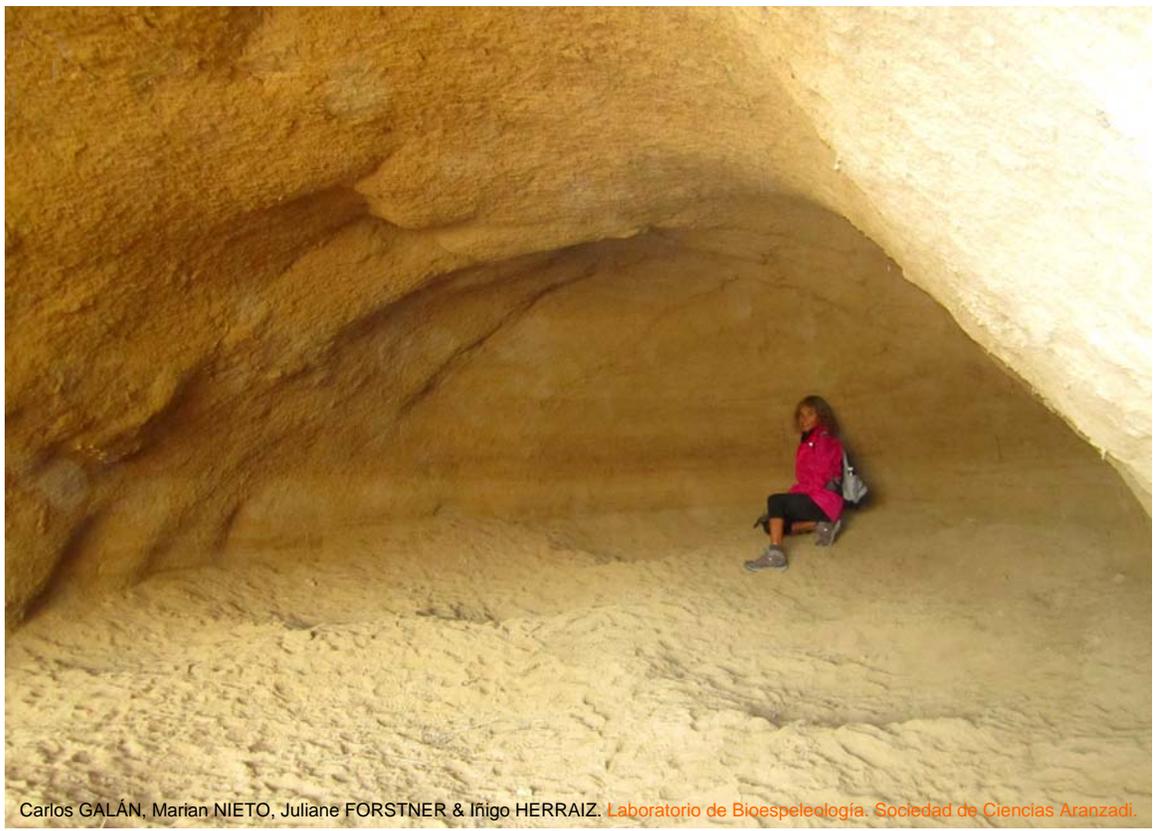


CUEVA QUEMADA: NUEVOS SISTEMAS DE CAVIDADES EN ARCILLA (BARDENAS, NAVARRA).
Cueva Quemada: new cavity systems in clay (Bardenas, Navarra).



Carlos GALÁN, Marian NIETO, Juliane FORSTNER & Iñigo HERRAIZ. Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

CUEVA QUEMADA: NUEVOS SISTEMAS DE CAVIDADES EN ARCILLA (BARDENAS, NAVARRA).

Cueva Quemada: new cavity systems in clay (Bardenas, Navarra).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Juliane FORSTNER & Iñigo HERRAIZ.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Octubre 2020.

RESUMEN

Se presentan datos sobre nuevas cavidades exploradas en el sector de Cueva Quemada (Rincón de Cornialto) y cabecera del Barranco Grande (Norte de la Bardena Blanca, Navarra). Las cavidades se desarrollan en arcillas rojas de la Formación Tudela, de edad Orleaniense (Mioceno, Terciario). El sector posee un conjunto de cavidades y gargantas entalladas o gullies, formadas por procesos de piping y erosivos, con diversas geoformas. Destaca un sistema de cinco cuevas relacionadas, con galerías en arco, situadas en la base de un entrante topográfico semicircular, hacia el cual drenan dos gullies adyacentes. Otros ejemplos consisten en abrigos formados bajo solapas rocosas, gullies con formas fractales y mesocavernas, arcos de roca, y geoformas residuales. Los principales rasgos geomorfológicos de las cavidades y su entorno son ilustrados con fotografía digital.

Palabras clave: Geomorfología, Hidrogeología, Karst y cuevas en arcilla, Espeleología, Procesos de tubificación.

ABSTRACT

Data are presented on new cavities explored in the Cueva Quemada sector (Rincón de Cornialto) and the head of the Barranco Grande (North of Bardena Blanca, Navarra). The cavities develop in red clays of the Tudela Formation, of Orleaniense (Miocene age, Tertiary). The sector has a set of cavities and notched throats or gullies, formed by piping and erosive processes, with various geoforms. A system of five related caves stands out, with arched galleries, located at the base of a semicircular topographic inlet, into which two adjacent gullies drain. Other examples consist of shelters formed under rock flaps, gullies with fractal shapes and mesocaverns, rock arches, and residual geoforms. The main geomorphological features of the cavities and their surroundings are illustrated with digital photography.

Keywords: Geomorphology, Hydrogeology, Karst and caves in clay, Speleology, Piping processes.

INTRODUCCION

Esta breve nota expone los resultados obtenidos en prospecciones espeleológicas efectuadas en el sector de Cueva Quemada y cabecera del Barranco Grande, en la parte N de la Bardena Blanca (Navarra). La extensa región semidesértica de las Bardenas cubre una superficie de 600 km² y posee miles de cavidades en arcillas y lutitas, una litología inusual para el desarrollo del karst.

La karstificación y espeleogénesis en esta litología se produce fundamentalmente por procesos de piping (que involucran cierto grado de disolución de los materiales arcillosos, ricos en sales). Las Bardenas presentan en este sentido un considerable interés científico, por la diversidad de sus cavidades y por contener los mayores sistemas de simas y cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel global (Galán, 2015; Galán et al, 2017, 2018).

Se puede decir que cada nueva exploración en la región aporta nuevos datos, con ejemplos de cuevas peculiares que, bajo un aspecto de homogeneidad aparente, producen -actuando los mismos procesos de piping y erosivos- una extraordinaria diversidad de resultados. Esta es una característica propia de sistemas complejos, no-lineales, donde pequeños cambios en los factores iniciales generan resultados por demás variables, con numerosos rasgos de naturaleza fractal, que operan a distintas escalas, e interactúan con el modelado de superficie.

Los ejemplos hallados en el sector de Cueva Quemada ilustran muy bien estos aspectos. Aunque se trata de cavidades de modestas dimensiones (de sólo unos pocos a decenas de metros) muestran junto a rasgos iterativos otros que resultan novedosos. Por todo ello nos ha parecido de interés elaborar esta nota, de naturaleza descriptiva, pero que agrega nuevos datos y ejemplos de la diversidad que adquieren los procesos de karstificación en arcilla en distintas partes de las Bardenas.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección y exploración de cavidades se utilizaron frontales con iluminación de Leds y cuerda estática para verticales. La selección de las zonas a prospectar fue orientada por observaciones de campo y por la consulta previa de fotografía aérea y cartografía digital. Los principales rasgos de las cavidades y la geomorfología de su entorno son ilustrados con fotografía digital.

RESULTADOS

La región de las Bardenas, situada en el SE de Navarra, tiene una extensión considerable, del orden de 600 km², y posee un clima árido a semidesértico. Su relieve, derivado de la erosión de una antigua cuenca endorreica, que se fue rellenando durante el Eoceno-Mioceno de sedimentos detríticos continentales, tiene un marcado carácter evaporítico, estando constituida por arcillas ricas en sales y yeso. Intercalados espaciadamente entre las arcillas hay algunos estratos delgados de margas, calizas y areniscas. La erosión de estos sedimentos fluvio-lacustres a partir del tránsito Mioceno-Plioceno, en que la cuenca pasa a ser exorreica, fue vaciando los terrenos Terciarios y generó un relieve de planicies y cerros tabulares de formas caprichosas, con una red de drenaje temporal hacia el río Ebro. La erosión de las planicies durante el Holoceno ha proseguido esta labor, entallando el relieve, haciendo retroceder los escarpes de las mesetas y generando una extensa red dendrítica de barrancos y cañones.

Las cavidades descubiertas se localizan en el flanco S del escarpe de la Plana de Cornialto (sector Cueva Quemada, Rincón de Cornialto y cabecera del Barranco Grande), zona N de la Bardena Blanca (en territorio de Navarra), a cotas entre 360 y 480 m snm. Se revisaron los flancos de la meseta en el sector de Cueva Quemada (que presenta varios entrantes topográficos) y unas estribaciones alomadas en la cabecera W del Barranco Grande, donde la foto aérea sugería la existencia de varias simas en paralelo. Así mismo se revisó una serie de cañones y gullies que se extienden sobre la planicie inferior y que tributan sus cursos de agua temporales al Barranco Grande, cubriendo el área NW del denominado Rincón de Cornialto, situado al N de La Estroza.

Los materiales aflorantes en esta extensa área corresponden a arcillas y limos ocre y rojos, con esporádicas intercalaciones de estratos delgados de areniscas. Constituyen la unidad litoestratigráfica 376 (Facies Las Bardenas, de edad Orleaniense, Mioceno inferior a medio), descrita por Faci Paricio et al (2002) y SITNA Navarra, y cuya potencia alcanza los 100 m. Esta unidad suprayace a las lutitas ocre, blancas y rojas (con nivelitos espaciados de calizas y margas) de la Formación Tudela, Facies Tudela, de edad Aragoniense, Mioceno inferior (unidad litoestratigráfica 378), que aflora en los cortados de La Estroza.

La Facies Las Bardenas configura un conjunto eminentemente arcilloso, bastante homogéneo, constituido por una secuencia monótona de arcillas y limos de tonalidades ocre y rojas, de aspecto masivo, que de forma esporádica intercala niveles de areniscas grises de espesor decimétrico a métrico, a veces de gran continuidad lateral. Estos niveles más duros son en parte responsables de las formas, resaltes y superficies aplanadas que interrumpen y destacan en el relieve local. Aunque predominan las tonalidades ocre en las lutitas, se diferencian de forma rítmica horizontes rojizos, relacionados con procesos edáficos, así como algunos horizontes grisáceos y nivelitos de yeso disperso.

Las areniscas que se intercalan en las lutitas presentan diferentes facies y espesores. Suelen ser de grano medio a fino, los granos están cementados por carbonatos y son de tonalidades grises y de espesor decimétrico a centimétrico, con base planar y abundantes ripples de corriente, llegando en ocasiones a constituir un único paquete arenoso. No obstante también se reconocen estratos de espesor métrico con base irregular y erosiva. Finalmente se observan también canales con desarrollo de acreción lateral, correspondientes a point-barr (Faci Paricio et al, 2002).

Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos hay que relacionarlos con facies distales de abanicos aluviales de procedencia Pirenaica. Se corresponderían con extensas llanuras de fangos cortadas de forma esporádica por algunos canales efímeros. En cuanto a edad se refiere, por su posición estratigráfica y relación lateral con el resto de las unidades se atribuye estos depósitos al Mioceno inferior-medio (Faci Paricio et al, 2002). A continuación describiremos las cavidades encontradas y los rasgos geomorfológicos más significativos de su entorno.

El borde superior del escarpe de Cornialto está coronado por varios estratos métricos de arenisca. Estos también aparecen, espaciados, a distintas alturas en los flancos verticales y con menor espesor en áreas del talud y la planicie. Generalmente, en las zonas de mayor pendiente la escorrentía ha excavado surcos, dejando en relieve positivo los estratos de arenisca. Bajo estos estratos duros se han formado abrigos, por socavación basal, con diversos conductos de piping pero sin formar cavidades de importancia. También se forman abrigos de este tipo en la cabecera de muchos gullies, cuando alcanzan los estratos de arenisca.

Si la socavación aumenta se forman solapas o viseras rocosas que, por procesos graviclásticos, colapsan en su borde externo y generan rellenos de bloques bajo los aleros. Entre estos y la pared pueden formarse pequeñas cuevas de recubrimiento, bajo y entre los rellenos de bloques, que se esparcen sobre la pendiente a tenor de la inclinación del flanco. También, el goteo y la arroyada de borde, excavan entre los sedimentos blandos del colapso numerosos pipes menores, a la vez que dejan en relieve positivo numerosas formas residuales que conforman pequeñas torres y pináculos. En las Figuras 01 á 06 se muestran distintos ejemplos, siendo llamativo un abrigo semicircular mayor, de unos 12 m de diámetro, que profundiza 3 m bajo la solapa rocosa que rodea por el lado N una de las balsas de agua existentes en el sector de Cueva Quemada.

Otro tipo de fenómeno kárstico lo constituyen la proliferación de pipes verticales y pequeñas cavidades que perforan las paredes de los gullies, a veces colgadas a distintas alturas. En la parte superior de la cabecera W del Barranco Grande se localiza un sector donde la foto aérea sugiere la existencia de simas alargadas y en paralelo. Las coordenadas UTM de este punto son: N 4.683.758; E 625.076; altitud: 400 m snm. En realidad se trata de un sistema de gullies muy entallados, pero abiertos en superficie, que drenan en fuerte declive hacia un cañoncito inferior. Contienen algunas depresiones cerradas, con pipes inferiores, y pequeños tramos con pequeñas galerías subterráneas bajo rellenos de arcillas y bloques colapsados que ocupan sus fondos y conducen el drenaje temporal. Ver ejemplos en Figuras 07 a 09.

En las partes de los barrancos que surcan la planicie a menor altitud hay también zonas con gran número de surcos y pipes verticales abiertos, con algunos arcos y puentes de roca, pináculos o torres entre ellos, así como pequeñas cavidades que sólo profundizan unos metros. Ver ejemplos en Figuras 10 a 15. También, en las curvas de algunos meandros pronunciados de los barrancos, donde se han producido colapsos, se forman pequeñas cuevas-laminadores que perforan el relleno en la base de las paredes. Ver ejemplo en Figura 16. No obstante, los distintos tipos de abrigos y pequeñas cavidades hasta ahora mencionados no constituyen cuevas de cierta entidad, que merezcan ser catalogadas. Además, por su posición fisiográfica, se trata de fenómenos kársticos hipógeos en zonas de activa dinámica, donde las cavidades se forman y destruyen continuamente al progresar la excavación de los surcos y gullies que disectan el relieve. La acción de los procesos de piping y erosivos comanda este modelado.

En los interfluvios, en superficie, también se generan con el progreso de la erosión diversas formas residuales. Destacan sobretodo numerosos montículos y aristas, con relieves en caprocks (superficies agrietadas y endurecidas por sales), minúsculas chimeneas de las hadas bajo fragmentos de roca o guijarros arrastrados del glacis superior, torres cónicas de arcilla, pipes menores y formas fractales, las cuales reproducen en miniatura los rasgos de los relieves mayores. Ver Figuras 17 a 20.

Dejamos para lo último la mención de la única cavidad de importancia, que creemos merece la pena catalogar, dado además sus peculiares rasgos. Se trata del **Sistema de Cueva Quemada**, localizado en coordenadas ETRS89, UTM30 N, de: N 4.683.755; E 623.840; altitud: 385 m snm. Consta de cinco cuevas relacionadas localizadas en un entrante topográfico semicircular, abierto a una planicie inferior. Las bocas de las cuevas, muy próximas entre sí, se distribuyen del siguiente modo: dos en el lado W, una al N y otras dos en el lado NE. Las bocas contornean y se abren en la base del entrante topográfico, limitado éste por paredes de 6 m de altura que extraploman ligeramente en varios puntos, de modo que un alero comunica el perímetro externo entre las distintas bocas.

La cueva 01 es la situada más al SW; consta de una galería horizontal con sección en arco (4 m de ancho x 2 m de alto), de 12 m de longitud, que se curva hacia el N en su parte final; posee también una claraboya de +6 m en su parte media. La cueva 02, situada al N de la anterior, tiene una galería similar, de 12 de longitud y algo más ancha (5 m). La cueva 03 está situada en el extremo N del entrante; es de techo bajo y profundiza 6 m. La cueva 04 se abre en el lado NE; consta de una galería ancha de techo bajo (1,5 m), que se amplía en su interior, presentando a los 8 m una continuación ascendente hasta una segunda boca en superficie, mientras que hacia el interior prosigue unos metros en laminador estrecho, con huellas de un drenaje temporal surgente. Junto a ésta se abre la boca de la cueva 05 (situada también en el lado NE); esta forma un abrigo de techo bajo que profundiza 4 m. El conjunto de las 5 galerías totaliza un desarrollo espacial de 60 m (18, 12, 6, 20, 4 m). Ver Figuras 21 a 25.

El sistema de cuevas, todas ellas subhorizontales, contiene suelos bastante planos formados por rellenos de materiales arcillosos finos y pulverulentos, mientras que las paredes son muy lisas y compactas, con secciones en arco, y material friable en superficie (al rozarlas con la mano se desprenden partículas arcillosas con tamaño de grano de arena fina). En distintos puntos de la parte interna de las galerías hay también concavidades o cavitaciones con material desagregado.

Salvo en la cueva 04, que posee un conducto de drenaje inferior, las otras no muestran huellas de circulación hídrica. Las claraboyas en las cuevas 01 y 04, y las concavidades internas, muestran trazados hacia el suelo de las galerías, pero sus rasgos quedan ocultos por el relleno detrítico de los suelos. El entrante topográfico en que están las cuevas queda comprendido (o separado por espolones) entre dos gullies adyacentes, situados a E y W.

Todo ello sugiere, como hipótesis espeleogenética, que las galerías se han formado por percolaciones desde los gullies adyacentes y desde toda el área superior, pero no en flujos concentrados, sino intergranularmente por todo el volumen rocoso, lo que ha ido desagregando los materiales arcillosos y formando las galerías. Probablemente la disolución de las sales contenidas en la matriz lutítica favorece la desagregación y remoción de los granos, mientras débiles conductos de piping evolucionan en las zonas colectoras hasta formar galerías mayores. Los perfiles en arco sugieren también un proceso mecánico, donde el material más desagregado busca alcanzar un equilibrio mecánico de las bóvedas.

Las galerías a su vez muestran un trazado convergente, hacia el centro del entrante topográfico, lo que sugiere que este se ha formado por retroceso de las paredes del escarpe externo, desmantelando parcialmente una red dendrítica anterior. Existiendo de este modo una co-evolución entre el modelado externo y las galerías subterráneas, formadas estas por disolución y piping.

Estos procesos, que han formado el sistema de Cueva Quemada, se presentan también a escala de mesocavernas (cavidades de 20 cm a 1 cm de diámetro, no accesibles a la penetración humana) y formas fractales de superficie (que reproducen en miniatura los rasgos del relieve y de cavidades mayores). Puede suponerse que este tipo de entrantes y entalladuras del relieve evoluciona destruyendo las cavidades de piping existentes previamente. Muchos gullies (y geoformas en su interior) claramente se han formado por una evolución de este tipo, por excavación y colapsos sucesivos del terreno sobre o lo largo de pipes subhorizontales y galerías inferiores de escaso diámetro. Cueva Quemada resulta singular porque ilustra así cómo actúan estos procesos.



Figura 01. La serie arcillosa Miocena que aflora en el sector de Cueva Quemada presenta estratos de arenisca, intercalados espaciadamente, más potentes en la parte superior de los escarpes.



Figura 02. La socavación de las arcillas bajo los estratos duros de arenisca forma abrigos, a veces con pequeñas cavidades entre los bloques colapsados de los aleros salientes y las paredes bajo ellos.



Figura 03. Al avanzar la erosión de las arcillas, los estratos de arenisca sobresalen en relieve positivo, formando aleros y salientes prominentes. Sus bordes colapsan por procesos graviclásticos. A menudo se forman abrigos y pequeñas cavidades bajo ellos, pero nótese que en los flancos predomina la erosión en surcos.



Figura 04. La cabecera de algunos barrancos y gullies se interrumpe y presenta abrigos techados bajo las intercalaciones de estratos gruesos de arenisca carbonática.



Figura 05. Detalles de un largo abrigo formado bajo una solapa rocosa de arenisca en la cabecera de un barranco.



Figura 06. Relieves típicos en el sector de Cueva Quemada, con surcos en los flancos de la meseta de Cornialto y bloques de colapso esparcidos sobre los flancos hasta la planicie inferior.



Figura 07. Sector en el flanco de una loma en la cabecera W del Barranco Grande, con un sistema de depresiones y gullies en paralelo, con drenaje hacia un barranco inferior.



Figura 08. El interior y el fondo de los gullies presenta numerosos pipes y pequeños conductos subterráneos.



Figura 09. La parte inferior de los gullies de la cabecera W del Barranco Grande presenta algunos tramos con pequeñas cuevas de recubrimiento bajo bloques de arenisca y materiales arcillosos colapsados.



Figura 10. Las planicies inferiores están surcadas por barrancos y redes dendríticas de gullies profundamente entallados y con diversas geoformas en su interior: pipes verticales, torres, aristas, separadas por delgados tabiques.



Figura 11. Las cabeceras de los pequeños cañones y gargantas presentan numerosas geoformas en su interior. Diversos ejemplos de surcos y pipes verticales, torrecillas y pináculos, con conductos de drenaje inferior.



Figura 12. Ejemplos de pequeñas cavidades colgadas a distintas alturas en las paredes de los cañones y barrancos.



Figura 13. Geoformas en las paredes de los cañones: pipes y surcos verticales, arcos y puentes de roca.



Figura 14. El interior de los gullies presenta gran número de pequeñas cavidades, mesocavernas, conductos de piping, torres y aristas residuales, así como zonas de colapso.



Figura 15. Otros ejemplos de pequeñas cavidades en los barrancos que surcan la zona inferior de la planicie.



Figura 16. Cuevas-laminadores formadas en meandros del cauce de los barrancos, entre bloques de materiales colapsados y la base hendida de las paredes. Algunas alcanzan más de 10 m de desarrollo.



Figura 17. Diversos ejemplos de formas fractales. La imagen superior presenta una cavidad (boca de 50 cm de ancho) y diversas geoformas en miniatura sobre ella. La imagen inferior muestra torres residuales de 1-2 m de altura.



Figura 18. Geoformas residuales de superficie: torres y aristas prominentes, con morfologías de caprocks.



Figura 19. Cavidades de piping en las paredes de los barrancos y relieves planos y alomados en los interfluvios, en arcillas de distintos colores.



Figura 20. El relieve en el sector de Cueva Quemada (arriba) y zona de cabecera del Barranco Grande (debajo), con superficies planas y alomadas, y redes dendríticas de barrancos y cañones. La punta de Cornialto al fondo.



Figura 21. Entrante topográfico del Sistema de Cueva Quemada (arriba), con las bocas 01 y 02 del lado W (arriba), y la amplia galería interna de la cueva 01 (debajo), con sección en arco. Nótese los suelos arcillosos polvorientos.



Figura 22. Cueva 01 del Sistema de Cueva Quemada. Nótese las cavitaciones a distintas alturas con material desagregado intergranularmente (arriba). Boca y luz de la claraboya vistas desde el interior (debajo).



Figura 23. Cueva 02 del Sistema de Cueva Quemada. Vistas hacia el interior de la galería y hacia la boca.



Figura 24. Cueva 04 del Sistema de Cueva Quemada. Se aprecia la galería ascendente hacia la segunda boca y la continuación de la galería principal en un laminador con huellas de un cauce temporal surgente.



Figura 25. Boca de la cueva 03 del Sistema de Cueva Quemada, en el lado N (arriba) y bocas 04 y 05 en el lado NE del entrante topográfico (debajo). Se divisa al fondo la meseta y punta de Cornialto.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque ha sido expuesto en otros trabajos, cabe indicar que las arcillas de la Formación Tudela poseen altos valores de sodio intercambiable y cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación, aumentando su volumen hasta un 12% en estado húmedo y contrayéndose en estado seco, produciendo de este modo agrietamientos (Marín & Desir, 2010). La escorrentía se canaliza entonces por las grietas hacia el interior del sedimento. La disolución del sodio a nivel intergranular desflocula las arcillas y acelera su pérdida de coherencia, produciendo cierto grado de desagregación que permite actuar al proceso de tubificación o piping. Los flujos de infiltración generan conductos subterráneos tubulares (pipes), los cuales conducen el drenaje y evolucionan excavando volúmenes mayores de roca, hasta generar de este modo simas y cuevas.

El proceso de piping actúa de modo general por remoción de partículas en materiales granulares y rocas poco solubles. En su forma pura el piping es el extremo teórico de un espectro espeleogenético, con 100% de disolución kárstica en el extremo opuesto (Parker & Higgins, 1990; Halliday, 2004). Entre ambos extremos hay situaciones intermedias, donde la disolución y el piping pueden actuar juntos, en variables proporciones, existiendo un continuo entre cuevas de tubificación y de disolución, en rocas de distintas solubilidades. En los materiales arcillosos de las Bardenas estos procesos están ampliamente extendidos, pudiéndose hablar de la existencia de un auténtico karst en arcilla. Sólo que muy distinto al karst clásico en caliza, tanto por la litología de los materiales como por la importancia que revisten los procesos de piping y erosivos, los cuales comandan el modelado regional.

En el sector estudiado, la escorrentía superficial ha excavado preferentemente una red de surcos y cárcavas sobre los flancos, así como pequeños cañones entallados en la planicie inferior. Bajo los estratos de arenisca intercalados en la secuencia arcillosa, se forman abrigos poco profundos y también algunas pequeñas cuevas. En los bordes de los cañones más amplios, en cambio, aprovechando las diferencias de potencial hidráulico, los procesos de piping excavan conductos verticales, que tienden luego a organizar una red de drenaje subterráneo, con desagüe hacia los puntos bajos de surgencia en los talwegs. Pueden también formarse depresiones separadas por tabiques, que se amplían y colapsan, mientras prosigue la remoción de materiales arcillosos a través de pipes inferiores. El desarrollo de estos procesos conduce a formar y destruir sistemas de conductos y depresiones anastomosadas. De este modo progresa la disección del relieve y el modelado de superficie.

Las cavidades exploradas en este sector ejemplifican estos rasgos. Particularmente, el Sistema de Cueva Quemada resulta singular por sus galerías convergentes, con secciones en arco, suelos de material detrítico fino y cavitaciones con material desagregado intergranularmente. La disolución intergranular y el piping, actuando juntos, pueden así afectar a volúmenes progresivamente mayores de lutitas y materiales arcillosos, excavando conductos y galerías a distintas escalas. La remoción de materiales durante las crecidas hidrológicas, de régimen temporal, evacúa los materiales erosionados a la red de barrancos que desagüa en el Ebro. Los procesos kársticos y erosivos hacen retroceder los escarpes de las mesetas y disectan el relieve de las planicies generando una extensa red dendrítica de barrancos y cañones, que caracteriza la peculiar morfología de las Bardenas. Esta breve nota aporta nuevos ejemplos de cavidades en arcilla (una litología inusual para el desarrollo del karst), contribuyendo así a incrementar el conocimiento de la geomorfología y dinámica de la región semidesértica de las Bardenas.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en prospecciones anteriores efectuadas en la región de las Bardenas. A dos árbitros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Faci Paricio, E.; A. Olivé Davó; A. Martínez Arias & P.P. Hernaiz Huerta. 2002. Memoria de la Hoja 245-I Alera. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 101 pp.
- Galán, C. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz; D. Arrieta & J. Forstner. 2017. Cuevas en arcilla en el cañón de Las Bodegas (Bardena Blanca). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 54 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2018. Notas sobre técnicas de exploración de cuevas en arcilla en la región semidesértica de las Bardenas. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 37 pp.
- Halliday, W.R. 2004. Piping caves and Badlands pseudokarst. In: Gunn, J. Ed. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis Books, London: 1260-1268.
- Marín, C. & G. Desir. 2010. Procesos de erosión en una zona de clima semiárido de la depresión del Ebro (Bardenas Reales, NE de España). Rev. C. & G., 24 (3-4), 63-72.
- Parker, G. & C. Higgins. 1990. Piping and pseudokarst in drylands. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, Eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geol.Soc.America, Special Paper 252.