

**NOTAS SOBRE TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DE CUEVAS EN ARCILLA EN LA REGIÓN SEMIDESÉRTICA DE LAS BARDENAS.**

Notes on exploration techniques of caves in clay in the Bardenas semidesertic region.



**Carlos GALÁN, Marian NIETO & Juliane FORSTNER.**  
Sociedad de Ciencias Aranzadi. Enero 2018.

# NOTAS SOBRE TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DE CUEVAS EN ARCILLA EN LA REGIÓN SEMIDESÉRTICA DE LAS BARDENAS.

Notes on exploration techniques of caves in clay in the Bardenas semidesertic region.

---

**Carlos GALÁN, Marian NIETO & Juliane FORSTNER.**

**Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.**

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

E-mail: [cegalham@yahoo.es](mailto:cegalham@yahoo.es)

Enero 2018.

## RESUMEN

Las simas y cuevas estudiadas en la región de las Bardenas se desarrollan en arcillas Miocenas de la Formación Tudela. Estas cavidades han sido formadas fundamentalmente por procesos de piping. Los materiales arcillosos son poco consistentes, poco solubles y primariamente impermeables. Su exploración plantea problemas técnicos para la fijación de cuerdas y para la exploración de galerías con colapsos y conductos de débil diámetro. Muchas cavidades poseen continuaciones practicables, que sólo pueden ser exploradas bajo condiciones favorables (que no impliquen excesivo riesgo), lo cual podría incrementar sus dimensiones conocidas. Estos aspectos son discutidos en la presenta nota, ya que los rasgos de estas cavidades difieren de los hallados en el karst clásico en caliza.

*Palabras clave:* Espeleología física, Karst en arcilla, Técnicas de exploración, Piping, Colapsos.

## ABSTRACT

The chasms and caves studied in the Bardenas region are developed in Miocene clays of the Tudela Formation. These cavities have been formed mainly by piping processes. The clay materials are not very consistent, poorly soluble and primarily impermeable. Its exploration raises technical problems for the fixation of ropes and for the exploration of galleries with collapses and conduits of weak diameter. Many cavities have practicable continuations, which can only be explored under favourable conditions (that do not involve excessive risk), which could increase its known dimensions. These aspects are discussed in this note, since the features of these cavities differ from those found in classical limestone karst.

*Keywords:* Physical Speleology, Kars in clay, Exploration techniques, Piping, Collapses.

## INTRODUCCION

La exploración de cavidades en litologías distintas al karst clásico en caliza habitualmente presenta peculiaridades, tanto en el relieve de superficie como en el medio subterráneo. La dureza o inconsistencia de las rocas, su poder abrasivo, el clima y la hidrología local, las dimensiones de los conductos y la ocurrencia de colapsos, constituyen un conjunto de factores que hay que tener en cuenta para las exploraciones.

De ello deriva el uso de técnicas de exploración infrecuentes, que la experiencia progresiva impone como óptimas o más adecuadas. Su empleo puede permitir avanzar en la exploración de galerías, facilitar su adecuada topografía y aumentar sus dimensiones conocidas. En esta nota exponemos ejemplos de las dificultades técnicas y problemas encontrados en la exploración de simas y cuevas en arcilla en la región semidesértica de las Bardenas.

## MATERIAL Y METODOS

El trabajo describe y discute los problemas técnicos y dificultades encontradas durante la exploración de cavidades en arcilla en la región de las Bardenas. Esta litología resulta inusual para el desarrollo de procesos kársticos y formación de cavidades. Hasta hace escaso tiempo era muy poco lo conocido sobre este tipo de cuevas, pero estas presentan rasgos morfológicos y geobiológicos de interés para la Karstología, por lo cual nos parece oportuno aportar algunas notas sobre aspectos técnicos relacionados.

## RESULTADOS

Cada área geográfica de la Tierra tiene características propias. Para explorarlas y desenvolverse en ellas es necesario conocer sus rasgos y adaptarse al medio, utilizando las herramientas que la experiencia y la práctica muestran como más adecuadas. En el caso de cuevas las condiciones para su exploración pueden diferir según el clima, región geográfica, tipo de cavidades y litología de los materiales en que se desarrollan.

La región de las Bardenas, situada en el SE de Navarra, tiene una extensión considerable, del orden de 600 km<sup>2</sup>, 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 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 (Figuras 1 á 4).

En zonas de talud y en torno a las paredes de la red de cañones se forman infinidad de simas y cuevas en arcilla, así como numerosas pequeñas gargantas entalladas o gullies y áreas deprimidas con morfología de badlands. Las cavidades en arcilla son extraordinariamente raras a nivel mundial, porque se trata de materiales poco consistentes. Sin embargo, las exploraciones llevadas a cabo en las Bardenas en los últimos años (Galán, 2015; Galán & Nieto, 2015; Galán et al, 2015, 2016, 2017a, 2017b, 2017c) están mostrando que esta región posee una gran cantidad y diversidad de cavidades en arcilla, incluyendo los mayores sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel global, con dimensiones que pueden alcanzar cerca de 1 km de desarrollo y desniveles de hasta -100 m. Esto es posible por la litología de los materiales arcillosos así como por el clima y régimen hidrológico que interviene en los procesos erosivos. En el modelado actual del relieve los procesos de piping y erosivos resultan fundamentales y alcanzan gran extensión, con formación de numerosas cavidades, a distintas escalas. A su vez, los rasgos físicos y morfológicos de las cavidades plantean dificultades inusuales para su exploración, aspectos éstos que son el objeto de esta breve nota.

En primer lugar, el clima en la región de las Bardenas es árido a desértico. Se caracteriza por una precipitación media anual de 350 mm para el conjunto de la región, con valores de 170 mm/a en las zonas más áridas de la Bardena Blanca y valores algo superiores a la media en la Bardena Negra. La evapotranspiración potencial alcanza 790 mm/a. La temperatura media anual es de 13°C, con máximos diarios que alcanzan 40-50°C en verano y mínimos de -5°C en épocas invernales, cuando son frecuentes las heladas. Las precipitaciones medias mensuales oscilan entre 10 y 55 mm, con dos máximos anuales (a finales de primavera y comienzos del otoño). Durante estos máximos las lluvias son de baja intensidad (lloviznas de carácter ciclónico), por lo que su capacidad erosiva es baja. Mientras el resto del año, aunque las precipitaciones son menores, las lluvias son de elevada intensidad y corta duración (carácter tormentoso), por lo que poseen una alta capacidad erosiva (Marín & Desir, 2010). Las lluvias también condicionan la humedad de las arcillas, cuyo comportamiento resulta entonces variable, en superficie y en el interior de las cuevas.

La alternancia de condiciones húmedas y secas, que siguen a las oscilaciones pluviométricas, puede producir deslizamientos y colapsos mecánicos en paredes y bóvedas, mientras los caudales circulantes generan erosión basal y remoción de los materiales desprendidos. En las partes altas de las galerías, fuera del alcance de la acción de las corrientes de agua, las aguas porales pueden también desagregar las arcillas y precipitar sales, contribuyendo así a la cohesión y estabilidad mecánica de las paredes.

En trabajos previos ha sido explicado en detalle que los materiales arcillosos de las Bardenas poseen altos valores de sodio intercambiable, un índice de dispersión medio y elevados coeficientes de hinchamiento. Lo que contribuye al desarrollo de los procesos de piping, ya que la disolución del sodio desflocula las arcillas, acelera la pérdida de coherencia y facilita la exportación de materiales finos. A su vez, tanto la capacidad de hinchamiento de las arcillas como la dispersión son factores importantes en el desarrollo de procesos de erosión ya que ambos causan agrietamiento, canalizando la escorrentía hacia el interior del sedimento y produciendo remoción intergranular.

Estas arcillas expansivas, ricas en sales de sodio, cambian sus propiedades físicas 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. Pero debido a que aumentan su peso al estar cargadas de agua, pueden también colapsar. De hecho, así como se observa ejemplos de zonas inestables, con colapsos recientes, se da también el caso inverso, de galerías con perfiles muy estables, tanto inactivas como hidrológicamente activas, donde es frecuente el desarrollo de cauces secundarios entallados sobre sedimentos del suelo de las galerías.

La acción continuada del mecanismo de piping y el propio crecimiento volumétrico de las galerías, genera colapsos de bóveda y apertura de nuevas claraboyas y bocas de simas, que comunican la cavidad interna con superficie. La existencia de múltiples bocas genera corrientes de aire, desecando las zonas húmedas al incrementarse la ventilación y evaporación. Si los colapsos ganan en importancia se puede producir el desplome de largos tramos de bóveda, generando gullies muy entallados en continuidad con la cavidad. Su ampliación lateral produce depresiones y rellenos que pueden obstruir o desmantelar por completo las cavidades formadas. Un nuevo ciclo puede proseguir la excavación a niveles más bajos, dejando colgados conductos inactivos, donde a su vez puede progresar la desagregación intergranular, con desarrollos espaciales laberínticos y galerías a muy distintas escalas.

En la exploración de este tipo de cavidades el primer factor a tener en cuenta es el clima. Las prospecciones en pleno verano son factibles, ya que aunque la temperatura y la insolación sean altas, siempre se encuentran zonas de sombra en el interior de los cañones y en los abrigos y cuevas (Figura 5). El interior de las cuevas mantiene valores de temperatura cercanos a la media anual. Las cuevas constituyen así auténticos oasis subterráneos, ya que resultan frescas cuando en superficie las temperaturas superan los 40°C a la sombra. Obviamente es preferible evitar los días del año con temperaturas extremas, llevar suficiente agua y protegerse contra la excesiva insolación. Pero esto también depende de la adaptabilidad de las personas, sus preferencias y su tolerancia al calor e insolación. Podríamos decir que algunos exploradores son en este sentido como lagartos y el calor no representa para ellos un problema, mientras que otros juran no volver a pisar estos desiertos en días calurosos.

Los días de invierno por lo general resultan fríos y húmedos, y las condiciones en las cuevas son también poco propicias, ya que las arcillas mantienen mayor humedad y son más propensas a los colapsos. Igualmente, dado que muchas galerías poseen arrastraderos, laminadores y pasos de débil diámetro, no es nada atractivo reptar y mojarse con temperaturas bajas. Por esto, las mejores condiciones para exploración se presentan en primavera, otoño, y días de verano no excesivamente cálidos. Siempre y cuando no lo dificulte la ocurrencia de lluvias o su probabilidad de ocurrencia.

Y es que las lluvias, aunque escasas, pueden constituir la mayor dificultad y fuente de peligro. Los días lluviosos el terreno se torna intransitable, porque se forma barro espeso en los cauces habitualmente secos, en las planicies y en campos de cultivo, siendo muchas vías intransitables para vehículos y no siendo factible cruzar a pie las zonas bajas ni los barrancos. Las lluvias de carácter tormentoso producen riadas de masas de agua y barro de fuerte poder erosivo. Si ser sorprendido por una crecida en una cueva normal entraña graves riesgos, imagínese serlo por torrentes de barro en galerías de escaso diámetro o en simas en materiales arcillosos muy poco consistentes. Por ello debe desestimarse intentar exploraciones subterráneas los días con riesgo de lluvia. Incluso las zonas de talud, bajo los escarpes de las mesetas, resultan ser terrenos peligrosos bajo condiciones húmedas, por el riesgo de colapsos y deslizamientos, que pueden incluir bloques de estratos duros y clastos intercalados en la arcilla.

En condiciones secas normales, la exploración de simas presenta la dificultad de no contar con buenos puntos de anclaje para las cuerdas. En arcilla no es posible fijar clavos normales ni clavos de expansión. Salvo que haya algún gran bloque de caliza o arenisca en las cercanías de la sima, tampoco hay puntos para efectuar anclajes naturales en la arcilla. Por lo que hay que recurrir a la escasa vegetación arbustiva. Colocando cintas en la base de grupos de arbustos puede obtenerse un anclaje principal sólido. O puede efectuarse un anclaje múltiple, a varios arbustos, distribuyendo el peso o fuerza de tracción. Contra más cerca del suelo, el anclaje resulta más resistente. Pero en todo caso debe probarse con fuertes tirones antes de intentar el descenso. En caso de duda sobre su resistencia, el primer explorador al menos puede ser asegurado con una segunda cuerda.

Otro aspecto es que los roces, en el borde superior (o intermedios) son inevitables, y no es posible instalar fraccionamientos. Sin embargo, a diferencia de simas en caliza u otras rocas duras, las cuerdas estáticas son más duras que los materiales arcillosos, y estos roces en los bordes (según nuestra experiencia) no desgastan la cuerda, más bien la cuerda hace surcos en la arcilla. La vegetación en el borde superior puede acolchar (y proteger) la cuerda contra la abrasión. Por ello el mayor cuidado (o la mayor destreza) consiste en elegir bien los puntos donde instalar y efectuar los descensos. Esta selección de la vía de descenso y ascenso debe estimar muy bien cómo quedará la trayectoria a la hora de ascender, ya que un pequeño desplazamiento lateral de la cuerda puede producir la caída de tierra o clastos incluidos en la matriz arcillosa (ver ejemplos en distintas figuras del trabajo).

Por lo demás la técnica de descenso en rappel y ascenso en jumars es la habitual en espeleología, con algunos detalles. En aéreo no hay ningún problema especial, pero en tramos en que se toca pared el explorador que desciende o asciende debe colocar los pies perpendiculares a la pared, a cada paso, evitando producir desprendimientos de tierra o piedras. Sobre todo si hay otros exploradores bajo la vertical, los cuales deben ponerse a resguardo de eventuales desprendimientos, a veces inevitables a pequeña escala al pasar los puntos de roce. Los ascensos deben hacerse con suavidad, sin dar tirones bruscos a cada paso. En muchas ocasiones caerá algo de tierra suelta, por lo que hay que cubrirse bien la cabeza bajo el casco y evitar que esta caiga a los ojos. Es recomendable colocar una mano como visera para proteger la cara cada vez que se mira hacia arriba. Los guantes vienen bien para esto, tanto en las verticales como para apartar vegetación arbustiva dura o espinosa en superficie. Las simas no suelen ser muy profundas y las mayores verticales hasta ahora descendidas alcanzan desniveles de -28 m, pero puede requerirse hasta 2 cuerdas de 40 m para realizar instalaciones seguras (Figuras 6 a 16).

En las galerías subterráneas es frecuente que se formen pequeños escalones extraplomados al cruzar estratos delgados de rocas margosas. Esto también ocurre en el cauce de barrancos y cañones en superficie. Los estratos duros sobresalen en voladizo y bajo ellos se produce socavación basal de las arcillas, al formarse en estos puntos cascadas temporales. No obstante, muchos escalones de -2 a -4 m requieren cuerda, por lo que conviene llevar un par de cortas cuerdas adicionales para superar estos obstáculos, bien sea con jumars, en escalada libre o mediante destreps con cuerda con nudos o lazadas. En galerías ascendentes puede resultar difícil superar este tipo de escalones, y aquí puede recurrirse a pasos de hombros, oposiciones y/u otras técnicas de escalada libre. Recuérdese que por lo general no es posible colocar clavos ni existen puntos de anclaje naturales, así que hay que recurrir al ingenio y a mantener unos las cuerdas mientras otros descienden o ascienden. En este sentido un equipo de 2-3 personas resulta lo ideal para acometer todo tipo de exploraciones subterráneas, quedando un cuarto en superficie, con material adicional, por seguridad o para cualquier contratiempo u obstáculo que requiera ayuda suplementaria. Para ahorrar peso durante primeras exploraciones normalmente basta dos equipos completos de arneses y jumars, que pueden turnarse entre varios.





**Figura 01.** La región semidesértica de las Bardenas posee una serie de planicies, relieves tabulares y cerros de formas caprichosas, modelados por la erosión de sedimentos arcillosos, de distintos colores.





**Figura 02.** En la Bardenas Blancas la aridez es mayor y predominan arcillas de colores claros. En los escarpes y taludes de las mesetas la escorrentía excava cárcavas y se produce el colapso en bloques de los estratos delgados de rocas margosas duras intercaladas en la serie de arcillas Miocenas de la Formación Tudela.





**Figura 03.** Las planicies de las Bardenas están surcadas por una red entallada de barrancos, gargantas y cañones, de extensiones kilométricas. Las ramas más delgadas de esta red poseen estrechos gullies y numerosas cavidades, formadas fundamentalmente por procesos de piping. Muchos gullies se forman por colapso de bóveda de cavidades inferiores, sin tener una red hídrica de cabecera que los alimente.





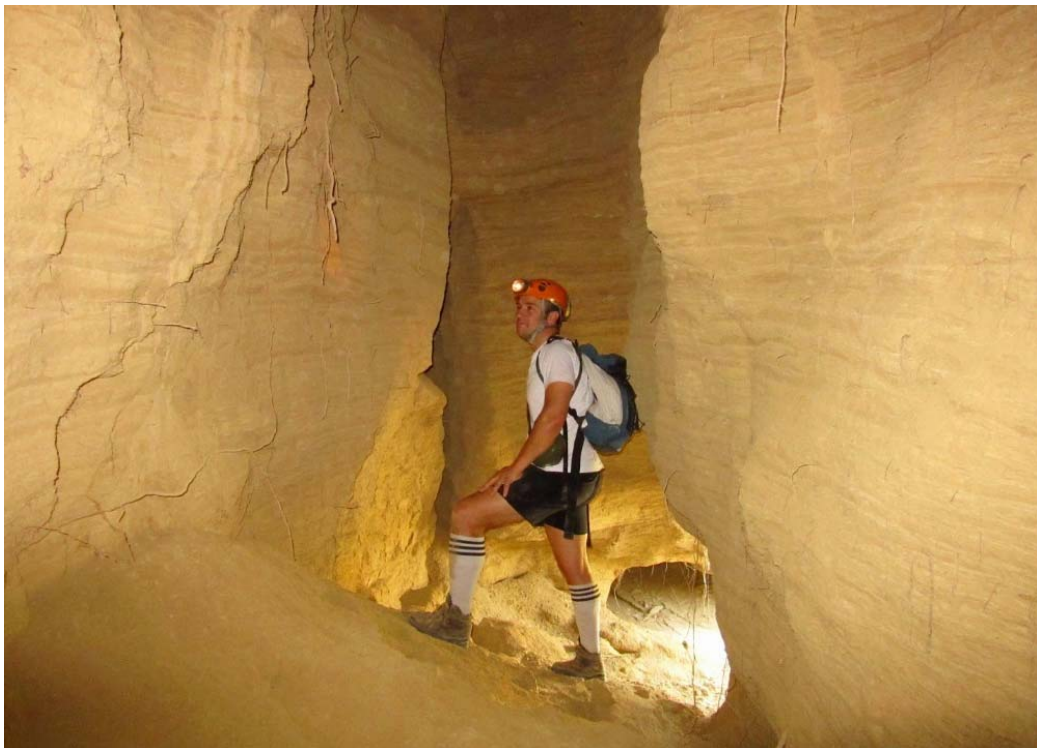
**Figura 04.** La Bardena Negra tiene algo más de vegetación pero igualmente posee un relieve con numerosos cañones entallados y gargantas festoneadas por marcados meandros.





**Figura 05.** Bardena Negra, sector de la Nasa Baja, con numerosas cavidades en sus taludes. Detalles de las prospecciones en verano: Descansando a la sombra bajo el techo de un barranco y acampando para pasar la noche. Conviene contar con una buena provisión de agua, porque de día el calor es fuerte.





**Figura 06.** Morfología típica de las cavidades en arcilla de las Bardenas, en este caso en cuevas de hasta 60 m de desarrollo en cañones en materiales arcillosos de la Bardena Blanca.





**Figura 07.** Cavidades de hasta 50 m en la Bardena Blanca, en arcillas compactas. Los conductos han sido ampliados y han crecido en volumen por desagregación intergranular de las arcillas.





**Figura 08.** Sistemas de depresiones con pináculos internos y simas en los taludes de la Nasa Baja. Al elegir el punto de anclaje y durante el descenso hay que instalar la cuerda sobre rebordes sin bloques inestables, de modo tal que los roces durante el ascenso en jumars no produzcan desprendimientos.





**Figura 09.** Son frecuentes galerías que atraviesan niveles de arcilla con clastos, incluyendo coluviones de ladera. Los fragmentos más compactos pueden estar bien adheridos o, por el contrario, ser propensos a colapsos ante el menor roce, por lo que hay que evitar apoyarse en ellos o tocarlos. Sima Nasa Baja 02, de 158 m de desarrollo y -18 m de desnivel.





**Figura 10.** Sima Nasa Baja 02. Su galería principal posee tramos con ampliaciones y meandros. La cavidad posee diversas espeleotemas y en ella habita una población de quirópteros *Myotis* sp. (Vespertilionidae).





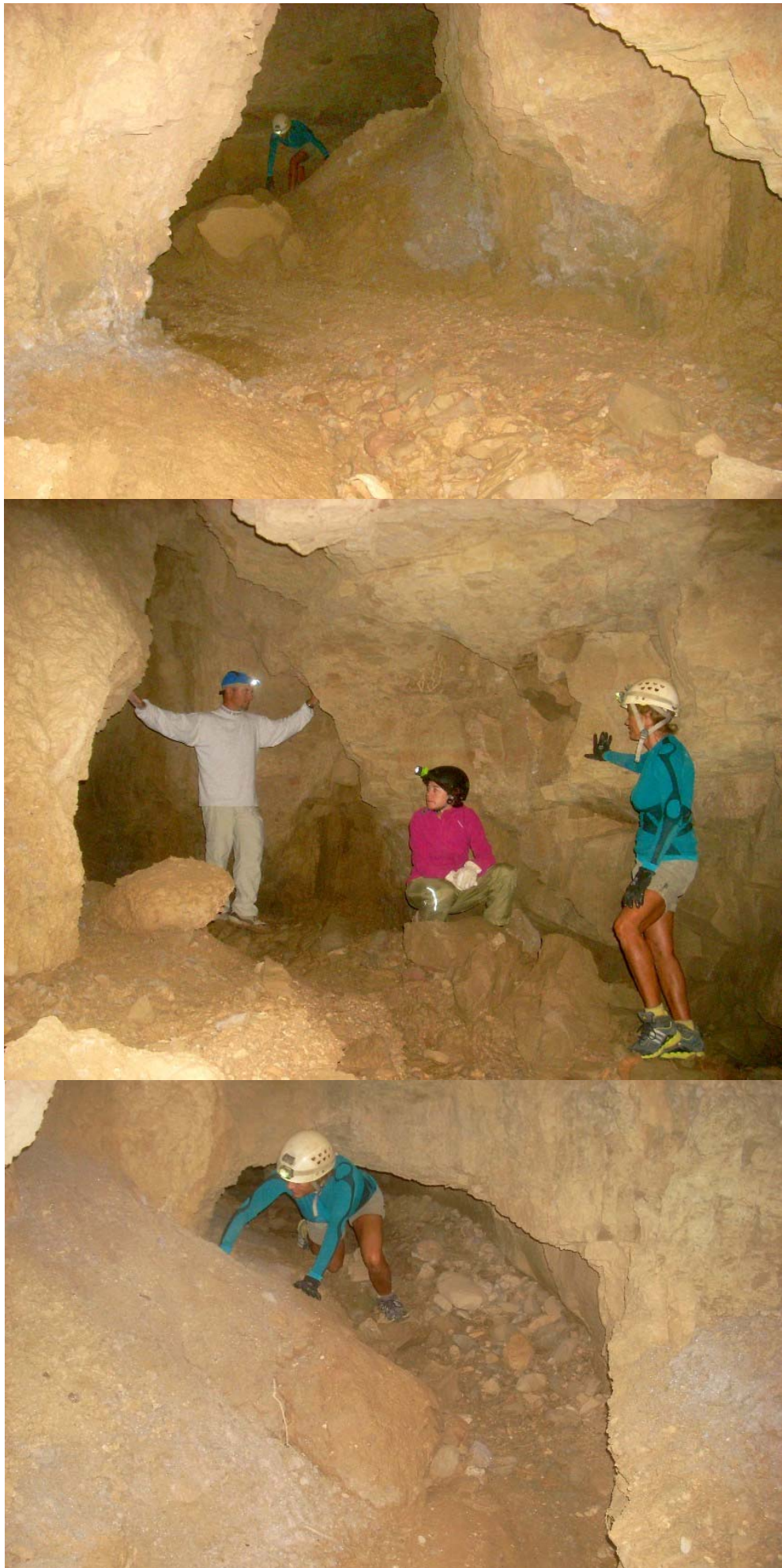
**Figura 11.** Flanco W de la Nasa Alta, donde se encuentra gran número de simas (arriba). Bocas de las simas Nasa Alta 02 y Nasa Alta 03, de -25 y -28 m de desnivel, respectivamente (centro). Vista de la vertical de la sima Nasa Alta 03 (debajo). Las manchas azuladas son espeleotemas de yeso.





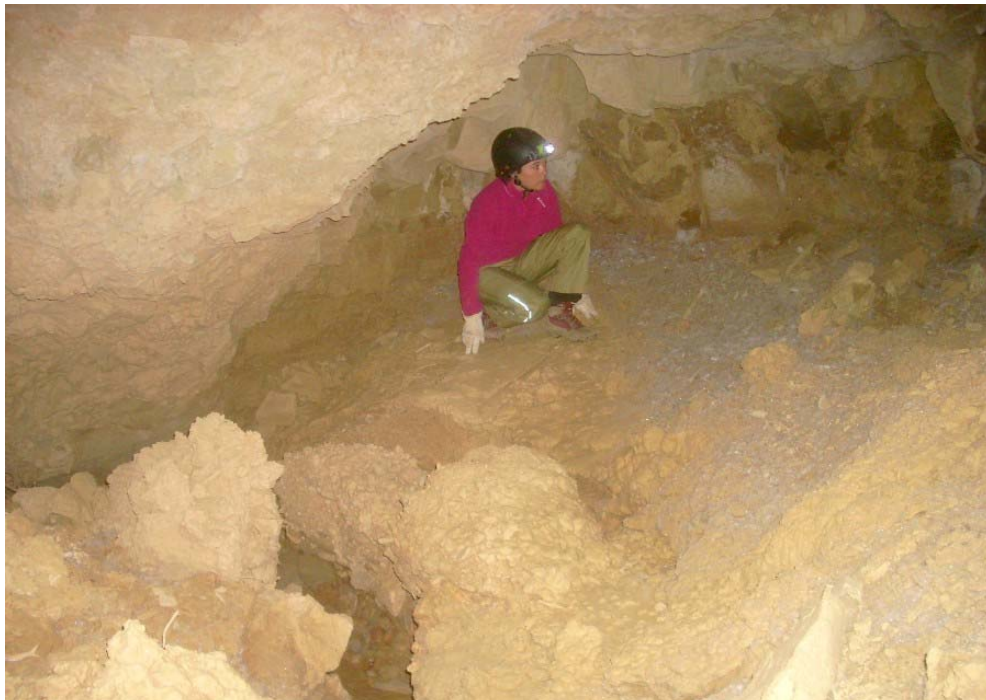
**Figura 12.** Descenso de bocas en rampa con ayuda de cuerda simple. Sima Nasa Alta 04.





**Figura 13.** Galería principal de la Sima Nasa Alta 04, de 380 m de desarrollo y -40 m de desnivel. Alterna tramos estrechos con ampliaciones y posee espeleotemas aciculares de yeso.





**Figura 14.** Sima Nasa Alta 04. Tramos amplios, meandros con barro en el cauce y el largo arrastradero que conduce a la boca inferior, en la cabecera de un gully.





**Figura 15.** Sima Nasa Alta 09, de -30 m de desnivel y 170 m de desarrollo. Su galería principal posee pequeños escalones, negociables con ayuda de cuerda, y tramos húmedos donde hay que avanzar con precaución, cuidando de no provocar colapso de bloques. La cavidad posee varias continuaciones que podrían explorarse en épocas más secas, con posibilidad de incrementar su desarrollo.





**Figura 16.** Sima Nasa Alta 09. Ascenso en jumars de la vertical de acceso, de -24 m.



Junto a galerías amplias, de gran volumen interno, son frecuentes los meandros estrechos, galerías con bloques, arrastraderos y laminadores. A diferencia de cuevas en rocas compactas, aquí no se puede conocer de antemano el grado de estabilidad de los materiales arcillosos, por lo que hay que avanzar con prudencia, observando detalles. Muchas zonas son altamente inestables y se observa que presentan colapsos recientes. A veces se trata sólo de clastos, incluidos en la matriz arcillosa, pero otras veces son tramos enteros de bóvedas o suelos los que se han hundido, pudiendo producir un aplastamiento total del conducto bajo toneladas de roca. En general conviene avanzar sólo sobre suelos que se aprecie compactos, evitando tocar paredes y bóvedas inestables, ya que el simple roce puede producir desprendimientos peligrosos, porque pueden provocar la ruptura del equilibrio mecánico del terreno superior. Bajo condiciones secas las cavidades en su conjunto resultan más estables que cuando se trata de condiciones húmedas o zonas húmedas de las galerías. La experiencia adquirida en sucesivas exploraciones de distintos tipos de cuevas puede permitir estimar la estabilidad relativa en distintos tramos y situaciones.

El débil diámetro de muchos conductos (arrastraderos y pasos estrechos) puede representar un obstáculo mayor. En las cuevas en caliza puede intentarse forzar pasos muy estrechos, avanzando en contacto con la roca (que es sólida). Los únicos límites son impuestos por la delgadez del espeleólogo y su habilidad técnica para forzar estos tramos, incluyendo a veces trabajos previos de desobstrucción o ampliación de los conductos. En los materiales arcillosos, muchos más inestables, esto es poco factible, por la alta posibilidad de que los roces produzcan colapsos y/o desmoronamiento de las galerías. En este sentido siempre hay que evaluar los riesgos, ser prudentes y mantener cierto margen de seguridad. En diversas ocasiones, en cavidades con claraboyas o varias bocas, hemos recurrido a avanzar por tramos, de uno en uno, para dejar posibilidades de escape ante el eventual colapso de algún paso estrecho o tramo de galería. Obviamente las precauciones deben extremarse en condiciones húmedas o cuando se observen claros indicios de inestabilidad de paredes y bóvedas (Figuras 17 á 30).

Dada la existencia en muchas cavidades de galerías laterales y continuaciones de importantes galerías de drenaje a través de conductos inestables o de débil diámetro, las dimensiones de las cavidades exploradas guardan relación con el grado de prudencia o seguridad mantenido durante las exploraciones y las condiciones encontradas en el momento de realizar estas. Aunque la mayoría de las cavidades son de escaso desarrollo o desnivel (algunas decenas de metros), varias simas y cuevas superan el centenar de metros, alcanzando la mayor de las exploradas los 380 m de desarrollo espacial y -40 m de desnivel (Sima Nasa Alta 04; Galán, 2015). La Tabla 1 presenta un listado de las mayores cavidades topografiadas hasta la fecha.

**Tabla 1.** Cavidades de mayor desarrollo o gran volumen interno topografiadas en Las Bardenas.

Nombre	Desarrollo	Desnivel	Zona y región
Nasa Alta 02	52 m	-25 m	Nasa Alta. Bardena Negra
Nasa Alta 03	70 m	-28 m	Nasa Alta. Bardena Negra
Nasa Alta 04	<b>380 m</b>	-40 m	Nasa Alta. Bardena Negra
Nasa Alta 09	<b>170 m</b>	-30 m	Nasa Alta. Bardena Negra
Nasa Baja W1	50 m	-17 m	Nasa Baja. Bardena Negra
Nasa Baja W2	<b>158 m</b>	-18 m	Nasa Baja. Bardena Negra
Los Sorianos 01	<b>186 m</b>	-18 m	Los Sorianos rama Sur. Bardena Negra
Los Sorianos 04	56 m	-17 m	Los Sorianos rama Sur. Bardena Negra
La Nasa 01	<b>104 m</b>	-12 m	Loma de La Nasa. Bardena Negra
La Nasa 02	40 m	6 m (-4; +2)	NE Loma de La Nasa. Bardena Negra
La Nasa 07	80 m	-12 m	Barranco N La Nasa. Bardena Negra
Valdenovillas sistema	<b>170 m</b>	-12 m	Barranco Valdenovillas. Bardena Negra
Cueva del Abejar	72 m	+12 m	Barranco del Abejar. Bardena Negra
Nasa Alta extremo Norte 06	<b>102 m</b>	-22 m	Nasa Alta extremo N. Bardena Negra
Los Sorianos 05	50 m	-12 m	Los Sorianos sec. Central. Bardena Negra
El Caidero Sur 01	82 m	-7 m	El Caidero Sur. Bardena Aragonesa
El Caidero Sur 04	40 m	-22 m	El Caidero Sur. Bardena Aragonesa
Barranco Grande Sistema 1	78 m	+12 m	Barranco Grande. Bardena Blanca
Barranco Grande Sistema 2	82 m	+16 m	Barranco Grande. Bardena Blanca
Las Bodegas 03	65 m	+10 m	Las Bodegas. Bardena Blanca
Las Bodegas 04	<b>248 m</b>	+20 m	Las Bodegas. Bardena Blanca
Las Bodegas 06	<b>128 m</b>	+12 m	Las Bodegas. Bardena Blanca

Además de las cavidades listadas, existen muchas otras en las Bardenas que superan los 50 m de desarrollo, pero formadas por conductos tortuosos, de escaso diámetro o de escaso volumen interno. Algunas de ellas poseen continuaciones en arrastradero que sería factible prolongar, incluso con la posibilidad potencial de conectar entre sí varias de ellas. Muchas de las cavidades de la Tabla 1 poseen también continuaciones a través de zonas inestables, arrastraderos menores, o incluso galerías dejadas de explorar por falta de tiempo o riesgo de crecidas hidrológicas.

Algunas galerías remontantes, con escalones, o galerías colgadas, podrían continuarse llevando algún sistema de pértiga o escalera desmontable, que permita superar tales obstáculos. Pero hasta la fecha no hemos intentado usar estas tácticas, optando por prospectar antes otros lugares de interés, o buscar nuevos accesos superiores. En el flanco W de la Nasa Alta hay varios sistemas de simas que podrían prolongarse o interconectarse mediante técnicas de este tipo, aumentando el desarrollo conocido. De hecho hay un sistema, no-interconectado, que alcanza 778 m de desarrollo (Galán, 2015). En la cueva Las Bodegas 04 (de 248 m), explorada parcialmente a fines de 2017, existen continuaciones observadas (pero no topografiadas) que elevan el desarrollo espacial de galerías a más de 500 m, incluso con la posibilidad potencial de avanzar por galerías estrechas y/o recorrer niveles superpuestos, lo que podría dar por resultado una cavidad mayor de 1 km (Galán et al, 2017c). En este sentido, los datos actuales de dimensiones de cavidades individuales pueden ser ampliados a través de futuras exploraciones.

Nuestro objetivo primario ha consistido en conocer los rasgos de interés científico que presentan estas cavidades, y en estudiar y comprender cómo actúa la karstificación y espeleogénesis en esta peculiar litología. En este proceso hemos explorado varios cientos de cuevas, constatando que la región de las Bardenas posee la mayor concentración y diversidad de cavidades en arcilla hasta ahora conocidas a nivel mundial, incluyendo además algunas de las mayores cuevas del mundo en esta litología. Las observaciones sobre el terreno y la consulta de cartografía digital, ortofotos y fotografía aérea, constituye un valioso auxiliar para localizar zonas de potencial interés así como para verificar y contrastar los datos topográficos. La localización de bocas, depresiones y probables puntos de surgencia puede coadyuvar al descubrimiento de sistemas aún mayores. La exploración y topografía de conductos de pequeño diámetro (cercanos al rango de mesocavernas) sin duda permitirá ampliar los datos de dimensiones, que no obstante se están revelando de cierta magnitud e importancia como sistemas de drenaje subterráneo.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

En la formación de este tipo de cavidades influyen distintos factores, incluyendo cierto grado de disolución de los materiales parentales y especialmente el mecanismo de piping (Halliday, 2004; Parker & Higgins, 1990). La erosión normal y los colapsos contribuyen al crecimiento volumétrico de las galerías y a la apertura de nuevas bocas. Cada ciclo de lluvias permite la actuación del piping, pero también erosiona y amplía los conductos, genera colapsos, y remueve los materiales desprendidos, introduciendo distintos niveles de base locales, que generan mayor complejidad y diversidad de formas en las galerías subterráneas, a la vez que extienden los procesos de piping a volúmenes mayores en las arcillas contiguas.

A pequeña escala, progresa también la desagregación intergranular de los materiales parentales, generando depósitos de arcillas finas y haciendo retroceder las paredes y bóvedas, contribuyendo de este modo al crecimiento en volumen de las galerías inactivas o escasamente activas en la actualidad. Las cuevas individuales y los sistemas de cuevas evolucionan en el tiempo, pudiendo ampliarse pero también pudiendo resultar destruidas por el progreso de la erosión de superficie. En este sentido existe una continua interacción entre el modelado de superficie y las redes subterráneas. Se trata así de una evolución dinámica, donde operan varios procesos y factores a distintas escalas.

En esta nota hemos pasado revista a los principales problemas técnicos y dificultades que presenta la exploración de simas y galerías con colapsos y conductos de débil diámetro en esta litología. Destacando a la vez que muchas de las cavidades exploradas poseen continuaciones practicables (bajo condiciones adecuadas, que no impliquen excesivos riesgos). Lo que podría incrementar, incluso considerablemente, las dimensiones de las cuevas individuales conocidas.

La región resulta notable por el alto número de cavidades que contiene y por la diversidad de las mismas. Algunas poseen distintos tipos de espeleotemas y geoformas, otras albergan fauna cavernícola de interés (incluyendo poblaciones de quirópteros). Hasta hace poco se suponía que en las Bardenas sólo existían pequeñas cuevas y oquedades, pero estamos viendo que pueden formarse sistemas hidrogeológicos extensos, con gran número de simas y cuevas, de hasta cientos de metros de desarrollo (sólo las cavidades de la Tabla 1 suman 2.463 m de desarrollo de galerías). Las mayores cavidades sabemos hoy que pueden superar los 500 m de desarrollo, mientras que los sistemas de drenaje abarcan mayores extensiones, con hasta -100 m de desnivel entre las bocas superiores y las zonas de surgencia. Los procesos de piping, además de formar cavidades, intervienen también en la génesis de gullies y en la ampliación de las redes de cañones y barrancos que entallan las planicies y taludes de las mesetas.

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, de interés para la Karstología y la Biología subterránea.





**Figura 17.** Cueva Nasa Alta 10, de 50 m de desarrollo. Constituye una galería en bypass del cauce de un cañón de superficie y presenta tramos de arrastraderos y una claraboya intermedia.





**Figura 18.** Sima Nasa Alta 11. Vertical de acceso y detalle de la elección del punto de instalación de la cuerda para evitar roces que puedan producir la caída de bloques.





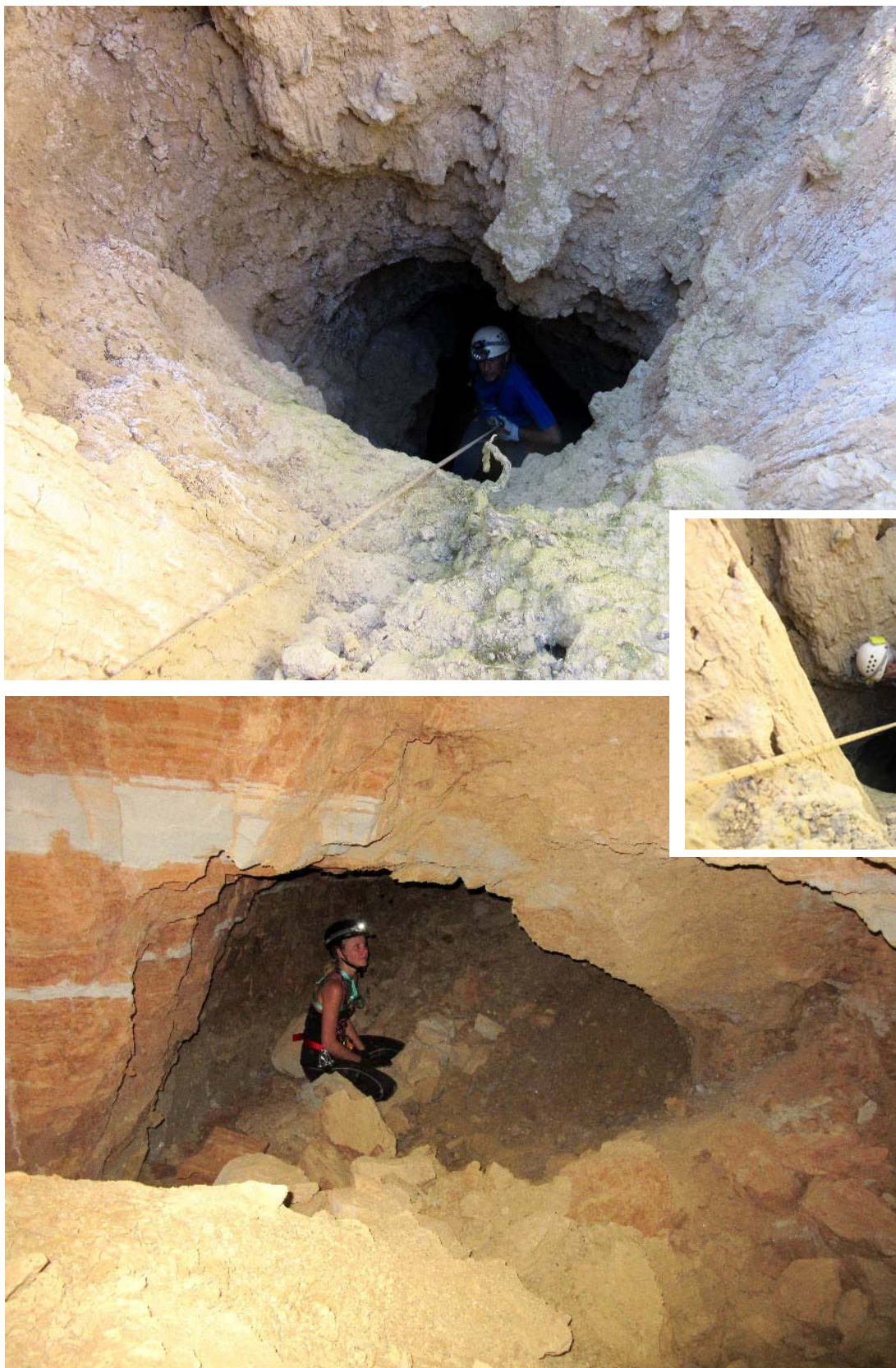
Figura 19. Cueva Los Sorianos 02, de 50 m de desarrollo, con un ejemplar de *Myotis* en vuelo.





**Figura 20.** Nasa Alta 02 (arriba), Nasa Alta 03 (centro) y sima Nasa Alta extremo Norte 18 (debajo). Bocas, galerías principales, cauces con suelos poligonales y espeleotemas de illita y de yeso.





**Figura 21.** Sima Nasa Alta extremo Norte 06. Secuencia del descenso de la sima de acceso y galería inferior. La cavidad totaliza 102 m de desarrollo y -22 m de desnivel.





**Figura 22.** Amplia galería de 40 m en la cueva La Nasa 02 (arriba), sima Nasa Alta extremo Norte 22 vista desde el interior (centro) y cueva Nasa Alta extremo Norte 21 (debajo), con suelos pulverulentos y clastos incluidos en la matriz arcillosa.





**Figura 23.** Cueva del Abejar, de 72 m de desarrollo y +12 m de desnivel. Detalles de la boca inferior, galerías con cauce subterráneo y tramo superior con varias claraboyas abiertas a superficie (Bardena Negra).





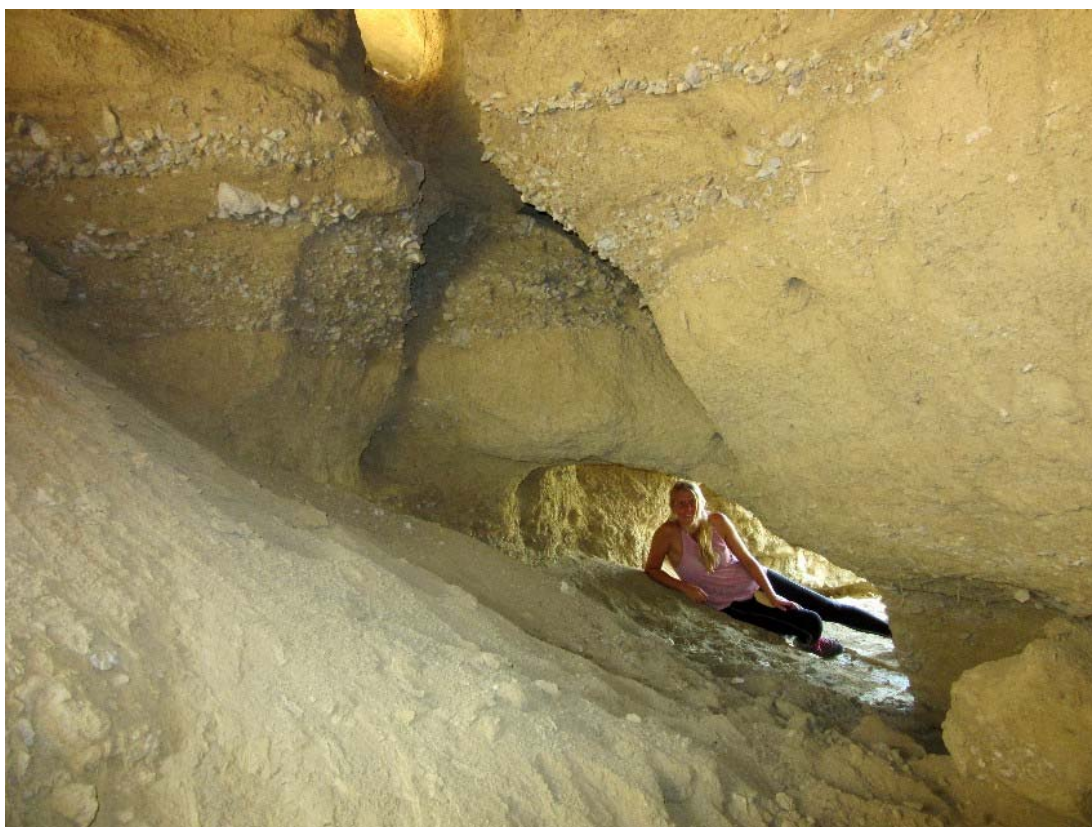
**Figura 24.** Prospecciones en el sector de El Caidero (arriba). Descenso de la sima El Caidero Sur 04, de -22 m de desnivel (centro y debajo izquierda) y sima El Caidero Sur 05, de -10 m de desnivel (inferior derecha).





**Figura 25.** Barranco Grande Sistema 1, cavidad de 78 m, +12 m, con varios niveles (arriba) y Barranco Grande Sistema 2, de 82 m, +16 m (centro y debajo), con simas y pequeños conductos con cauces entallados.





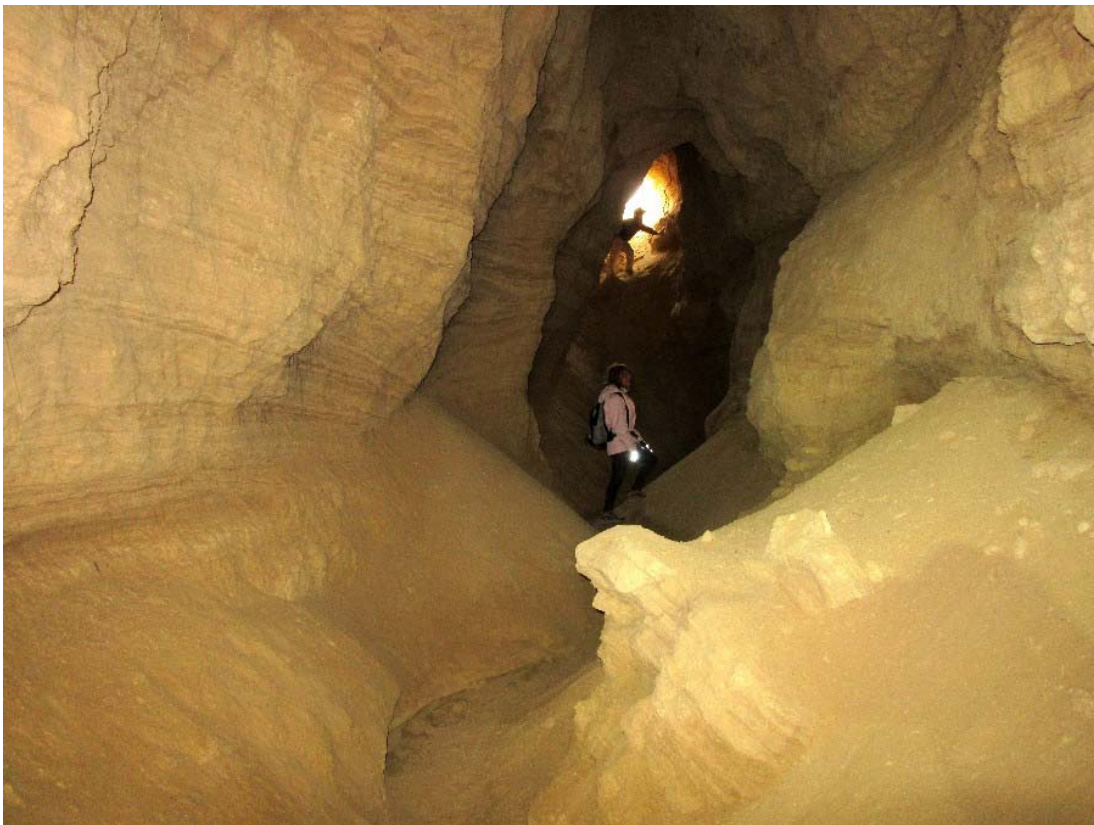
**Figura 26.** Relieve de pequeños barrancos en la cabecera del Barranco de Las Cuevas (Bardena Blanca, arriba) y cueva Loma de la Madera 02, cueva-túnel de 30 m, con suelos de arcilla fina e hiladas de clastos angulosos de caliza intercalados en la serie arcillosa (debajo).





**Figura 27.** Cueva Las Bodegas 03, boca inferior surgente, abierta en una repisa del Cañón de Las Bodegas (Bardena Blanca, arriba), y galería-túnel que enlaza con una depresión superior, la cual posee varias simas internas (debajo). Totaliza 65 m de desarrollo y presenta un cauce entallado en el suelo de arcillas finas.





**Figura 28.** Tramo central y boca superior de la cueva Las Bodegas 03, de 65 m de desarrollo. La mayor parte del crecimiento volumétrico de la cavidad se ha producido por desagregación intergranular de los materiales arcillosos. Posee un cauce sinuoso, entallado en arcillas finas desagregadas de las paredes.





**Figura 29.** Cueva Las Bodegas 04. Posee una intrincada red arborescente de galerías, con varios niveles superpuestos, de distintos diámetros, intercomunicados por simas y claraboyas, así como geofomas cónicas en superficie. La cavidad tiene más de 500 m de desarrollo explorado, pero sólo se han topografiado 248 m en la red principal de galerías, restando muchos conductos por explorar y topografiar adecuadamente.





**Figura 30.** Cueva Las Bodegas 06, de 128 m de desarrollo, durante su topografía tras cortas lluvias. Charcos de agua y barro en el cauce de la galería principal y rellenos de colapso bajo claraboyas.



## AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en las exploraciones efectuadas en la región de las Bardenas y de modo especial para este trabajo a David Arrieta, Daniel Arrieta, Ainhoa Miner e Iñigo Herraiz. A dos árbitros de la Sociedad Venezolana de Espeleología y Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión del manuscrito y sus útiles sugerencias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Desir, G. & Marín, C. 2007. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena*, 71: 31-40.
- 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. 2015. Cuevas de tubificación y cárcavas en arcilla: pseudokarst de las Bardenas. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 51 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; Dv. Arrieta & Daniel Arrieta. 2015. Espeleotemas y quirópteros en una cueva en arcilla de 158 m de desarrollo (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.
- Galán, C.; D. Arrieta; M. Nieto & J. Forstner. 2016. Cuevas en arcilla en el barranco Norte de La Nasa (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 48 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. 2017a. Nasa Alta extremo Norte: sistema de simas en arcillas Miocenas (Bardenas). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 50 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2017b. Cavidades en arcilla y sistemas de simas en El Caidero (flanco Este de la Plana de La Negra, Bardena aragonesa). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz; D. Arrieta & J. Forstner. 2017c. 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.
- 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.
- 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*. Geological Society of America, Special Paper 252.