W5, 619–623. <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-619-2015>
- Vollgger, S. A., & Cruden, A. R. (2016). Mapping folds and fractures in basement and cover rocks using UAV photogrammetry, Cape Liptrap and Cape Paterson, Victoria, Australia. *Journal of Structural Geology*, 85, 168–187. <http://doi.org/10.1016/j.jsg.2016.02.012>