

APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y MODELACIÓN 3D EN GEOLOGÍA Y MINERÍA; EL GRANITO DE CUFRE.

Guerrero, S.¹; Faraone, M.¹; Carrión, R.¹

¹ Dirección Nacional de Minería y Geología, MIEM – Uruguay
santiago.guerrero@miem.gub.uy

Abstract

Technological development and cost reduction, have made available unmanned aerial vehicle (UAV) and software capable of processing the images acquired by these equipment, as well as conventional cameras and resulting in photo-mosaics or three-dimensional photorealistic models.

These products, of high and very high resolution, allow the identification of geological characters in difficult access, areas as well as their multiscale study. The application with global positioning systems (GPS) enables the acquisition of georeferenced digital surface models, of medium to high quality and very low costs.

The application of photogrammetry for geological and mining purposes is growing, in this work we provide examples of a survey carried out to know the scope of this technology.

The study area corresponds to a mining reserve of the Cufre granite, near the homonymous town, on the border of the departments of Colonia and San José. The aerial surveys, along with fieldwork, have allowed the elaboration of geological and topographic cartographic products, as well as estimation of extracted materials volume and remaining reserves for the ornamental granite variety, in this case "Cufre Gray Granite".

Resumen

El desarrollo tecnológico y una aparejada reducción de costos, han puesto al alcance dispositivos aéreos operados a distancia (drones) y herramientas informáticas capaces de procesar las imágenes adquiridas por estos equipos, así como por cámaras convencionales y que resultan en foto-mosaicos o modelos tridimensionales foto-realísticos.

Estos productos, de alta y muy alta resolución, permiten la identificación de caracteres geológicos en zonas de difícil acceso, así como también su estudio multiescalar. La aplicación en conjunto con sistemas de posicionamiento global (GPS) posibilita la adquisición de modelos digitales de superficie georreferenciados, de calidad media a alta y costos muy bajos.

Es creciente la aplicación de fotogrametría con propósitos geológicos y mineros, en el presente trabajo se brindan ejemplos de un relevamiento realizado para conocer los alcances de esta tecnología.

El área de estudio corresponde a una reserva minera del Granito de Cufre, próximo a la localidad homónima, en el límite de los departamentos de Colonia y San José. Los

relevamientos aéreos, en conjunto con trabajos de campo, han permitido elaborar productos cartográficos geológicos y topográficos, así como estimaciones en lo que refiere al volumen de material extraído en antiguas explotaciones y reservas remanentes para la variedad de granito ornamental, en este caso “Cufre Gray Granite”.

Introducción

En este trabajo se utiliza tecnología de bajo costo para la evaluación primaria de un yacimiento de “granito gris” en la localidad de Cufre, departamento de Colonia. El desarrollo tecnológico ha puesto al alcance vehículos aéreos operados a distancia (drones) así como herramientas informáticas que procesan mediante técnicas de fotogrametría, las imágenes adquiridas tanto por estos equipos como por cámaras convencionales, dando como resultado foto-mosaicos y modelos tridimensionales con texturas fotorrealistas (Figura 1). Estos productos de alta resolución y precisión permiten identificar y cuantificar estructuras y elementos lineales, permitiendo una vez verificadas en campo, definir la geometría del yacimiento.

Se obtuvo un modelo digital de terreno, que permitió cuantificar las reservas de “granito gris” remanentes, así como el volumen de roca ya explotado y el tamaño medio de bloque posible de extraer.

Antecedentes

El área de trabajo está conformada por el denominado Granito de Cufre, el cual se localiza en el límite de los departamentos de Colonia y San José. Se trata de un macizo granítico de forma elíptica con su eje mayor de dirección NS, abarcando una mayor superficie en el departamento de Colonia. El mismo hace intrusión en rocas metamórficas de la Formación Montevideo (Spoturno et al., 2004). Se trata de un cuerpo post orogénico Paleoproterozoico dentro del Terreno Piedra Alta. Según Preciozzi (1989) esta intrusión es petrográficamente heterogénea, pasando desde granitos a granodioritas. Las texturas varían desde equigranular a heterogranular y porfiroide. Mineralógicamente está constituido por oligoclasa subautomorfa, generalmente epidotizada y/o filitizada, microclina xenomorfa a subautomorfa y perfitica. El cuarzo es normalmente muy abundante y suele aparecer en dos generaciones. El ferromagnesiano más frecuente es biotita y ocasionalmente anfíbol. Los accesorios son apatito, esfeno y opacos. La composición modal, determinada a partir de análisis geoquímicos de Morales (2012) es granítica (40-Qtz, 1-Or, 29-Mc, 24-Pl, 6-Bt).

El Granito Cufre, en la zona de estudio, presenta diaclasas en arreglo ortogonal, con actitudes N313°/82° al NE, N075°/13° al SE y N230°/78° al NO. Coincidiendo con la última dirección se desarrollan una serie de diques pegmatíticos rectos, de espesores en el orden de los 20 cm, compuestos mineralógicamente de cuarzo, muscovita, turmalina y granate. Los enclaves máficos (Figura 2) suelen ser abundantes, con dimensiones decimétricas, aunque en algunos casos alcanzan dimensiones métricas. La edad de este granito fue determinada por el método U-Pb (convencional) por Preciozzi & Peel (2005) arrojando una edad de 2053 ± 14 Ma.



Figura 1. Vista del frente principal de la cantera sur del Granito Cufre. Se puede observar un enclave doble y dique pegmatítico -fotografía superior-. e) Ortomosaico del macizo y cantera sur, resolución original de 1cm/pixel (modelo digital <http://goo.gl/gf4CP1>).



Figura 2. Textura típica del granito Cufre, incluyendo un enclave máfico.

Antecedentes mineros y usos

La necesidad del tren para llevar el granito gris extraído de la cantera hacia Montevideo fue lo que dio nacimiento al pueblo de Cufre, en el departamento de Colonia (Figura 3). La cantera de Cufre estuvo operativa durante dos períodos: de 1920 hasta 1942 y entre los años '70 y '90. En su primera etapa recibió inmigrantes europeos de los cuales llegaron a trabajar unos 200 obreros de diferentes nacionalidades. En el segundo período, hasta entrados los años '90 se explotaron bloques de granito ornamental destinados principalmente a la obra de la Torre de las Telecomunicaciones (Figura 4), la finalización de esta obra, así como la aparición de grandes enclaves máficos (Figura 5) en el frente principal dieron como resultado el cierre de la explotación.



Fig. 3. Vista general de las antiguas explotaciones, además de los frentes se observan bloques, talleres, base de una grúa, tachos especiales de carga pesada e infraestructura ferroviaria.

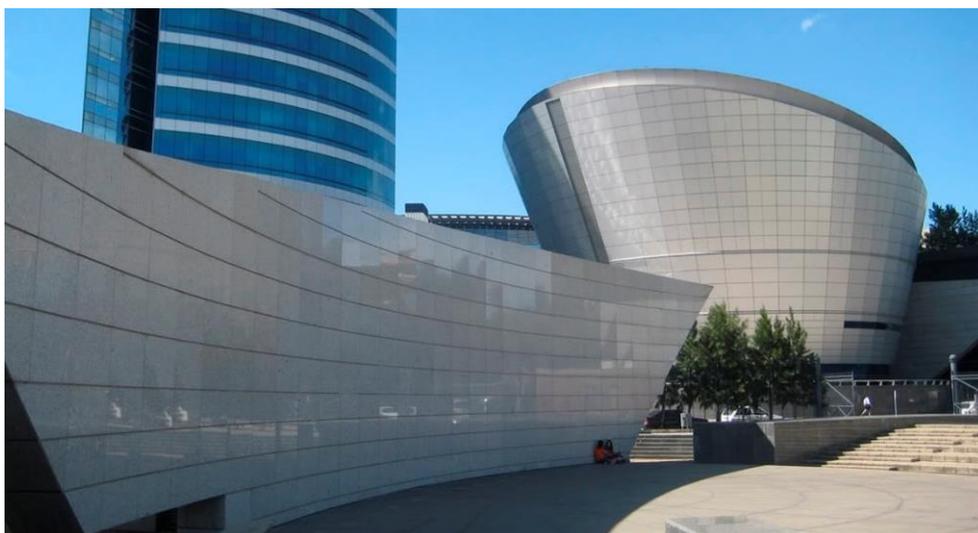


Figura 4. Aplicación del granito "Cufre Gray Blue" en la Torre de las Telecomunicaciones. Photobucket.com, Inc.



Figura 5. Enclave máfico doble de gran tamaño, en su borde superior derecho e inferior izquierdo se observan estructuras de flujo.

De esta cantera, “se extrajeron dos mil bloques de granito para la construcción del puerto y están numerados del 1 al 2000. El activo industrial -exportador Omar Méndez extrajo hace muchos años, 250 bloques de 40 toneladas cada uno, que fueron colocados parte en la escollera Sarandí y los otros 200 en la escollera oeste, que había sido dañada por los temporales de 1959, todos ellos numerados a partir del 2000” (Cazalá, 2013). Sin un *décor* (arreglo textural en sentido estético) interesante, puede comercializarse solo en el mercado local o regional. La alteración limonítica de los enclaves máficos y cúmulos de biotita desarrollan manchas de color anaranjado que han sido observadas en la cantera, pero no así en placas pulidas de la Torre de las Telecomunicaciones, las cuales se aplicaron como revestimiento exterior.

La roca tiene un alto contenido de cuarzo que resulta en una buena estabilidad como superficie pulida, el *décor* varía en cada bloque debido a la presencia de enclaves máficos, cúmulos de biotita y foliación, lo cual se determina una vez cortado el bloque.

En función de lo anterior y teniendo en consideración la baja porosidad y absorción capilar de agua, Morales (2012) sugirió que este granito puede sustituir rocas ornamentales importadas de alta calidad para revestimiento interior y exterior, en pisos y fachadas.

Fotogrametría aérea digital

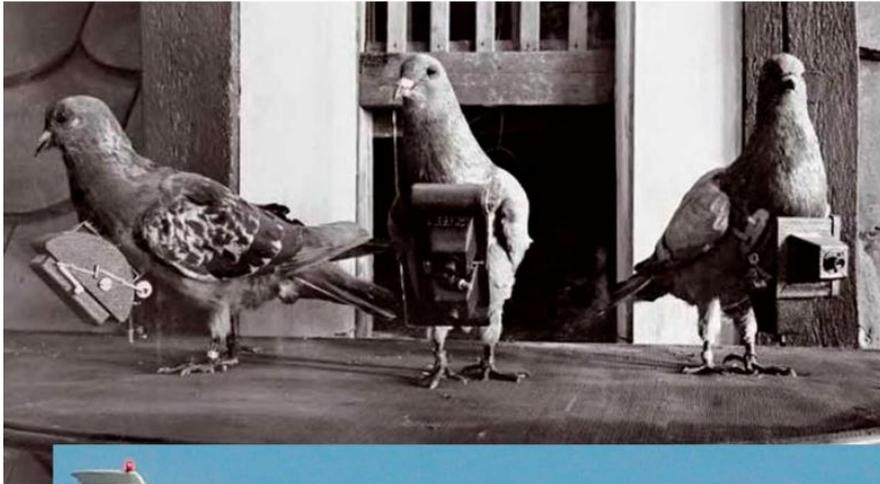
La fotogrametría es una técnica que permite determinar, a partir de fotografías, las propiedades geométricas bi- y tri-dimensionales de los objetos. Su aplicación aérea, en conjunto con técnicas de fotogeología y fotointerpretación han permitido desde principio de siglo XX la determinación de la topografía, relaciones estructurales, unidades litológicas, entre otros. La técnica ha evolucionado en conjunto con los avances tecnológicos tanto en lo que respecta a los vehículos utilizados (palomas, cometas, aviones, drones, Figura 6) a los soportes

fotográficos (placas, film, sensores digitales) así como también a la automatización del procesamiento.

Dispositivos UAV

De origen militar, los vehículos aéreos no tripulados (en inglés UAV) están siendo actualmente utilizados con fines civiles, tanto en lo que respecta a fotografía y filmación aérea como en el soporte de sensores de uso específico (LIDAR, NDVI, multiespectral, electromagnéticos, térmicos, radar, etc).

Neubronner, 1903



Pigeon photography



Cessna 182

*DJI Inspire 1,
dron de ala rotatoria*



Figura 3. Diferentes dispositivos utilizados para la adquisición de fotografías aéreas, desde sus comienzos a la actualidad.

Dentro de la gama comercial se pueden adquirir diferentes tipos, los cuales se clasifican principalmente en función de sus características constructivas y propósito en:

- Drones de ala fija: de gran autonomía, cubren grandes distancias (en el orden de 10km²/batería). Alto costo, uso principal en agronomía.
- Drones de ala rotativa: aunque de menor autonomía (cubren alrededor de 30ha/batería) presentan mejor respuesta en zonas de difícil acceso o condiciones de viento. Bajo costo, multipropósito.

Determinación de tamaño de bloque y calidad

Se obtuvieron ortomosaicos de alta resolución (0,01m/px), generados a partir de fotografías aéreas capturadas a baja altura (de 20 a 30 metros). La fotointerpretación de estos productos, en conjunto con modelos digitales de elevación fotorrealísticos, obtenidos mediante fotogrametría (equidistancia 0,5 m) permite determinar la ubicación y repetición de discontinuidades discretas, como fallas, diques y diaclasas.

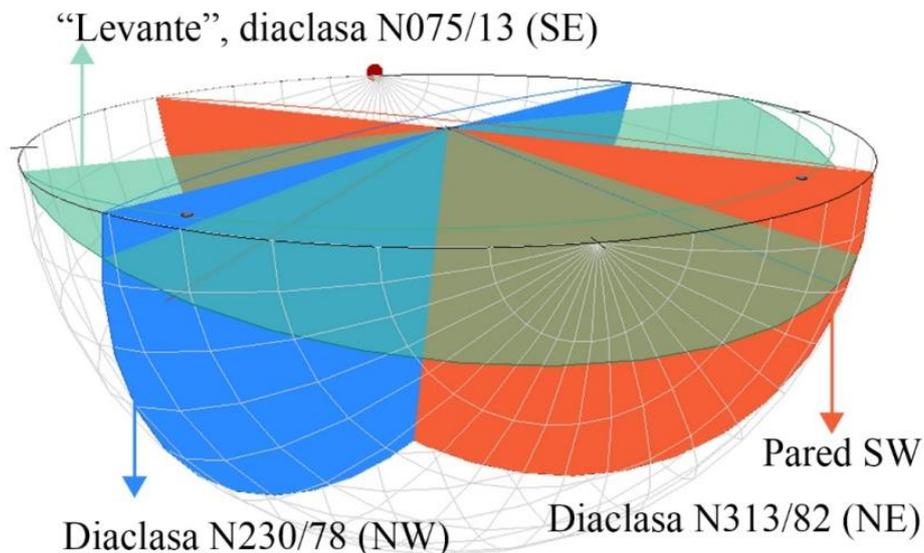


Figura 4. Principales familias de diaclasas identificadas, notar patrón sub-ortogonal.

Se reconocieron tres familias de diaclasas bien definidas, con relaciones sub-perpendiculares y gran espaciamiento permiten identificar importantes áreas y volúmenes sin discontinuidades (véase figura 7). En estas áreas el tamaño de bloque no sería un factor limitante, habiéndose extraído en los años ´70 bloques de hasta 15m³. La calidad ornamental se ve afectada por la presencia de abundantes enclaves, que en ocasiones superan 1m de diámetro. Cerca del 70% del área relevada puede ser aprovechada para la extracción de bloques, tanto ornamentales como para su uso en obras civiles. Áreas con bajo espaciamiento entre diaclasas pueden ser aprovechadas para extracción y molienda (véase figura 8).

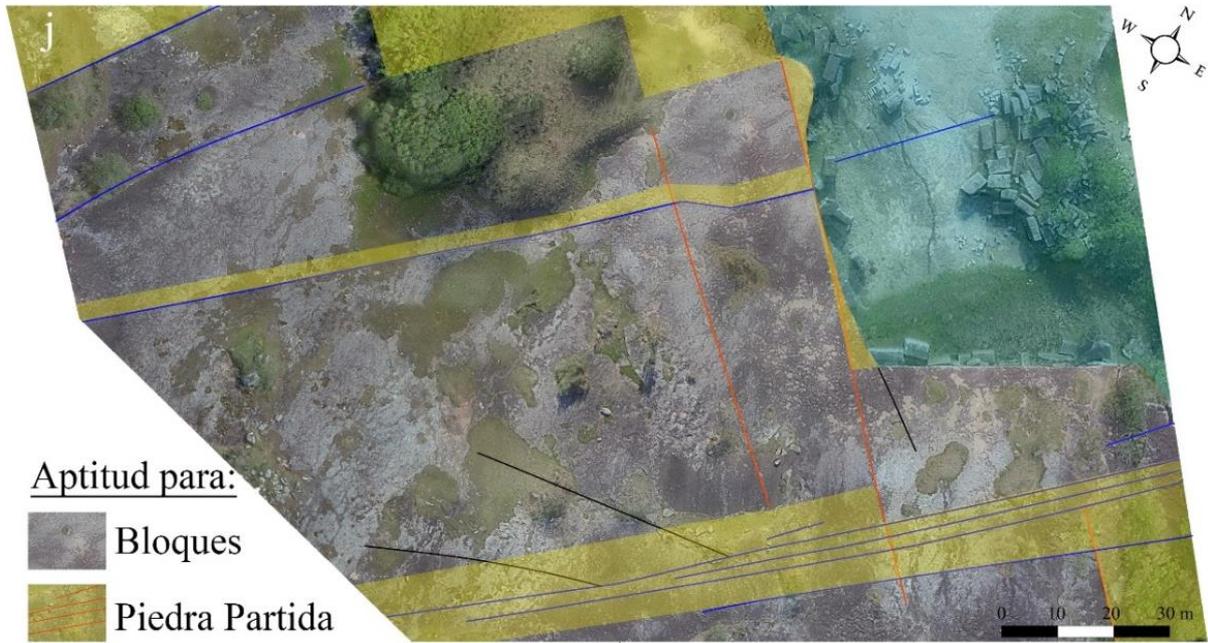


Figura 5. Discontinuidades planares y áreas con aptitud para extracción de bloques. Los colores de las discontinuidades se corresponden al diagrama de la figura 7.

Cálculos volumétricos

Se realizan a partir del modelo digital de superficie (MDS), se utiliza la técnica de *lowest point base Surface* (véase Figura 9) y asumiendo una superficie original concordante con los afloramientos actuales. Para el área sur, que abarca 0,2 ha y que se encuentra limitada por frentes de 6 a 8m de altura, con rumbos N060°/90 (barrenado) y N330°/80°E (diaclasa) así como por el piso de rumbo N060°/12°SE (diaclasa), se calcula una extracción en bruto de 3.184m³.

Se calcula un volumen remanente de 40.704 m³ (en bruto), para ello se selecciona un área de 1,0 ha en la cual el macizo no muestra discontinuidades importantes, así como tampoco un manto de alteración considerable. Se toma como referencia el plano horizontal del punto más bajo relevado y se descuenta el volumen de una escombrera utilizando el método *bestfit base surface* (véase Figura 9).

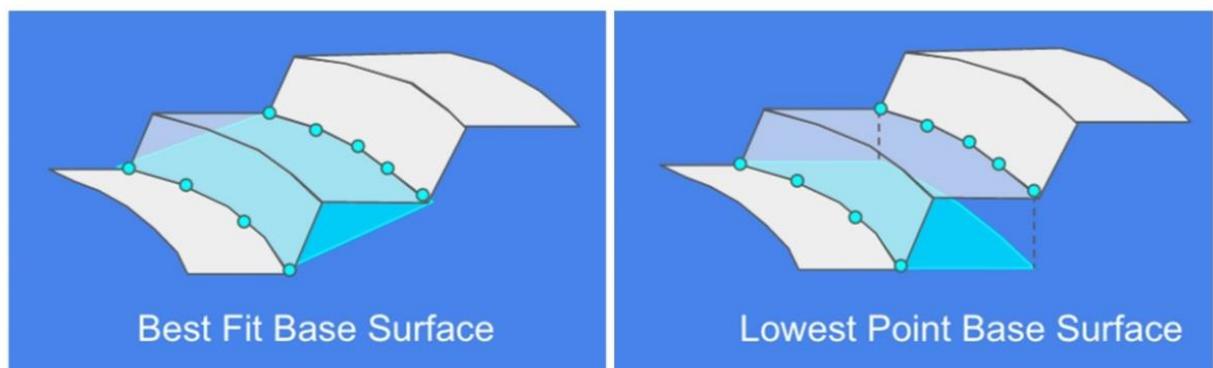


Figura 6. Diferentes técnicas para realizar cálculos volumétricos (tomado del software DRONEDEPLOY ®).

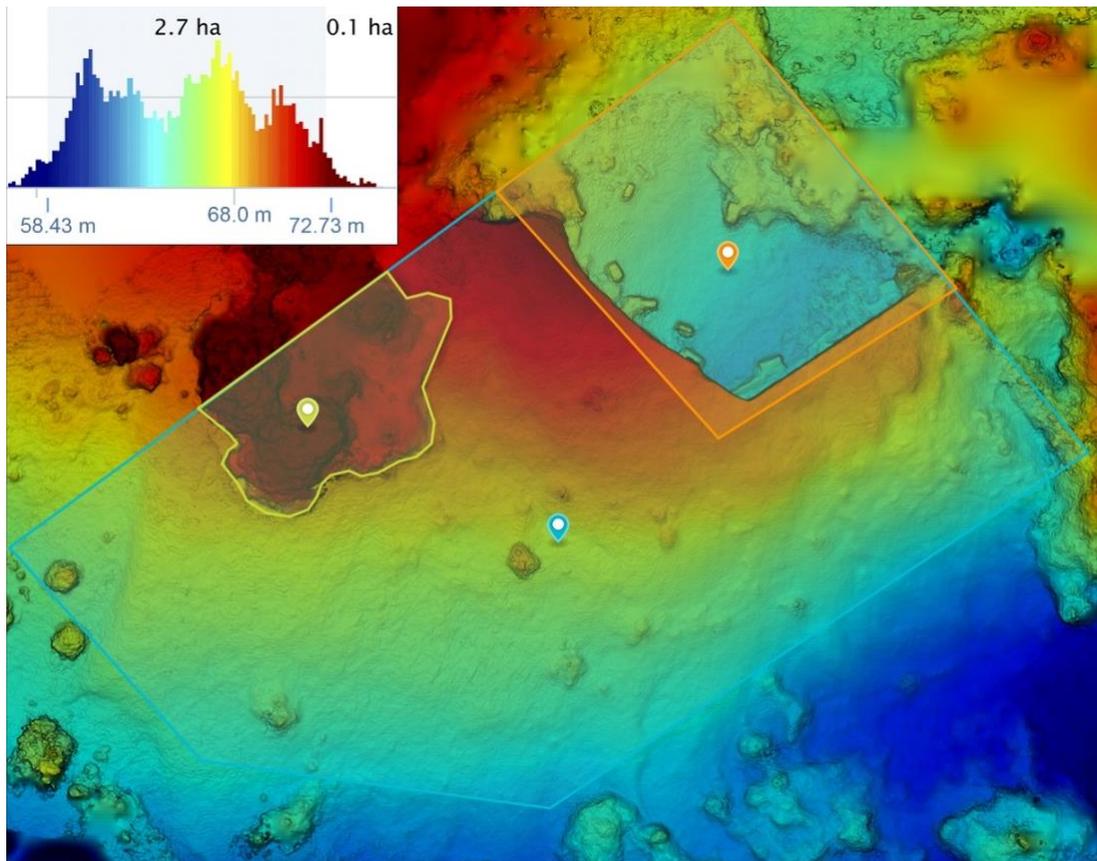


Figura 7. Cálculos volumétricos sobre MDS en software DRONEDEPLOY®, los polígonos anaranjados, celeste y verde indican respectivamente el área de cantera, yacimiento remanente y escombrera.

Conclusiones

La utilización de drones permitió el estudio preliminar del Granito de Cufre, con resultados de buena calidad en muy poco tiempo y a muy bajo costo. Software específico posibilita georreferenciar y restituir las imágenes obtenidas, a partir de las cuales se pudo realizar fotointerpretación y cálculos volumétricos. Se estiman reservas de 40.704 m³ de granito en bruto para un área de una hectárea, a partir de un bloque delimitado por una diaclasa sub horizontal (levante) N075°/13° (SE) que actúa como piso, y de diaclasas sub verticales N313°/82°NE y N230°/78°NO, que permiten tener frentes de laboreo de fácil acceso. El espaciamiento entre diaclasas posibilita extraer bloques de gran tamaño en un área del orden del 70% del macizo, pudiendo aprovecharse el material restante afectado por la fracturación para ser triturado. Si bien el tamaño de bloque no es un factor limitante, la abundancia de enclaves máficos, los torna un producto de baja calidad ornamental.

El uso de técnicas de fotogrametría con imágenes obtenidas con vehículos aéreos no tripulados supone ventajas como; muy alta resolución, rápida adquisición (manual y/o automática), bajo costo y acceso a zonas complejas. Al mismo tiempo se identifican limitaciones tales como; baja autonomía, vulnerabilidad a condiciones meteorológicas e impactos, largo tiempo de procesamiento, predominio de software privativo y malos resultados en áreas forestadas o inundadas.

Referencias

- Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T. & Bangash, H.A. (2014). Ground-based and UAV-based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178.
- Cazalá, E. (21 de octubre de 2013), “A 104 años de la inauguración del Puerto”, Diario “El País”, Montevideo – Uruguay
- Ferreira, T. (08 de julio de 2014), “La Piedra Fundamental. Cufre y sus picapedreros gringos”, Revista Ajena, (<http://www.revistaajena.com/la-piedra-fundamental/>), Montevideo – Uruguay.
- García, J.L.L. (2002). Fotogrametría moderna: analítica y digital. Universidad Politécnica de Valencia - España.
- Morales, Manuela. Mineralogical, petrophysical and economical characterization of the dimensional stones of Uruguay; implications for deposit exploration. 2012. Tesis Doctoral. Göttingen, Georg-August Universität, Diss., 2012.
- Peel, E. & Preciozzi, F. (2006). Geochronologic synthesis of the Piedra Alta Terrane, URUGUAY. *In* V South American Symposium on Isotope Geology. Punta del Este, Uruguay, pp. 234-237.
- Preciozzi, F. (1989). Contribuciones a la geología del Uruguay N°5, DINAMIGE (INIS-UY--539). Uruguay
- Techera, J., Arrighetti, R., Spoturno, J. (2004). Mapa geológico y de recursos minerales del departamento de San José a escala 1/100.000, Memoria Explicativa, Parte III Recursos minerales. Proyecto CONICYT, 6019.