

CUEVA DEL CALDERO SUR: UN NUEVO EJEMPLO DE CAVIDADES DE PIPING EN ARCILLA (BARDENAS).

Caldero Sur Cave: a new example of piping cavities in clay (Bardenas).



Carlos GALÁN, Marian NIETO, Agustín GOZATEGI, Juliane FORSTNER & Jim DAZA.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

CUEVA DEL CALDERO SUR: UN NUEVO EJEMPLO DE CAVIDADES DE PIPING EN ARCILLA (BARDENAS).

Caldero Sur Cave: a new example of piping cavities in clay (Bardenas).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Agustín GOZATEGI, Juliane FORSTNER & Jim DAZA.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Abril 2022.

RESUMEN

En la región semidértica de las Bardenas (Navarra) se forman por procesos de piping numerosas cavidades en arcilla de la Formación Tudela, de edad Mioceno. Esto contribuye al modelado de la región, ya que las cuevas y simas evolucionan por colapso sucesivo hasta formar gargantas y gullies, que extienden la red dendrítica de barrancos que disectan las planicies y los taludes de las mesetas. En la zona del Caldero Sur, al W de la meseta de Piskerra, hay una zona de barrancos amplios limitados por paredes de escasa altura, cuya morfología está festoneada por entrantes y salientes, correspondientes al retroceso progresivo de sus paredes. En uno de ellos, de fondo plano, se han formado perforaciones y simas que atraviesan las paredes constituyendo cuevas y simas con circulaciones hídricas temporales. El proceso de piping es muy activo y en corto lapso de tiempo excava nuevas galerías, que evolucionan por erosión y remoción de sedimentos hasta recortar el terreno. De este modo las cuevas de piping se forman y destruyen, ampliando los barrancos. La cueva estudiada, de 54 m de desarrollo y -12 m de desnivel, ejemplifica estos procesos, y contiene rasgos de las distintas fases de espeleogénesis y destrucción de galerías. La cavidad posee espeleotemas aciculares de yeso y diversas geoformas. El trabajo describe la cavidad y discute su génesis y evolución morfológica.

Palabras clave: Karst en arcilla, Hidrogeología, Geomorfología, Espeleotemas, Geoformas.

ABSTRACT

In the semi-desert region of the Bardenas (Navarra), numerous cavities are formed by piping processes in the clay of the Tudela Formation, of Miocene age. This contributes to the modeling of the region, since the caves and sinkholes evolve by successive collapse to form gorges and gullies, which extend the dendritic network of ravines that dissect the plains and slopes of the plateaus. In the area of Caldero Sur, to the W of the Piskerra plateau, there is an area of wide ravines limited by low walls, whose morphology is scalloped by inlets and outlets, corresponding to the progressive retreat of their walls. In one of them, with a flat bottom, perforations and sinkholes have been formed that cross the walls, constituting caves and sinkholes with temporary water circulations. The piping process is very active and in a short period of time it excavates new galleries, which evolve through erosion and removal of sediments until the ground is cut. In this way piping caves are formed and destroyed, widening the ravines. The studied cave, of 54 m development and -12 m uneven, exemplifies these processes, and contains features of the different phases of speleogenesis and gallery destruction. The cavity has acicular gypsum speleothems and various geoforms. The work describes the cavity and discusses its genesis and morphological evolution.

Keywords: Karst in clay, Hydrogeology, Geomorphology, Speleothems, Geoforms.

INTRODUCCION

Las cuevas en arcilla son muy raras a nivel mundial. Pero en la región semidesértica de las Bardenas (Navarra) los procesos de karstificación y espeleogénesis están muy extendidos, con innumerables sistemas de simas y cuevas, de hasta 880 m de desarrollo y -100 m de desnivel. La mayor cavidad hasta ahora explorada alcanza 380 m de desarrollo y -40 m de desnivel (Galán, 2015).

Las arcillas y lutitas de la Formación Tudela, de edad Mioceno (Terciario continental) constituyen un material dispersivo, rico en sales de sodio, primariamente impermeable, en el que existe cierto grado de solubilidad intergranular precisamente debido a su contenido en yeso y sales solubles. En los materiales arcillosos son muy frecuentes los procesos de piping, que comandan la evolución de cavidades, y los procesos erosivos, que amplían los conductos y remueven los materiales desprendidos por colapso.

En este trabajo describimos una nueva cavidad, que ilustra muy bien los distintos procesos que intervienen en la formación de cavidades en arcilla y los procesos erosivos que actúan en el modelado del relieve regional. La cavidad posee espeleotemas de yeso y mica-illita, que prueban la ocurrencia de disolución de los materiales parentales y precipitación de minerales secundarios.

MATERIAL Y MÉTODOS

La cavidad fue explorada en época invernal (marzo 2022), utilizándose iluminación de Leds y técnicas de escalada. La toma de datos topográficos fue efectuada con instrumental de precisión Suunto y fotointerpretación de imágenes de radar. Muestras de roca y espeleotemas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital Canon, a fin de ilustrar los principales rasgos de la cavidad y su entorno.

RESULTADOS

CONTEXTO GENERAL

La cavidad explorada se localiza en la planicie del Caldero, en la zona de borde de un barranco amplio. La planicie está surcada por el barranco del Caldero y otros menores, y está situada inmediatamente al W de la meseta de Piskerra, en la Bardena Blanca. Este sector es uno de los más desérticos de las Bardenas, con un relieve constituido por materiales arcillosos que forman extensas zonas llanas y barrancos amplios, sobre los que sobresalen agudas crestas con cárcavas y cerros tabulares aislados, tal como la meseta de Piskerra. La abundancia de sales y yeso en el sustrato geológico y la aridez del clima motivan la presencia de fases salinas en muchos de los suelos de esta parte de la Bardena Blanca, dándole sus característicos colores blanco-amarillos.

Como contexto general cabe decir que la cuenca endorreica de las Bardenas se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos) durante el Eoceno-Mioceno. Al labrar el Ebro su paso y conectar con el Mediterráneo, pasó a ser exorreica en el Mioceno final o en el tránsito Mioceno-Plioceno (Riba, 1964; Salvany, 1989). A partir de entonces los materiales Terciarios van siendo erosionados, vaciando gran parte de la cuenca y originando los relieves tabulares, escarpes y barrancos característicos de la región. Durante el Cuaternario, la erosión normal ha seguido profundizando el modelado regional, con incisión Holocena de la red de drenaje en las planicies. A la misma contribuyen los procesos de piping, que involucran la formación de cavidades subterráneas, excavación del terreno con nuevos barrancos y el retroceso de los escarpes de las mesetas.

Los terrenos aflorantes están constituidos por una espesa secuencia de materiales arcillosos (lutitas y arcillas) de colores claros (amarillentos, ocre, rojizos y grises), con algunas intercalaciones espaciadas de estratos delgados de margocalizas y areniscas (unidad litoestratigráficas 376, en: Faci Paricio et al, 2002; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA). Los cauces de los barrancos poseen también rellenos detríticos aluviales de edad Holoceno, constituidos por gravas, arenas y arcillas. Los materiales arcillosos son parte de la Formación Tudela (Facies Las Bardenas, de edad Mioceno medio) y corresponden al denominado piso Aragoniense, cuya edad engloba un intervalo de tiempo de entre 17 y 11 millones de años antes del presente.

Litológicamente la unidad 376 presenta un carácter bastante homogéneo, estando constituida por una secuencia monótona de arcillas y limos de tonalidades claras, ocre y rojizas, de aspecto masivo, con intercalaciones esporádicas de nivelitos de areniscas y margocalizas grises de espesor decimétrico a métrico.

Aunque predominan las tonalidades claras ocre en las arcillas y lutitas, se diferencian de forma rítmica horizontes decimétricos rojizos, relacionados con procesos edáficos postsedimentarios, así como algún que otro horizonte grisáceo de espesor centimétrico. Ocasionalmente entre las lutitas se reconoce algunos nivelitos de yeso disperso. Los tramos basales de la serie suelen ser algo margosos, de tonalidades rosáceas.

Los niveles de margocaliza, de color gris, están constituidos por micritas arcillosas, con abundantes restos de charáceas. Las areniscas 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, con base planar y abundantes ripples de corriente. Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos se relacionan con facies distales de abanicos aluviales (de procedencia Pirenaica), con desarrollo de amplias llanuras de fangos, y donde de forma esporádica se localizan episodios fluviales efímeros con canales, así como áreas lagunares donde precipitaron los carbonatos (Faci Paricio et al, 2002).

El relieve del sector corresponde a una extensa planicie, con buzamiento subhorizontal y en leve declive NE-SW, surcada por el barranco del Caldero y otros barrancos al Sur del mismo (donde se localiza la cavidad); todos ellos son afluentes del Barranco Grande, aunque el barranco de la cueva drena primero hacia el SW para sumirse en la planicie central en la cota 298 m snm. El drenaje en el sector procede del flanco W de la meseta de Piskerra (472 m snm), situada a 500 m al E de la cueva.

DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD - CUEVA DEL CALDERO SUR

Situación: En el borde de un barranco, zona Sur del Caldero; a 850 m al WNW de la cumbre de Piskerra y a 500 m de su base.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.676.184; E 628.211; Altitud 345 m snm.

Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 54 m; Desnivel: 12 m (-2 m; +10 m).

Descripción: Se trata de una cueva-sima de trazado complejo, drenada por un conducto inferior, abierto a una cárcava sobre el fondo plano de un barranco amplio, limitado éste por pequeñas paredes y cárcavas menores (Ver Figuras 01 á 12).

La cavidad posee varias bocas, a distintas alturas: la más visible se aprecia desde lejos, colgada a media altura en la pared; es circular y presenta por techo un puente de roca, que separa la pared del barranco de una boca de sima abierta en la planicie superior, en la zona de borde. Otra delgada pared de roca separa la sima, de -10 m y 7 m de diámetro, de una sima-depresión adyacente de 12 m de largo y -4 m de desnivel. En el interior de la segunda sima existe una galería-sima en rampa descendente que conduce a una galería inferior. Esta última enlaza el fondo de las dos simas superiores mediante una galería de débil diámetro. A su vez tiene una pequeña prolongación ascendente, obstruida por colapso, que procede de otra pequeña galería descendente abierta en la parte N del fondo de la misma depresión.

Si se accede desde el barranco se encuentra primero en la base de la pared un estrecho laminador, impracticable, que es el punto de surgencia del drenaje de la cavidad. A su lado hay una cárcava, entallada, que asciende hacia la boca mayor. Remontando por esta cárcava, a +2 m sobre la surgencia, se abre una pequeña boca (cota 0 de la cavidad). Esta es descendente y enlaza con una galería inferior que se prolonga en ambas direcciones. Hacia abajo se estrecha y termina en un colapso (cota -2, punto más bajo de la cavidad), a escasa distancia de la surgencia y similar cota. Hacia arriba es una galería con pasos estrechos que enlaza con otra sima, al pie de la boca mayor (cota +4 m).

Remontando por el surco de la cárcava externa se alcanza, en la cota +4, un resalte de +2 m, justo en la entrada de la amplia boca circular. Al pie del escarpe se encuentra la sima que comunica con la galería inferior, pero está también se prolonga hacia arriba para enlazar con el fondo de la sima amplia cercana al borde (Sima 1).

Escalando el escarpe de +2 m de la boca principal, se accede a una corta galería (bajo el puente de roca, cota +6), que enlaza con la parte interna de la sima amplia superior. Hay que descender otro escarpe de -2 m, para alcanzar el suelo, el cual presenta en su parte Norte otro pozo amplio, de -4 m, que va a la parte inferior de la sima 1 (cota 0), a -10 m con respecto al borde superior.

En el interior de este último pozo hay un entrante colgado en su pared N y en su parte baja la pequeña galería que enlaza con la sima-depresión adyacente (Sima 2), en la cota +4. En esta galería hay abundantes espeleotemas aciculares de yeso.

El trazado como se puede apreciar es complejo, producto de sucesivos hundimientos sobre conductos de drenaje menores. La cavidad tiene una extensión en planta de 28 m, en sentido Norte-Sur, 54 m de desarrollo espacial y 12 m de desnivel (-2 m; +10 m). En las paredes internas de las simas hay numerosas geoformas y espeleotemas de mica-illita, producto de la fluidificación de los materiales arcillosos en épocas húmedas y posterior desecación. Algunas forman filigranas en las paredes, pequeñas estalactitas en salientes, coladas con costras duras superficiales y eflorescencias de sales de sodio.

A 8 m al Norte de la cavidad, separada de ésta pero formando parte del mismo sistema de drenaje subterráneo, hay dos depresiones-simas adicionales de -3 m de desnivel, una circular de 2 m de diámetro y otra alargada de 12 m de longitud. La infiltración captada en estas deriva hacia el Sur y forma parte del mismo sistema de drenaje de la cueva. Por lo que, la extensión en sentido N-S de este sistema hidrogeológico (de régimen hídrico temporal) alcanza 48 m de extensión en planta.

GÉNESIS Y EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Los conductos con huellas de cauces secos en el interior de la cueva y otras evidencias, sugieren una evolución geomorfológica de la cavidad con formación de pipes verticales y conductos horizontales, acompañada de colapsos y del hundimiento progresivo de la red de drenaje subterráneo hasta su posición actual.

Sobre el terreno, en las paredes del barranco, se encuentran pipes verticales y geoformas que reproducen en miniatura los rasgos de las cavidades mayores (diseños fractales). También, sobre el fondo plano del barranco, han quedado montículos aislados que son testigos del desmantelamiento del terreno y de la ampliación del barranco, por retroceso de sus paredes.

En la cueva debe haber existido una primera fase de tubificación o piping a nivel de la cota -4 m (con respecto a la planicie), como lo sugiere la amplia boca circular colgada en la pared. Esta fase fue seguida por colapsos de bóveda que ampliaron las simas superiores, obstruyendo algunos conductos. El drenaje se fue hundiendo progresivamente hasta la cota -10 m, con formación de nuevos conductos, horizontales y oblicuos. Los procesos de piping se extendieron hacia su cabecera Norte en la planicie, donde formaron nuevas depresiones. La ampliación del área de alimentación permitió remover parte de los materiales de colapso y excavar las galerías más bajas, hasta alcanzar la cota de surgencia en la cota -12 m, en correspondencia con el nivel de base impuesto por el fondo del barranco. Esta es la situación actual.

Pero puede comprenderse que con cada ciclo de lluvias se renuevan los mismos procesos, de ampliación de conductos de piping, nuevos colapsos y extensión de la red subterránea tanto lateralmente como hacia su cabecera Norte. La dinámica de los procesos de disolución intergranular, piping, colapsos mecánicos, y erosión y remoción de los materiales desprendidos es muy activa, y en esta rápida evolución geomorfológica quedan colgados y variablemente inactivos diversos tramos o fragmentos de los conductos más antiguos. Cabe además señalar la formación de espeleotemas de yeso, en distintas partes de la red, que prueba la ocurrencia de disolución y precipitación de minerales secundarios, así como la formación de eflorescencias salinas por evaporación de las sales disueltas. Este último proceso ocurre también en superficie.

Figura 01: Plano de la cueva del Caldero Sur.

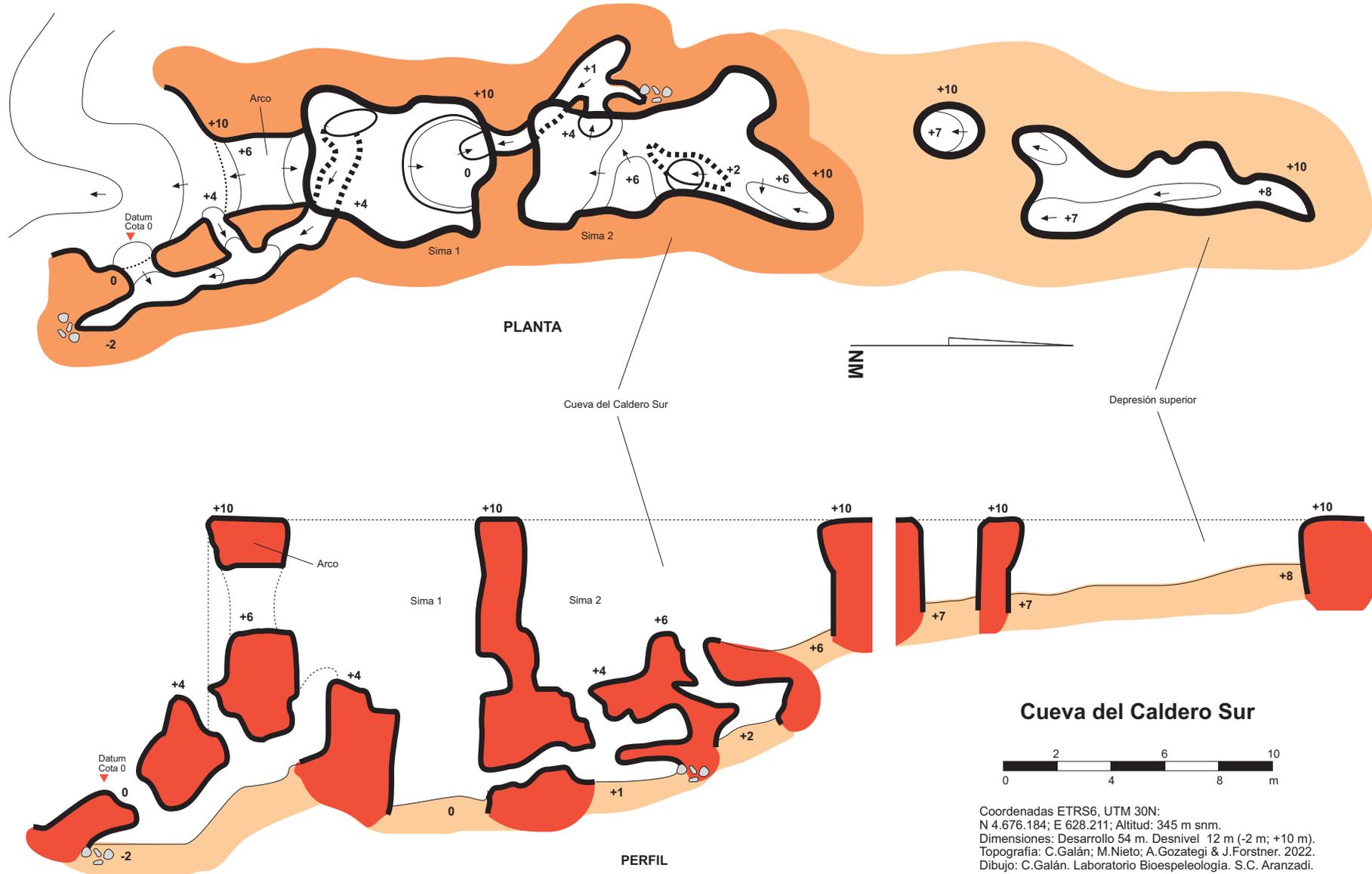




Figura 02. Barrancos en la zona sur del Caldero. Al fondo la meseta de Piskerra. Nótese las crestas y cerros residuales, con numerosas cárcavas en sus flancos, y la red de barrancos de fondo plano.



Figura 03. Hacia la cabecera del barranco donde se localiza la cueva del Caldero Sur, con una amplia boca circular colgada en la pared. En la imagen inferior se aprecia el laminador, que es la surgencia del sistema (flecha roja).



Figura 04. Pared del barranco donde se aprecia la amplia boca circular de la Cueva del Caldero Sur, el arco o puente de roca entre la sima 1 y la pared, y el laminador que constituye la surgencia (flecha roja).



Figura 05. Vistas desde el barranco de fondo plano de la pared donde se abren las bocas inferiores de la cavidad. Nótese la ocurrencia de eflorescencias salinas en la parte superior y de pipes menores.



Figura 06. Galería de enlace entre la boca inferior de la cueva y el interior de sima 1 (arriba). Y vista desde la planicie superior hacia el interior de sima 1, con la galería bajo el puente de roca y el acceso inferior (debajo).



Figura 07. El puente de roca y la delgada pared que separa sima 1 de sima 2, vistas desde el plano superior (arriba). Y la sima en rampa -en el interior de sima 2-, la cual conduce a la galería de conexión entre las simas 1 y 2 (debajo).



Figura 08. Boca de la sima interna y galería inferior de conexión entre las simas 1 y 2, con bloques clásicos.



Figura 09. Espeleotemas aciculares de yeso en la galería inferior de conexión ente las simas 1 y 2 (arriba).
Eflorescencias de sales en el montículo y paredes del interior de sima 2 (debajo).



Figura 10. Otros ejemplos de pequeñas cavidades colapsadas en las paredes de pequeños barrancos en el sector del Caldero Sur (arriba). Montículos residuales con bandas de coloración y fragmentos de estratos delgados de margocalizas intercalados en la serie arcillosa de la Formación Tudela (debajo).



Figura 11. Cabecera de los barrancos del sector del Caldero Sur, en la base del flanco W de la meseta de Piskerra. Nótese las intercalaciones delgadas de margocalizas y areniscas en la serie arcillosa, con clastos desprendidos.



Figura 12. Aristas y montículos residuales con cárcavas y el extraño aspecto del relieve en el sector del Caldero Sur, con las paredes de la meseta de Piskerra al fondo. Los procesos de pipping y erosivos contribuyen a la formación de cavidades en arcilla y al modelado de la región semidesértica de las Bardenas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La zona del Caldero Sur presenta una red de barrancos y una cueva más compleja, con 54 m de desarrollo de galerías. Sobre las paredes (y en algunos rellenos de colapso) se observa un sinfín de pequeños conductos, pipes y surcos menores, que permiten apreciar como actúan los procesos de piping y erosivos a distintas escalas y en distintas posiciones fisiográficas.

Tanto la ampliación volumétrica de las galerías como los colapsos, acompañan al modelado de la región, ampliando la red de barrancos en las planicies y formando nuevas redes de cañones y gargantas, que van disectando y erosionando el terreno en una incesante y activa dinámica, asociada al régimen de lluvias y drenajes temporales. Los procesos de piping ocurren reiteradamente y generan cavidades y geoformas a distintas escalas, con muchos rasgos de naturaleza fractal.

En esta evolución los procesos de piping contribuyen de modo continuado a la erosión general del terreno. Labrando nuevos conductos, que llegan a formar cuevas en arcilla, de cierta persistencia en el tiempo, pero que son también destruidas al progresar la erosión, desmantelando las redes antiguas y creando zonas de badlands (Halliday, 2004; Galán, 2015, 2017; Galán et al, 2017, 2018). El piping parece requerir la existencia de cierto gradiente hidráulico, lo que es logrado con facilidad en las zonas de borde de las paredes de los barrancos, donde existe un desnivel que permite su actuación.

La complejidad observada en el trazado de las galerías de la cueva, indica que la excavación de pipes actúa a distintos niveles. Parte de la inhomogeneidad observada es debida al cambio en las propiedades físicas de las arcillas Miocenas según su estado de hidratación. Las arcillas hidratadas resultan altamente cohesivas a la vez que impermeables, y contribuyen a mantener el equilibrio mecánico en las galerías formadas, evitando su desmoronamiento y permitiendo una mayor permanencia en el tiempo. Aunque el crecimiento volumétrico de los conductos tiende a producir colapsos, por efecto gravitatorio, también se da el caso de tramos de galerías estables, tanto inactivas como hidrológicamente activas, donde es frecuente el desarrollo de cauces secundarios tallados sobre los depósitos de sedimentos. La apertura de simas o claraboyas, el colapso de techos, los vuelcos y deslizamientos, tienden a producir obstrucciones y a generar desarrollos tortuosos, encajándose el drenaje subterráneo en niveles progresivamente más bajos, siempre limitados por el nivel de base impuesto por el fondo plano de los barrancos mayores.

Muchos rasgos exhibidos por las cavidades de las Bardenas difieren ampliamente de aquellos propios del karst clásico en caliza, mostrando que los procesos de karstificación en materiales arcillosos y rocas poco solubles crean paisajes con rasgos específicos. Muchos de sus ellos pueden ser de corta duración; algunos duran sólo de una tormenta a la siguiente. El paisaje general, sin embargo, tiende a persistir a través de largos periodos de tiempo.

Podemos concluir que distintos factores y procesos actúan a lo largo del tiempo generando las morfologías hoy observadas, con cavidades que se mantienen en un estado dinámico de equilibrio. Las formas subterráneas son -en consecuencia- el resultado de múltiples interacciones y procesos iterativos, no-lineales, comandados por la acción del mecanismo de piping en los materiales arcillosos de la Formación Tudela. La cueva del Caldero Sur es un nuevo ejemplo de ello, entre muchos otros.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Dpto. de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA) que nos acompañaron en prospecciones previas en distintas zonas de las Bardenas. A dos revisores anónimos de la SCA y Biosphere Consultancies (United Kingdom) por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- 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. 2017. Dinámica de piping y sistemas complejos de cuevas en arcilla: Bardena Blanca. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 36 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. Espeleol. 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. Espeleol. 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.
- Riba, O. 1964. Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra. Aportación española al XX Congr. Geogr. Int. Reino Unido. Zaragoza.
- Salvany, J.M. 1989. Los sistemas lacustres evaporíticos del sector navarro-riojana de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24: 3-4.