

Movimientos en masa naturales o inducidos: nuevas aportaciones al estudio de inestabilidad de laderas en la provincia de León

Natural or induced mass movements: new insights into slope instability recognition in the province of León

Javier Fernández-Lozano¹ y Rodrigo Andrés-Bercianos²

¹Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Facultad de Ciencias. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n, 39005. Santander. flozanoj@unican.es

²Parque Tecnológico de León, 24009, León. rab@usal.es

ABSTRACT

Mass movements are one of the geological processes with major socio-economic impact in the world. The strong topography and high rainfall concentration in mountainous areas are two of the main determining and triggering factors involved in the slope instability directly affecting the province of León. Until now, much of these mass movements were linked to the natural erosive action. In this work, we have analysed two landslides with similar morphological characteristics and litoestructural imprint in the areas of Ancares and La Cabrera. These valleys are characterized by the presence of Roman gold mining works that affect the entire valley. The geological and geomorphological mapping, and comparative photointerpretation of aerial images at different time records allow us to analyse the determining and triggering factors behind these mass movements, in which the rupture plane is characterised in both cases by the absence of tensile stress cracks and the presence of opposite dipping fresh quartzites and slates across the slope. Also, the existence of aligned depressions, channel structures and the superimposition of excavations on the slipped material, may support an anthropogenic origin for these mass movement, although further studies are needed to clarify their origin and possible relation to human-induced activity.

Key-words: mass movement, slope instability, Roman gold mining, Ancares, La Cabrera.

RESUMEN

Los movimientos en masa constituyen uno de los procesos geológicos con mayor impacto socioeconómico en el mundo. La fuerte orografía, condicionada por el factor litoestructural, y la concentración de precipitaciones en las áreas montañosas constituyen los principales factores que condicionan y desencadenan la inestabilidad de las laderas en la provincia de León, estando ligados gran parte de estos movimientos en masa a la acción natural. En este trabajo se analizaron dos movimientos con características morfológicas y litoestructurales análogas situados en las comarcas de Ancares y La Cabrera, ambos caracterizados por la presencia de labores mineras auríferas romanas, que se extienden a lo largo de los valles en los que se localizan. La cartografía realizada y la fotointerpretación comparada de imágenes aéreas de diferentes periodos permiten analizar los factores condicionantes y desencadenantes de los mismos, cuyo plano de rotura se caracteriza en ambos casos por la ausencia de grietas de tracción y la presencia de cuarcitas y pizarras inalteradas con buzamientos opuestos a la dirección de la pendiente. Asimismo, la localización de depresiones alineadas, estructuras canalizadas y la superimposición de excavaciones sobre el material deslizado parecen apoyar un posterior retrabajado antrópico, aunque son necesarios futuros estudios para esclarecer si la génesis de ambos movimientos fue inducida por la acción humana.

Palabras clave: movimientos en masa, inestabilidad de laderas, minería aurífera romana, Ancares, La Cabrera.

Geogaceta, 64 (2018), 99-102
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 29 de enero de 2018
Revisión: 10 de abril de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

La provincia de León presenta una fuerte orografía, condicionada por el factor litoestructural, que es proclive a la inestabilidad de laderas. Este proceso tiene como resultado la formación de movimientos en masa con importantes consecuencias económicas y sociales, especialmente durante periodos con intensas precipitaciones (Arroyo Pérez y García de Celis, 2003).

En la actualidad, León cuenta con un inventario de movimientos en masa activos que se remonta a 2012, siendo escasos los trabajos que analizan los mecanismos desencadenantes de este tipo de fenómenos geomorfológicos (Fernández y Núñez, 2012). La dificultad para separar las formas superficiales naturales de otras antrópicas impide establecer con precisión la distinción entre los diversos factores que condicionan la estabilidad de las laderas. Esta incertidumbre aumenta cuando se trata de analizar fenómenos que se remontan en el

tiempo. Un buen ejemplo son los movimientos de ladera y los depósitos asociados a la actividad minera romana para la extracción aurífera en la provincia de León, como el yacimiento de Las Médulas en El Bierzo.

Para proporcionar nuevas vías de estudio sobre el origen, natural o antrópico, del volumen de material removilizado en una ladera de Tejado de Ancares y ante la identificación por parte de los autores, en la localidad de Silván (La Cabrera), de un caso con similares características, se plantea este trabajo como un

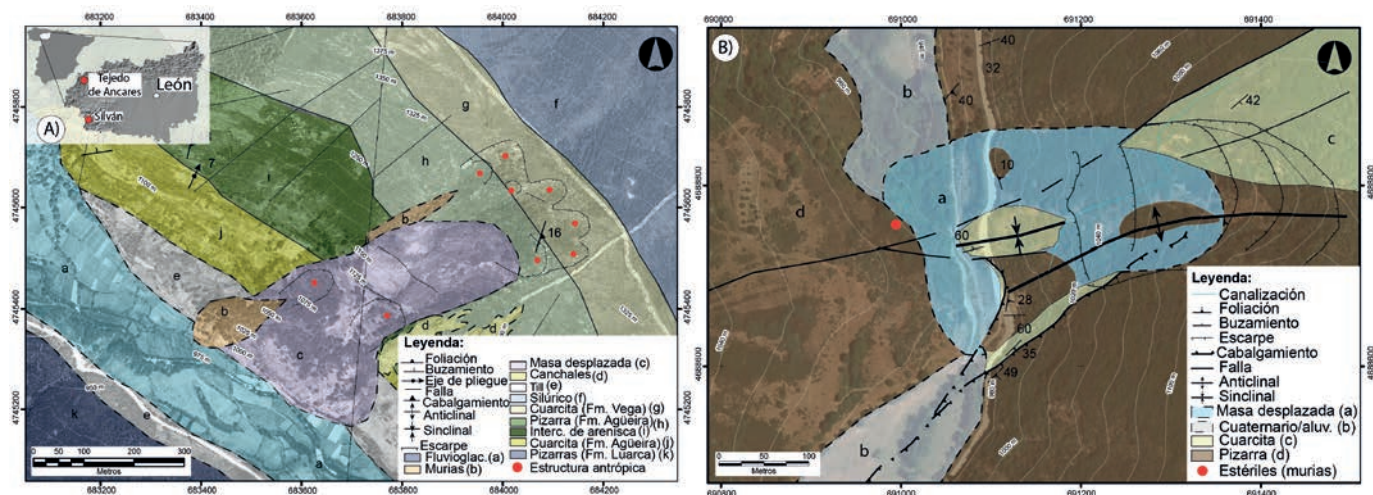


Fig. 1.- Mapa geológico y geomorfológico de las zonas de estudio correspondientes a los movimientos en masa de: A) Tejado de Ancares y B) Silván (La Cabrera). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Geological and geomorphological map of the study area: A) Tejado the Ancares and B) Silván (La Cabrera) landslides. See color figure in the web.

análisis comparativo entre los dos ejemplos señalados anteriormente, con el fin de plantear las diversas hipótesis que pudieran probar su génesis. Este trabajo integra diferentes técnicas de reconocimiento mediante fotointerpretación, elaboración de cartografía geomorfológica y análisis de Sistemas de Información Geográfica para el estudio y descripción de movimientos en masa.

Marco geológico

La zona de estudio se encuadra en el sector noroccidental del Macizo Ibérico, dentro de dos de las zonas establecidas por Julivert *et al.* (1972): Asturoccidental-Leonesa, en la que se ubica el movimiento de ladera de Tejado de Ancares, y la zona Centro Ibérica, en la que se localiza el de Silván.

Tejado de Ancares

Este movimiento en masa, conocido localmente como el "Gorgollón", fue descrito por Alonso Herrero (2004); Fernández-Martínez y Fuentes Gutiérrez (2009) y García de Celis (2016) y afecta a las rocas del Ordovícico Medio-Superior (Pérez-Estaún y Marcos, 1981). La serie paleozoica representada en esta ladera se inicia con una secuencia de areniscas y pizarras de carácter turbidítico de la Formación Agüeira (Figs. 1A y 2A). Sobre ellas, y en continuidad estratigráfica, se sitúan las cuarzitas de Vega, que culminan a techo con las pizarras y ampelitas silúricas. El macizo rocoso presenta buzamientos y foliaciones contrarias a la pendiente natural de la ladera y está afectado por dos orientaciones de fallas y lineaciones oblicuas, principalmente NNE-SSO a ENE-OSO y NO-SE. El fondo del valle se caracte-

riza por una morfología en U, resultado de la acción glaciar, y unos depósitos de *till* que cubren su fondo. En algunos puntos se han localizado restos de minería aurífera formados por depósitos de bloques de cuarzita llamados en la provincia *murias* (estériles). El material desplazado está constituido por bloques de cuarzita y pizarra empastados en una masa arcillosa con un movimiento de reptación de ladera o flujo en la base.

Silván (La Cabrera)

El movimiento en masa estudiado se ubica en el núcleo del sinclinal de Truchas. En esta zona afloran las pizarras de la Formación Agüeira con alguna capa potente cartografiada de cuarzita (Figs. 1B y 2B) (Pérez-Estaún *et al.*, 1980). La serie pelítica está compuesta por pizarras negras con cristales de pirita y fragmentos de carbonato disueltos. El macizo está muy fracturado, con cabalgamientos que duplican la serie en algunos puntos. Asimismo, se han observado pliegues de tipo *kink-band* que en muchos casos se presentan en forma de estructuras conjugadas que afectan a las pizarras. El material desplazado forma una potente masa caótica de bloques de cuarzita y pizarra de tamaños decimétricos a métricos que se acumulan en el fondo del valle y se encuentran fuertemente disectados por la acción fluvial en ese tramo.

Minería aurífera romana

La provincia de León constituye uno de los mayores complejos auríferos de época romana de la península ibérica (Pérez-García *et al.*, 2000; Sánchez-Palencia *et al.*, 2006; Fernán-

dez-Lozano *et al.*, 2015). La fuerte orografía, unida a la elevada altitud, facilitaron la recogida de agua procedente de neveros y ríos próximos mediante el uso de tecnología hidráulica para la explotación minera. Estas estructuras están formadas por canales, estanques y acueductos que permitieron transportar el agua para el lavado de material aurífero. Los restos de minería romana son abundantes en los entornos de Ancares y La Cabrera. Las explotaciones están asociadas a yacimientos primarios en roca (vetas de cuarzo aurífero en pizarras y cuarzitas) y secundarios, sobre los que se efectuó el lavado de sedimentos cuaternarios fluvio-glaciares, glaciares y periglaciares, así como gravitacionales, más fáciles de explotar que los macizos rocosos (Pérez-García *et al.*, 2000). Las explotaciones se identifican por la presencia de surcos y abanicos que tapizan el relieve en cotas altas.

Método

En este trabajo se ha realizado una cartografía geológica, apoyada en la fotointerpretación de ortofotografía aérea. Las imágenes fueron tomadas del archivo digital del Instituto Cartográfico de Castilla y León correspondientes a la Serie-B del vuelo americano (56-57), al Interministerial (1973-86) y al Plan PNOA para 2006 y 2014. Estas imágenes fueron comparadas con un vuelo realizado con dron en 2017 por los autores, con objeto de analizar la evolución de los dos movimientos en masa. Asimismo, se ha llevado a cabo una reconstrucción de la topografía original de ambas laderas, previa a que se desencadenaran los movimientos, mediante la combinación de nubes de puntos LiDAR proporcionados por

el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y las estimaciones realizadas para este trabajo, basadas en la topografía actual de zonas contiguas no afectadas y los rasgos litológicos, geomorfológicos y estructurales del entorno. El tratamiento de estos datos (filtrado y procesado de los mismos), a partir de rejillas de 2x2 km interpoladas con un paso de malla a 0,5 m para el modelo LIDAR y de 5-30 m para los modelos reconstruidos, se realizó con Global Mapper®. El análisis comparativo entre la topografía reconstruida y la actual, para cada emplazamiento, se cuantificó a partir de perfiles topográficos longitudinales (Fig. 3).

Resultados

El análisis integrado de cartografía e imágenes aéreas permite identificar una geometría típica de movimientos en masa

representada por un escarpe o cicatriz de rotura neta en ambos movimientos, no observándose en ninguno de los dos casos grietas de tracción en cabecera. La morfología de la superficie de rotura es circular y cóncava, aflorando el macizo rocoso sin alterar. También se observan depresiones semicirculares y estructuras canalizadas en zonas próximas a la cabecera, que se hacen evidentes en el caso de Silván. En este último ejemplo se observa la acumulación de la masa desplazada en la base del mismo, pero a diferencia de Ancares, parte del material se acumula en la vertiente opuesta (Fig. 2), socavando el río la masa desplazada y dejando al descubierto bloques de gran tamaño e independizados por el lavado de la matriz. Esta acumulación de material ha generado una diferencia topográfica aproximada de 20 m entre la cota relativa al paleocauce del río Silván (937 m) y la actual (955 m) (Fig. 3).



Fig. 2.- Imágenes aéreas oblicuas de los movimientos en masa de: A) Tejedo de Ancares y B) Silván (La Cabrera). Las líneas discontinuas marcan la posición del escarpe de rotura. En transparencia la masa desplazada. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Oblique aerial images of the: A) Tejedo de Ancares and B) Silván (La Cabrera) mass movements. The dashed lines mark the position of the escarpment. Slipped mass in transparency. See color figure in the web.

Discusión

Gran parte de los movimientos en masa ocurridos en la provincia de León se producen por la recurrencia de factores condicionantes como la litología y la pendiente; desencadenantes como el clima (intensidad de precipitaciones) y la acción humana (incendios forestales, obras, etc.; Varnes, 1958; González-Díez *et al.*, 1999).

En el caso de Tejedo de Ancares, el movimiento registrado ha sido descrito como parte de la inestabilidad producida por la descompresión de las laderas durante la retirada de los hielos que cubrieron el valle durante la última etapa glacial pleistocena (Pérez Alberti y Valcárcel Díaz, 1998; Fernández-Martínez y Fuertes Gutiérrez, 2009; García de Celis, 2016), donde se llegaron a registrar hasta 250 m de espesor de la lámina de hielo (Alberti *et al.*, 1992; Carrera Gómez y Valcárcel Díaz, 2010). La presencia de labores mineras auríferas de época romana dispersas por todo el valle de Ancares ha hecho pensar a algunos autores que la masa desplazada podría estar afectada por una actividad extractiva posterior, responsable del relieve actual (Fernández-Martínez y Fuertes Gutiérrez, 2009).

Un caso muy similar es el reportado en este trabajo para la zona de Silván, con unas características morfológicas y litoestructurales análogas al de Tejedo de Ancares. La zona de La Cabrera se caracteriza también por la abundante presencia de restos de labores mineras auríferas de época romana. Al igual que sucede en Ancares, se observa la cicatriz de rotura limpia, donde el macizo rocoso se presenta intacto y sin grietas de tracción. En ambos casos, los movimientos afectan a la cuarcita de las formaciones paleozoicas Vega y Agüeira, que sirven de trampa aurífera (Pulgar *et al.*, 1978). Además, los buzamientos y foliaciones se disponen en sentido opuesto a la pendiente, aunque no se puede descartar la influencia de la presencia de discontinuidades como factor condicionante.

Los perfiles longitudinales indican que en la base del movimiento de ladera de Silván el volumen de material es considerablemente menor que el volumen ausente en cabecera ($\approx 1 \times 10^6 \text{ m}^3$). Este material podría haber rellenado el fondo del valle provocando un represamiento del mismo, similar al observado en otros movimientos de esta magnitud (Fell, 1994; Jacob, 2005).

Desde el punto de vista de la influencia antrópica, cabe destacar que en la cabecera de los movimientos existen depresiones semicirculares de diámetro variable, que se extienden a lo largo del plano de rotura, así como una serie de canalizaciones que podrían estar relacionadas con la actividad minera. En algunos

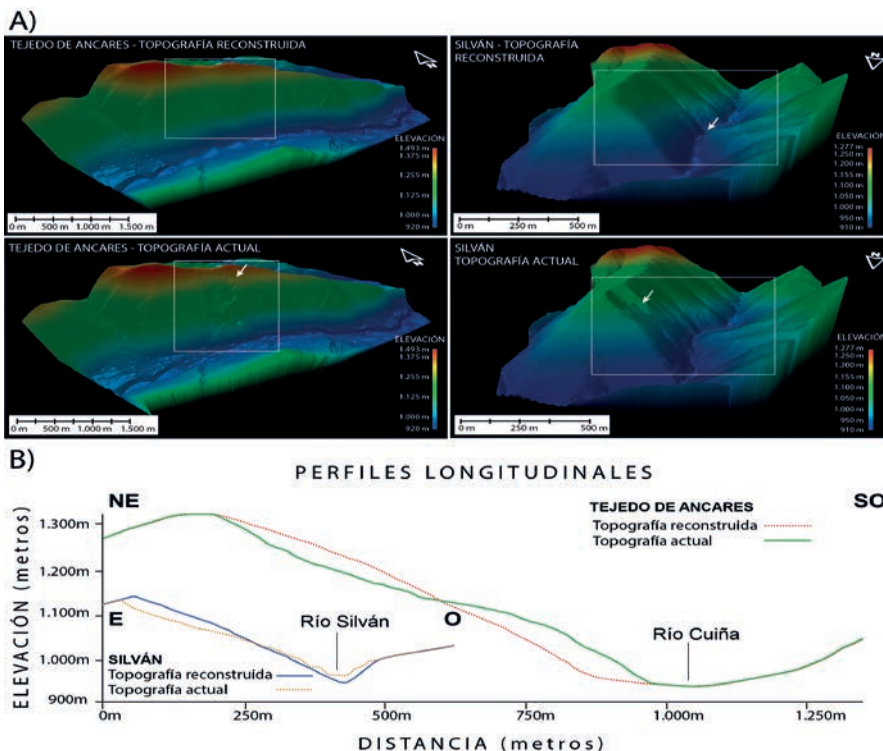


Fig. 3.- A) Modelo digital reconstruido y actual (LiDAR-PNOA del Instituto Geográfico Nacional) de Tejado de Ancares (la flecha blanca indica la zona de rotura) y Silván (arriba: la flecha blanca indica la posición desplazada del curso fluvial; abajo: zona de rotura). B) Perfiles longitudinales de la topografía reconstruida y actual afectada por los dos movimientos en masa. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- A) Reconstructed and present-day Digital Elevation Models from Tejado (white arrow shows scarpment location) the Ancares and Silván (white arrow shows top: river displacement; bottom: scarpment) landslides. B) Longitudinal profiles for reconstructed and present-day topography affected by mass movements. See color figure in the web.

puntos se observan surcos de excavación sobre la masa desplazada que coinciden con la posición de depósitos de *murias*. Este tipo de desmontes son comunes en explotaciones romanas en otras zonas de minería aurífera del noroeste peninsular (Sánchez-Palencia *et al.*, 1998; Laraña *et al.*, 2008; Fernández-Lozano *et al.*, 2017). Todo ello no permite descartar un origen antrópico como consecuencia de los trabajos de minería aurífera. La formación de neveros en el área de Tejado de Ancares por encima de los 1300 m de altitud podría estar relacionada con la presencia de pequeñas cuencas de depósito y escorrentía para los trabajos mineros, mientras que en Silván parece más razonable pensar en la acumulación de agua a partir de rezumes, lo cual se prueba en la actualidad en la cabecera del movimiento.

Futuros trabajos permitirán precisar si la génesis de los movimientos en masa de Tejado de Ancares y Silván pudo estar condicionada por la actividad antrópica para la extracción de oro en época romana. Esta afirmación se sustenta en que este tipo de movimientos serían semejantes a los producidos por medio del método de "arrugia" (*Ruina Montium*) en Las Médulas y consistente en el derrumbe de los montes con presencia de mineral aurífero (Sánchez-Palencia *et al.*, 2006).

Conclusiones

Los movimientos de ladera de Tejado de Ancares y Silván, situados en la provincia de León, se produjeron sobre formaciones rocosas con características litoestructurales y morfológicas similares. Futuras investigaciones permitirán establecer la génesis de ambos movimientos, aunque no se descarta la acción antrópica minera como factor desencadenante de los mismos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Editor, a un revisor anónimo y a Augusto Rodríguez García (IGME) las aportaciones realizadas, que han contribuido a mejorar este manuscrito.

Referencias

Alberti, A.P., Guitián, M.R. y Díar, M.V. (1992). *Papeles de Geografía* 18, 39-51.
 Alonso Herrero, E. (Coord) (2004). En: *Guía geológica visual de León*. Editorial Celarain, León, 160 - 227.
 Arroyo Pérez, P. y García de Celis, A.G. (2003). *Revista Cuaternario y Geomorfología* 18 (3-4), 43-54.

Carrera Gómez, P.C. y Valcárcel Díaz, M.V. (2010). *Cuadernos de investigación geográfica* 36(2), 85-98.
 Fell, R. (1994). *Canadian Geotechnical Journal* 31, 261-272.
 Fernández, L.M. y Núñez, M.M. (2012). *Ecología* 24, 151-162.
 Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G. y Fernández-Morán, M.Á. (2015). *Journal of Archaeological Science* 53, 356-373.
 Fernández-Lozano, J., Carrasco-González, R.M., de Pedraza-Gilsanz, J. y García-Talegón, J. (2017). *Geogaceta* 62, 3-6.
 Fernández-Martínez, E. y Fuertes Gutiérrez, I. (Coords.) (2009). *Lugares de Interés Geológico. León*. Fundación Patrimonio Natural, Junta de Castilla y León, 404-409.
 García de Celis, A. J. (2016). *Paisajes glaciares y el patrimonio natural del valle de ancares (Candín, León)*. Universidad de Valladolid, 152 p.
 González-Díez, A., Remondo, J., de Terán, J.R.D. y Cendrero, A. (1999). *Geomorphology* 30(1), 95-113.
 Jacob, M. (2005). *Engineering Geology* 79, 151-161.
 Julivert, M., Fontbote, J. M., Ribeiro, A. y Conde, L. E. N. (1972). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares escala 1:1.000.000*. IGME, Madrid.
 Laraña, P.F., Sánchez, S.B. y González-Clavijo, E.G. (2008). *Macla* 9, 101-102.
 Pérez Alberti, A. y Valcárcel Díaz, M. (1998). En: *Las huellas glaciares en las montañas españolas* (A. Ortiz y A. Alberti, Eds.). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 42 p.
 Pérez-Estaún, A., Marquínez, J. y Ortega, E. (1980). *Breviora Geologica Asturica* 24, 17-32.
 Pérez-Estaún, A. y Marcos, A. (1981). *Trabajos de Geología* 11, 135-145.
 Pérez-García, L. C., Sánchez-Palencia, F. J. y Torres-Ruiz, J. (2000). *Journal of Geochemical Exploration* 71(2), 225-240.
 Pulgar, J., Bastida, F., Marcos, A., Pérez Estaun, A., Galán, J. y Vargas, I. (1978). *Memoria del Mapa Geológico de España, E. 1: 50.000, hoja nº 100 (Degaña)*. IGME, 35 p.
 Sánchez-Palencia, F. J., Fernández-Posse, M^a. D., Fernández Manzano, J., Orejas, A. y Pérez García, L. C. (1998). *Boletín Geológico y Minero* 109, 577-588.
 Sánchez-Palencia, F. J., del Valle, A. O. S., Prats, I. S. y García, L. C. P. (2006). En: *Nuevos elementos de ingeniería romana: III Congreso de las Obras Públicas Romanas* (I. Moreno, Coord.). Comunicaciones, 265-285.
 Varnes, D. J. (1958). *Landslides and engineering practice* 24, 20-47.