

DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v6i11.0197>

CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE EXPLANACIONES CON EL USO DE DRONES

QUANTIFICATION OF VOLUMES OF EARTHWORKS WITH THE USE OF DRONES

Ross-Lopera Claudio Ulise ¹; García-Vinces Jimmy Jeffrey ²

¹ Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Viabilidad, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. Correo: rossclaudio@hotmail.com.

² Docente Auxiliar Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Física y Químicas Dpto. de Construcciones Civiles y Arquitectura, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. Correo: jimmy.garcia@utm.edu.ec.

Resumen

Uno de los desafíos que enfrentan los topógrafos en la adquisición de datos espaciales precisos para aplicaciones mineras, es el riesgo que implica adquirir datos en terrenos accidentados y áreas difíciles o inaccesibles. En ese sentido, el objetivo de esta investigación es determinar un coeficiente de compatibilidad para la cuantificación de volúmenes de explanaciones en levantamientos topográficos mediante el uso de drones y GPS de precisión. Para el desarrollo de esta investigación en primera instancia, se realizó una revisión a la literatura fuentes bibliográficas con información de los métodos de levantamiento topográfico en la cuantificación de volumen. Por otro lado, se realizó un levantamiento topográfico de cuantificación de volúmenes de explanaciones con el uso de drones y GPS de precisión. A partir de los resultados, se evaluó la compatibilidad entre los métodos fotogramétricos con drones y GPS de precisión en la cuantificación de volúmenes de explanaciones. De este modo fue posible comparar los datos obtenidos en la cuantificación de volúmenes con cada método evaluado. Los principales resultados de esta investigación sugieren que a partir del uso de métodos fotogramétricos con drones no se puede alcanzar la precisión obtenida con equipos convencionales en la medición de volúmenes de explanaciones.

Palabras claves: topografía, explanaciones, drones.

Abstract

One of the challenges surveyors face when collecting accurate spatial data for mining applications, is the risks of obtaining data in rough terrain and in hard-to-reach or inaccessible areas. In this sense, the objective of this study was to determine the concordance factor for the estimation of earth movements in a topographic survey using UAVs and GPS. To develop this study in a first step, a review of bibliographic sources with information on topographic survey methods in mass quantification was carried out. On the other hand, a topographical survey was carried out to quantify earth movements using drones and precision GPS. of the results The compatibility of photometric methods with accurate UAV and GPS in the measurement of volume of earthworks was evaluated. In this way, the data obtained for volume estimation can be compared with each method evaluated. The main results of this study indicate that by using UAV photometric methods, the precision obtained with conventional equipment in measuring the volume of earthworks can not be achieved.

Keywords: topography, earthworks, drones.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de abril de 2022.

Fecha de aceptación: 30 de junio de 2022.

Fecha de publicación: 01 de julio de 2022.





1. Introducción

Los trabajos ingenieriles que tienen como finalidad planificar y ejecutar una obra civil dependen de modelamientos de terreno que deberán elaborarse de forma precisa y confiable, en aras de poder garantizar un proyecto eficiente (Eker et al., 2018). La captación de información de campo permite alcanzar los resultados esperados por el profesional de la ingeniería civil, de modo que existen varias alternativas metodológicas que posibilitan la obtención información exacta de la ubicación geográfica y las características topográficas de la obra (Woldu et al., 2020).

Una de las herramientas más empleadas en los estudios topográficos de un espacio, suelo o determinado terreno es la cuantificación de volúmenes mediante sistemas digitales (García et al., 2020). Con esto se viene dando paso al uso de drones, que son equipos no tripulados que pueden alcanzar alturas de 300 metros y velocidades de 80 km/h, generando resultados con alto nivel de significancia (del Río Santana et al., 2020; Casella et al., 2020). Sin

embargo, es necesario determinar la correlación con la precisión de sistemas de alta precisión que han demostrado altos grados de fiabilidad, como es el caso de los GPS de precisión.

Existen pocos estudios que han evaluado la compatibilidad y correlación de los volúmenes de explanaciones calculados partir del método de fotogrametría con drones y métodos convencionales de alta precisión (Herrera et al., 2019; Masseroni et al., 2019); por lo que se requiere establecer coeficientes de compatibilidad que permitan utilizar el sistema fotogramétrico con total seguridad y fiabilidad, y a la vez determinar el grado de precisión en la evaluación topográfica de este tipo de levantamientos. Esto generaría sustanciales ventajas técnicas y operativas en el ámbito civil, debido a que el método fotogramétrico puede ofrecer levantamientos topográficos más rápidos, económicos y fundamentalmente eficaces.

Marco teórico

Con los avances en la tecnología y principalmente en las forma de realizar levantamientos topográficos



y con el pasar de los años se tiene como propósito tener un mejor resultado con menores gastos y riesgo tanto del personal humano como en los equipos de topografía, en la realización de trabajos en lugares con difíciles abscesos por las irregularidades en el terreno, en el tipo de vegetación extrema o por estar en lugares peligrosos, tenemos que los profesionales tienden a usar equipos que nos faciliten a los resultados en los trabajos como de la simplificación y la reducción de los tiempos en los levantamientos topográficos que empezamos con el uso de los drones como una de las herramientas más confiable para la realización de los levantamientos topográficos y para la intervención de los controles de volúmenes en alguna explanación en vías intervenida.

Con el advenimiento de la tecnología moderna, ahora se pueden obtener datos geoespaciales precisos de manera segura para la documentación minera adecuada periódicamente (Ajayi et al., 2020). En general, existe evidencia de que el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la adquisición de datos en la prospección de minas

ha sido un medio viable para obtener datos geoespaciales confiables de manera rápida y eficiente.

Bajo esta premisa, Sokolović & Bajric (2016) denotan la importancia de determinar la relación estadística entre el área de corte, la pendiente transversal del terreno y la profundidad de la calzada mediante el procesamiento estadístico de los datos mediante la utilización de drones.

En explanaciones agrícola-forestales, el área de corte aumenta cuando aumenta la pendiente transversal del terreno para suelos de grano fino (coherentes) (Categoría C) y piedras duras (Categoría A), cuando aumenta la profundidad de la calzada, el área de corte aumenta varias veces.

Los trabajos ingenieriles que tienen como finalidad planificar y ejecutar una obra civil dependen de modelamientos de terreno que deberán elaborarse de forma precisa y confiable, en aras de poder garantizar un proyecto eficiente (Eker et al., 2018). La captación de información de campo permite alcanzar los resultados esperados por el profesional de la ingeniería



civil, de modo que existen varias alternativas metodológicas que posibilitan la obtención información exacta de la ubicación geográfica y las características topográficas de la obra (Woldu et al., 2020).

Una de las herramientas más empleadas en los estudios topográficos de un espacio, suelo o determinado terreno es la cuantificación de volúmenes mediante sistemas digitales (García et al., 2020). Con esto se viene dando paso al uso de drones, que son equipos no tripulados que pueden alcanzar alturas de 300 metros y velocidades de 80 km/h, generando resultados con alto nivel de significancia (del Río Santana et al., 2020; Casella et al., 2020). Sin embargo, es necesario determinar la correlación con la precisión de sistemas de alta precisión que han demostrado altos grados de fiabilidad, como es el caso de los GPS de precisión.

2. Metodología

Existen pocos estudios que han evaluado la compatibilidad y correlación de los volúmenes de explanaciones calculados partir del

método de fotogrametría con drones y métodos convencionales de alta precisión (Herrera et al., 2019; Masseroni et al., 2019); por lo que se requiere establecer coeficientes de compatibilidad que permitan utilizar el sistema fotogramétrico con total seguridad y fiabilidad, y a la vez determinar el grado de precisión en la evaluación topográfica de este tipo de levantamientos. Esto generaría sustanciales ventajas técnicas y operativas en el ámbito civil, debido a que el método fotogramétrico puede ofrecer levantamientos topográficos más rápidos, económicos y fundamentalmente eficaces. Para desarrollar este estudio en un primer paso, se realizó una revisión de fuentes bibliográficas con información sobre métodos de levantamiento topográfico en cuantificación de masas. Por otro lado, se realizó un levantamiento topográfico para cuantificar los movimientos de tierra mediante drones y GPS de precisión. de los resultados Se evaluó la compatibilidad de métodos fotométricos con UAV y GPS precisos en la medición de volumen de movimiento de tierras. De esta forma, los datos obtenidos para la estimación de volumen se pueden



comparar con cada método evaluado.

3. Resultados y discusión

En varios recorridos al Ecuador y analizando los relieves topográficos que son diversos escogemos una vía ubicado en la provincia de Manabí en el cantón Chone de la parroquia Santa Rita del sector llamado La Balsa – Cañitas de 8.8 km que consta de tramos montañosos - ondulados y ondulados llanos y de una vegetación variada entre bosque con árboles de hasta 14 metros de altura como de cacaoteras de alturas comprendidas de 3.00 a 4.50 metros y pastizales de un promedio de altura de 1.3 metros, como de árboles frutales ubicados en diferentes tramos con la cual escogemos una

muestra de estudio de 1.543,87 km encontrándose con las coordenadas de inicio en la abscisa 1+898 (Y = 9920985.9860; X = 623095.3970) y coordenadas de fin en la abscisa 3+441,872 (Y = 9920272.7740; X = 622211.4040) una vez realizado los levantamiento iniciales de las cuales uno se realizó con la combinación de estación total Trimble M3 y un GNSS R8-S y por otra parte el uso de un dron Phantom 4pro y la utilización de polígonos base o puntos de control como el de la utilización de programas en este caso de estudios como: Eagle Point, Civil 3D, Agisoft Metashape profesional, Leica Cyclone 3D Point Cloud y Global Mapper y la utilización de un procesador Intel Core i-9 de 10 núcleos y 20 hilos de la décima generación.

Tabla 1.

ANEXO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS (GPS GNSS Y ESTACION TOTAL)					
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	LONGITUD	CORTE M3	RELLENO M3	
1+898.00	3+441.87	1.543,872 m	11548.81 m3	9939.0379 m3	
ANEXO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS (DRON)					
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	LONGITUD	CORTE M3	RELLENO M3	
1+898.00	3+441.87	1.543,872 m	23721.83 m3	8182.9576 m3	

En el tramo de la muestra considerado en el estudio, el incremento de volumen en lo que es corte es de 105,41% mayor de lo real debido a la variedad de vegetación encontrada y por la utilización de un

dron que no cuenta con Lidar, en lo que respecta a los rellenos o terraplenes la diferencia en los resultados es de 17,67% menor a lo real estando en un porcentaje razonables para la mayoría de los

profesionales mas no el porcentaje de corte.

En resumen, los Drones utilizados en los levantamientos topográficos son muy buenos para los levantamientos planimétricos o para realizar diseños o proyectos preliminares, más NO para las cuantificaciones de volúmenes de explanaciones, si se requiere intervenir los controles con el uso de un dron, se recomienda realizar levantamientos combinados,

utilizando en la topografía inicial equipos convencionales (GPS GNSS Y ESTACION TOTAL) y la topografía final con el uso de un dron con sus respectivos puntos de control

Para una cuantificación de volúmenes de explanaciones que sea confiable se requiere la utilización de un dron que contenga un Lidar.

Ilustración 1. Puntos de control.

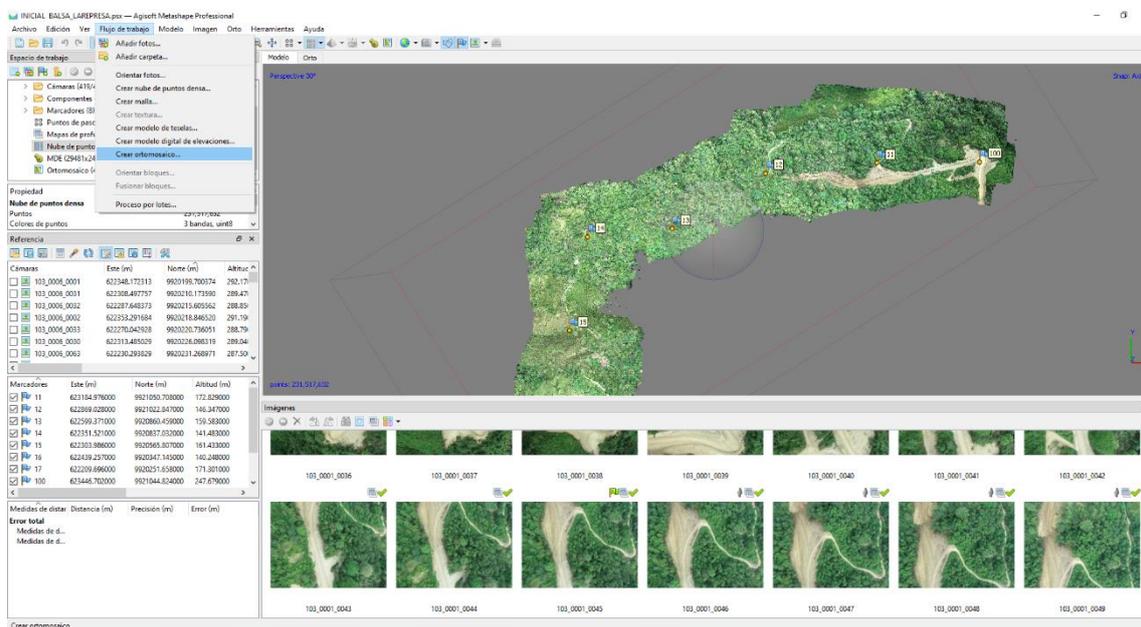


Ilustración 2: Realización del vuelo con puntos de control

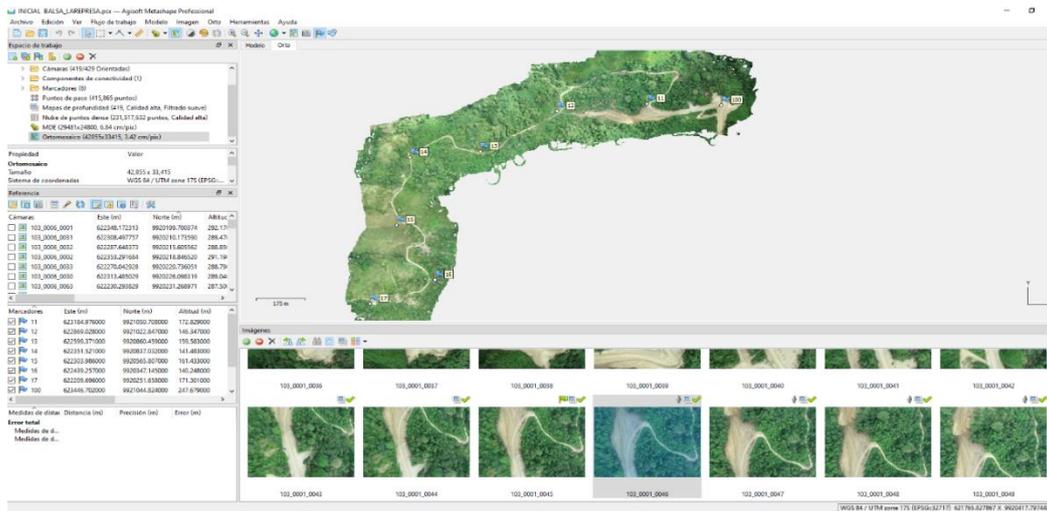


Ilustración 3. Marcas identificables en el Terreno

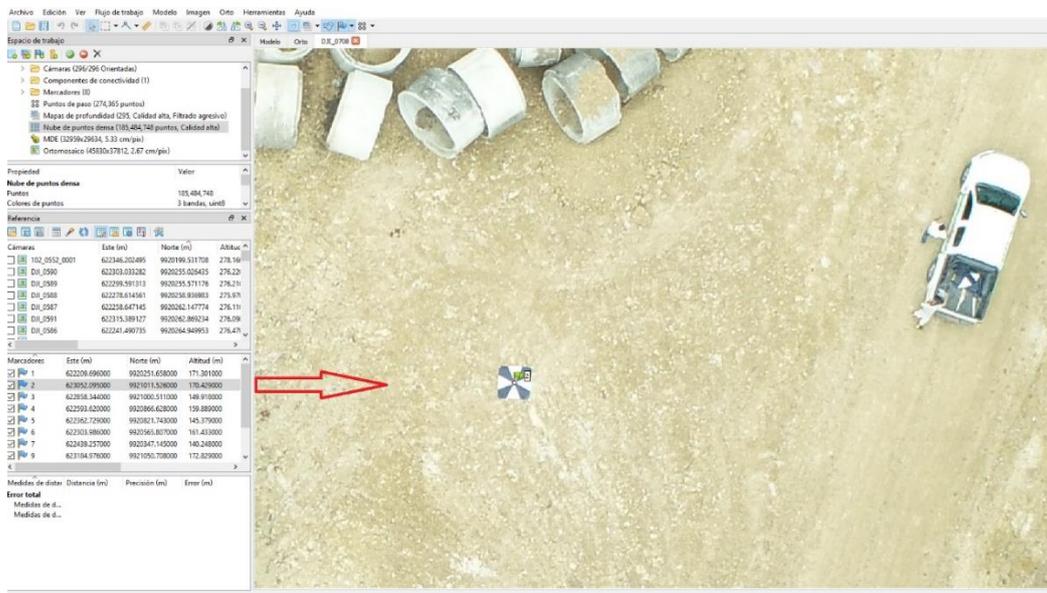


Ilustración 4. Nube de puntos importada



Ilustración 5. Nube de puntos importada

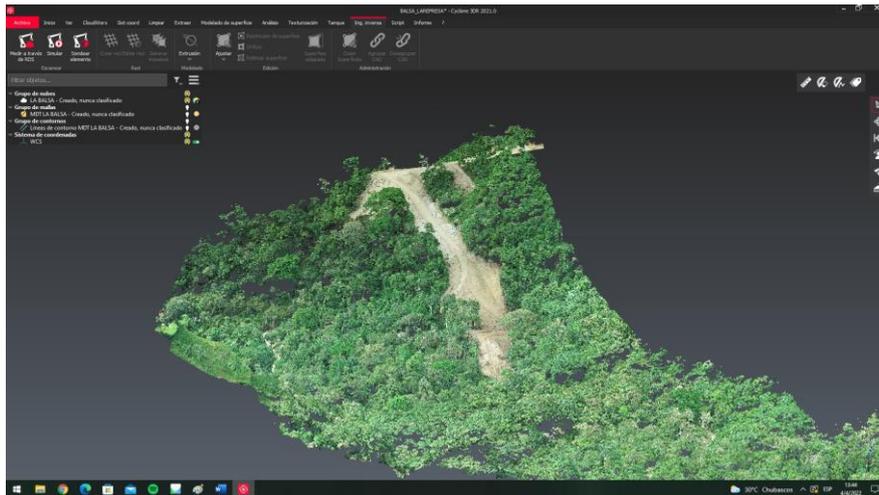


Ilustración 6. Nube de puntos importada

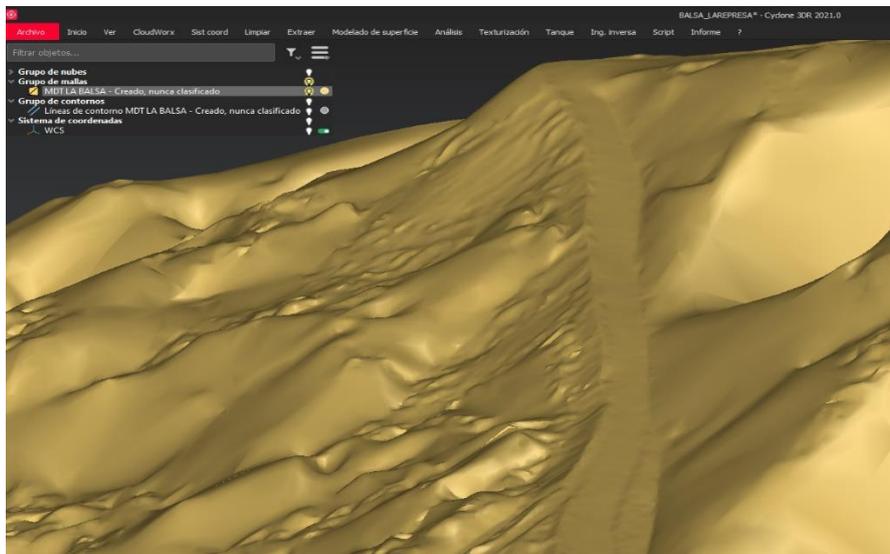


Ilustración 5. Modelo digital de terreno, nube de puntos procesada, sin las copas de los arboles

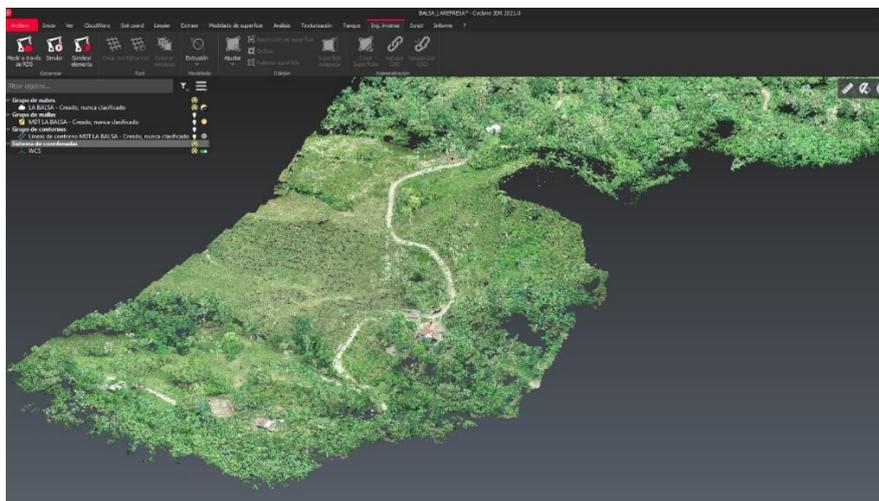


Ilustración 6. Modelo digital de terreno, nube de puntos limpia, sin las copas de los árboles

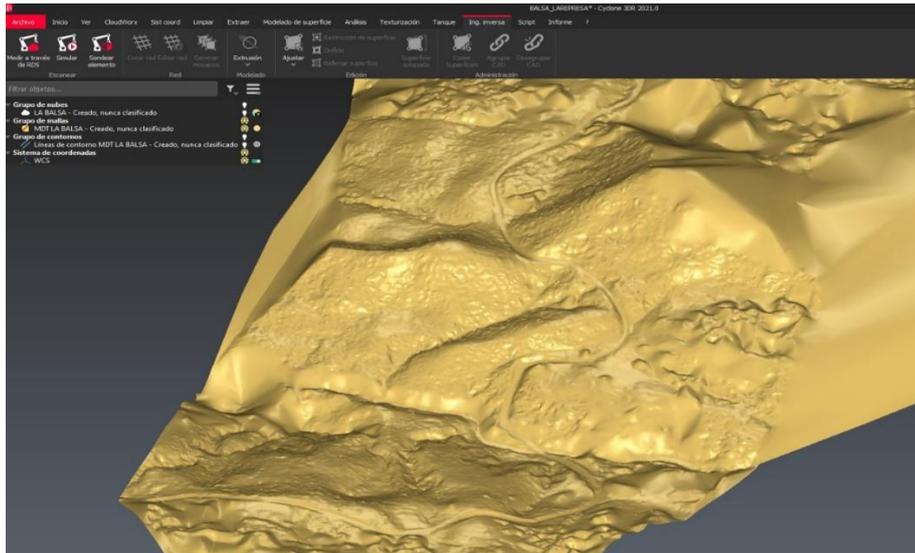


Ilustración 7. Curvas de nivel del modelo digital de terreno (MDT)

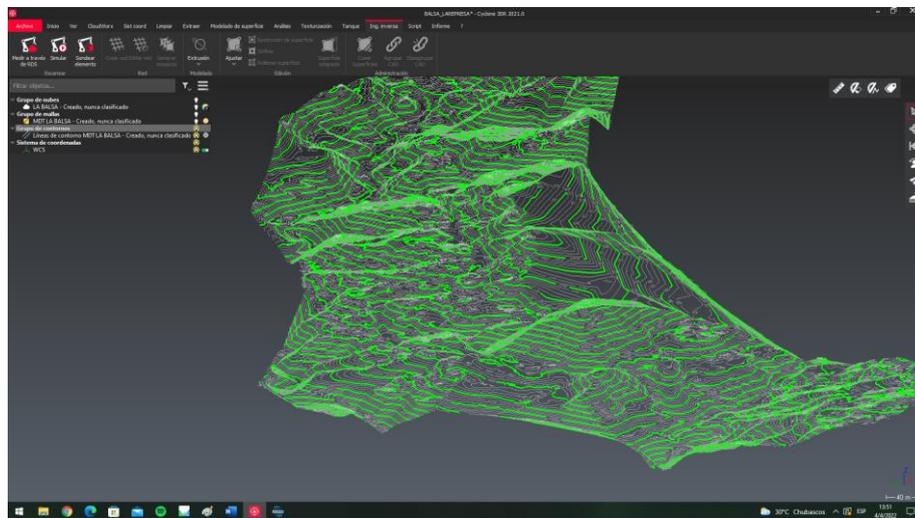
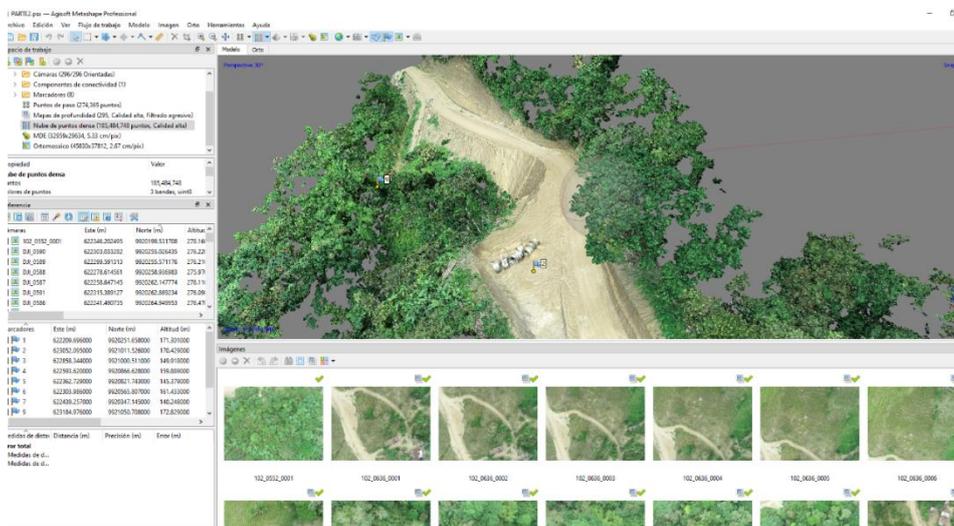


Ilustración 8. Nube de puntos densa final, luego de la intervención





Los drones utilizados en las mayorías de los trabajos por lo general se consideran de “Gama Media” y su precio oscila entre US 1.300,00 y US 4.500,00 por lo que se encuentran al alcance de muchos profesionales, y son las grandes empresas las que pueden contar con drones especializados con la utilización del Lidar, estos drones bordean alrededor de los US 1000.00,00 para la realización de topografía y que se pueden utilizar para los controles de volúmenes de explanaciones en las aperturas de nuevas vías, el presente artículo tiene como finalidad de aclarar lo que generalmente pensábamos algunos que al utilizar un dron con el fin de uso topográfico y mucho más para integrarlo en la parte de la cuantificación de volúmenes en explanaciones como trabajo personal o para alguna empresa o institución del ámbito constructivo de carreteras o apertura de vías, es importante recordar que si utilizamos drones como una herramienta en los levantamientos topográficos NO se puede realizar varios vuelos sin los respectivos puntos de control entre vuelos, colocado con un GPS de precisión GNSS o algún polígono

base debidamente revisado, es importante que los puntos de control estén debidamente identificados con marcas visibles y en lugares despejados.

Estos resultados no son similares a los obtenidos por Ajayi et al., (2020) quien sostiene los modelos basados en UAV semiautomáticos tienen un gran potencial en la adquisición de datos espaciales necesarios para la estimación del volumen de movimiento de tierras. En términos generales, si bien se observó un error de $\pm 1,02$ % en el volumen estimado, el sistema automatizado desarrollado arrojó una precisión estimada de $\pm 0,81$ % en su estimación de volumen, lo que demuestra ser más sólido para la estimación automática de volumen en términos de exactitud y precisión.

Con el uso de drones generalmente se tiende a pensar en que los resultados finales procesados en la cuantificación de los volúmenes en explanaciones es prácticamente aceptable en comparación con levantamientos topográficos tradicionales que son los que tienen el uso de estaciones totales y GPS de precisión GNSS, que los modelos digitales de elevación con el modelo



digital del terreno una vez procesado y tomando en consideración hasta los mínimos detalles obtendríamos resultados similares y por lo tanto utilizar esos resultados para algún trabajo o requerimiento específico.

4. Conclusiones

La investigación permitió obtener un reporte del levantamiento topográfico de cuantificación del volumen de la zona de estudio, mediante el uso de drones y GPS de precisión, por las diferencias de volúmenes encontrados principalmente en la parte del corte en la explanación por la presencia de varios tipos de vegetación, no es aconsejable la utilización de los drones como uno de los métodos para la cuantificación de volúmenes de explanaciones confiable por lo cual no se lo debería considerar por los profesionales hoy en día. Posteriormente, se determinará varios coeficientes de compatibilidad dependiendo de los tipos de vegetación a partir de los resultados obtenidos.

Adicionalmente, fue posible establecer las ventajas operativas y técnicas del levantamiento

topográfico mediante el uso de drones, puesto que esta herramienta puede ser más rápida, económica, confiable y eficaz para la cuantificación de volúmenes de explanaciones, gracias a la utilización de varios coeficientes de compatibilidad obtenido a partir de la comparación con los datos generados con la Estación Total y el GPS de precisión.

Bibliografía

- Ajayi, Oluibukun & Oyeboade, Timothy & samaila-ija, Hassan & Adewale, Taiwo. (2020). Development of a UAV-based system for the semi-automatic estimation of the volume of earthworks. Reports on Geodesy and Geoinformatics. 110. 21-28. 10.2478/rgg-2020-0008.
- B.H, HemaMalini & Padesur, Akshay & V, Manoj & Shet, Atish. (2021). Detection of Potholes on Roads using a Drone. EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 171546. 10.4108/eai.19-10-2021.171546.
- Casella, E., Drechsel, J., Winter, C., Benninghoff, M., & Rovere, A. (2020). Accuracy of sand beach topography surveying by drones and



- photogrammetry. *Geo-Marine Letters*, 40, 255-268. <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>
- Corredor Daza, J. G. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua-Río Frio.
- del Río Santana, O., Córdova, F. D. J. G., Carrillo, N. V. L., Esqueda, J. A. S., & Fraire, A. T. E. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1-10. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1939/193963490001/193963490001.pdf>
- del Río Santana, O., Córdova, F. D. J. G., Carrillo, N. V. L., Esqueda, J. A. S., & Fraire, A. T. E. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de arquitectura e ingeniería*, 14(2), 1-10.
- Del Río-Santana, O., Espinoza-Fraire, T., Sáenz-Esqueda, A., & Córtes-Martínez, F. (2019). Levantamientos topográficos con drones. *Revista Ciencia*, 1.
- Eker, R., Aydın, A., & Hübl, J. (2018). Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental monitoring and assessment*, 190(1), 1-14.
- Fernández-Lozano, J., & Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Aplicaciones geológicas de los drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 89-105.
- Ferreira, M. R., & Aira, V. G. (2017). Aplicaciones topográficas de los drones. Obtenido de: [http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0159/314a3cb,8\(11\)](http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0159/314a3cb,8(11)).
- García, J. H., Dunesme, S., & Piégay, H. (2020). Can we characterize river corridor evolution at a continental scale from historical topographic maps? A first assessment from the comparison of four countries. *River Research and Applications*, 36(6), 934-946. <https://doi.org/10.1002/rra.3582>
- Herrera, R. G., Navarrete, J. P. U., y Pinto, I. S., Esquivel, R. M., Cabrera, F. Á., Moguel, C. Z., & Salazar, R. C. (2019). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Interciencia*, 44(6), 326-331. <https://www.redalyc.org/jatsR>



epo/339/33960068003/33960
068003.pdf

Masseroni, D., Passoni, D., Castagna, A., Civelli, L., Pinto, L., & Gandolfi, C. (2019, September). Comparison of Different Methods for Topographic Survey of Rural Canals. In International Mid-Term Conference of the Italian Association of Agricultural Engineering (pp. 59-67). Springer, Cham.

Sokolović, D. & Bajric, Muhamed. (2016). Volume of earthworks in construction of forest roads on steep terrain. 36. 33-42.

Woldu, G., Solomon, N., Hishe, H., Gebrewahid, H., Gebremedhin, M. A., & Birhane, E. (2020). Topographic variables to determine the diversity of woody species in the exclosure of Northern Ethiopia. *Heliyon*, 6(1), e03121.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03121>