

# Avances de la Geomorfología en España 2012-2014

Susanne Schnabel y Álvaro Gómez Gutiérrez  
(editores)



Sociedad Española  
de Geomorfología

Avances de la Geomorfología en España 2012-2014

Editores: Susanne Schnabel y Álvaro Gómez Gutiérrez

XIII Reunión Nacional de Geomorfología, Cáceres, 2014.

ISBN: 978-84-617-1123-9

## XIII REUNIÓN NACIONAL DE GEOMORFOLOGÍA

Cáceres, 9-12 de Septiembre de 2014

### COMITÉ CIENTÍFICO

- Susanne Schnabel (Universidad de Extremadura)
- Augusto Pérez Alberti (Universidad de Santiago de Compostela)
- Gerardo Benito (Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid)
- Adolfo Calvo Cases (Universidad de Valencia)
- Rosa M<sup>a</sup> Carrasco González (Universidad de Castilla La Mancha)
- Christian Conoscenti (Università degli Studi di Palermo)
- Jordi Corominas Dulcet (Universidad Politécnica de Cataluña)
- Andrés Díez Herrero (IGME)
- Germán Flor Rodríguez (Universidad de Oviedo)
- Francesc Gallart (Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, CSIC)
- Guillermina Garzón Heydt (Universidad Complutense de Madrid)
- Álvaro Gómez Gutiérrez (Universidad de Extremadura)
- Alberto González Díez (Universidad de Cantabria)
- Juan Antonio González Martín (Universidad Autónoma de Madrid)
- Javier Gracia Prieto (Universidad de Cádiz)
- David Regúés, (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC)
- M<sup>a</sup> Asunción Romero Díaz (Universidad de Murcia)
- Enrique Serrano Cañadas (Universidad de Valladolid)
- Albert Solé Benet (Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC)
- Xavier Úbeda Cartaña (Universidad de Barcelona)
- Damià Vericat (Universidad de Lleida)
- Juan Ramón Vidal Romani (Universidad de La Coruña)
- Javier Benavente González (Universidad de Cádiz)
- Celso García García (Universitat de les Illes Balears)

### COMITÉ ORGANIZADOR

- Schnabel, Susanne (Presidenta)
- Gómez Gutiérrez, Álvaro (Secretario)
- J. Francisco Lavado Contador
- Garzón Heydt, Guillermina
- Carrasco González, Rosa M<sup>a</sup>

## UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE FOTO-RECONSTRUCCIÓN 3D AUTOMATIZADA EN GEOMORFOLOGÍA: EJEMPLOS PARA DIFERENTES MORFOLOGÍAS Y ESCALAS

*Using automatic 3D photo-reconstruction techniques in geomorphology: examples through different landforms and scales*

Á. Gómez-Gutiérrez<sup>1</sup>, S. Schnabel<sup>1</sup>, C. Conoscenti<sup>2</sup>, N.A. Caraballo-Arias<sup>3</sup>, V. Ferro<sup>3</sup>, C. Di Stefano<sup>3</sup>, J.J. de Sanjosé<sup>4</sup>, J. de Matías<sup>4</sup> y F. Berenguer-Sempere<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Geoambiental, Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

<sup>2</sup> Department of Earth and Marine Sciences, University of Palermo, Palermo, Italy.

<sup>3</sup> Department of Agricultural and Forestry Sciences, University of Palermo, Italy.

<sup>4</sup> Grupo de Investigación de Geomática, Universidad de Extremadura, España.

**Abstract:** Three-dimensional photo-reconstruction methods based on Structure from Motion (SfM) and MultiView-Stereo techniques (MVS) are tested for measuring, monitoring and quantifying three different geomorphological features: i) the Corral del Veleta rock glacier and ii) five small gully headcuts in Spain and iii) Calanchi type badland in Italy. Results about the accuracy, usefulness and applicability of these techniques are presented here. The results of these analyses showed centimeter-level accuracies with average distances to the benchmark models ranging from 0.009 m to 0.42 m.

**Palabras clave:** Foto-reconstrucción 3D, tasa de precisión relativa, escáner láser terrestre

**Key words:** 3D Photo-reconstruction, relative precision ratio, terrestrial laser scanner

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han producido numerosos avances en el campo de la visión artificial que han permitido la obtención de nubes de puntos y modelos 3D del terreno de elevada resolución a partir de las denominadas técnicas de foto-reconstrucción 3D (FR3D). Entre estos avances, cabe destacar la utilización conjunta de las técnicas Structure from Motion (SfM; Ullman, 1979) y MultiView-Stereo (MVS; Seitz et al., 2006). En los próximos años se prevé una expansión generalizada de su aplicación en Ciencias de la Tierra, pero hasta ahora, los estudios realizados concluyen que es necesario el desarrollo de un mayor número de trabajos con el objetivo de analizar sus prestaciones en un amplio rango de formas del relieve, procesos, escalas y ambientes.

Este trabajo tiene como principal objetivo mostrar la aplicación de este tipo de técnicas en tres ambientes muy diferentes y testar la precisión obtenida en cada uno de ellos.

### 2. METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO

A continuación se presentan las características generales de cada zona de aplicación de la foto-reconstrucción.

#### 2.1. Glaciar rocoso del Corral del Veleta

Se trata del glaciar más meridional de Europa y por esta latitud excepcional su monitorización presenta un gran interés científico ya que se asume como un indicador clave de los efectos del cambio climático en la región.

Una profunda exposición de la metodología puede encontrarse en Gómez-Gutiérrez et al. (2014a). En el glaciar se tomaron datos mediante un escáner láser terrestre (TLS; Leica C10 Scanstation) que posteriormente se asumirá como método de referencia para la estimación de la precisión de las técnicas de FR3D. Se realizaron 4 estacionamientos del TLS y por tanto, 4 tomas que fueron enlazadas mediante el software Cyclone. Durante el proceso de fusión los errores de registro estuvieron siempre por debajo de 0,003 m.

Respecto a las fotografías (n=6), su toma se realizó desde lo alto del Pico Veleta, a unos 300 m de elevación sobre la depresión en la que se encuentra el glaciar. Para su captura se utilizó una cámara EOS 5D con una distancia focal de 100 mm y un tiempo de exposición de 1/160 s. Las fotografías se utilizaron como entrada en dos flujos de trabajo diferente, pero ambos basados en la utilización de técnicas de FR3D. Una profunda descripción del primer flujo (en adelante método semi-automático; SA) de trabajo puede encontrarse en de Matias et al. (2009). Básicamente, consistió en la propia implementación del algoritmo Scale-Invariant Feature Transform y la geometría Epipolar que necesita como entrada las fotografías oblicuas y los parámetros de calibración de la cámara para producir una nube de puntos. El segundo flujo de trabajo consistió en la utilización del software 123D Catch para la FR3D que tan sólo necesita como parámetros de entrada las fotografías (en adelante método completamente automático; CA), si bien el modelo resultante necesita ser escalado y georeferenciado. Para este procedimiento se utilizaron puntos de control naturales (n=10) localizados en el modelo generado con el TLS y un modelo de transformación clásico y rígido en el entorno del software CloudCompare. Con las nubes de puntos obtenidas mediante los métodos SA y CA se calcularon las distancias medias a la nube de referencia (TLS) mediante el método de Girardeau-Montaut et al. (2005) y también mediante el software CloudCompare. Finalmente se generaron MDEs a partir de las nubes de las tres técnicas que también fueron analizados y comparados.

## 2.2. Badland calanchi en Sicilia

En segundo lugar, se llevó a cabo la FR3D de un badland de tipo calanchi en Sicilia (Italia). Se trata de una forma muy compleja y altamente dinámica que supone un reto para este tipo de estudios. La captura de las fotografías se llevó a cabo desde zonas próximas al badland con una cámara Canon EOS 550D, permitiendo una distancia focal y exposición variables. La FR3D se llevó a cabo utilizando dos software diferentes, por un lado se utilizó de nuevo 123D Catch y además, también se usó Agisoft PhotoScan. Este último, permite la obtención de nubes de puntos a partir de fotografías oblicuas, que posteriormente

pueden ser escaladas y georeferenciadas. Para el escalado y georeferenciación de las nubes resultantes de ambos programas se utilizó una transformación rígida clásica en CloudCompare a partir de puntos de control naturales (n=20). Primero, se llevó a cabo un ajuste manual y posteriormente un ajuste refinado de las nubes de puntos obtenidas con sendos programas de FR. Para analizar dicho ajuste se utilizó como referencia un MDE obtenido mediante fotogrametría tradicional con fotogramas capturados por un vehículo aéreo no-tripulado (tamaño de píxel de 0.03 m).

## 2.3. Cabeceras de cárcava permanente en la Cuenca Experimental Parapuños

Finalmente, se monitorizaron 5 pequeñas cabeceras de una cárcava permanente de fondo de valle localizada en una cuenca adhesionada del SO de España. Una exposición más profunda de los diferentes aspectos de este trabajo puede encontrarse en Gómez-Gutiérrez et al. (2014b). La monitorización se llevó a cabo inicialmente con el objetivo de realizar una cuantificación de la dinámica erosiva del canal tomando fotografías durante tres momentos diferentes en un período muy breve (54 días). De forma adicional, durante una de las campañas de campo se registraron datos mediante un TLS (Leica Scanstation C10) además de la cámara fotográfica (Canon EOS 550). A partir de las imágenes se elaboraron modelos 3D utilizando el software 123D Catch que fueron escalados y georeferenciados siguiendo el mismo procedimiento descrito en los apartados 2.1 y 2.2. Con los modelos obtenidos se elaboraron Modelos Digitales de Elevaciones de alta resolución para cada fecha en la que se tomaron fotografías y se estimaron los volúmenes de material erosionado y acumulado en cada cabecera. Al mismo tiempo, se analizó la calidad de cada FR3D comparando las distancias entre la nube de puntos obtenida y la registrada mediante el TLS durante uno de los muestreos. El procedimiento fue similar al ya descrito en el apartado 2.1.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada caso de estudio. Todos los planteamientos metodológicos desarrollados dieron lugar a nubes de puntos de

gran calidad con distancias medias a los modelos de referencia que oscilaron entre 0,009 m para una de las cabeceras de cárcava fotoreconstruida con 123D Catch y 0,28 m para el glaciar del Corral del Veleta fotoreconstruido con una implementación propia del algoritmo SIFT y la geometría epipolar. Si bien es cierto que las distancias de observación en ambos casos difieren en orden de magnitud. Para poder realizar comparaciones entre las diferentes metodologías utilizamos la ratio de precisión relativa (RPR del inglés *Relative Precision Ratio*; James and Robson, 2012) que muestra el cociente entre la exactitud de la medición o distancia media al modelo 3D o nube de referencia y la distancia de observación para el error unitario. Se trata de una medida adimensional de la calidad de la FR3D. Por ejemplo, en el caso del Badland calanchi fotoreconstruido mediante el software Agisoft Photoscan se obtuvo un valor que osciló entre 1:100-500, lo que significa que para obtener precisiones inferiores a 1 m, la distancia de observación debe situarse, al menos, en el intervalo de 100 a 500 m. Los valores para el RPR mostraron como planteamiento metodológico más efectivo el basado en el software 123D Catch para el glaciar del Corral del Veleta y el basado en el software Agisoft Photoscan para el Badland calanchi.

Por otra parte, la normalización de la distancia de observación mediante el cálculo del RPR creemos que no alcanza a sintetizar los elementos que determinan la precisión global de la FR3D. En los tres casos se encontraron menores densidades de puntos (y a la postre peores precisiones y mayores distancias al modelo referencia) para aquellas zonas con sombras o menor iluminación en las fotografías. En base a estos descubrimientos, Gómez-Gutiérrez et al. (2014a) propusieron diversas soluciones, entre ellas, la utilización de modelos de sombras simuladas para la determinación de la fecha y hora óptimas para la captura de fotografías que a la postre serán empleadas en FR3D. Previamente, James y Robson (2012) habían recomendado la utilización de luz difusa,

si bien, en determinadas localizaciones esto no es siempre posible. De forma alternativa, Gómez-Gutiérrez et al. (2014b) también han propuesto el empleo de algoritmos High Dynamic Range (HDR) y fotografías con sub y sobre-exposición.

Respecto a la aplicabilidad de modelos generados cabe señalar que en el caso del glaciar rocoso del Corral del Veleta, las nubes de puntos y MDEs obtenidos podrían utilizarse en la monitorización sub-métrica del glaciar, con distancias medias al modelo tomado con el TLS de 0,28 y 0,21 (para SA y CA, respectivamente). Sin embargo, trabajos previos han mostrado que la dinámica de este glaciar presenta desplazamientos medios de 0,05 a 0,10 m en planimetría y -0,20 a -0,25 en altimetría. Es decir, la monitorización mediante FR3D sería aplicable para intervalos temporales de >5 años.

En el caso del badland tipo calanchi sucede algo similar, ya que la distancia media al modelo de referencia supera los 0,20 m (para el software Agisoft Photoscan) mientras el rebajamiento medio que se registra en este tipo de elemento geomorfológico ronda los 0,01 m·a<sup>-1</sup>. La figura 1 muestra la FR3D realizada con Agisoft para este elemento geomorfológico.

En el caso de las cabeceras de cárcava, el RPR calculado y las distancias medias al modelo de referencia capturado con el TLS permitieron la monitorización de los cambios acaecidos en el canal a lo largo de 54 días con lluvias en 2013. Una explicación profunda de la metodología empleada para el cálculo, así como de los resultados obtenidos puede consultarse en Gómez-Gutiérrez et al. (2014b). Resumiendo, la monitorización permitió analizar la dinámica espacio-temporal de cada cabecera estableciéndose diferencias entre aquellas cabeceras que se localizan en el propio cauce y otras que son de formación posterior y de tipo lateral cuya génesis se relaciona con la existencia de veredas y su utilización por parte del ganado como acceso lateral al propio cauce.

Tabla 1. Características de los planteamientos metodológicos desarrollados en cada uno de los tres casos de estudio y donde se incluyen además los valores del Error Cuadrático Medio obtenido durante la georeferenciación del modelo en base al modelo de referencia (RMSE), la exactitud o distancia media al modelo de referencia (d\* calculada mediante el método de Girardeau-Montaut et al., 2005) y la Ratio de Precisión Relativa (RPR; James and Robson, 2012).

*Table 1. Characteristics of the methodological approaches developed in every case. Also included in the table are the figures for the root mean square error obtained during the georeferencing procedure (RMSE), the accuracy or average distance to*

*the benchmark model ( $d^*$  calculated with the Girardeau-Montaut et al., 2005 method) and the Relative Precision Ratio (RPR; James and Robson, 2012).*

	Glaciar rocoso del Veleta (Granada)	Cabeceras de cárcava (Monroy, Cáceres)	Badland Calanchi (Sicilia)
Número objetos (n)	1	5	1
Modelo de referencia	TLS	TLS	MDE-UAV (píxel 0.03 m)
Distancia media de observación (m)	300	10	20-100
Cámara y número de fotos	Canon EOS 5D, 6	Canon 550D, 64	Canon 550D, 64
Software/algoritmo	Programa propio (SA) 123D Catch (CA)	123D Catch	Agisoft (AP) 123D Catch (CA)
RMSE (m)	0,03 (CA)	0,00-0,07	0,11 (AP) - 0,18 (CA)
Exactitud ( $d^*$ modelo referencia, m)	0,28 (SA) - 0,21 (CA)	0,009 - 0,025	0,20 (AP) - 0,42 (CA)
Densidad (ptos·m <sup>-2</sup> )	8,1 (SA) - 20,6 (CA)	13130	545 (AP) - 154 (CA)
RPR**	1:1071 (SA) 1429 (CA)	1:372-1167	1:100-500 (AP) 1:48 (CA)
Productos derivados	Nubes, DEMs y Ortofotografías	Nubes, DEMs y DoDs	Nubes y DEM

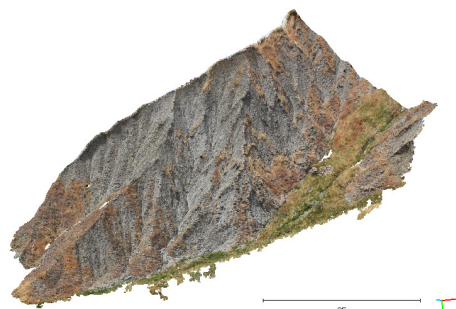


Fig. 1. Fotreconstrucción 3D obtenida para el badland tipo calanchi utilizando el software Agisoft Photoscan.  
3D photoreconstruction for the calanchi type badland obtained using Agisoft Photoscan software.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado y presentado comparativamente los resultados obtenidos con diversos planteamientos metodológicos para fotoreconstruir varios elementos geomorfológicos. Los resultados muestran la calidad de los productos generados mediante las técnicas de FR3D y su aplicabilidad para la descripción de estos elementos. En algunos casos puntuales se demuestra su utilidad para la monitorización de la dinámica de los procesos que tienen lugar sobre ellos a diferentes escalas temporales.

### Agradecimientos

Ministerio de Economía y Competitividad (CGL2011-23361) y Gobierno de Extremadura (GR10071 y RNM017).

## REFERENCIAS

- De Matías, J., De Sanjosé, J., López-Nicolás, G., Sagüés, C., Guerrero, J., 2009. Photogrammetric methodology for the production of geomorphologic maps: Application to the veleta rock glacier (sierra nevada, granada, spain). *Remote Sensing*, 1, 829-841.
- Girardeau-Montaut, D., Roux, R.M., Thibault, G., 2005. Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. in: ISPRS (Ed.), *ISPRS Workshop Laser Scanning 2005*, Enschede, the Netherlands, pp. 6.
- Gómez-Gutiérrez, Á., de Sanjosé-Blasco, J.J., de Matías-Bejarano, J., Berenguer-Sempere, F. (2014a). Comparing two photo-reconstruction methods to produce high density point clouds and DEMs in the Corral del Veleta rock glacier (Sierra Nevada, Spain). *Remote Sensing*, 6, 5407-5427.
- Gómez-Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Berenguer-Sempere, F., Lavado-Contador, F., Rubio-Delgado, J. (2014). Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion. *Catena*, 120, 91-101.
- James, M.R., Robson, S., 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research* 117, 1-17.
- Seitz, S.M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., Szeliski, R., 2006. A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE Computer Society, New York.
- Ullman, S., 1979. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society B*, 203, 405-426.