



C. GARCIA, L. GÓMEZ-PUJOL, E. MORÁN-TEJEDA, R.J. BATALLA (eds.)

# **Geomorfología del Antropoceno**

Efectos del cambio global sobre los  
procesos geomorfológicos

**Cita recomendada para el volumen:**

García, C., Gómez-Pujol, L., Morán-Tejeda, E. y Batalla, R.J. (eds) 2018. *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del Cambio Global sobre los procesos geomorfológicos*. Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geomorfología, Palma. 402 pp. ISBN 978-84-09-04850-2.

**Cita recomendada para los capítulos:**

Segura-Beltran, F. y Sanchis-Ibor, C. 2018. Estrechamiento de cauces y cambio en cursos fluviales mediterráneos como consecuencia del cambio global en las últimas seis décadas: indicadores geomorfológicos. En: García, C., Gómez-Pujol L., Morán-Tejeda, E. y Batalla, R.J. (eds), *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del Cambio Global sobre los procesos geomorfológicos*: 395-398. Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geomorfología, Palma.

Primera edición: Septiembre 2018

© del texto: los autores

© de la edición: Sociedad Española de Geomorfología

ISBN 978-84-09-04850-2

# Seguimiento del cambio global en el lago Enol: procesos geomorfológicos en las márgenes favorecidos por la actividad antrópica

A. Díez-Herrero, J. Vegas, M. Hernández, J.C. García-Davalillo, C. Lorenzo, M.P. Mata, J.A. Rodríguez y A. Salazar

*Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid*

**MONITORING GLOBAL CHANGE IN LAKE ENOL (NORTHERN SPAIN): GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN ITS MARGINS FAVORED BY ANTHROPOGENIC ACTIVITY** : Lake Enol is a mountain glacial lake placed at the 'Picos de Europa' National Park (Asturias, Northern Spain). The most significant geomorphological processes in its drainage basin are due to rill erosion and solifluxion. The increase in erosion by antropic activity induces changes in the aquatic system (turbidity, organic matter). To evaluate the order of magnitude of the volume of sediment and organic matter incorporated into the lake from the margins, the multitemporal comparison of high resolution MDE is being used, obtained by means of automatic photorestitution of images from two sources: oblique aerial photographs taken with drones and georeferenced with total station and differential GPS; and vertical field photographs from fixed support for eight transversal profiles along the two main gullies. With the data obtained, in collaboration with the National Park managers, corrective measures can be designed to minimize the impacts caused by global change in this lake.

**Palabras clave:** lago Enol, erosión hídrica, arroyada concentrada, Picos de Europa, Asturias

**Key words:** lake Enol, water erosion, rill runoff, Picos de Europa, Asturias (Spain)

## Introducción

El lago Enol (Parque Nacional de Picos de Europa, Asturias) es un lago de alta montaña (1070 m s.n.m.) que, junto con el cercano lago de la Ercina (1110 m s.n.m.), forma el conjunto conocido como lagos de Covadonga (Figura 1). Desde el año 2013 se está monitorizando este hábitat lenítico, con medida continua de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto en cinco niveles de profundidad (0,5 m; 5 m; 10 m; 15 m; 19 m; Mata et al., 2015). Los procesos geomorfológicos más significativos en su cuenca de drenaje se deben a la erosión por arroyada y soliflucción. El deterioro de la cubierta vegetal y la modificación antrópica de la escorrentía han favorecido recientemente la formación de regueros, que erosionan un perfil edáfico con un horizonte A rico en materia orgánica, desarrollado sobre la morrena de la ladera oriental del lago (Figura 2; Rodríguez-García et al., 2016).

El incremento de la erosión induce cambios en el sistema acuático (turbidez, materia orgánica), que ya fueron descritos por Sánchez-España et al. (2017) y Tarrats et al. (2018). En este trabajo se trata de cuantificar, al menos en orden de magnitud, los procesos erosivos en la ladera.

## Materiales y métodos

Para evaluar el orden de magnitud del volumen de sedimento y materia orgánica incorporada al lago desde la margen oriental, se está empleando la comparación multi-temporal de levantamientos topográficos detallados y modelos digitales de elevación

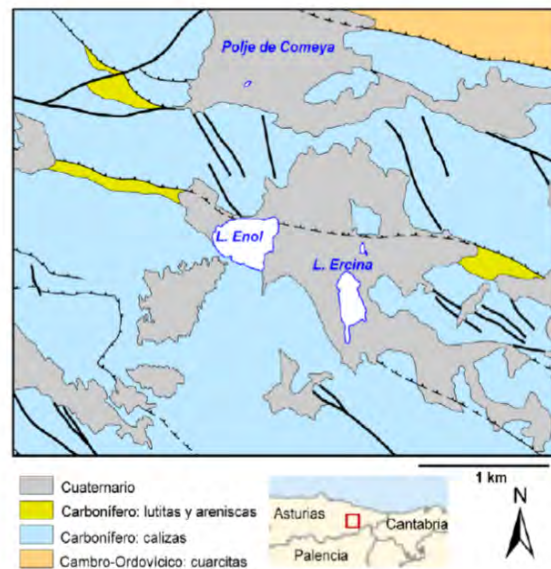


Fig. 1. Esquema geológico simplificado de situación de los lagos de Covadonga (lagos Enol y Ercina). Merino et al. [en línea].

Fig. 1. Schematic geologic map of the situation of Covadonga Lakes (Lake Enol and Lake Ercina). Merino et al. [on line].



Fig. 2. Vista de la ladera oriental del lago Enol, sobre las morrenas interlagos y terminal, con los fenómenos erosivos en regueros.

*Fig. 2. View of the eastern slope of the Lake Enol, over the interlake and terminal moraines, with erosive rill facets.*



Fig. 3. Perfilómetro de doble carril con el distanciómetro láser instalado sobre una sección transversal del reguero 1, en la ladera oriental del lago Enol.

*Fig. 3. Dual-layered profilometer with laser distance meter installed on a cross section of gully 1, on the eastern slope of Lake Enol.*

(MDE) de alta resolución, obtenidos de tres fuentes de datos:

Mediciones verticales equiespaciadas (10 cm) en secciones transversales de los regueros usando un perfilómetro de doble carril (Figura 3) con un carro con distanciómetro láser DISTO D8 (*Leica Geosystems*).

Fotografías aéreas verticales y oblicuas de campo a objeto cercano, tomadas con cámara fotográfica digital de forma solapada con soporte en perfilómetro (Figura 4).

Fotografías aéreas oblicuas y videografías tomadas mediante dron del Servicio de Trabajos Aéreos del IGME (Phantom 4 Pro y Mavic; Figura 5), con vuelos manuales a 5 m de altura sobre los regueros y automáticos a diferentes alturas sobre la ladera completa; y georreferenciadas con puntos de control ubicados con precisión mediante un equipo GPS Leica en modo diferencial.

También se ha instalado un termómetro HOBO en esta ladera con dos sensores, uno para estimar las variaciones de temperatura en el aire y otro en el interior del suelo (30 cm de profundidad), con toma de temperaturas cada 20 minutos.

Para el tratamiento y restitución fotogramétrica de las imágenes digitales se empleó el *software* Pix4D v4.2.22; y para la comparación multitemporal de las nubes de puntos se empleó el programa CloudCompare v2.9.1 Omnia (Open Source Project [www.cloudcompare.org](http://www.cloudcompare.org)).



Fig. 4. Cámara de fotos digital, inclinada 45º instalada sobre perfilómetro de doble carril, en el reguero 2, en la ladera oriental del lago Enol.

*Fig. 4. Digital photo camera, inclined 45º and installed on a double rail profilometer, in gully 2, on the eastern slope of Lake Enol.*



Fig. 5. Equipo dron Phantom 4 Pro (DJI) del IGME.

*Fig. 5. Phantom 4 Pro RPA system (DJI) from IGME.*

### Resultados e interpretación

Los primeros resultados del primer periodo semestral (noviembre 2017-mayo 2018) ofrecen valores cualitativos muy ilustrativos de la magnitud de los procesos geomorfológicos en esta ladera y los regueros estudiados.

Las nubes de puntos de los MDE resultado de la restitución fotogramétrica de las imágenes de los vuelos de noviembre de 2017 y mayo de 2018 poseen una distancia de muestreo sobre el terreno (*Ground Sample Distance*; GSD) de 0,35 y 0,22 cm, respectivamente, con procesado a media resolución (Figura 6).

El resultado de la modificación del relieve de la superficie de la ladera y de los dos regueros monitorizados se ha cuantificado de dos maneras: mediante la resta de las dos nubes de puntos de los dos vuelos (Figura 7); y a través de la modificación de la superficie de las ocho secciones transversales entre los dos tiempos de medida (Tabla 1).

Los termómetros de ambiente y suelo ofrecen resultados de interés puesto que en uno de los inviernos más rigurosos de la última década, la temperatura del suelo no desciende de los 0,2°C; lo que supone que el



Fig. 6. Vista 3D de la nube de puntos obtenidos por restitución fotogramétrica a partir de imágenes tomadas con dron en el tramo final del reguero 1, en la ladera oriental del lago Enol.  
Fig. 6. 3D view of the cloud of points obtained by photogrammetric restitution from images taken with drone in the final reach of gully 1, on the eastern slope of Lake Enol.

suelo no se congeló (Figura 8), y estaba susceptible de ser erosionado por arroyada.

### Discusión y conclusiones

A pesar de que el periodo de instrumentación es extremadamente breve (tan sólo seis meses) y de que aún sólo se dispone de los datos de dos campañas de me-

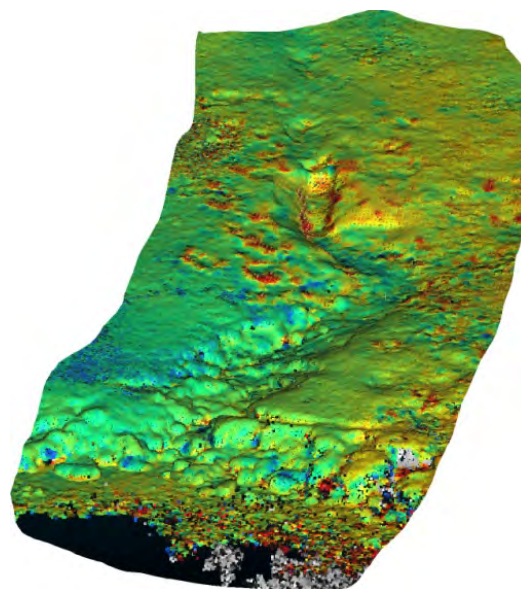


Fig. 7. Vista 3D de la nube de puntos resultado de la comparación de las nubes de puntos noviembre 2017-mayo 2018, del tramo final del reguero 1, en la ladera oriental del lago Enol. Los colores rojos representan rebaje de cota del MDS (por erosión o aplastamiento); los tonos azules suponen incremento de cota (por sedimentación o crecimiento vegetal); y los verdes, escasa variación de cota.

Fig. 7. 3D view of the cloud of points resulting from the comparison of the point clouds November 2017-May 2018, of the final section of trail 1, on the eastern slope of Lake Enol. The red colors represent the elevation of the DSM (by erosion or crushing); the blue tones suppose increase of level (by sedimentation or vegetal growth); and the greens, little variation in height.

Reguero	Sec.	Nov. 17	May. 18	Diferencia
Reguero 1	1	2,66	2,76	0,10
	2	2,07	2,09	0,02
	3	2,73	2,76	0,03
	4	1,80	1,87	0,07
	5	2,42	2,47	0,05
Reg. 2	1	2,26	2,33	0,07
	2	2,83	2,88	0,05
	3	2,26	2,42	0,16

Tabla 1. Valores de superficie medida (en m<sup>2</sup>) con distanciómetro laser bajo carril del perfilómetro en las secciones transversales de los regueros de la ladera oriental del lago Enol.

Table 1. Measured surface values (in m<sup>2</sup>) with laser distance meter under the profile rail in the cross sections of the gullies on the eastern slope of Lake Enol.

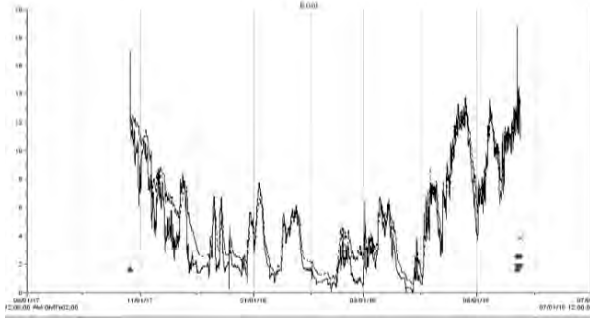


Fig. 8. Evolución de las temperaturas ambiente y del suelo a 30 cm de profundidad, entre noviembre de 2017 y mayo de 2018.

Fig. 8. Evolution of ambient and soil temperatures to 30 cm depth, between November 2017 and May 2018.

dición, la coincidencia de los datos observados (Rodríguez-García et al., 2016) y los resultados cuantitativos de las tres fuentes de medición, permiten aceptar como razonables los valores estimados.

Los valores de incisión y transporte sedimentos no son excesivamente elevados areal y volumétricamente (valores máximos de 23 cm y 0,16 m<sup>2</sup> en 6 meses), pero sí importantes al estar focalizados en suelos con alto contenido en materia orgánica, que se aporta al lago.

Son múltiples las posibles fuentes de error e incertidumbre de este tipo de estudios, entre las que cabría citar:

Incidencia del estado fenológico de la vegetación herbácea y arbustiva de la ladera y los regueros, que enmascaran modificaciones de la superficie del suelo.

Resolución y posibles errores instrumentales, como la temperatura del aire y las condiciones de visibilidad en la toma de imágenes con drones o cámara de fotos digital en campo.

Los errores de posicionamiento de las referencias para georreferenciación de imágenes y perfiles y su distribución espacial.

La incidencia de otros fenómenos y procesos geomorfológicos que afectan a la ladera, como soliflucción, colapsos de sufusión (*piping*) y reptación lenta (*creep*).

Sin embargo, las evidencias son suficientes para servir de apoyo a actuaciones de gobernanza para mejorar la gestión de estos espacios ante los impactos del cambio global, actuales y futuros. En este sentido, a la vista de estos procesos erosivos en la ladera y del aumento del transporte de materia orgánica al

lago, cabría articular actuaciones para mejorar el sistema de drenaje de la ladera, que fue alterado con la construcción de la carretera al lago de la Ercina y la senda peatonal. Por ejemplo, evitando concentrar toda la escorrentía de la ladera y las cunetas de estas infraestructuras en únicamente dos drenajes transversales (tubos o alcantarillas); y mejorando la permeabilidad transversal de estas infraestructuras. También con un control del efecto de la eliminación de la vegetación arbustiva en la generación de la escorrentía; o la regulación de la carga ganadera y los visitantes en las márgenes del lago.

### Agradecimientos

Proyecto SCCALE con el apoyo de la Fundación Biodiversidad (MAPAMA); y al Parque Nacional de Picos de Europa y todo su personal como socios del proyecto.

### Bibliografía

- Mata, M.P., Sánchez-España, J., Vegas, J., Morellón, M., Rodríguez-García, J.A., Salazar, A., Valero Garcés, B., López-Vicente, M. y Navas, A. 2015. Evaluación y seguimiento del cambio global en tres lagos de alta montaña de Parques Nacionales (Enol, Marboré y La Caldera); indicadores físico-químicos (CLAM-1). Proyectos de investigación en Parques Nacionales: 2012-2015, OAP, 287-386.
- Merino, Ó.A., Suárez, Á. y Alonso, J.L. [en línea]. Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50.000, Zona Cantábrica. En Navas, J. (Ed.): GEODE Mapa Geológico Digital continuo de España. IGME, <http://cuarzo.igme.es/sigeco/default.htm>
- Rodríguez García, J., Vegas, J., López-Vicente, M., Mata, M.P., Morellón, M., Navas, A., Salazar, A., Sánchez-España, J. 2016. El lago de Enol (Asturias): origen, evolución y dinámica geomorfológica. Actas XIV Reunión Nacional de Geomorfología Málaga, 151-158.
- Sánchez-España, J., Mata, P., Vegas, J., Morellón, M., J.A. Rodríguez, J.A., Salazar, A., Yusta, I., Chaos, A., Pérez Martínez, C., Navas, A. 2017. Anthropogenic and climatic factors enhancing hypolimnetic anoxia in a temperate mountain lake. *Journal of Hydrology* 555, 832-850.
- Tarrats, P., Cañedo-Argüelles, M., Rieradevall, N., Prat, N. 2018. The influence of depth and macrophyte habitat on paleoecological studies using chironomids: Enol Lake (Spain) as a case study. *Journal of Paleolimnology*, 1-11.