

Implementación de la fotogrametría para la salvaguarda del patrimonio paleontológico canario

Photogrammetry implementation for the protection of the Canarian palaeontological heritage

Penélope Cruzado-Caballero¹, Cristina Jiménez-Gomis², Carolina Castillo Ruiz³

¹Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología-CONICET-UNRN, Av. General Roca 1242, General Roca, Río Negro, Argentina, pccaballero@unrn.edu.ar

²C/El Herreño, San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, España, cjimenez@gmail.com

³Sección de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna, Av. Astrofísico Francisco Sánchez, s/n, San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, España, ccruiz@ull.edu.es

ABSTRACT

The fossil record of the Canary Islands has a great importance and outstanding nature due to its preservation in a context of oceanic and active volcanic islands. Along the fact that some of the paleontological sites are located near the coast, the difficulty of their preservation is increased. In this work we present the use of the 3D digitalization technique called photogrammetry for the first time in the Canary Islands. The chosen fossil site was Igueste de San Andrés, located inside the Anaga Biosphere Reserve (Tenerife, Canary Islands), which was recently proposed to become a site of Cultural Interest (Palaeontological Zone). This fossil site was selected because of its complexity to test conventional photogrammetry usefulness. As a result, it was obtained that in cases of extensive and complex coastal deposits such as the one studied, models may be improved by using drones. Likewise, it is proposed the creation of a digital catalogue as a monitoring, preservation and dissemination tool for the canarian paleontological heritage.

Key-words: paleontological heritage, digital conservation, photogrammetry, Tenerife, Canary Island.

RESUMEN

El registro fósil de Canarias tiene una gran relevancia y una naturaleza excepcional debido a su conservación en un contexto de islas oceánicas y volcánicas activas. Dicha naturaleza, junto con el hecho de que algunos de los yacimientos se localizan próximos a la línea de costa, hace que sea difícil la preservación de los mismos. En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación, por primera vez en un yacimiento paleontológico de Canarias, de la técnica de digitalización 3D fotogrametría. El yacimiento escaneado fue el de Igueste de San Andrés, localizado dentro de la Reserva de la Biosfera de Anaga (Tenerife, Islas Canarias) y recientemente propuesto como un Bien de Interés Cultural (Zona Paleontológica). Dicho yacimiento se eligió por su complejidad para testar la utilidad de la fotogrametría convencional. Como resultado se obtuvo que para el caso de yacimientos costeros extensos y complejos como el estudiado, los modelos pueden ser mejorados con el empleo de drones. Asimismo, se propone la creación de un catálogo digital como herramienta de monitoreo, conservación y difusión del patrimonio paleontológico canario.

Palabras clave: patrimonio paleontológico, conservación digital, fotogrametría, Tenerife, Islas Canarias.

Geogaceta, 66 (2019), 59-62
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 30 de junio de 2018
Revisión: 23 de octubre de 2018
Aceptación: 24 de mayo de 2019

Introducción

Desde hace unos años se están llevando a cabo grandes esfuerzos desde diversas organizaciones nacionales e internacionales para proteger, conservar y gestionar el Patrimonio Geológico, y por ende el Paleontológico, con el objetivo de mejorar el uso sociocultural y turístico del mismo (p. ej., Geopark, GEOSITES, Patrimonio Mundial de la UNESCO, etc.; Bates *et al.*, 2008, 2009). Entre las medidas que se están implementando con este fin, se encuentra la digitalización del patrimonio (yacimientos y fósiles) mediante diferentes

procedimientos, como la fotogrametría o los escáneres LiDar (Romilio *et al.*, 2017; Das *et al.*, 2017). La digitalización del patrimonio es útil para realizar el seguimiento de la acción erosiva de los factores antrópicos y naturales (temperatura, viento, mareas, vegetación, etc.) y de las actuaciones de conservación (cómo reaccionan y envejecen ante las condiciones climáticas) sobre los recursos patrimoniales; además de la creación de colecciones digitales con las que conservar y acercar dicho patrimonio a la sociedad (Bates *et al.*, 2008; Cipriani *et al.*, 2016; Romilio *et al.*, 2017).

La fotogrametría es una técnica de mo-

delado 3D que ha sido asimilada por disciplinas tan diversas como la arqueología, las ciencias forenses, la cartografía y topografía, la ingeniería industrial, etc., ya que abre un sin fin de posibilidades para generar modelos 3D, a partir de fotografías digitales de una forma rápida y económica. En Paleontología esta técnica se emplea desde la década de los años 70, primero con fotografías analógicas (Falkingham *et al.*, 2014), y más tarde con fotografías digitales tomadas con cámaras manuales, y recientemente con drones; estos últimos facilitan el acercamiento a yacimientos de difícil acceso, o el escaneo de grandes superficies

(Romilio *et al.*, 2017). Entre las aplicaciones de esta técnica destacamos: el mapeo digital de yacimientos de huellas, los estudios icnotaxonómicos, la digitalización de fósiles o el monitoreo y conservación digital de yacimientos (Bates *et al.*, 2008; Mallison y Wings, 2014; Romilio *et al.*, 2017).

En Canarias en el ámbito de la Paleontología, la fotogrametría ha sido aplicada para la obtención de modelos 3D educativos con fósiles canarios, por parte del Área de Paleontología del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna (Castillo *et al.*, 2016; Cruzado-Caballero *et al.*, 2018). Aquí presentamos el primer modelo digital de un yacimiento paleontológico, Igueste de San Andrés, localizado en el noreste de la isla de Tenerife dentro de la Reserva de la Biosfera de Anaga (Tenerife, España; Fig. 1). Este modelo se ha realizado con el objetivo de iniciar un catálogo digital de los yacimientos localizados en la Reserva de la Biosfera de Anaga.

Material y métodos

Se realizó un modelo 3D del yacimiento de Igueste de San Andrés utilizando un método de fotogrametría digital de alta resolución, la cual está basada en los algoritmos *Structure from motion* (SfM; Ullman, 1979) y *Multi View Stereo* (MVS; Seitz *et al.*, 2006), que aprovechan la potencia de los ordenadores modernos y las fotos de alta calidad de las cámaras digitales de bajo coste.

La fotografía digital permite realizar modelos 3D de cualquier objeto o superficie, a partir de un número adecuado de imágenes fotográficas tomadas desde diferentes puntos de vista y ángulos. Dichas imágenes deben tener además un alto

grado de superposición, que faciliten al software empleado la creación de nubes de puntos densas de alta calidad (Mallison y Wings, 2014).

Las imágenes fueron tomadas con una cámara digital réflex Nikon D3300 de 24,2 megapíxeles con una distancia focal de 55 mm. Se usaron 351 fotografías para la generación del modelo 3D con el software Agisoft PhotoScan Pro ().

Geología del yacimiento

Las rocas más antiguas que aparecen en Tenerife (Series Antiguas de Fúster *et al.*, 1968) forman tres macizos independientes y fuertemente erosionados: Anaga (NE), Teno (NO) y Roque del Conde (S). La isla fue construida a través de tres volcanes en escudo durante el Mioceno-Plioceno, que ahora forman los vértices de Tenerife. Posteriormente se unificaron en un solo edificio por el vulcanismo que continuó en el centro de la isla (entre 12 a 8 Ma), y fue seguido por un período de reposo (Carracedo y Troll 2016).

El Macizo de Anaga donde se localiza el yacimiento de Igueste de San Andrés, forma el extremo NE de Tenerife y representa una antigua dorsal volcánica muy afectada por la erosión y por deslizamientos gravitacionales. El yacimiento modelizado en este trabajo aflora al SE de la península de Anaga, en la playa formada en la desembocadura del barranco de Igueste de San Andrés (Fig. 1). Este afloramiento presenta una longitud aproximada de unos 100 metros con una potencia que apenas supera los dos metros; fue descrito por Zazo *et al.* (2003a y b) y por Kröcher *et al.* (2008) como potentes coluviones con fósiles de gasterópodos terrestres, en los que se encajan los depósitos marinos. Entre los fósiles

marinos podemos encontrar *Persististrombus latus* (Gmelin, 1791) y *Patella candei* (1840). Los depósitos fueron datados por diferentes métodos (Th_{230} y racemización de aminoácidos) en $131,81 \pm 1,63$ ka y fueron asignados al OIS 5e (Zazo *et al.*, 2003a).

Estado del yacimiento

El yacimiento del Pleistoceno superior de Igueste de San Andrés se localiza cerca del núcleo urbano con el mismo nombre. Por su elevado valor patrimonial a nivel insular (isla de Tenerife), fue propuesto en el año 2015 como Bien de Interés Cultural (Zona Paleontológica; Padrón 2015; Padrón Calzadilla *et al.*, 2015). Desde el punto de vista científico destaca por la diversidad de taxones, el tipo de yacimiento (es el único de Tenerife en el que se observa un depósito terrestre intercalado entre dos niveles marinos), y la presencia del fósil zonador y de aguas cálidas *Persististrombus latus*; además, el yacimiento está datado con diversos métodos (Zazo *et al.*, 2003a). Del mismo modo, los valores de la mayoría de los criterios socioculturales y socioeconómicos empleados son de gran relevancia. Sin embargo, por su localización, en la base de un talud y cerca de la línea de costa, presenta un alto riesgo de deterioro (Padrón, 2015; Padrón-Calzadilla *et al.*, 2015).

Entre los factores que producen la alteración del yacimiento (Fig. 2) señalamos la acción del oleaje, ya que, por su proximidad a la costa, parte del depósito queda sumergido en marea alta, y casi en su totalidad cuando existen mareas vivas o asociadas a tormentas. Además, el afloramiento es parcialmente sepultado por las rocas que aporta la acción del oleaje en algunas épocas del año, y por la erosión de los coluviones del talud en cuya base se sitúa el



Fig. 1.- Mapa de localización e imagen de la plataforma del yacimiento de Igueste de San Andrés en la isla de Tenerife. Modificado de Martín-González *et al.* (2016). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location map and image of the platform of the Igueste de San Andrés site on the Tenerife island. Modified from Martín-González *et al.* (2016). See color figure in the web.

afloramiento, dificultando su observación.

Por otra parte, la erosión marina produce meteorización mecánica y química sobre el depósito y sus fósiles. Por un lado, la acción del oleaje, origina primeramente un proceso de rotura y pulido (Figs. 2 y 3). Por otro lado, en el agua estancada durante la bajamar al calentarse por la acción del sol, se depositan cristales de sal en pequeñas grietas del sedimento o de los fósiles que producen un efecto de astillado, redondeado y escamado que destruye el afloramiento y los fósiles que porta. Por último, la cercanía al centro urbano tiene como consecuencia que tuberías de aguas residuales a pocos metros empeoren la conservación del yacimiento.

Discusión

El fácil acceso, la cercanía a poblaciones y carreteras, la erosión marina, y la existencia de emisarios que expulsan aguas fecales a pocos metros, hacen que yacimientos con gran valor patrimonial, como el de Igueste de San Andrés, presenten problemas de conservación y estén en una peligrosa situación en la que, si no se actúa con rapidez, desaparecerán para siempre.

En el yacimiento en estudio la acción del mar es la principal causa de deterioro y debido a que es imposible realizar medidas directas de protección sobre el yacimiento ante la erosión marina severa, se decidió



Fig. 2.- Detalle del efecto erosivo del mar sobre conchas de gasterópodos terrestres. Ver figura en color en la web.

Fig. 2. - Detail of the erosive effect of the sea on terrestrial gastropod shells. See color figure in the web.

acometer una acción de protección y conservación digital del yacimiento empleando la fotogrametría (Fig. 3B). De acuerdo con Cipriani *et al.* (2016), esta técnica ha demostrado ser una herramienta poderosa y efectiva para la conservación digital y para facilitar el acceso y difusión del patrimonio a la sociedad.

El yacimiento de Igueste de San Andrés se tomó como ejemplo para aplicar la técnica de fotogrametría 3D en yacimientos ca-

narios próximos a la línea de costa. Como resultado la creación del modelo 3D del yacimiento ha presentado ciertas dificultades entre las que destacamos: a) la extensión y compleja superficie del yacimiento, b) la dependencia de los horarios de las mareas, y c) la mayor o menor presencia de charcos costeros originados durante la bajamar. La extensión y la complejidad del yacimiento ha hecho que fuera difícil la toma de fotografías a ras de yacimiento, y la posterior

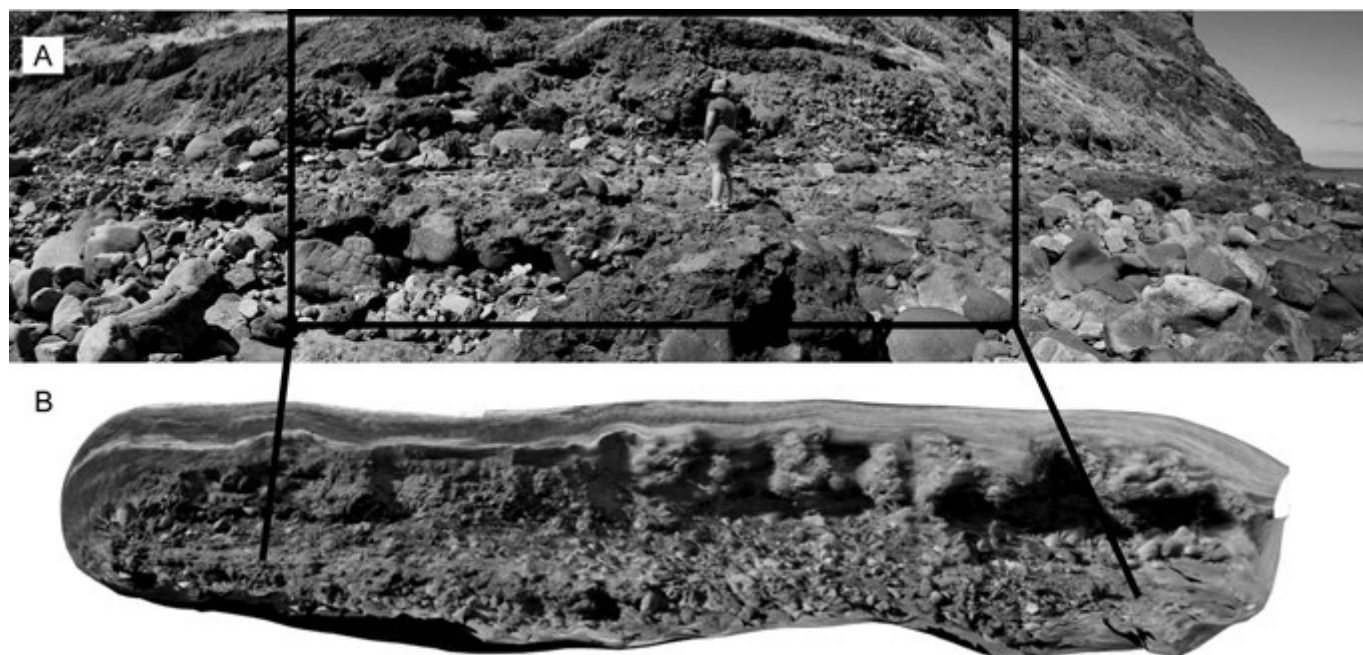


Fig. 3.- Yacimiento Igueste de San Andrés perteneciente a la Reserva de la Biosfera de Anaga, Tenerife (España). A) Foto panorámica. B) Modelo 3D generado con el programa Agisoft. Ver figura en color en la web.

Fig. 3. - Igueste de San Andrés site in the Anaga Biosphere Reserve, Tenerife (Spain). A) Panoramic photo. B) 3D model generated with Agisoft software. See color figure in the web.

generación del modelo 3D a partir de las fotografías tomadas. Esto implicó la necesidad de tomar un número elevado de fotografías con las que intentar cubrir la totalidad de la compleja superficie. Los horarios de las mareas y la necesidad de una luz perpendicular a la superficie acotaron enormemente las horas del día para realizar la digitalización, ya que se aconseja que se haga al mediodía o en días nublados para que haya las menos sombras posibles en la superficie. Por último, el agua retenida en los charcos costeros produjo brillos y destellos durante la toma de las fotografías, que provocaron errores durante la generación del modelo 3D con el software utilizado.

Para resolver el problema técnico asociado con la extensión y la complejidad del yacimiento, se propone el uso de un dron con cámara que facilitará la toma de fotografías. Sin embargo, para solventar el resto de dificultades técnicas relacionadas con las mareas (altas y bajas), es necesario realizar fotografías en diferentes días y momentos, intentando obtener los menos brillos posibles en las horas que las mareas lo permitan.

Conclusiones

a) La fotogrametría puede ser considerada como una herramienta útil en la obtención de modelos 3D de yacimientos paleontológicos con alto riesgo de deterioro por la erosión marina severa. Estos modelos permiten la conservación digital del yacimiento, y hacer un seguimiento de los cambios del mismo debido a la acción de los diferentes agentes y procesos de deterioro.

b) Los modelos tridimensionales de yacimientos paleontológicos costeros obtenidos por fotogrametría se podrán mejorar combinando las fotografías realizadas manualmente (incluidas las de detalle) con las obtenidas con un dron.

c) Se propone la creación de un catálogo digital de yacimientos paleontológicos de Canarias con varios usos: científico, edu-

cativo y cultural. Esto contribuirá a incrementar la cultura científica y el turismo científico de las islas, que han recibido cerca de 16 millones de turistas en un año.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de las actividades de los grupos de Investigación de la ULL "Estudio de la Fauna Fósil y Actual de Canarias" y "Crecimiento submarino y emersión de las Islas Canarias: estudio geológico de los Complejos Basales" y está financiado por los proyectos 2017REC20 (Fundación CajaCanarias y la Fundación Bancaria "La Caixa") y CGL2016-75062-P (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte). Los autores agradecen los comentarios realizados durante la elaboración del trabajo por parte de los Drs. Paolo Citton y Diego Castanera. También agradecemos los comentarios del revisor Dr. Xabier Pereda-Suberbiola y del revisor anónimo, con los cuales se ha mejorado el manuscrito inicial.

Referencias

- Bates, K.T., Manning, P.L., Vila, B. y Hodgetts, D. (2008). *Palaeontology* 51 (4), 999-1010.
- Bates, K.T., Falkingham, P.L., Hodgetts, D., Farlow, J.O., Breithaupt, B.H., O'Brien, M., Matthews, N., Sellers, W.I. y Manning, P.L. (2009). *Geology Today* 25 (4), 134-139.
- Carracedo, J.C. y Troll, V.R. (2016). *The geology of the Canary Islands*. Elsevier. 636 p.
- Castillo, C., Saorín, J.L., Meier, C., García-Gotera, C.M., Martín, E. y Cruzado-Caballero, P. (2016). En: *Innovación docente para convencidos*. Vicerrectorado de Docencia. Formación del Profesorado e Innovación Docente de la Universidad de La Laguna 53-73.
- Cipriani, A., Citton, P., Romano, M. y Fabbri, S. (2016). *Italian Journal of Geosciences* 135 (2), 199-209.
- Cruzado-Caballero, P., Castillo, C., Jiménez-Gomis, C., Rodríguez-González, S.E., Saorín, J.L., Alfayate-Casañas, M.C. y Ahijado Quintillán, A. (2018). En: *VIII Jornadas de Innovación educativa de La Universidad de La Laguna*.
- Das A.J., Murmann D.C., Cohn K. y Raskar R. (2017). *PLoS ONE* 12 (7), e017264.
- Falkingham, P.L., Bates, K.T. y Farlow, J.O. (2014). *PLoS ONE* 9, e93247.
- Füster, J.M., Araña, V., Brändle, J.L., Navarro, J.M., Alonso, U. y Aparicio, A. (1968). *Geología y Volcanología de las Islas Canarias: Tenerife*. Instituto Lucas Mallada, CSIC, Madrid, 218 p.
- Gmelin J.F. (1791). En: *Caroli a Linnaei Systema Naturae per Regna Tria Naturae*, (J.F. Gmelin, Ed.) G.E. Beer, Lipsiae [Leipzig]. Tomo 1 (6), 3021-3910.
- Kröcher, J., Maurer, H. y Buchner, E. (2008). *Journal of African Earth Sciences* 51, 220-234.
- Mallison, H. y Wings, O. (2014). *Journal of Paleontological Techniques* 12, 1-31.
- Martin-González, E., Rodríguez, A., Vera-Peláez, J.L., Lozano-Francisco, M.C. y Castillo, C. (2016). *Vieraea* 44, 87-106.
- Padrón, E. (2015). *Valoración Patrimonial de los recursos paleontológicos de Tenerife: Yacimiento de Iguete de San Andrés*. Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna, 34 pp.
- Padrón Calzadilla, E., Martín González, E., Castillo Ruiz, C. (2015). En: *XXXI Jornadas de Paleontología*. Sociedad Española de Paleontología, 219-221.
- Romilio, A., Hacker, J.M., Zlot, R., Poropat, G., Bosse, M. y Salisbury, S.W. (2017). *PeerJ* 5, e3013.
- Seitz, S.M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D. y Szeliski, R. (2006). En: *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)* 1, 519-528.
- Ullman, S. (1979). *Proceedings of the Royal Society of London B* 203, 405-426.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-Delgado, J. y Soler, V. (2003a). *Marine Geology* 194, 103-133.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., González Delgado, J.A., Soler, V., Ghaleb, B. y Dabrio, C.J. (2003b). *Estudios Geológicos* 59, 133-144.