

Dolinas de colapso en el Valle de Alcedo (León): ¿un impacto geomorfológico/ambiental inducido por los Túneles de Pajares? Estudio preliminar

Sinkhole development in Alcedo Valley (León): a geomorphological/environmental impact from Pajares Tunnels? A preliminary study

Pablo Valenzuela¹, Mónica Meléndez-Asensio², María José Domínguez-Cuesta¹, Montserrat Jiménez-Sánchez¹ y José Antonio Sáenz de Santa María³

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco, 33005-Oviedo, España.

pvalenzuela@geol.uniovi.es; mjdominguez@geol.uniovi.es; mjimenez@geol.uniovi.es

² Instituto Geológico y Minero de España, C/ Matemático Pedrayes, 25, 33005-Oviedo, España. m.melendez@igme.es

³ GEHMA Geología y Geotecnia, S.L. C/ Pérez de Ayala, 1, 3°C, 33007-Oviedo, España. joseantonio@saenzdesantamaria.es

ABSTRACT

A section of the Pajares high speed railway tunnels were drilled over 450 meters depth below Alcedo Valley, in the Cantabrian Mountains (León, N. Spain). The tunnels cross a complex geological area characterized by an alternation of lithologies with very different mechanical and hydrogeological behaviours, some of which represent fractured and karstic aquifers. In 2009, Alcedo stream was canalized to avoid water infiltration. In the bottom of the valley, some subsidence and collapse evidences have been appearing from 2009 to present, also affecting the canal. The tunnels drainage after the excavation has caused the drop of the groundwater level in karstified Lánara limestone bedrock. This explains the development of sinkholes in the overlying quaternary fluvial and coluvial deposits, which work as infiltration areas of surficial water, drying up all the water of Alcedo stream. Now the process is active and it is predicted to continue progressing in the future.

Key-words: Pajares Tunnels, drop of the groundwater, karst, sinkholes, infiltration.

RESUMEN

Una sección de los Túneles de Pajares se ha construido a 450 m de profundidad bajo el Valle de Alcedo, en la Cordillera Cantábrica (León, N de España). Los túneles cruzan un área geológica compleja caracterizada por la alternancia de litologías con comportamientos mecánicos e hidrogeológicos muy diferentes, algunas de las cuales constituyen acuíferos (fisurales y kársticos). En 2009, se canalizó el Arroyo de Alcedo para evitar infiltraciones. En el fondo de valle se han producido subsidencias y colapsos desde 2009 hasta la actualidad, afectando también al canal. El drenaje del túnel después de la excavación ha causado el descenso del nivel freático en el karst existente en las Calizas de Lánara. Esto explica el desarrollo de socavones en los depósitos aluviales-coluviales cuaternarios suprayacentes, los cuales actúan como sumideros del flujo superficial, secando el arroyo. Actualmente el proceso está activo y se prevé que continúe evolucionando en el futuro.

Palabras clave: Túneles de Pajares, abatimiento del nivel freático, karst, socavones, infiltración.

Geogaceta, 54 (2013), 139-142.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

Según Walthman (2008), la formación de socavones o dolinas de colapso, que constituyen el riesgo geológico más común en áreas kársticas, suele estar inducida por la actividad humana. La perforación de túneles frecuentemente genera impactos hidrogeológicos, como el abatimiento del nivel freático y el secado total o estacional de cauces y manantiales (Vincenzi *et al.*, 2009), lo que conlleva importantes afecciones al medio ambiente y a la población local (Sjölinder-Lindqvist, 2005). En el caso de las lí-

neas ferroviarias de alta velocidad, los estrictos requisitos de su trazado implican la utilización de túneles de base, caracterizados por grandes longitudes y profundidades superiores a 500 m (Zuferrí-Arqué y López Pita, 2011), lo que contribuye a incrementar la importancia de las afecciones generadas.

Dos túneles de base paralelos de 24,9 km de longitud, 8,50 m de diámetro interior y orientación NO-SE, construidos entre 2005 y 2009, constituyen la principal infraestructura de la Variante Ferroviaria de Pajares. Dicha construcción permite la conexión entre León y Asturias mediante Línea

de Alta Velocidad a través de la Cordillera Cantábrica, una zona geológicamente compleja caracterizada por la alternancia de litologías afectadas por pliegues y distintos tipos de fracturas y con comportamientos mecánicos e hidrogeológicos diferentes. Una sección de los Túneles de Pajares se ha construido aproximadamente a 450 m de profundidad bajo el Valle de Alcedo (León, N de España) (Fig. 1). Varios meses después de la perforación, en el verano de 2007, comenzaron a aparecer una serie de sumideros en el cauce del arroyo principal, por lo que se procedió a canalizar 370 m del

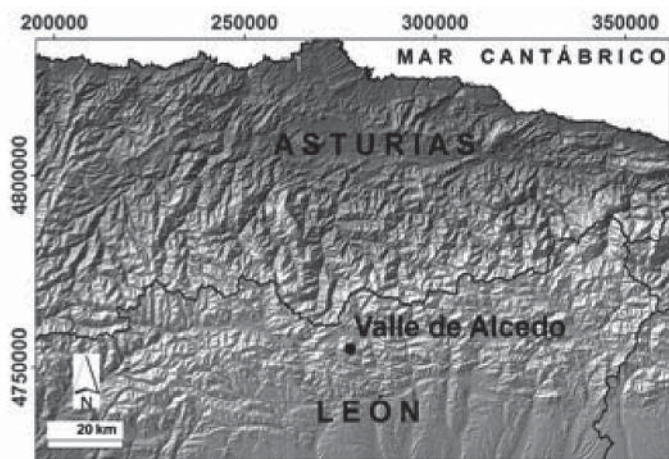


Fig. 1.- Situación del área de estudio.

Fig. 1.- Studying area situation.

mismo para evitar la infiltración. En octubre de 2010, un fuerte episodio de lluvias provocó el desbordamiento del arroyo y la socavación y fractura de la canalización en varios puntos, agravándose el fenómeno de los sumideros e incrementándose el área afectada por subsidencias y colapsos. Dichos colapsos, que actúan como sumideros del flujo superficial del arroyo, han seguido evolucionando hasta la actualidad.

El objetivo del trabajo es la caracterización hidrogeológica y geomorfológica del proceso que ha dado lugar a la generación de los socavones y a la infiltración del arroyo de Alcedo.

Contexto geográfico y geológico

La cuenca fluvial del arroyo de Alcedo ocupa 6,83 km² de la vertiente sur de la Sierra del Rozo (Cordillera Cantábrica), al N de la localidad de Follado (León). Presenta una orientación SE y un rango de altitudes entre los 1803 y los 1160 m, con temperaturas medias anuales inferiores a 10°C (Galán, 1990) y precipitaciones en régimen pluvio-nival entre 1000-1300 mm/año (Garrido-Ruiz *et al.*, 2009).

Geológicamente, la cuenca está emplazada en la rama sur de la Zona Cantábrica, al NE del Macizo Ibérico (Julivert *et al.*, 1972), formando parte de la Unidad de Somiedo-Correcillas (Julivert *et al.*, 1968). La estructura tectónica del área es el resultado del reapretamiento y la reactivación, durante las orogenias Varisca y Alpina, de un conjunto de cabalgamientos variscos y pliegues asociados a los mismos, de orientación ONO-ESE y con su despegue principal en la

formación Láncara (Julivert, 1971), los cuales aparecen frecuentemente invertidos y/o fallados (Alonso y Suárez-Rodríguez, 1990; Aller *et al.*, 2004; Alonso y Rubio, 2009). Esta tectónica afecta a la serie paleozoica, dando lugar a una alternancia de formaciones con comportamientos mecánicos e hidrogeológicos muy diferentes. De muro a techo, la serie está formada por la Fm. Láncara (calizas, dolomías y calizas rojas), Fm. Oville (pizarras verdes, lutitas grises y areniscas), Fm. Barrios (cuarcitas), Fm. Formigoso (pizarras negras e intercalaciones de

areniscas) y Fm. San Pedro (areniscas ferruginosas). Algunas de ellas constituyen acuíferos: fisurales (en zonas de intensa fracturación), porosos (por arenización de las Cuarcitas de Barrios) y kárstico (por fracturación/karstificación de las Calizas de Láncara), frecuentemente compartimentados por la complejidad estructural del macizo (Garrido-Ruiz *et al.*, 2009). En la zona de estudio, un cabalgamiento fuera de secuencia (cabalgamiento del Collado de Alcedo) corta la Escama de Aralla-Rozo (frente de la Unidad de Somiedo-Correcillas), dando lugar a una estructura compleja de pequeñas láminas cabalgantes que afectan a las formaciones Láncara y Oville (Alonso y Suárez-Rodríguez, 1990; Toyos *et al.*, 2009).

Metodología

Para la caracterización geomorfológica del área se ha realizado: i) una cartografía de las estructuras observadas (zonas de subsidencia o colapso, escarpes y sumideros), así como de la canalización existente, utilizando la Ortofoto del PNOA realizada en 2011 (0,25 m de pixel) y ortofotogramas 1:10000 del centro de descargas del ITACYL; ii) trabajos de campo para realizar medidas mediante medidor láser STABILA LE200, recabándose datos de longitud, anchura y profundidad de los socavones, y de



Fig. 2.- Fractura de la canalización sobre el socavón de mayor cota en el arroyo de Alcedo. En la fotografía se observan dos sumideros activos (a y b).

Fig. 2.- Broken canal over the highest sinkhole in Alcedo stream. The picture shows two active infiltration areas (a and b).

longitud, anchura y salto de los escarpes. La superposición de esta cartografía al mapa geológico de la zona elaborado a escala 1:10000 y a la traza de los túneles ha permitido el estudio de la relación existente entre los fenómenos de subsidencia del terreno e infiltración del arroyo y su contexto geológico y geotécnico; iii) caracterización hidroquímica de los materiales, mediante mediciones de los parámetros característicos del agua: temperatura, conductividad eléctrica y pH, obtenidas en el cauce del arroyo y en las surgencias existentes en el área. Se han tomados datos utilizando un medidor de pH HANNA HI9025 y un conductímetro HANNA HI9033; iv) el uso de un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS), ha permitido representar y superponer todas de capas de información digital.

Resultados y discusión

De los 10 socavones o zonas de colapso que se han cartografiado, 8 se sitúan al nivel de la canalización y 2 en la ladera O del valle, a unos 5 m de altitud por encima del cauce principal. Todos ellos aparecen afectando a unos depósitos aluviales-coluviales cuaternarios que ocupan el fondo de valle y la parte baja de su ladera O, formados por cantos subredondeados a subangulosos embebidos en una matriz de arena y arcilla con abundante materia orgánica. Sus dimensiones son diversas, variando desde los 12,94 m de longitud del socavón mayor hasta 1,20 m de diámetro del más pequeño; los colapsos menores tienen forma redondeada, mientras que los mayores, generados seguramente por la coalescencia de varios socavones, presentan contornos más irregulares y un mayor desarrollo en la dirección paralela al cauce del arroyo (Fig. 2). Sus profundidades oscilan entre 0,8 y 2,3 m. En la ladera O se ha descrito un escarpe de 25 m de longitud y 0,5 m de salto, situado a unos 15 m por encima del arroyo. El crecimiento de los socavones situados al pie de dicha ladera ha provocado, en algunos puntos, el descalce de la misma, originando fenómenos de deslizamiento de tierra muy superficiales que muestran cicatrices en sus cabezas. También se han producido fenómenos de socavación de la canalización que han culminado, en dos puntos, con el hundimiento y consecuente fractura de la misma. Se ha constatado la existencia de tres sumideros activos (Figs. 2 y 3). Su funcionamiento está directamente relacionado con el caudal

del arroyo, de forma que, en época de estiaje, la totalidad del flujo se infiltra por el sumidero situado a mayor cota, mientras que con caudales mayores, dicho sumidero no tiene capacidad de drenaje suficiente, por lo que parte del agua se sume en el siguiente punto de infiltración, y así progresivamente, produciéndose el funcionamiento conjunto de todos los sumideros sólo en episodios de grandes avenidas. Aguas abajo de la zona de los socavones existen dos surgencias cercanas entre si, las cuales aportan caudal al arroyo, que hasta ese punto discurre seco. Además, en la ladera opuesta existe otra surgencia de pequeño caudal (< 1L/s) (Fig. 3).

La figura 3 muestra que todas las estructuras cartografiadas se sitúan en un tramo de unos 160 m del Arroyo de Alcedo en el que éste y la traza del Túnel O (en profundidad) son prácticamente coincidentes y atraviesan dos pequeñas escamas cabalgantes formadas por calizas de la Fm. Láncara y cubiertas en superficie por depósitos cuaternarios. La situación de los sumideros y socavones, unida a la presencia de otras formas endokársticas, como pequeños conductos, pone de manifiesto la importancia del desarrollo kárstico existente en las calizas de la Fm. Láncara, controlado por los planos de debilidad presentes en el macizo (planos de estratificación y fracturas). La ge-

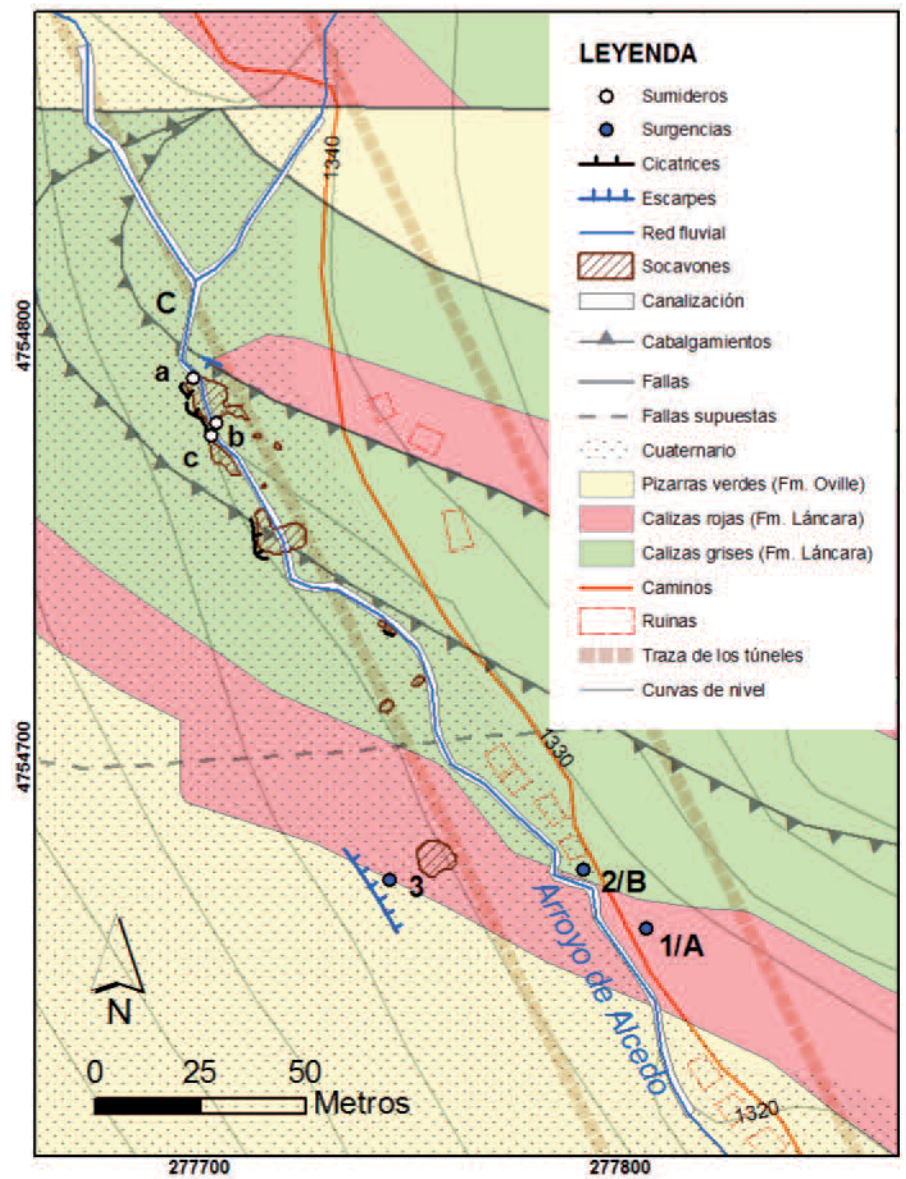


Fig. 3.- Mapa geológico y geomorfológico del área de los socavones (Valle de Alcedo). Sumideros activos (a, b y c); surgencias (1, 2 y 3); puntos de toma de medidas físico-químicas del agua (A, B y C).
 Fig. 3.- Geologic-geomorphologic sinkholes area map (Alcedo Valley). Active infiltration areas (a, b and c); springs (1, 2 and 3); measure points for physico-chemical water parameters (A, B and C).

neración de los socavones puede ser explicada por la acción drenante del túnel, que provoca el abatimiento del nivel piezométrico en el acuífero kárstico y, como consecuencia, también en los materiales cuaternarios que lo recubren. La creación de un vacío, debida al drenaje del agua y al consecuente arrastre de finos en los conductos kársticos, provocaría una socavación y una pérdida de sostenimiento en la base de los materiales suprayacentes. De este proceso se derivaría el colapso y la subsidencia de dichos sedimentos cuaternarios, así como la progresiva infiltración de agua hacia los conductos/sumideros kársticos. La infiltración va a incrementar los fenómenos de lavado y erosión, agravando el impacto superficial generado. Así, el arroyo ha experimentado una modificación importante en su dinámica hidrológica, comportándose actualmente como influente o perdedor. Esto estaría en consonancia con el descenso de su nivel de base, que pasaría a estar situado a la cota del túnel.

En la tabla 1 se muestran los datos de los parámetros fisicoquímicos obtenidos. El Punto A es un manantial estacional que surge en las calizas de Láncara, con caudales máximos observados del orden de 3 L/s, y que aparentemente no se encuentra afectado por la obra de los túneles de Pajares. El funcionamiento estacional observado en el Punto B, una surgencia en materiales cuaternarios situada a pocos metros de la anterior (Fig. 3), podría indicar una relación con el Punto A. Las medidas muestran una mineralización del agua muy baja, lo que se corresponde con un tiempo de circulación a través de la formación calcárea muy reducido. Según esto, el caudal de las fuentes podría proceder del drenaje de un karst superficial o epikarst a través de un conducto

que no presenta conexión hidráulica con la zona afectada por la perforación.

| Puntos | pH | Conductividad (µS/cm) |
|--------|------|-----------------------|
| A | 6,77 | 53,0 |
| B | 7,11 | 34,7 |
| C | 6,90 | 27,9 |

Tabla I.- Parámetros físico-químicos del agua en el área de estudio.

Table I.- Physico-chemical water parameters in the studying area.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten plantear que el efecto dren, originado por la construcción de los Túneles de base de Pajares, ha causado el abatimiento general del nivel freático que afectaría al endokarst de las calizas de Láncara y generaría con ello la aparición de estructuras de colapso en los sedimentos suprayacentes poco tiempo después de perforarse el túnel. El proceso sigue activo y se prevé que continúe progresando debido, entre otros factores, a la acción erosiva que ejerce el flujo superficial del arroyo al infiltrarse hacia su nuevo nivel de base.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer la colaboración del editor, Ignacio Arenillas Sierra, así como las indicaciones y consejos de Beatriz González Fernández y de un revisor anónimo, que han contribuido a mejorar la calidad científica de este trabajo.

Referencias

Aller, J., Álvarez-Marrón, J., Bastida, F., Bulnes, M., Heredia, N., Marcos, A., Pérez-Estaún, A., Pulgar, J.A. y Rodríguez-Fernández, L.R. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 42-47.

Alonso, J.L. y Suárez-Rodríguez, A. (1990). *Memoria del Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº103 (Pola de Gordón) y memoria*. IGME. 79-89.

Alonso, J.L. y Rubio, A. (2009). En: *Jornadas Técnicas de la Variante de Pajares*. Comunicaciones, 29-39.

Galán, L. (1990). *Memoria del Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº103 (Pola de Gordón) y memoria*. IGME. 120-121.

Garrido-Ruiz, M.S., Serrano-Martín, L., Míguez-Bailo, R., Lombardero-Barceló, M., Fernández-Serrano Sánchez, M. y Álvarez-Díez, J. (2009). En: *Jornadas Técnicas de la Variante de Pajares*. Comunicaciones, 77-86.

Julivert, M. (1971). *American Journal of Science* 270, 1-29.

Julivert, M., Pello, J. y Fernández-García, L. (1968). *Trabajos de Geología* 2, 1-43.

Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. y Nabais-Conde, L.E. (1972). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares 1:1.000.000. Memoria explicativa*. IGME. 113 p.

Sjolander-Lindqvist, A. (2005). *Environmental Values* 14(2), 221-239.

Toyos, J.M., Suárez, M.A., Rodríguez Fernández, L.R. y Serrano, L. (2009). En: *Jornadas Técnicas de la Variante de Pajares*. Comunicaciones, 41-52.

Vincenzi, V., Gargini, A. y Goldscheider, N. (2009). *Hydrogeology Journal* 17, 135-150.

Walthman, T. (2008). *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 41, 291-300.

Zuferri-Arqué, D. y López-Pita, A. (2011). *Experiencia en la construcción de túneles en líneas de alta velocidad*. Tesina, Univ. Politécnica de Cataluña, 144 p.