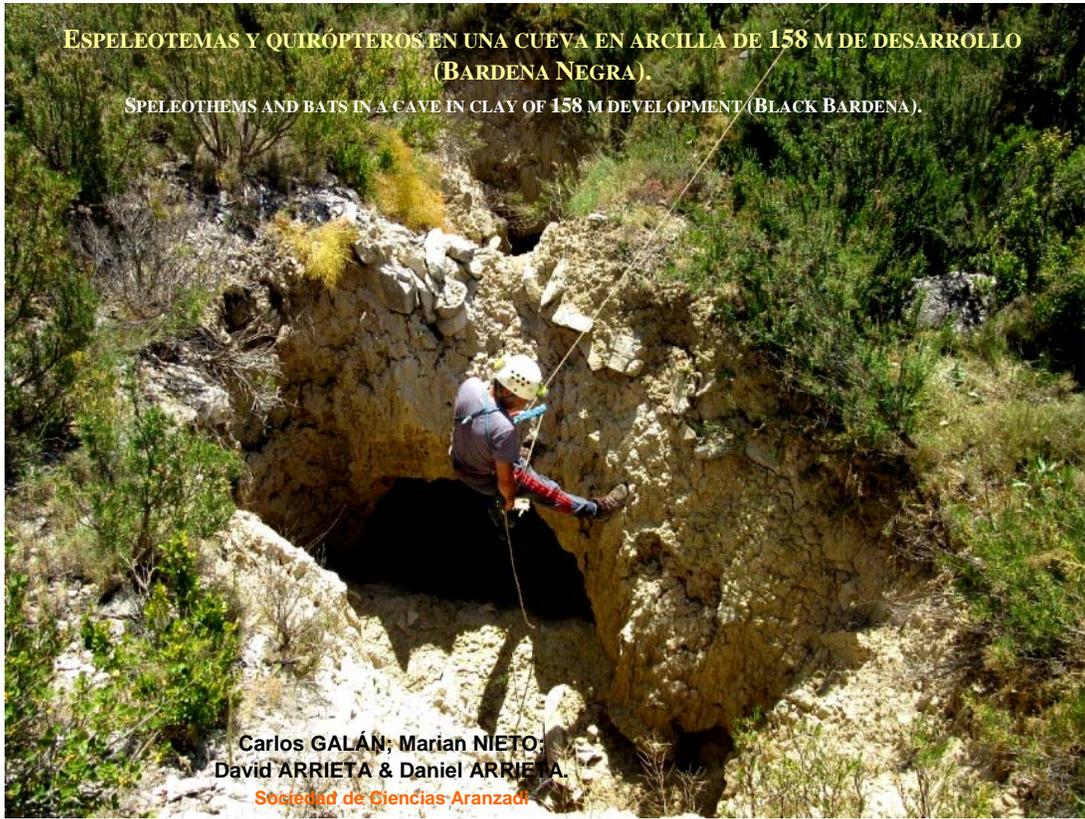


**ESPELEOTEMAS Y QUIRÓPTEROS EN UNA CUEVA EN ARCILLA DE 158 M DE DESARROLLO
(BARDENA NEGRA).**

SPELEOTHEMS AND BATS IN A CAVE IN CLAY OF 158 M DEVELOPMENT (BLACK BARDENA).



**Carlos GALÁN; Marian NIETO;
David ARRIETA & Daniel ARRIETA.**
Sociedad de Ciencias Aranzadi

ESPELEOTEMAS Y QUIRÓPTEROS EN UNA CUEVA EN ARCILLA DE 158 M DE DESARROLLO (BARDENA NEGRA).

SPELEOTHEMS AND BATS IN A CAVE IN CLAY OF 158 M DEVELOPMENT (BLACK BARDENA).

Carlos GALÁN; Marian NIETO; David ARRIETA & Daniel ARRIETA.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Junio 2015.

RESUMEN

Las cuevas en arcilla son muy raras a nivel mundial. Su espeleogénesis resulta de interés en Karstología por producirse por procesos de remoción subterránea grano-a-grano de las partículas arcillosas, con poca o nula intervención de la disolución, lo que ha sido denominado proceso de tubificación o piping en materiales arcillosos. Su formación está asociada a la erosión de superficie y a la evolución de cárcavas y cañones, los cuales actúan como nivel de base local para el flujo de las aguas subterráneas.

En este trabajo describimos una cueva recientemente descubierta en la región de Las Bardenas (Navarra) que conecta una dolina con la cabecera de un cañón y posee 158 m de desarrollo de galerías y -18 m de desnivel. La cavidad presenta el interés adicional de poseer espeleotemas de yeso y de calcita, así como de estar habitada por una colonia de quirópteros.

Se describe también un sistema interconectado de simas, que alcanza -17 m de desnivel y 50 m de desarrollo, más otros sistemas de cavidades en arcilla (con torres, pináculos y simas internas), así como espeleotemas de mica-illita formadas por fluidificación de las arcillas en épocas húmedas. El trabajo incluye ejemplos adicionales de túneles en el interior de cañones y pequeñas cavidades surgentes que aportan afluentes de régimen hídrico temporal, ya que se trata de una región árida a desértica.

Se describe, discute e ilustra (con fotografías) los principales rasgos y morfologías encontradas y su probable génesis, destacando que la región de estudio constituye un tipo singular de karst en arcilla, novedoso a nivel global.

Palabras clave: Espeleología, karst, cuevas en arcilla, tubificación, geomorfología, espeleogénesis, zoología, quirópteros.

ABSTRACT

Clay caves are uncommon worldwide. Its genesis is of interest in Karstology by occur through processes of underground removal grain-to-grain of clay particles, with little or no intervention from the dissolution, what it has been called tube formation or piping process in clay materials. Its formation is associated with surface erosion and to the evolution of gullies and canyons, which act as local base level for the flow of groundwater.

In this paper we describe a cave recently discovered in the region of Las Bardenas (Navarra) connecting a sinkhole with the head of a canyon. The cave has 158 m of galleries development and -18 m of depth. The cavity has the additional interest of having speleothems of gypsum and calcite, as well as being inhabited by a colony of bats.

An interconnected system of potholes, reaching -17 m depth and 50 m of development is also described, and other systems of cavities in clay (with towers, pinnacles and internal chasms), and mica-illite speleothems formed by fluidization of clays in wet periods. The work includes additional examples of tunnels inside gullies and small upwelling caves tributaries that provide temporary water regime, as it is in an arid to desertic region.

It describes, discusses and illustrates (with pictures) the main features and morphologies found and its probable genesis, noting that the study region is a singular type of clay karst, new globally.

Keywords: Speleology, karst, caves in clay, piping, geomorphology, speleogenesis, zoology, bats.

INTRODUCCIÓN

La región de Las Bardenas posee una topografía singular, con relieves tabulares y una red entallada de drenaje temporal, desarrollada sobre materiales arcillosos, de edades Mioceno a Holoceno. Se trata de una región árida a desértica situada en el SE de Navarra, limítrofe con Aragón, la cual se extiende hasta el valle del Ebro. Su extensión es considerable, ya que cubre 40 km en sentido N-S por algo más de 20 km en sentido E-W, con una superficie total que supera los 600 km². La región formó parte de una cuenca endorreica durante el Eoceno-Mioceno (la depresión o lago del Ebro), y fue rellenándose de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos y margosos), con áreas locales de marcado carácter evaporítico.

Nuestro conocimiento de la región se remonta a la década de los años 1960. A título anecdótico comentaré que siendo entonces estudiantes de Ciencias Biológicas en la Universidad de Navarra, junto a otros compañeros biólogos y escaladores (como Patxi Iriarte y Ramón Elósegui), nos interesamos en el estudio de la fauna de rapaces, prospectando numerosos cañones, peñas y barrancos en muchas partes de Navarra (por ejemplo: Foz de Arbayún, Foz de Lumbier, Las Bardenas, Sierras de Leyre, Aralar, Alaiz, Labia, Urbasa y muchos otros puntos con paredes y roquedos donde anidaban buitres y otras rapaces, cuya biología era entonces muy poco conocida). Los hermanos Ramón y Jesús Elósegui prosiguieron entonces esa tarea, aportando numerosos estudios de interés ornitológico. Nuestra colaboración era útil para acceder a cornisas en paredes verticales y flancos abruptos, habitados por rapaces, pero a la vez aprovechábamos esas salidas para la búsqueda de cuevas, ya que nuestro interés se centraba más bien en los estudios sobre quirópteros y fauna cavernícola, así como en la práctica de la espeleología y la escalada en roca.

Ya desde entonces, aparte de estudiar numerosas simas y cuevas en caliza (= karst clásico), pudimos apreciar que también se encontraban cavidades subterráneas en otras litologías, tal como los materiales arcillosos de Las Bardenas. De hecho, para esa época exploramos una cueva en arcilla de 60 m de desarrollo, en la Bardena Blanca. En años posteriores volvimos a explorar la región bardenera con Garikoitz Estornés Zubizarreta, para obtener información y fotos para la Enciclopedia General Ilustrada del País Vasco que editaba entonces, en tomos sucesivos, la Editorial Auñamendi. En esas salidas también encontramos cuevas adicionales en arcilla, pero de escasa entidad. En esa época, en el centro de la región estaba activo y operaba el Polígono Militar (con prácticas de tiro y bombardeo con aviones). Entre eso y que la litología arcillosa era (comparada con el karst clásico en caliza) poco propicia para albergar grandes cuevas, el tema de efectuar estudios geo y bioespeleológicos en dicha región fue quedando relegado al olvido. Pero lo hemos retomado en años recientes, con interesantes descubrimientos (Galán & Nieto, 2015 a, 2015 b).

Las Bardenas ofrecen paisajes prácticamente desérticos (en medio de la verde región vasco-navarra), que llaman la atención por poseer enclaves de gran interés geológico, geomorfológico y faunístico. Si a ello sumamos su carácter agreste, de amplios espacios abiertos, con climas áridos continentales a sub-mediterráneos, se comprenderá que la región contiene múltiples valores naturales, medio-ambientales y de gran belleza estética, a pesar de la humanización del territorio (Figura 1).

Nuestro interés por realizar prospecciones se centra en la ocurrencia de cuevas en arcilla y aspectos propios del ámbito de la karstología o espeleología científica, fauna cavernícola y ecología (en sentido amplio). Las exploraciones recientes han permitido hallar más de 100 cavidades en arcilla en Las Bardenas, incluyendo cuevas de hasta 60 m de desarrollo, sistemas interconectados de simas a lo largo de -80 m de desnivel, y numerosas geoformas de interés científico. Inicialmente encontramos cavidades en materiales arcillosos poco consolidados en planicies de edad Holoceno, generalmente asociadas a la formación de cárcavas y cañones en la Bardena Blanca, generadas por procesos de piping, demostrando que existe una co-evolución entre la formación de cavidades de piping y la erosión remontante de las cabeceras de gargantas y cañones entallados o gullies (Galán & Nieto, 2015 a).

Posteriormente, en la Bardena Negra, hemos encontrado cuevas y sistemas de simas tanto en taludes de fuerte declive como en el interior de cañones, pero en arcillas y lutitas más compactas (con intercalaciones delgadas de niveles de calizas y margas) en materiales de edad Plioceno de la Formación Tudela (Galán & Nieto, 2015 b).

Como continuación de estos trabajos seguimos explorando los taludes basales de relieves de la Formación Tudela en zonas donde las observaciones de campo, así como la fotografía aérea y la cartografía, mostraban la presencia de depresiones y dolinas, por encima del nivel de cabecera de los barrancos y bajo las paredes verticales de las mesetas. Estas prospecciones están revelando que existe todo un conjunto muy original de fenómenos kársticos en lutitas y arcillas, con sistemas de cavidades de mayor complejidad y extensión, como las que presentaremos en esta nota y que incluye una cueva de 158 m de desarrollo y -18 m de desnivel. A la vez destaca que la proliferación de este tipo de cavidades puede estar mucho más ampliamente extendida que lo inicialmente supuesto y es de esperar nuevos hallazgos de cavidades aún mayores.

Cabe destacar que las cuevas en arcilla son inusuales o extremadamente raras a nivel mundial. Los mejores ejemplos hasta ahora conocidos correspondían a las denominadas Mud Caves de Arroyo Tapiado, situadas en el área desértica de Anza-Borrego, California (USA), donde el flujo de aguas subterráneas ha excavado por procesos de piping 22 cuevas en arcilla, alcanzando la mayor de ellas 280 m (Lindsay & Lindsay, 1985; Bremner, 2009). Los ejemplos que estamos encontrando en Las Bardenas, probablemente superan en diversidad geomorfológica, número y extensión a las citadas de Arroyo Tapiado, sumando todo un conjunto de tipos distintos de cavidades y rasgos novedosos a nivel mundial.

Los procesos de piping pueden ocurrir en distintas litologías, pero en el caso de arcillas y lutitas, generalmente involucran la remoción intergranular de partículas arcillosas, con poca o nula intervención de la disolución. No obstante, en nuestro caso, creemos que los procesos de disolución pueden también influir en la espeleogénesis, sobre todo en sus fases iniciales, ya que también encontramos (y reportamos por primera vez) el caso inverso de precipitación de minerales secundarios, con la consiguiente formación de espeleotemas, de yeso, calcita, mica-illita y tal vez de otros minerales y/o combinaciones minerales novedosas.

La utilización del término karst o pseudokarst para este tipo de cavidades y fenómenos es controversial. A menudo hidrólogos, geomorfológicos y karstólogos han utilizado diferentes terminologías, aunque sus conclusiones son muy similares, como bien han señalado autores como Higgins & Coates (1990), Dunne (1990), Parker et al (1990), Halliday (2004), entre otros. Preferimos volver a tocar este punto en la discusión, después de exponer los resultados concretos obtenidos, ya que a menudo los hechos explican más y aportan más claridad comprensiva que las definiciones teóricas.



Figura 01. Flanco W de la Nasa Baja (Bardena Negra). Cárcavas (= gullies) formadas por procesos de tubificación o piping en la zona Sur de Majadalinos.



Figura 02. Sector de Majadalinos. A medida que se asciende hacia la base del flanco W de la Nasa Baja, se encuentran gargantas más entalladas, depresiones y simas.



Figura 03. Sistemas laberínticos de depresiones de -7 á -12 m de desnivel, con torres, pináculos y simas internas.



Figura 04. Simas subcirculares y alargadas, de hasta -10 m de desnivel, con marcados surcos verticales en las paredes y torres internas.



Figura 05. Sistemas de simas interconectadas que perforan un estrato de caliza margosa. Alcanzan hasta -20 m de desnivel, terminando en obstrucciones y grietas menores.



Figura 06. Sistema de simas interconectadas que alcanza -17 m de desnivel y 50 m de desarrollo de galerías. Detalle de varias bocas y tramo inicial del descenso hacia el interior del sistema.

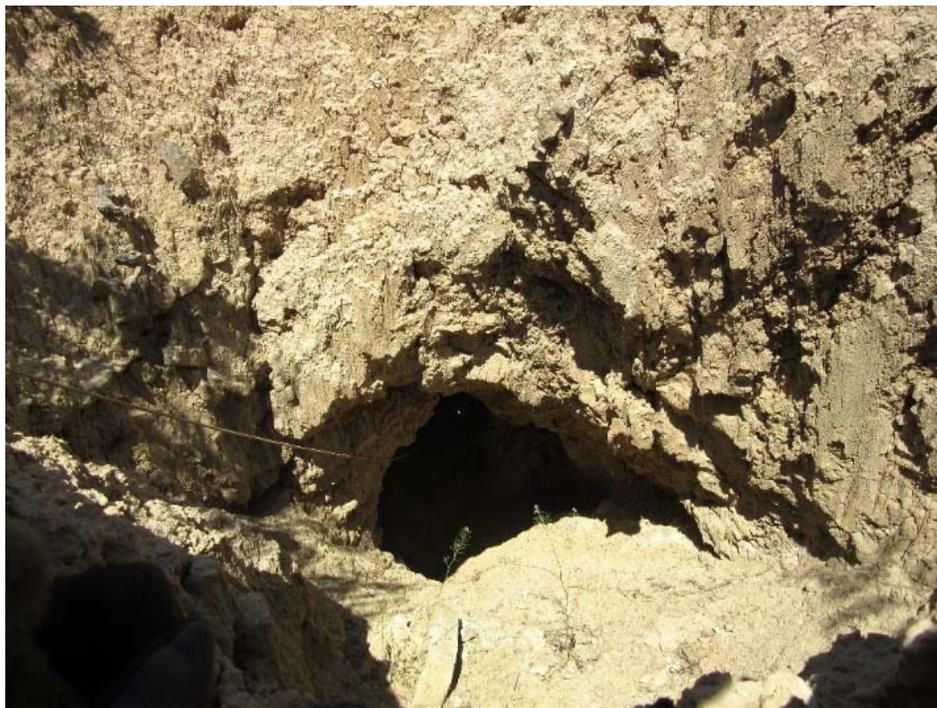
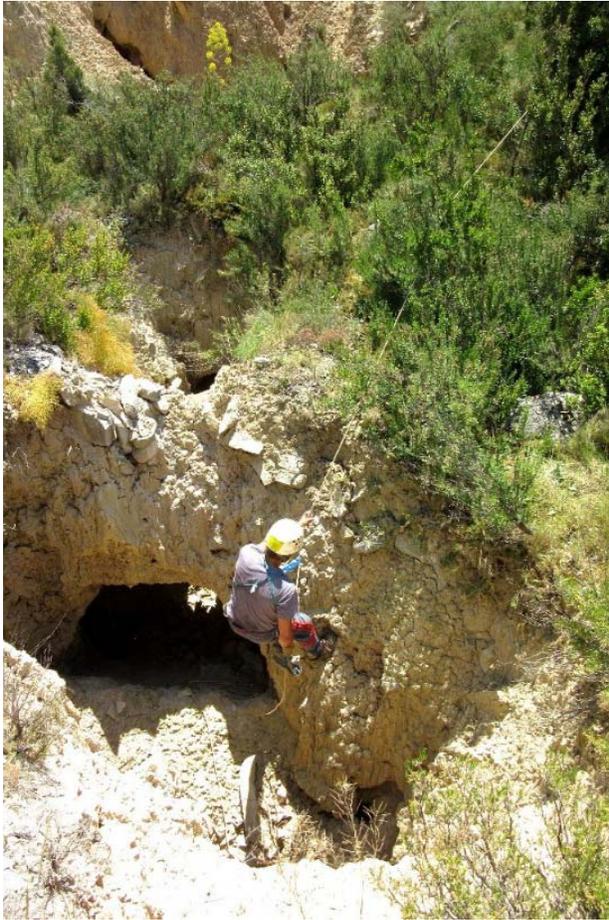


Figura 07. Vista del descenso y ascenso en jumars del pozo de -17 m en un sistema de simas en la parte basal del flanco W de la Nasa Baja, en la Bardena Negra.

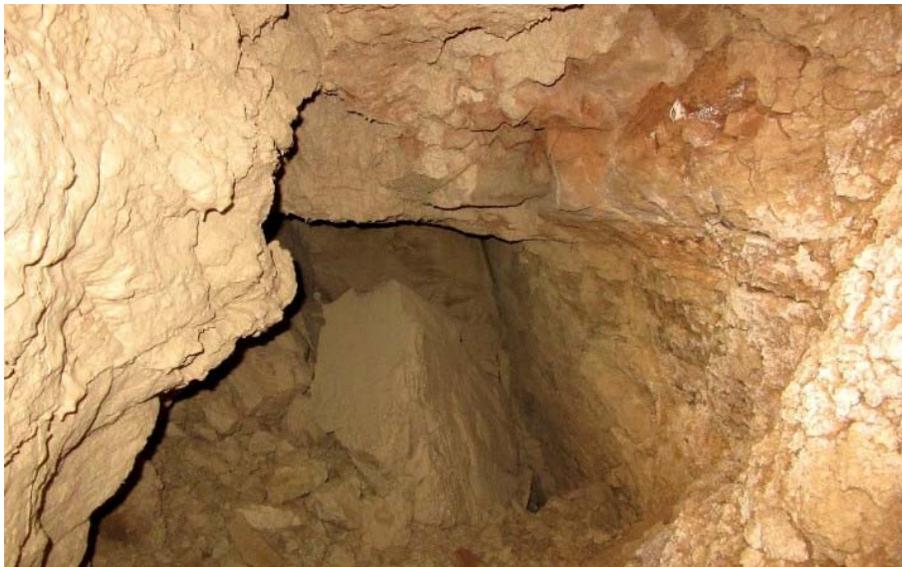


Figura 08. Rama de -17 m de desnivel de un sistema de simas de 50 m de desarrollo, finalizada en obstrucción por derrumbe (imágenes con flash).



Figura 09. Vistas desde la galería subhorizontal de otra rama del sistema de la Figura 08. Puede apreciarse la luz entre bocas, un tramo horizontal y vista hacia la boca de acceso.



Figura 10. Dolina de 24 m de diámetro, con dos pequeñas oquedades en su extremo E y boca de una cueva en la parte más profunda (-10 m) del lado W. Parte del perímetro es vertical.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos presentados son el resultado de exploraciones efectuadas en una zona de la Bardena Negra (Navarra). Se utilizaron los materiales y equipos habituales en prospecciones espeleológicas (cascos con iluminación de Leds, cuerda estática y jumars, instrumental topográfico de precisión Suunto y material de colección de fauna cavernícola). Observaciones de campo previas y el análisis de información cartográfica, geológica y fotografía aérea, nos permitió seleccionar la zona de estudio y los puntos o enclaves más propicios para el hallazgo de simas y cuevas, descubriendo otras sobre el terreno. Las cavidades exploradas y los datos sobre sus principales rasgos geomorfológicos son ilustrados con fotografía digital. Las topografías han sido dibujadas con el programa Freehand. Muestras puntuales de la roca-caja y espeleotemas halladas en las cuevas están siendo estudiadas, de modo preliminar, en el Laboratorio de Bioespeleología de la S.C. Aranzadi.

RESULTADOS

El área estudiada en esta nota se sitúa en una zona limítrofe entre Navarra y Zaragoza, al Norte del Portillo de Santa Margarita (km 18 de la carretera Tudela - Ejea de los Caballeros), y comprende los taludes del flanco W de la alargada meseta denominada Nasa Baja, de 602 m snm de altitud. Esta meseta es la continuación geológica de la Plana de La Negra, y forma hacia el N una alargada cresta que constituye la divisoria de aguas y el límite entre ambos territorios. Una descripción general de esta región ha sido expuesta en un trabajo previo (Galán & Nieto, 2015 b). El flanco W prospectado comprende las zonas de Majadalinós, Nasa Baja, Los Sorianos, Salto de Vallejo y colinas circundantes, entre cotas de 420 y 550 m de altitud.

Los taludes de la Nasa Baja están constituidos por materiales arcillosos con intercalaciones de calizas y margas de la Formación Tudela, de edad Mioceno (Aragoniense). En el área de estudio, Faci Paricio et al (2006) han cartografiado tres unidades litoestratigráficas:

(1) En el tope de la meseta aflora una unidad de calizas, margas y arcillas (nivel 399 en la Cartografía Geológica de Navarra), que tiene por base un potente nivel calizo de 4-5 m de espesor. (2) Bajo él, en los flancos y paredes subverticales de la meseta, aflora un nivel de arcillas rojas con espesores de 50 á 75 m (nivel 398), el cual contiene delgadas intercalaciones de caliza y nivelitos de arenisca, con profusión de paleocanales. (3) A menores cotas se desarrolla otra unidad de arcillas y margas ocre y grises con niveles de caliza y margocaliza (nivel 396), de espesor variable, dependiendo de su interdigitación con unidades lutíticas infrayacentes. Llega a alcanzar 100 m de espesor. Las arcillas son algo limosas y generalmente de tonalidades ocre, aunque también son frecuentes niveles grises en tramos de espesor decimétrico a métrico. Los niveles de caliza tienen texturas de tipo grainstone y grano fino, y se manifiestan en capas decimétricas que pueden amalgamarse en niveles de hasta 2 m. Las capas de margas son también frecuentes, de colores grises y espesores centimétricos a decimétricos. La mayor parte de las cavidades exploradas se encuentran en el nivel inferior (396) y algunas otras en la base del nivel intermedio (398).

Desde el punto de vista sedimentológico, la unidad intermedia representa un sistema fluvial que hacia el N pasa a una llanura lutítica distal con algunos pequeños lagos carbonatados. La unidad inferior representa distintos episodios de sedimentación caliza en pequeños lagos de carácter relativamente efímero y salino, alternando con episodios en los que domina la sedimentación terrígena en ambientes de llanura lutítica aluvial, surcada localmente por pequeños canales fluviales sinuosos.

La parte N del flanco W de la Nasa Baja tributa hacia la red de drenaje del Barranco de los Sorianos (afluente a su vez del Barranco del Belcho, que recorre la parte S de la depresión central de las Bardenas hacia el SW, para tributar al río Ebro), mientras su parte meridional (zona de Majadalinós) tributa su drenaje hacia el Barranco de San Gregorio, para desaguar también al Ebro, algo más al Sur que el anterior. Así que existe también una divisoria de aguas entre ambos barrancos formada por una estribación E-W de la Nasa Baja, con toda una serie de lomas y colinas menores donde, precisamente, son comunes conjuntos de depresiones topográficas y dolinas, en la parte basal del flanco W de la Nasa Baja.

La cuenca endorreica de las Bardenas se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos y margosos) durante el Eoceno-Mioceno, y 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 cerros cónicos de formas caprichosas característicos de la región. Durante el Cuaternario, la dinámica erosiva fluvial ha seguido profundizando el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida en las laderas, a lo que se suma la incisión Holocena de la red de drenaje en las planicies. A la que sin duda contribuyen los procesos subterráneos de tubificación o piping, con la consiguiente formación de cavidades.

Desde un punto de vista climatológico, la región se caracteriza por poseer un clima continental árido, con un promedio anual de precipitaciones de 350 mm, variable según los años. Los contrastes térmicos son también importantes, con temperaturas que superan los 40°C en verano y -5°C en los meses invernales, cuando son frecuentes las heladas. Cabe destacar que las lluvias son poco frecuentes y muy variables a lo largo del año, oscilando entre valores mensuales de 10 á 55 mm, aunque algunos años húmedos pueden duplicar estas cifras. Por lo general hay dos máximos pluviométricos anuales (a fin de primavera e inicio 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).

La capacidad expansiva y el alto contenido en yeso y sales de sodio de los materiales arcillosos predominantes, facilitan la infiltración y el desarrollo de los procesos de piping. En zonas de talud, con materiales arcillosos poco litificados, las diferencias de cota pueden establecer un fuerte gradiente hidráulico, que facilita la formación de cavidades. Puede comprenderse que la erosión subterránea llega a ser muy importante durante las crecidas, excava el terreno y produce colapsos y aplastamiento de las galerías ya formadas, por lo que la exploración de estas cavidades entraña riesgos y sólo debe abordarse en condiciones adecuadas (épocas secas) y/o cuando los conductos presentan cierta estabilidad.

Cabe también mencionar que en el talweg de los barrancos se encuentran rellenos y acumulaciones detríticas aluviales-coluviales, que incluyen bloques colapsados de las laderas, así como rellenos de limos, arcillas, arenas y gravas, con cantos angulosos de tamaño muy variable. Algunos de estos depósitos arcillosos poseen delgadas hiladas de cantos de caliza y arenisca, de débil espesor, donde resulta difícil discriminar entre la parte derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional, y a los que se asigna una edad Holoceno. En estos materiales también se encuentran cavidades, a veces formando túneles o tramos techados en los cauces, y otras veces presentan cuevas y mesocavernas con flujos surgentes de circulaciones subsuperficiales que drenan los terrenos contiguos hacia el nivel de base local impuesto por el fondo de los barrancos.

DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES Y GEOFORMAS

En las zonas prospectadas, a lo largo del flanco W de la Nasa Baja, hallamos distintos tipos de cavidades, distribuidas de modo heterogéneo (sin seguir un patrón definido) y con características disímiles. Describiremos los sistemas encontrados siguiendo su localización de Sur a Norte, que corresponde aproximadamente al orden en que fueron explorados.

(1) En la zona de Majadalinos, avanzando hacia la Nasa Baja, desde el plano inferior ya se aprecia la existencia de pequeños barrancos y cárcavas, a menudo con cavidades de piping en el borde de los cauces entallados. Estos fenómenos son por demás frecuentes y contribuyen al retroceso o erosión remontante de la cabecera de los barrancos. A medida que se asciende en altitud, aparecen nuevas grietas, cárcavas y estrechos cañones entallados de mayor desnivel de sus paredes (Figuras 1 y 2).

En los interfluvios entre barrancos y zonas con pequeñas colinas y elevaciones, más próximas al talud del flanco W de la Nasa Baja, encontramos un primer tipo de cavidades de piping, de mayor envergadura y curiosa morfología. Se trata de depresiones verticales, de -7 a -12 m de desnivel, que poseen en su interior un auténtico laberinto de crestas, agudas torres y altos pináculos (Figuras 3 y 4). Las arcillas Miocenas incluyen numerosos clastos y fragmentos de rocas duras, los cuales (como en el caso del emblemático Castil de Tierra y otras "Chimeneas de las Hadas") coronan y forman el tope de estas estilizadas agujas, en cuyas paredes también se observan otros clastos sobresalientes. En la base de las depresiones hay simas internas y mesocavernas, que terminan obstruidas por colapso o prosiguen a través de grietas y canaliculos menores, impracticables para el paso del ser humano pero que atraviesan las aguas de infiltración. Se puede decir que se trata de zonas de drenaje vertical que luego deben seguir a mayor profundidad como flujos subterráneos subhorizontales hacia el nivel de base local impuesto por el fondo de los barrancos, hacia los cuales desaguan.

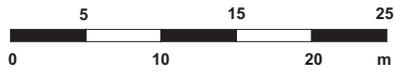
Al lado de estos laberintos (con torres y pináculos internos) hay también simas y dolinas simples, subcirculares, que profundizan en torno a -10 m de desnivel, y finalizan en obstrucciones (Figura 4). Muchas de ellas presentan marcados surcos verticales en sus paredes. Aunque sus dimensiones son modestas, sus morfologías no dejan de ser curiosas. Este tipo de cavidades, en este sector, drena subterráneamente hacia el SW, para tributar a la cuenca del Barranco de San Gregorio.

(2) A 100 m al NE del área anterior y a mayor altitud, bajo la base de la unidad litoestratigráfica intermedia de arcillas rojas, encontramos otros curiosos conjuntos de simas, del orden de -10 a -20 m de desnivel. El más importante y significativo de los estudiados se desarrolla inmediatamente por debajo y perforando un estrato resistente de caliza margosa, de 50 cm de espesor. En las arcillas bajo él se ha formado un conjunto de simas, interconectadas en sus bases por galerías subhorizontales. Desde superficie se puede ver en algunos casos la luz que alcanza la base de otras simas próximas, pero otras veces quedan semiocultas por la vegetación arbustiva que enmascara el terreno en la proximidad de las bocas (Figuras 5 y 6).

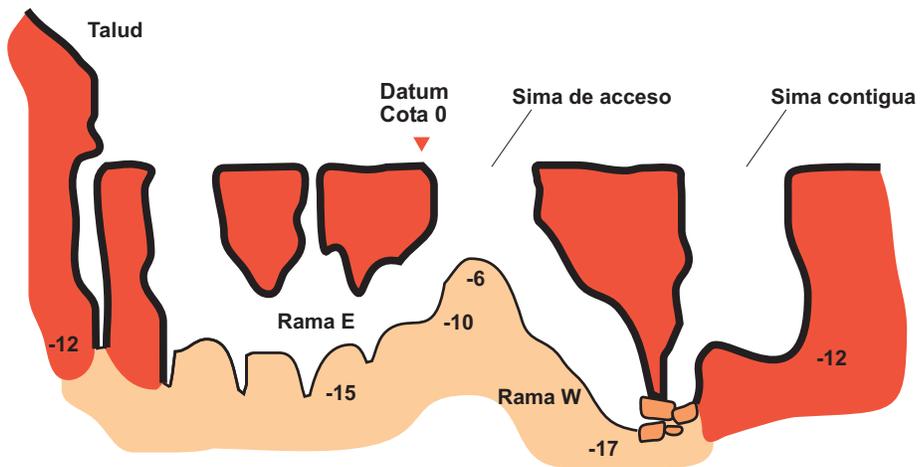
Seleccionando una boca, que parecía conducir a la zona más profunda, exploramos este sistema, cuya topografía se anexa. El amplio pozo de entrada se ramifica en la cota -6 m en dos galerías. La rama W prosigue en oscuridad en sima que alcanza -17 m de desnivel y finaliza obstruida por derrumbe. Un inestable relleno de bloques térreos, de escasos 2 m de espesor, impide el paso al fondo de una sima adyacente. La rama E sigue en rampa hasta -10, donde forma una galería en penumbra, subhorizontal, que enlaza con la base de otras simas o claraboyas situadas al E de la misma, y que se extienden hasta la base del estrato o reborde calizo observado en superficie. El suelo, irregular, presenta elevaciones y hondonadas con grietas menores, pero las partes accesibles no llegan a superar los -20 m de desnivel. Las galerías de este sistema de simas totalizan 50 m de desarrollo (Figuras 6 a 9). No es claro si el drenaje subterráneo tributa hacia la zona de Majadalinos o si lo hace hacia una de las cabeceras del barranco de Los Sorianos. El dispositivo estructural tiene un ligero buzamiento Sur, por lo que nos inclinamos hacia la primera posibilidad.

Plano Topográfico 1: Sistema de Simas.

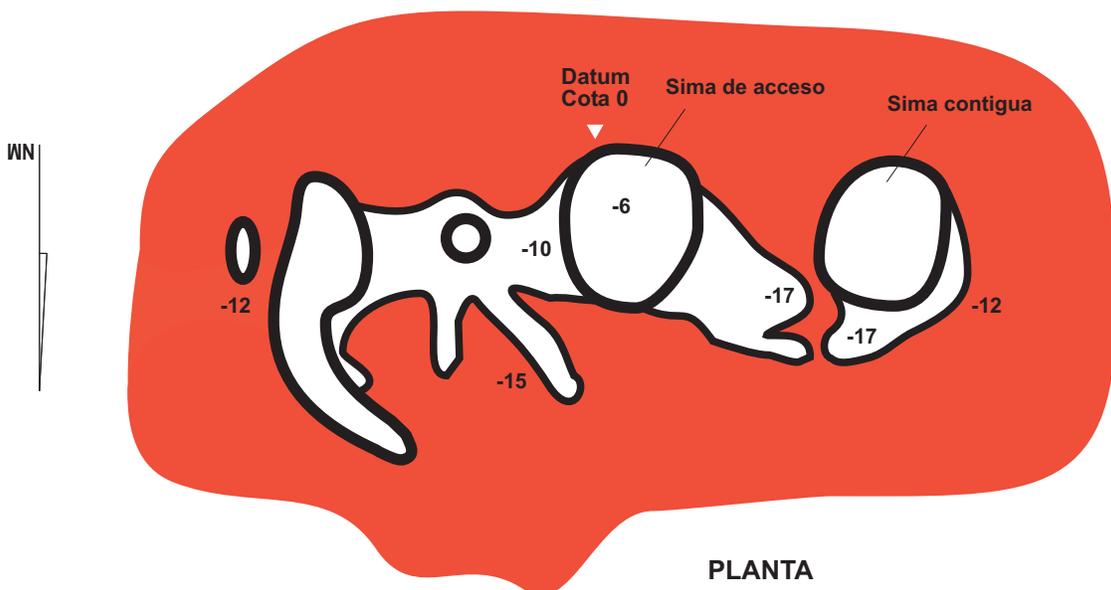
Sistema Simas Nasa baja W1



Localización. Coordenadas UTM 30N:
N 4.665.395; E 632.220; Altitud: 470 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 50 m. Desnivel -17 m.
Topografía: C.Galán; M.Nieto; Dv.Arrieta & D.Arrieta. SCA. 2015.
Dibujo: C.Galán. Lab. Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



PERFIL DESPLEGADO



PLANTA

Plano Topográfico 2: Cueva de 158 m.

Cueva Nasa baja w2



Localización. Coordenadas UTM 30N:
N 4.665.492; E 632.095; Altitud: 475 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 158 m. Desnivel -18 m.
Topografía: C.Galán; M.Nieto; Dv.Arrieta & D.Arrieta. SCA. 2015.
Dibujo: C.Galán. Lab. Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

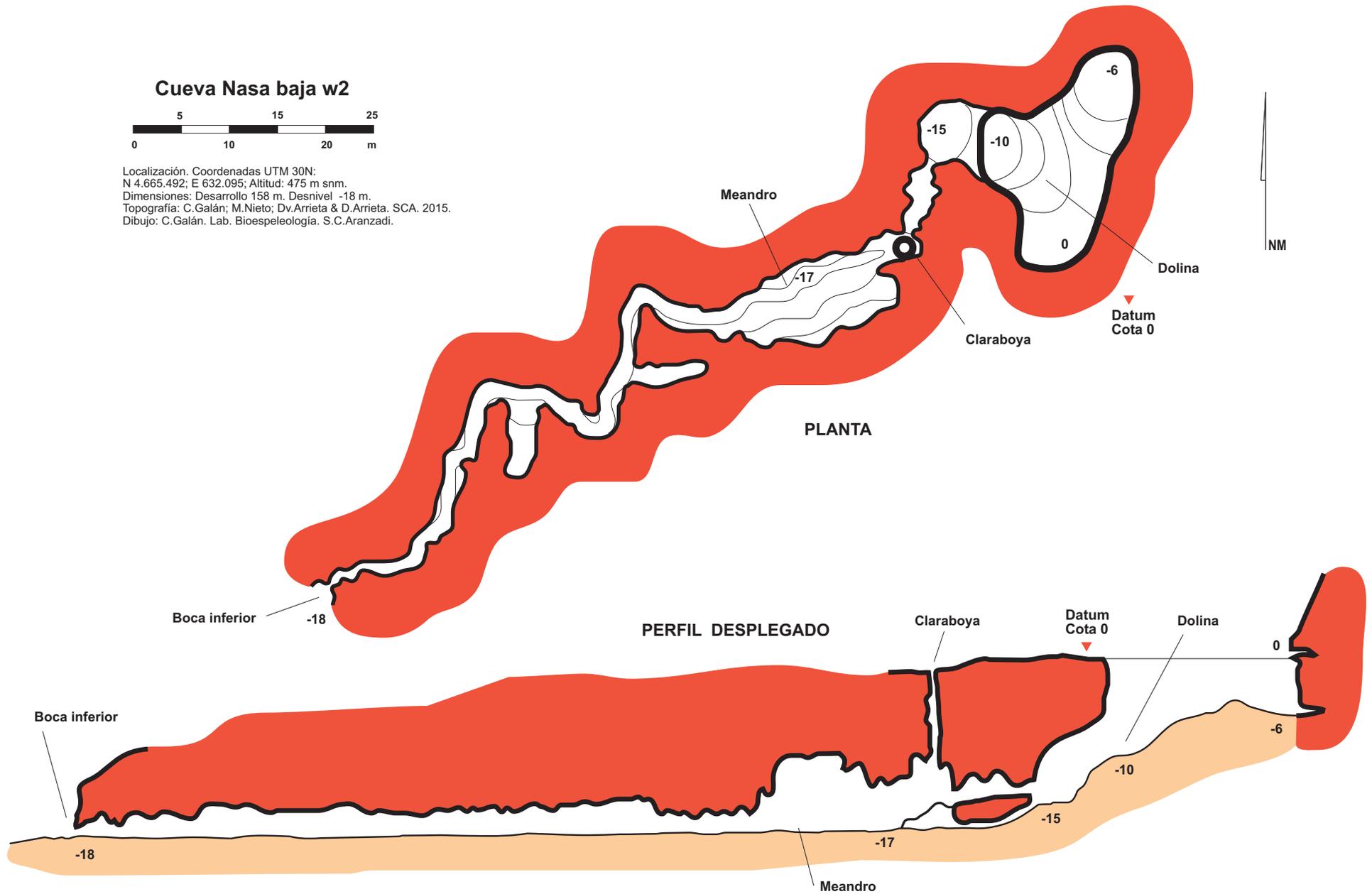




Figura 11. Boca de acceso al vestíbulo de entrada y vista desde su interior hacia la dolina.

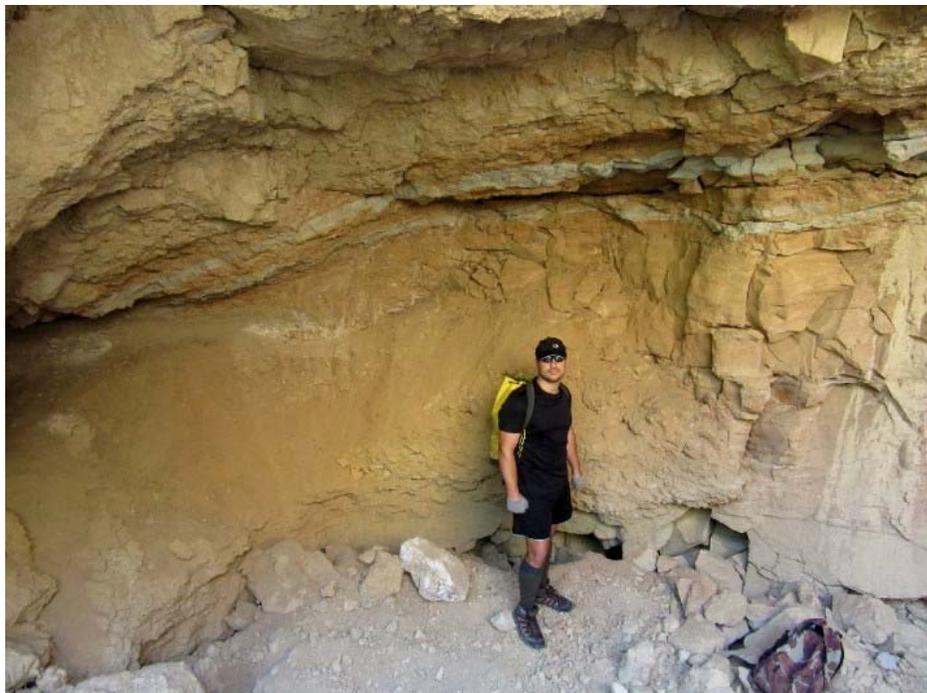


Figura 12. Cueva de 158 m. Vestíbulo de entrada y galería de acceso a la claraboya. Nótese los estratos delgados de margas grises en la imagen superior.

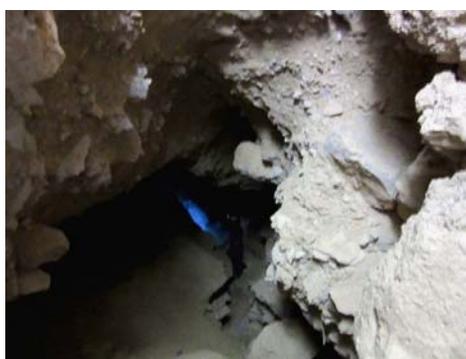
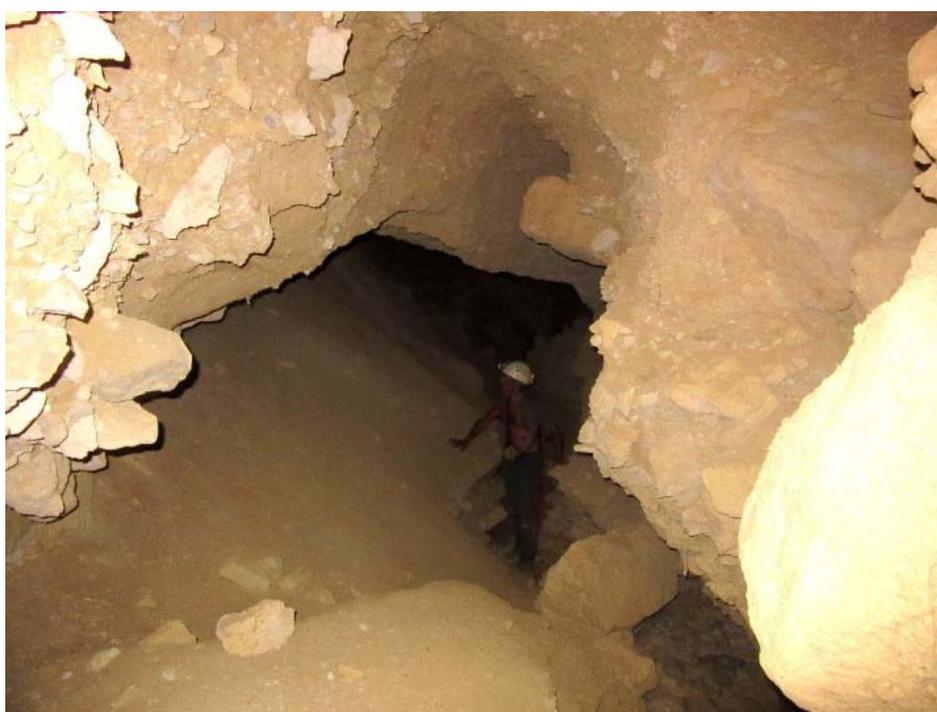


Figura 13. Sector bajo la claraboya de 8 m, donde la galería dobla en ángulo recto e inicio de la galería principal con el cauce entallado de un meandro seco. Zona con clastos inestables.



Figura 14. Sector inicial de la galería principal de la cueva. Con numerosos clastos entre las Arcillas de la bóveda, espeleotemas aciculares y algodonosas de yeso, y ejemplar de *Myotis*.

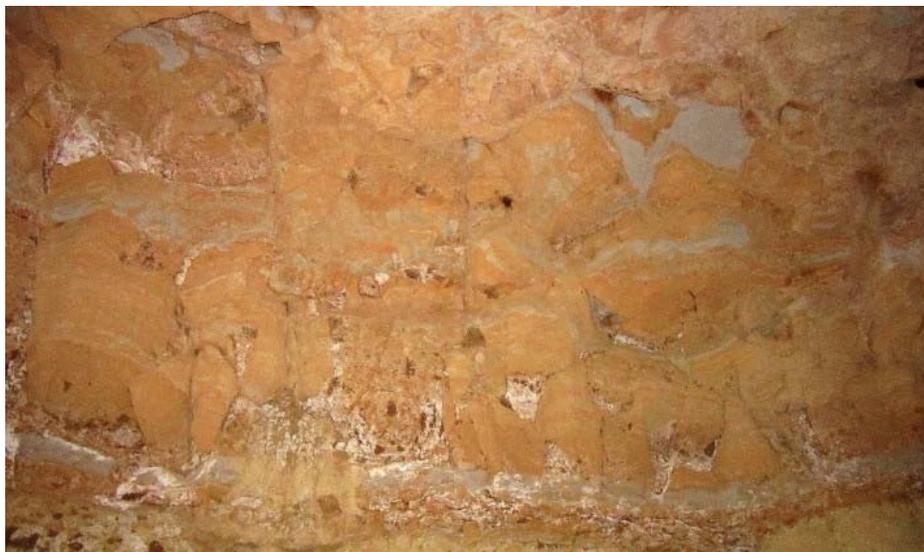
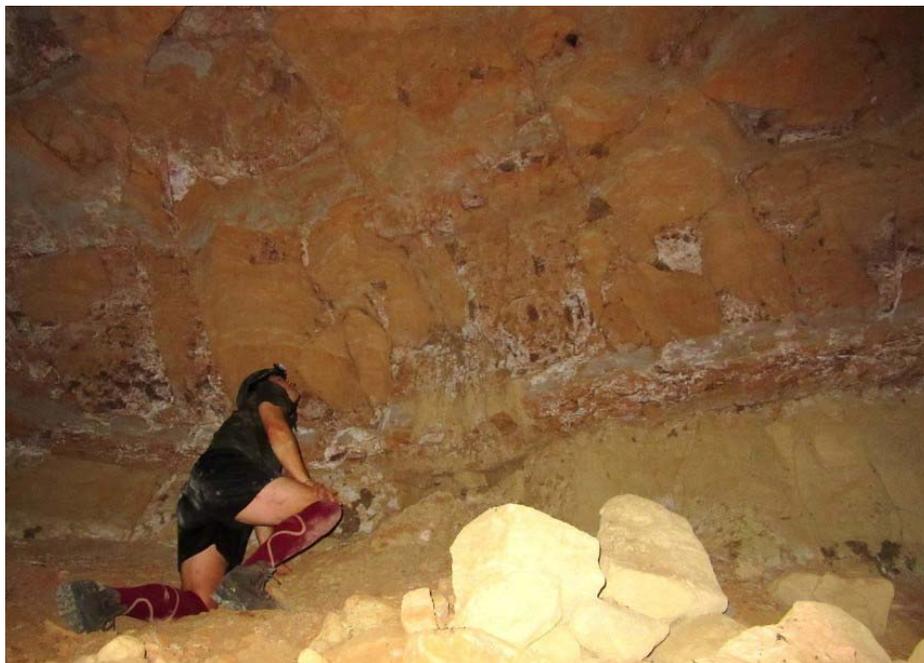


Figura 15. Sector amplio de la galería principal, con espeleotemas blancas e intercalaciones de margas y lutitas grises en sus paredes y bóvedas compactas. Debajo: continuación de la galería, con anchuras de 4 m y bóvedas estables.

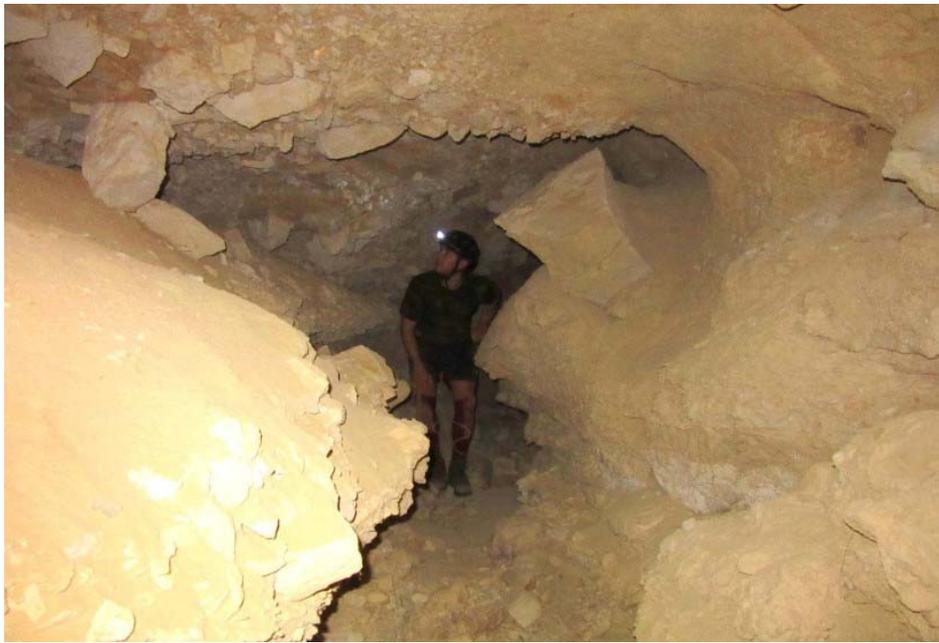


Figura 16. Tramos en zigzag, donde se aprecia el entallado cauce del meandro y numerosos clastos que sobresalen entre los materiales arcillosos.

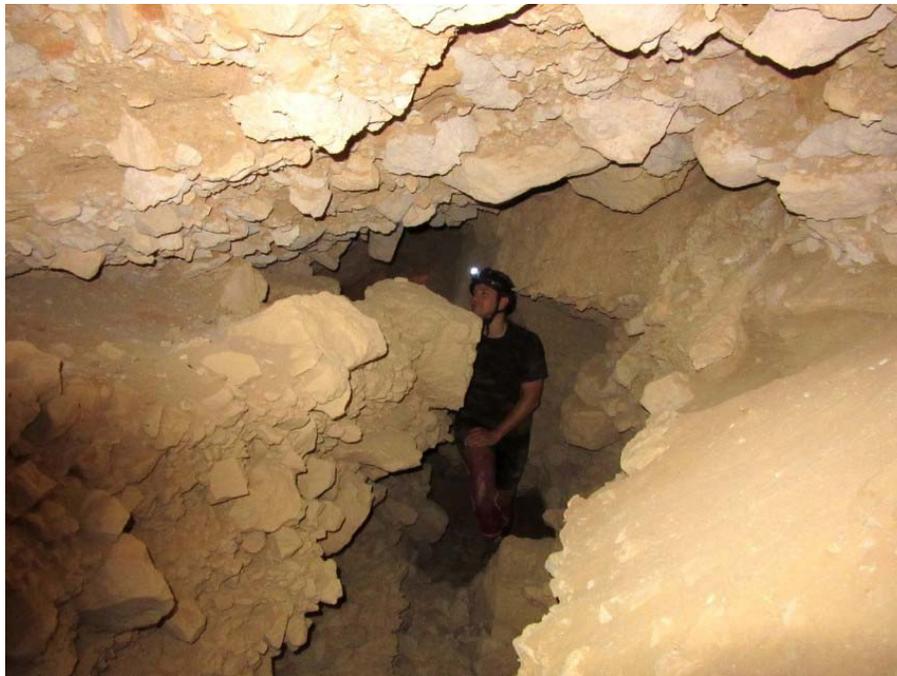


Figura 17. Diversos aspectos de la galería principal de la cueva en sus partes centrales.



Figura 18. Tramo próximo a la boca inferior y salida de la misma al Barranco de Los Sorianos.

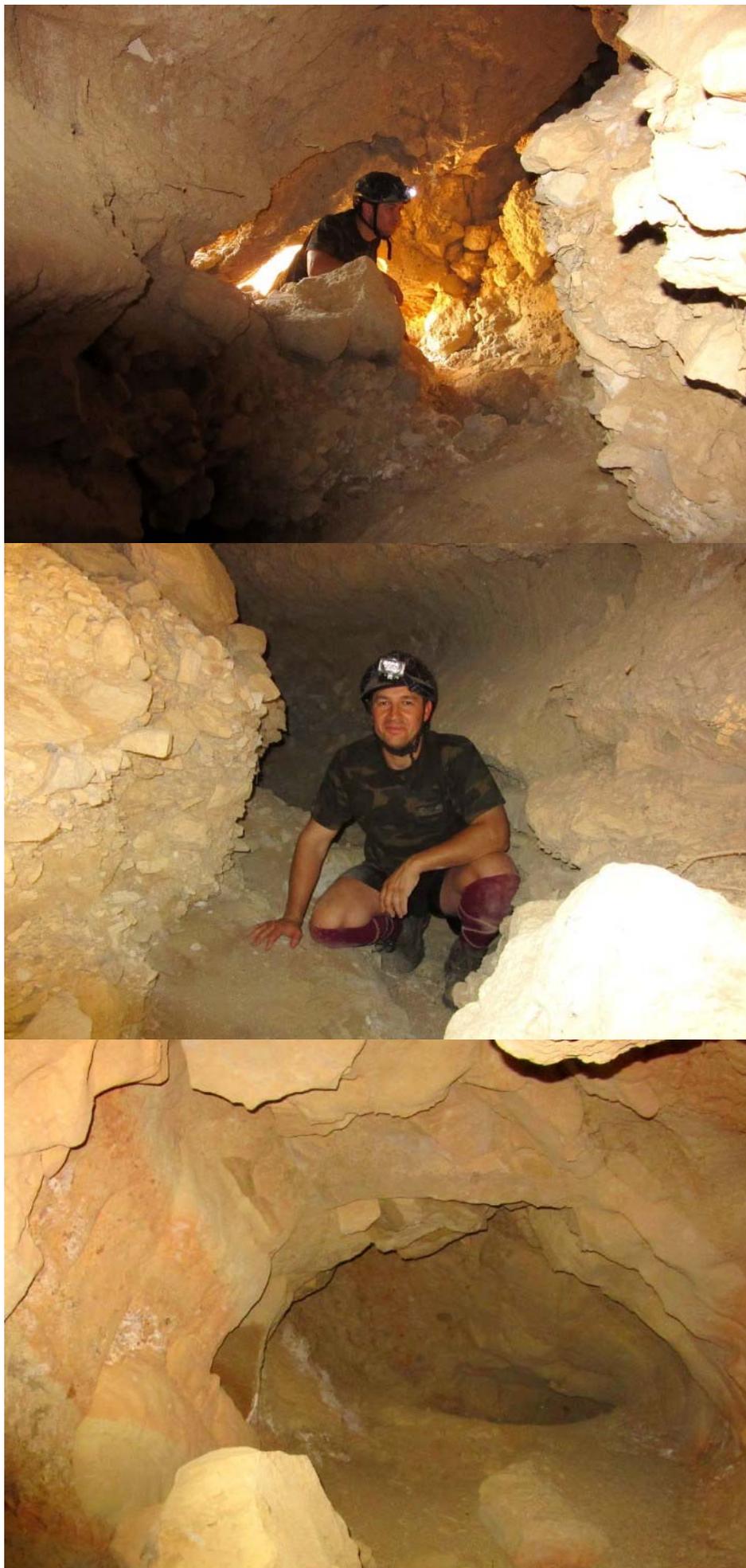


Figura 19. Diversos aspectos de la zona próxima a la boca inferior y una de las galerías laterales.



Figura 20. Detalle de espeleotemas blancos de yeso y de calcita. Los recubrimientos de yeso son predominantes. Pero los hay también de calcita, formando incluso pequeñas estalactitas. En algunos puntos ocurren crecimientos aciculares de yeso sobre costras de calcita. Por último, algunas espeleotemas pueden ser de anhidrita u otros minerales no identificados.

(3) A similar altitud y 100 m más al N del área anterior, en la cota 475 m snm, encontramos una amplia dolina en cuya pared N parecían abrirse bocas de cuevas. La dolina tiene 24 m de diámetro y -10 m de desnivel. Su lado N se cierra bajo una pared vertical de 6 m, coronada por un estrato delgado de margo-caliza. Sobre el mismo y en el fondo se abren dos pequeñas bocas que se obstruyen enseguida por estrechas. La parte central de la dolina está cubierta de vegetación de boj y otros arbustos. Pero en su lado SW se abre la boca de un amplio abrigo techado, en declive hacia el interior y con paredes donde se aprecian niveles compactos de lutitas y margas grises (Figuras 10 y 11).

Este abrigo o vestíbulo de entrada es el inicio de una cavidad que resultó por demás sorprendente y que, con sus 158 m de galerías pasa a ser por el momento la cavidad más grande encontrada hasta ahora en Las Bardenas, a la vez que una de las mayores cavidades en arcilla a nivel mundial, igualando o superando a la mayoría de las conocidas en Arroyo Tapiado (California).

A nivel del suelo el vestíbulo se prolonga en una galería descendente de escaso diámetro, que dirige el drenaje temporal de la dolina hacia el interior. Pero a un metro por encima se abre una galería seca, más amplia, en la que se divisa la luz de una ampliación o sala bajo una claraboya. Este punto impone cierto respeto porque el material arcilloso contiene numerosos clastos y bloques en sus paredes y bóvedas, hasta de tamaño métrico, en precario equilibrio mecánico. No obstante el suelo es más estable y se observa, doblando en ángulo recto, una prometedorá galería amplia que se prolonga en oscuridad total (Figuras 12 y 13).

Cuidando de no tocar las paredes, avanzamos descendiendo hacia el interior, hasta alcanzar el suelo plano de un encajado meandro. El mismo es la prolongación de la galería inferior del vestíbulo, y resulta evidente que ha sido labrado y conduce el drenaje subterráneo que fluye en época de lluvias. Pero para el momento de nuestra visita estaba totalmente seco. Avanzando por la galería ésta se amplía hasta 10 m de ancho por 7-8 m de alto. Su sección superior es una bóveda en arco, compacta y estable, mientras que a los lados del meandro hay taludes con rellenos arcillosos finos, menos consistentes, con aspecto de tierra pulverulenta. La parte más baja de la sección es un encajado meandro, de 1-2 m de profundidad y anchura similar, en cuyas paredes el material arcilloso presenta numerosos clastos angulosos de pequeño tamaño (Figuras 14 y 15).

Sigue un tramo algo más amplio de 20 m de longitud hasta un nuevo codo donde la galería se reduce a 3-4 m de diámetro. Este es el tramo más interesante pues en él se encuentran espeleotemas de yeso, formando eflorescencias aciculares y algodonosas sobre los taludes de arcilla. En las partes altas de este tramo las paredes y bóvedas son muy compactas, de lutitas y margas, con gran profusión de espeleotemas blancas. En su mayoría forman costras o recubrimientos (de espesor milimétrico) de yeso, pero también hay pequeñas estalactitas de calcita, y combinaciones de recubrimientos de calcita con cristallitos de yeso sobre ellos (Figuras 16 y 20). Las muestras tomadas, observadas al microscopio en laboratorio, sugieren que puede haber combinaciones con otros minerales secundarios, tales como mica-illita, anhidrita y caolinita. E incluso otros componentes adicionales. Al respecto, los datos que presentamos son de naturaleza preliminar, y habrá que contar con analítica más detallada para identificar todos los componentes presentes en las espeleotemas. Cabe destacar que en la bibliografía revisada sobre mineralogía de espeleotemas a nivel mundial, no han sido citadas para cuevas en arcilla estos minerales, aunque la calcita y el yeso son frecuentes entre las espeleotemas de cuevas en caliza (Hill & Forti, 1997).

Otro aspecto biológico de interés es que en la galería de acceso salieron volando dos chovas (*Pyrrocorax sp.*, Corvidae), que se ve que descansan o buscan refugio en la zona de entrada de esta cavidad. En el tramo de galería más amplio, a nivel de las bóvedas, llegamos a contar un total de siete ejemplares de quirópteros vespertilionidos del género *Myotis*. Estaban tranquilos pero despiertos y dada la altura de la galería no pudimos observar con detalle ningún ejemplar. Las fotos tomadas con zoom sugieren (por su talla y morfología) que se trata de la especie *Myotis daubentonii*. En el suelo hay varios depósitos de guano seco, pero no encontramos restos óseos de quirópteros que pudieran confirmar su identificación (Figuras 21 y 23).

En adición, a lo largo de la galería encontramos diversos artrópodos, principalmente araneidos y dípteros, más algunos opiliones, isópodos terrestres y pequeños coleópteros, pero en bajo número. Aparentemente se trata de formas troglóxenas y troglófilas, en todos los casos oculadas y pigmentadas. No tomamos muestras pues estábamos centrados en la exploración y nos pareció que de resultar de interés un estudio detallado de la fauna de invertebrados de la cueva convendría proyectar un trabajo específico con empleo de cebos atrayentes.

La galería principal prosigue con un recorrido en zigzag un total de 110 m y posee dos laterales amplios adicionales que suman 16 m. El conducto varía su diámetro en los distintos tramos, con ampliaciones y estrechamientos, que oscilan entre 3 y 2 m. En su parte final la galería se estrecha un poco (siempre recorrida por el meandro) y tras un codo va a dar a una segunda boca, de modestas dimensiones, precisamente en el inicio o cabecera de un barranco entallado o gully, que constituye la rama más meridional de la red epigea del barranco de Los Sorianos (Figuras 16 a 19). Así, esta garganta es la prolongación del talweg del meandro que recorre la cueva. A los 126 m de galerías subterráneas sumamos 8 m de la claraboya y 24 m de diámetro interno de la dolina, dando para la cavidad un desarrollo total de 158 m (Figuras 20 a 24). El desnivel de la cueva, desde la línea de goteo del vestíbulo techado es de -8 m, y sumando los -10 m de desnivel de la dolina (a partir de la cota 0 o Datum en su borde de acceso), da un desnivel total de -18 m (Ver plano adjunto). A nivel de la bóveda y paredes la galería de la cueva alterna tramos de lutitas y/o arcillas compactas, con otros tramos en los que el material arcilloso incluye numerosos clastos angulosos, de calizas y margas calcáreas. En algunos tramos el lecho del cauce incluye gravas y sedimentos arenosos, aunque son predominantes los suelos de arcilla. La cavidad resulta bien ventilada (por la presencia de bocas en sus extremos, aunque no se aprecia corriente de aire). La temperatura del aire interno es fresca, estimada en 18-20°C durante nuestra visita, lo que contrastaba con una temperatura externa,

de 40°C al aire libre (y de 31°C a la sombra), el día 7 de Junio de 2015, a las 15 horas. Aunque la cueva es seca, el ambiente hipógeo es fresco, habiéndose estimado unos valores de humedad relativa del 70%.

Distintas observaciones sugieren que la cavidad ha evolucionado ampliando su diámetro por colapso y remoción de los materiales desprendidos. Inicialmente debió ser un conducto tubular o de techo plano, que al progresar la erosión subterránea tendió a alcanzar un perfil de equilibrio en arco, ampliando su diámetro interno. Los materiales desprendidos serían removidos y evacuados durante las crecidas, a la vez que se entallaba el cauce del meandro hasta su morfología actual, con huellas evidentes de circulación periódica de agua. Téngase en cuenta que la cavidad recoge el agua de infiltración sobre su superficie y áreas adyacentes, la procedente de la dolina de entrada, y además parte de la escorrentía que cae a la dolina desde el talud superior del flanco W de la meseta en ese sector, pudiendo estimarse que captura el drenaje de un área superior a una hectárea. La claraboya cercana a la boca, en cambio, parece ser un tubo vertical de piping de reciente formación, y constituye el sector más inestable de toda la cavidad, que seguramente seguirá ampliándose por tubificación y colapso.

Podemos concluir que se trata de una cueva formada por piping, con rasgos peculiares de interés geo y biológico (Figuras 10 a 24). La ocurrencia de espeleotemas (básicamente de calcita y yeso) es a la vez una indicación de que existe cierto grado (si se quiere pequeño) de disolución de los materiales de la roca-caja, y de precipitación de minerales secundarios en forma de espeleotemas. La roca-caja a su vez, aunque básicamente es un material arcilloso, contiene clastos y niveles de calizas y margas, variando su composición lateral y verticalmente en distancias cortas. Esta inhomogeneidad litológica permite actuar a los procesos de disolución de forma compleja, existiendo por tanto una gradación entre los procesos de piping y de disolución. Los cambios climáticos entre épocas secas y húmedas a lo largo del ciclo anual pueden también contribuir tanto a la excavación de conductos y remoción de materiales, como a la consolidación de las paredes y bóvedas de las galerías.

(4) Avanzando hacia el N se encuentran otras simas y pequeñas cavidades de hundimiento, así como algunas grandes dolinas de paredes subverticales y fondo plano, sin continuaciones practicables (Figura 25). Algo más al N de la zona de Salto de Vallejo, encontramos otra cavidad de interés, formada en la base de una pared vertical en arcillas de la unidad litoestratigráfica intermedia, en la cota 500 m snm. En realidad se trata de una cueva de modestas dimensiones: una boca de 2 m de ancho por 1 m de altura da paso a una sala algo más amplia, de techo bajo, y 6 m de diámetro interno (Figuras 26 y 27).

Lo destacable de esta cavidad es la ocurrencia de numerosas espeleotemas de arcilla, de tonos claros, casi blancos, que recubren sus bóvedas, paredes y suelos. De los techos penden pequeñas estalactitas cónicas, y los suelos están recubiertos de estalagmitas globulares y coladas blancas. El material es arcilloso, pero su superficie esta cubierta por una costra o corteza superficial dura y consistente. Las espeleotemas parecen haber sido formadas por fluidificación de las arcillas al cargarse de humedad (probablemente en periodos húmedos invernales) y cohesionarse por retracción y pérdida de agua en épocas secas. En otras simas y paredes de cañones de la región ya habíamos observado, localmente, esta morfología de estalactitas "fluidas" de arcilla, pero lo curioso en esta cueva es su gran profusión y tonalidades blancas, recubriendo paredes y suelos.

En un sector lateral de la cueva se observa un estrato rosado de margocaliza, del que crecen también estalactitas de este tipo, por lo que pensamos que el carbonato cálcico (u otras sales) pudieran también contribuir a una recementación secundaria de las espeleotemas durante su consolidación en fases secas. En todo caso esta cavidad resulta notable por su blancura, estando su interior recubierto de espeleotemas de illita de tonos blancos y aspecto fluido (algo que hasta ahora no habíamos encontrado en otras cavidades de la región). Una analítica detallada podría permitir definir si incluye carbonatos u otras sales en su composición.

(5) Mas al N, bajando a otras ramas del Barranco de los Sorianos, situadas al E del extremo N de la cresta de la Nasa Baja, encontramos otras cavidades en el fondo de los barrancos, a cotas de 430 a 425 m snm. Destacan entre ellas tramos de túneles techados en el fondo de los barrancos (de hasta una decena de metros de largo) y cuevas surgentes de techo bajo a nivel del talweg (también de hasta una decena de metros y que se estrechan progresivamente). Estas cavidades están perforadas en materiales arcillosos con numerosos clastos angulosos de caliza y margas. Y en su cauce son frecuentes grandes cantos rodados y gravas, que indican la potente erosión que experimentan los barrancos durante las crecidas (Figura 28). Las cuevas afluentes indican que esta zona de colinas e interfluvios en el talud de la meseta, es una zona masiva de absorción, donde las precipitaciones se infiltran verticalmente con facilidad, acompañadas de procesos de piping, y luego circulan sub-horizontalmente para emerger en la base del entallado cauce de los barrancos.

Esta erosión progresa remontando y la cabecera de muchos de estos barrancos termina abruptamente en la base de flancos y paredes subverticales, donde pueden ocurrir pequeñas cavidades y oquedades adicionales de escasa entidad. En adición destacan en las laderas de los barrancos formas de superficie, como pequeñas dolinas, chimeneas de las hadas y montículos residuales con costras arcillosas cuarteadas y afloramiento de sales (Figuras 29 a 31). En las zonas más planas de los cauces destacan ejemplos de suelos poligonales en arcillas Holocenas, sujetas a desecación periódica y retracción (ver p.ej. Figura 28 inferior).

Dado el clima de la región, y la escasez y estacionalidad de las lluvias (en general, poco frecuentes), estas áreas presentan una red de drenaje epigeo temporal, habitualmente seca, pero contorneada por relieves con materiales arcillosos con agrietamientos y cierto grado de porosidad, donde son frecuentes los procesos de piping, circulaciones hídricas subterráneas, y formación de simas y cuevas. Existiendo además un modelado de superficie muy peculiar con variadas geofomas. En suma, un conjunto de fenómenos y procesos kársticos o pseudokársticos en arcilla, según las distintas acepciones de estos términos utilizados en karstología y espeleogénesis (ver al respecto: Halliday, 2004).

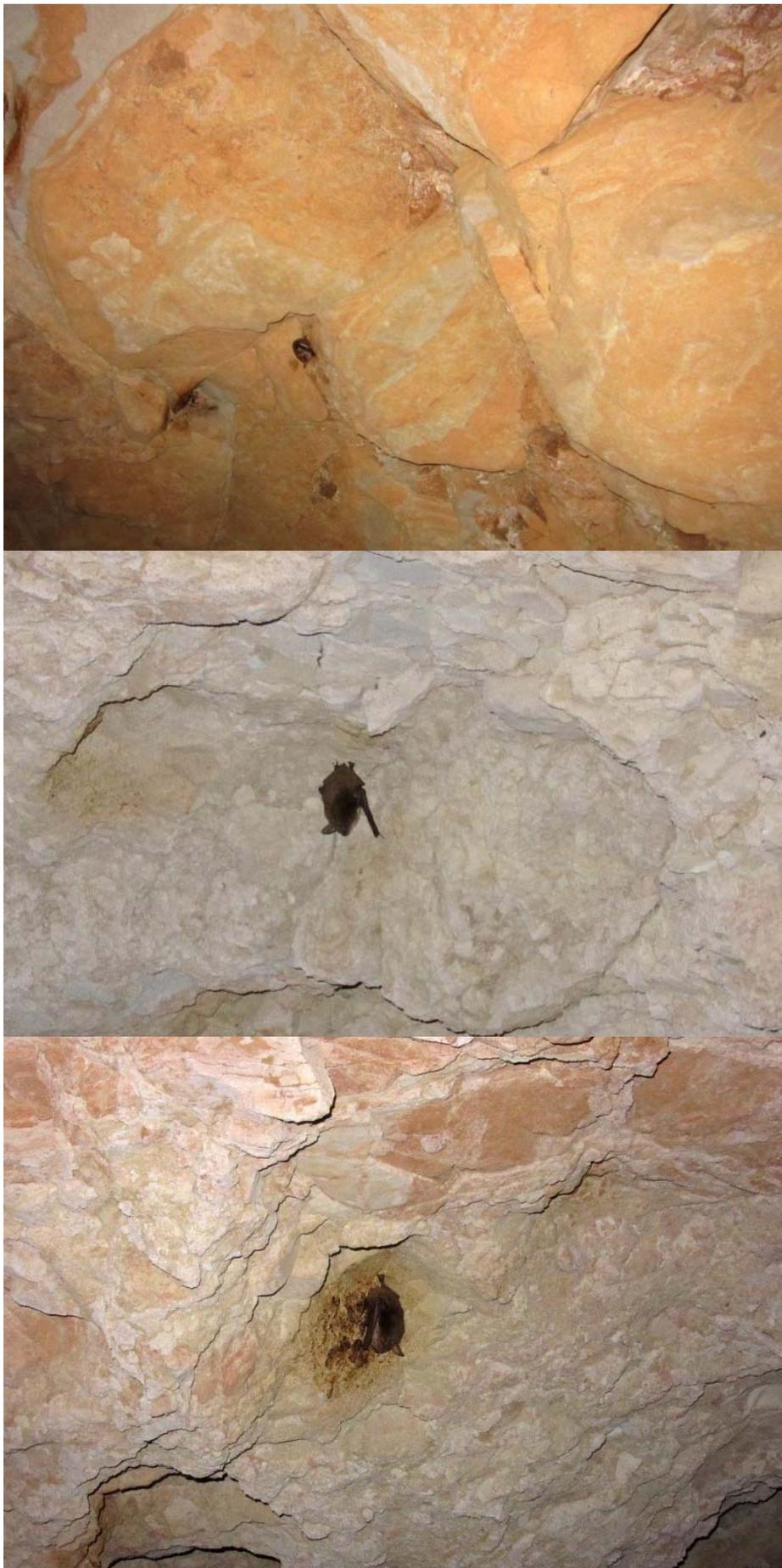


Figura 21. En la cavidad habita una pequeña colonia de quirópteros Vespertilionidae del género *Myotis*, posiblemente de la especie *M.daubentoni*. Contamos un total disperso de al menos siete ejemplares. Nótese el aspecto compacto de la roca-caja en este sector de gran amplitud de la galería principal y manchas de orín en los puntos donde se posan los murciélagos de modo habitual.



Figura 22. Detalle de espeleotemas de yeso acicular sobre suelos arcillosos y de espeleotemas de calcita y yeso en paredes y bóvedas, donde se aprecia también delgadas intercalaciones de nivelitos de margo-calizas grises.

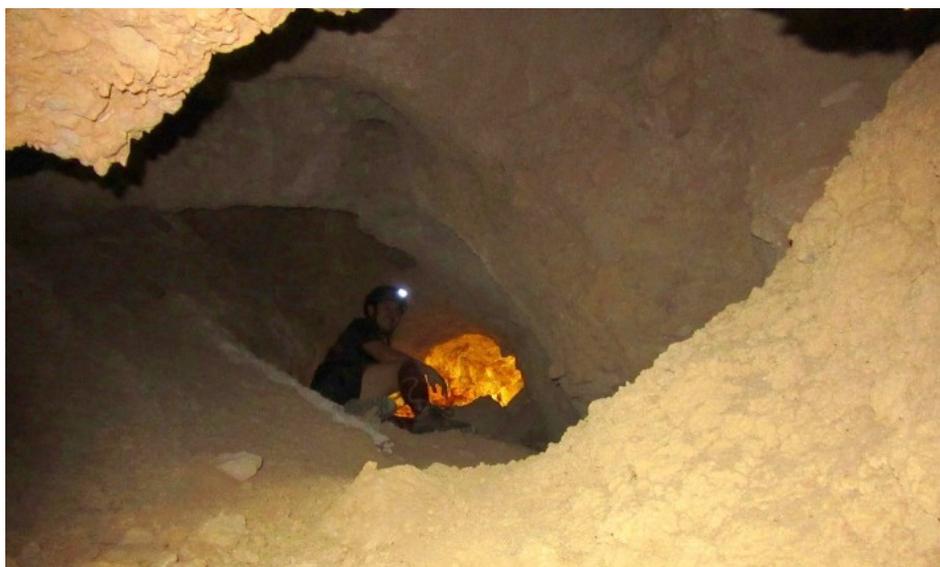
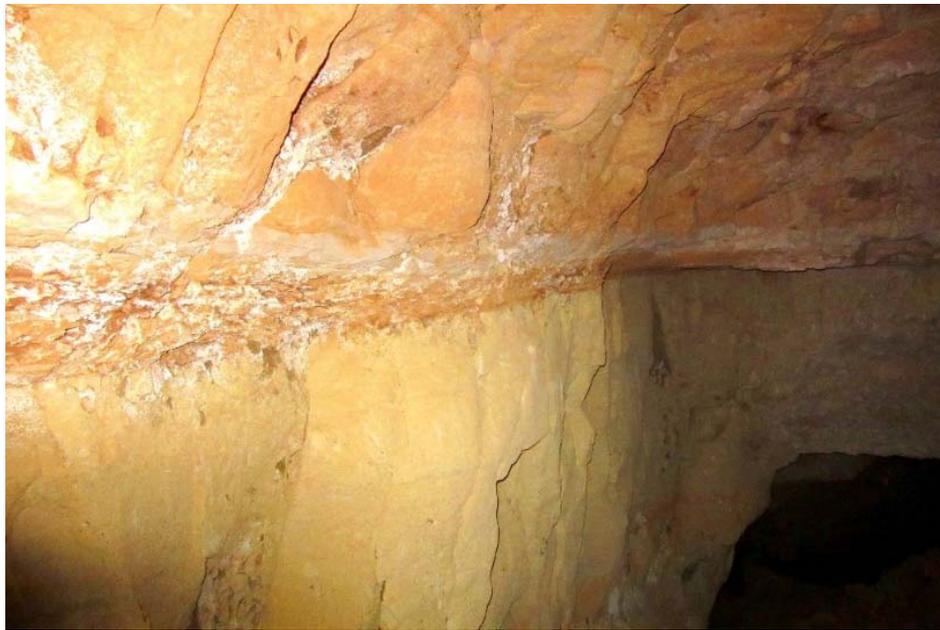


Figura 23. Zona próxima a la claraboya, con pequeñas acumulaciones de guano seco de quirópteros y ocurrencia de espeleotemas de calcita y yeso en las bóvedas.



Figura 24. Sector de la claraboya y galería de acceso al vestíbulo y dolina de entrada.



Figura 25. Avanzando a lo largo del flanco W de la Nasa Baja, hacia la zona de colinas al E del Salto de Vallejo, se encuentran otras simas y cavidades, de modestas dimensiones.

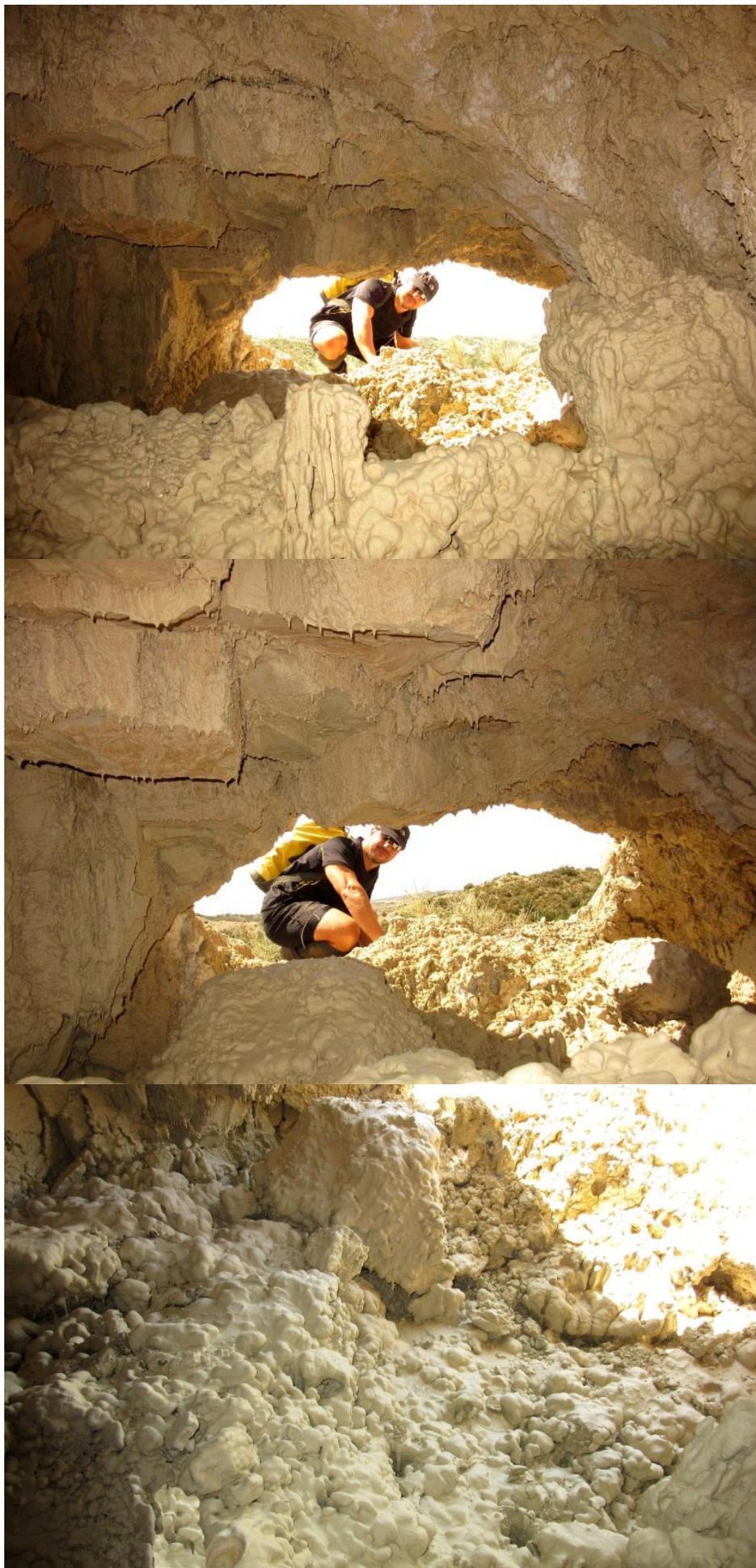


Figura 26. En la base de una pared, a 500 m snm, se abre una pequeña cueva, interesante por estar tapizada por espeleotemas blancas de illita (pequeñas estalactitas y suelos estalagmíticos), formadas por fluidificación de las arcillas en épocas húmedas.



Figura 27. Las estalactitas de mica-illita llegan a alcanzar varios centímetros. En algunos puntos se observan Intercalaciones de caliza rosada, por lo que los carbonatos pueden contribuir a su formación. Al NW de este sector hay varias dolinas amplias de fondo plano, sin continuidad.

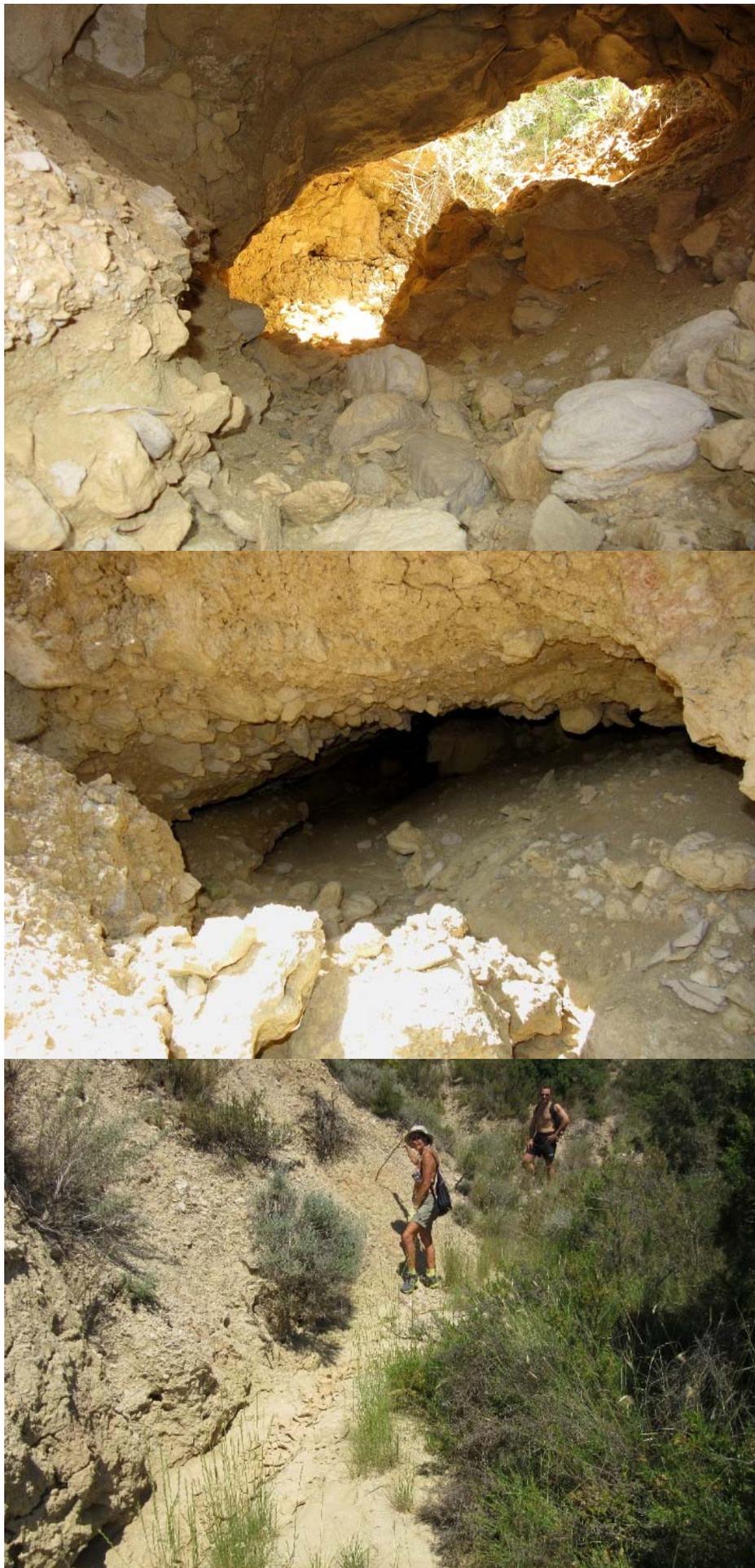


Figura 28. En el talweg de otra rama del Barranco de los Sorianos hay varios túneles y cuevas surgentes afluentes al barranco, así como zonas planas con suelos poligonales.



Figura 29. Remontando hacia el extremo N de la Nasa Baja, otro barranco presenta Chimeneas de las Hadas y otras formas residuales. Su cabecera se interrumpe abruptamente ante una pared vertical, donde existen pequeñas cavidades, de escasa entidad.



Figura 30. Prospectando el flanco W de la Nasa Baja, con fuertes pendientes, barrancos entallados, zonas con dolinas y diversos tipos de cavidades en materiales arcillosos.



Figura 31. Diversos aspectos del relieve en el flanco W de la Nasa Baja y la planicie inferior.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Hemos pasado revista a los ejemplos encontrados en sólo una pequeña área de la Bardena Negra. Destacando el hallazgo de sistemas de simas interconectadas y cuevas de más de 150 m de desarrollo. Su ocurrencia parece depender, o ser controlada o influida, tanto por la litología de los materiales como por la posición fisiográfica y topográfica de los enclaves. Pero resulta obvio que los procesos de tubificación o piping están ampliamente extendidos en la región. Tanto en las planicies Holocenas como en relieves Miocenos de la Formación Tudela. Y cuando concurren o coinciden un conjunto de factores puede producirse con facilidad la formación de gran número de cavidades, en general de modestas dimensiones, pero en ocasiones formando cuevas y simas con desarrollos y desniveles importantes.

La ocurrencia de diversos tipos de espeleotemas, reportada en esta nota, pone a su vez de manifiesto que los procesos de disolución (y precipitación de sustancias disueltas) interactúan y acompañan a los procesos de piping, por lo que no se trata simple o solamente de procesos erosivos de remoción mecánica de partículas arcillosas.

El proceso de piping en arcilla clásicamente comienza con el transporte laminar de partículas a través de pequeñas grietas, pudiendo ocurrir una cantidad limitada de disolución intergranular de la matriz o de las partículas (Striebel & Schäferjohann, 1997). Una vez que se establece un conducto continuo, el transporte se vuelve turbulento y la socavación aumenta el mecanismo erosivo. A medida que los tubos se hacen más grandes, aumenta el volumen de flujo. El hundimiento y colapso local del techo pueden permitir la entrada de volúmenes adicionales de escorrentía, ampliando aún más los conductos, e incorporar fragmentos de la superficie, lo que lleva al desarrollo de conductos tortuosos. Los tubos resultantes pueden propagarse verticalmente o con cierta inclinación y pueden desarrollarse redes dendríticas. La tendencia final es a la horizontalidad, determinada por el nivel de base local impuesto por el fondo del cañón hacia el cual desaguan.

Las arcillas cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación. La alternancia de expansión y contracción forma repetidamente grandes y pequeñas grietas. Algunas arcillas son especialmente plásticas cuando están mojadas, y pueden formar bloques de dislocación, deslizamientos, colapsos y, como hemos visto, espeleotemas de arcilla. La remoción posterior de materiales colapsados contribuye significativamente a la erosión y a la ampliación de las galerías. Un alto contenido en sodio intercambiable desflocula estas arcillas, concentrando el flujo de agua en las grietas y proporcionando una lubricación adicional. Muchos conductos son de corta duración, y sólo algunos persisten el tiempo suficiente para alcanzar el tamaño de cuevas.

También resulta evidente que la erosión de superficie es el factor más importante en el modelado del relieve. Y que la erosión y el transporte de materiales fuera de la cuenca son conducidos por la red temporal de torrentes y barrancos que desaguan al Ebro. Un modelado sobre terrenos relativamente "blandos" que experimenta una rápida evolución en el tiempo, a escala geológica.

Pero en torno a esta red de drenaje de superficie (de carácter o régimen hidrológico temporal) se organiza sobre amplias áreas redes menores de drenaje subterráneo, comandados por la ocurrencia de procesos de tubificación o piping en arcillas (con clastos e intercalaciones menores de caliza y marga). La red entallada de cañones y barrancos constituye el nivel de base local hacia el cual drenan las circulaciones subterráneas, ya que los terrenos infrayacentes (arcillas con evaporitas), resultan poco o nada permeables, no existiendo en ellos acuíferos freáticos.

La formación de espeleotemas compuestas de calcita y yeso ha sido satisfactoriamente explicada, para otras litologías, por Forti & Marsigli (1978). La deposición de calcita es controlada por la pérdida de CO₂, mientras que la deposición de yeso es controlada por la evaporación de pequeñas cantidades de agua que alcanzan la superficie por capilaridad o tensión superficial. De este modo se pueden incluso producir crecimientos de cristales de yeso sobre la calcita en lugares de alta ventilación y evaporación. También pueden producirse cortezas de anhidrita por deshidratación del yeso, cuando existe fuerte evaporación de las soluciones salinas (Hill & Forti, 1997).

Por los datos expuestos en esta nota y trabajos anteriores, puede concluirse que en la región de Las Bardenas existe gran número de zonas donde se forman por procesos de tubificación o piping cavidades en materiales fundamentalmente arcillosos. De distintas características y con geofomas originales. Algunas de ellas alcanzan desarrollos y desniveles importantes, poseen o sirven de refugio a fauna de hábitos cavernícolas, y pueden contener incluso espeleotemas no reportadas previamente para cavidades en arcilla. Llamar karst en arcilla o pseudokarst a estos fenómenos es irrelevante. En nuestra opinión es claro que existe un peculiar proceso de karstificación o formación de cavidades en arcilla, circulaciones hídricas subterráneas, simas, cuevas, sumideros y surgencias, con rasgos propios y originales. Algunas de ellas alcanzando dimensiones importantes, o con rasgos de interés geológico y biológico. Por lo apreciado durante nuestras prospecciones y a través del examen de fotografías aéreas, nuestra impresión es que existen muchos otros lugares y zonas en Las Bardenas propicias para contener cavidades en arcilla, tal vez con cavidades de mayores dimensiones y/o con otros rasgos novedosos y de alto interés científico, precisamente por su originalidad.

Por todo ello conviene propiciar prospecciones adicionales en la región. Dado el carácter inestable de algunas galerías y conductos, las exploraciones conviene hacerlas en épocas secas (sin riesgo de lluvias), y cuidando especialmente el equipamiento en el caso de simas, ya que el simple roce de la cuerda sobre materiales poco consolidados con clastos y bloques incluidos, puede propiciar colapsos y desprendimientos. Por igual razón, no se trata de cavidades adecuadas para visitas turísticas.

Nuestra principal conclusión es que estamos en presencia de un notable karst en arcilla, de características originales y por ello de gran interés para la karstología, hidrogeología y espeleogénesis a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores del Laboratorio de Bioespeleología de la S.C. Aranzadi que nos acompañaron en distintas ocasiones en las exploraciones y trabajos de campo efectuados en la Bardena Negra, y de modo especial a Patxi Iriarte, Anabella Besance, Ainhoa Miner, e Iban Salaber. A dos revisores anónimos de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y Sociedad Venezolana de Espeleología que nos aportaron certeras recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner, L. 2009. The Carrizo Badlands Mud Caves in Arroyo Tapiado. Anza-Borrego Desert State Park. California. Desert USA.
- Dunne, T. 1990. Hydrology, mechanics and geomorphological implications of erosion by subsurface flow. In: Higgins, C.G. & Coates, D.R., Eds. Groundwater geomorphology: The role of surface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Publication 252.
- Faci Paricio, E.; G. Galán Pérez; A. García de Domingo; P. Cabra Gil; J. González Lastra & G. Díaz Pinto. 2006. Memoria de la Hoja 283-I Portillo de Santa Margarita. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 82 pp.
- Forti, P. & M. Marsigli. 1978, Sulla genesi delle inflorescenze gessose sopra le concrezioni calcitiche delle grotte del Bolognese. Act. 8º Cong. Naz. Sepeleol., Perugia, 8 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2015 a. 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. 2015 b. Nuevos datos sobre cuevas en arcilla, cárcavas y cañones en la Bardena Negra. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 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.
- Higgins, C.G. & D.R. Coates, Eds. 1990. Groundwater Geomorphology: The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Processes and Landforms, Boulder, Colorado: Geological Society of America. Special Publ. 252.
- Hill, C. & P. Forti. 1997. Cave Minerals of the World. Second Edition. Nat. Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 463 pp.
- Lindsay, L. & D. Lindsay. 1985. The Anza-Borrego Desert Region. Wilderness Press, 170 pp.
- 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 & Coates, eds. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America. Special Publ. 252.
- 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-riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24: 3-4.
- Striebel, T. & V. Schäferjohann. 1997. Karstification of sandstone in central Europe: Attempts to validate chemical solution by analysis of water and precipitates. In: Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, vol. 1, Basel, Switzerland.