

**SISTEMAS DE CUEVAS EN ARCILLA DE 880 M DE DESARROLLO EXPLORADO (BARDENA NEGRA)**  
Cave systems in clay 880 m of scanned development (Bardena Negra)



Carlos Galán. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Octubre 2015.

# SISTEMAS DE CUEVAS EN ARCILLA DE 880 M DE DESARROLLO EXPLORADO (BARDENA NEGRA)

## Cave systems in clay 880 m of scanned development (Bardena Negra)

**Carlos Galán.**

Con la colaboración de: Marian Nieto; Piero Di Bartolomeo & Ainhoa Miner.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Octubre 2015.

### RESUMEN

En la región semidesértica de las Bardenas (Navarra) existen interesantes sistemas de cuevas y simas en arcilla, formadas por procesos de tubificación o piping, generalmente asociados a la formación de cárcavas, barrancos y cañones entallados o gullies. La roca-caja consiste en materiales arcillosos, con intercalaciones menores de nivelitos de lutitas, margas y calizas, pertenecientes a la Formación Tudela (de edad Mioceno). En un sector en el flanco W de la meseta de la Nasa Alta (Bardena Negra), las exploraciones recientes han permitido estudiar sistemas de simas, interconectadas por galerías inferiores, las cuales forman redes dendríticas de galerías subterráneas a lo largo de taludes de fuerte declive. El desnivel hasta la cabecera de los barrancos alcanza 100 m. El desarrollo topografiado de 12 simas (organizadas en 3 sistemas de drenaje subterráneo) totaliza 880 m de galerías, existiendo un conjunto aún mayor de redes de galerías estrechas, inestables y/o con riesgo de colapso, que permanece inexplorado, estimándose que comprende al menos 2 km de conductos adicionales.

Estos sistemas de simas en arcilla constituyen los ejemplos más notables hasta ahora conocidos a nivel mundial para cuevas en arcilla. Las mayores cavidades individuales alcanzan 380 m (Sima Nasa Alta 04, -40 m) y 170 m (Sima Nasa Alta 09, -30 m). El sistema más extenso totaliza 778 m de galerías y -70 m de desnivel. Las cavidades poseen además espeleotemas de rasgos novedosos, principalmente de yeso, illita y calcita, reportados por primera vez para esta litología, así como diversos ejemplos de fauna de hábitos cavernícolas. El trabajo describe las cavidades exploradas y discute su génesis y evolución.

*Palabras clave:* Karst, Geoespeleología, Biología subterránea, Hidrogeología, Cuevas en arcilla, Espeleogénesis.

### ABSTRACT

In the semi-desert region of the Bardenas (Navarra) are interesting systems of caves and chasms in clay, formed by processes of piping, usually associated with the formation of gullies, ravines and carved canyons. Rock-box consists of clay materials, with minor interbedded mudstones, marl and limestone, belonging to the Tudela Formation (of Miocene age). In a sector in the W flank of the plateau of the Nasa Alta (Bardena Negra), recent explorations have allowed to study systems of potholes, interconnected by lower galleries, which form dendritic networks of underground galleries along slopes of steep decline. The depth until the top of gullies reaches 100 m. The topographic development of 12 abysses (organized in 3 underground drainage systems) sums up 880 m of galleries, having an even greater set of networks of narrow, unstable and/or at risk of collapse galleries, which remains unexplored, estimating that comprises at least 2 km of additional ducts.

These clay abysses systems are the most remarkable and hitherto known examples for cavities in clay worldwide. The largest individual cavities reach 380 m (Sima Nasa Alta 04, -40 m) and 170 m (Sima Nasa Alta 09 -30 m). The most extensive system of galleries sums up 778 m and -70 m of depth. The cavities have also speleothems of novel features, mainly gypsum, illite and calcite, first reported for this lithology, as well as various examples of fauna of cavernicolous habits. The paper describes the cavities explored and discusses its genesis and evolution.

*Keywords:* Karst, Geospeleology, Subterranean Biology, Hydrogeology, Mud caves, Speleogenesis.

### INTRODUCCIÓN

Las cuevas en arcilla (mud caves) son extraordinariamente raras a nivel mundial, ya que se trata de materiales arcillosos poco consistentes y poco solubles, por lo tanto, poco susceptibles de experimentar procesos de karstificación y generar cavidades (simas y cuevas) a escala humana (macrocavernas). La formación de cavidades en este tipo de terrenos ocurre por procesos de piping o tubificación, en los que las partículas arcillosas son removidas grano a grano, con poca o nula intervención de la disolución. Una vez formados los conductos iniciales de drenaje subterráneo, la ampliación de las galerías ocurre principalmente por procesos erosivos, colapsos y remoción de los materiales desprendidos, aunque sigue actuando la tubificación.

La tubificación o piping consiste en una remoción de partículas de la roca por flujos canalizados de aguas subterráneas (sea en sentido horizontal, inclinado o vertical) en materiales granulares y rocas poco solubles (Parker & Higgins, 1990; Dunne, 1990). En su

forma pura el piping es el extremo teórico de un espectro espeleogenético, con 100% de disolución kárstica en el extremo opuesto. Entre ambos extremos hay toda una gama de rocas carbonáticas impuras, evaporitas, areniscas limosas, y otras rocas pobremente solubles, donde disolución y piping actúan juntas, en variables proporciones. La tubificación participa también en el desarrollo de grandes cavidades formadas por procesos múltiples (Halliday, 2004, 2007), así como en el karst en cuarcitas en zonas tropicales (Urbani, 1986; Galán, 1991; Galán & Herrera, 2005; Galán & Lagarde, 1988). Por todo ello, la aplicación del término karst o pseudokarst para la formación de cavidades y sistemas de drenaje subterráneo en arcillas resulta ambigua o poco esclarecedora, siendo preferible la descripción de los fenómenos hallados y de los procesos influyentes en su génesis, ya que existe un continuo entre cuevas de tubificación y cuevas de disolución, en rocas de distintas solubilidades.

En nuestro caso, en los materiales arcillosos de la Formación Tudela, a la luz de los conocimientos actuales y de los sistemas de cavidades descubiertos, puede hablarse inambiguamente de “karst en arcilla o de fenómenos kársticos en arcilla”, tanto por la magnitud de los fenómenos como porque existe cierto grado de disolución de los materiales, además de tubificación (y posterior erosión simple). La ocurrencia de disolución es probada ampliamente, como luego veremos, porque ocurre también el fenómeno inverso de precipitación de minerales secundarios y formación de espeleotemas en las cavidades. En adición, en este trabajo aportamos la descripción de extensos sistemas subterráneos de drenaje, que superan los 100 m en desnivel y desarrollo.

La topografía de la región de estudio está acribillada de depresiones, dolinas, simas, cuevas, túneles y conductos, que conducen el drenaje subterráneo hacia surgencias en la cabecera de valles secos y barrancos entallados o gullies. Algunos de estos relieves locales son de corta vida, dado que también actúa sobre el terreno la erosión normal de superficie. Algunas formas específicas locales pueden formarse o destruirse tras una simple tormenta. Pero el relieve global tiende a persistir a través de largos períodos de tiempo, acompañando al retroceso de los escarpes de las mesetas y a la erosión incisa de la red de gargantas y gullies sobre las zonas bajas y planicies.

El relieve de superficie muestra en adición numerosas geoformas, a menudo de rasgos estéticos llamativos, tales como torres, chimeneas de las hadas, surcos, cárcavas, depresiones caóticas, hundimientos con arcos de roca y pináculos internos, cañones, escarpes, formas residuales, arcillas cuarteadas con recubrimientos salinos, y un largo etcétera de rasgos geomorfológicos singulares, propios de esta región de las Bardenas (Figuras 01 á 06). Algunas de estas geoformas están también relacionadas con los procesos de tubificación y karstificación. El variable colorido de los materiales arcillosos y las intercalaciones delgadas de lutitas y margo-calizas, destacan o son puestas en relieve por la erosión diferencial.

Las cuevas en arcilla son muy raras a nivel mundial. Los mejores ejemplos conocidos correspondían a las denominadas Mud Caves de Arroyo Tapiado, localizadas en el área desértica de Anza-Borrego, California (USA); a lo largo de una red de nueve barrancos el flujo de aguas subterráneas ha excavado por procesos de piping 22 cuevas en arcilla, desde pocos a varias decenas de metros de desarrollo de galerías, alcanzando la mayor de ellas 280 m (Lindsay & Lindsay, 1985; Bremner, 2009). Este tipo de cavidades es comparable a las halladas en las Bardenas, tanto por su morfología, asociación a cañones y génesis por piping.

Las cuevas encontradas en las Bardenas son muy similares a las que se presentan en arcillas y lutitas en la zona árida de Arroyo Tapiado (California). En ambos casos la lluvia es escasa, pero suficiente para generar numerosas cuevas de tubificación asociadas o que tienen como nivel de base local a gargantas estrechas o gullies. Estas gargantas son ranuras profundas y estrechas, serpenteantes, con paredes verticales, y suelen ser recorridas por arroyos temporales. Algunos valles ciegos se interrumpen por estrechos sumideros de tubificación o poseen cabeceras cortadas por paredes con entalladuras verticales tubulares y/o con conductos basales con huellas de surgencia temporal. Son frecuentes casos en que grandes bloques desmoronados se acúan entre las paredes y forman los techos de cuevas de recubrimiento y túneles que pueden alcanzar decenas de metros de largo. Existen casos de cuevas pequeñas a varios niveles, con múltiples entradas y colapsos. En Arroyo Tapiado las cavidades se han formado en depósitos lacustres arcillosos del Plioceno medio. En las Bardenas en materiales arcillosos comparables del Mioceno (Formación Tudela).

En condiciones atmosféricas normales, las galerías de estas cuevas constituyen ambientes secos y polvorientos, pudiendo presentar “cascadas secas” de materiales pulverulentos y afloramiento de raíces en sus paredes y techos. En las Bardenas estamos encontrando que en las galerías de las cuevas mayores se forman con frecuencia cauces encajados y meandriformes, con suelo de arcilla húmeda e incluso pozas aisladas de agua, así como rellenos de cantos rodados alóctonos, que evidencian una circulación hídrica temporal.

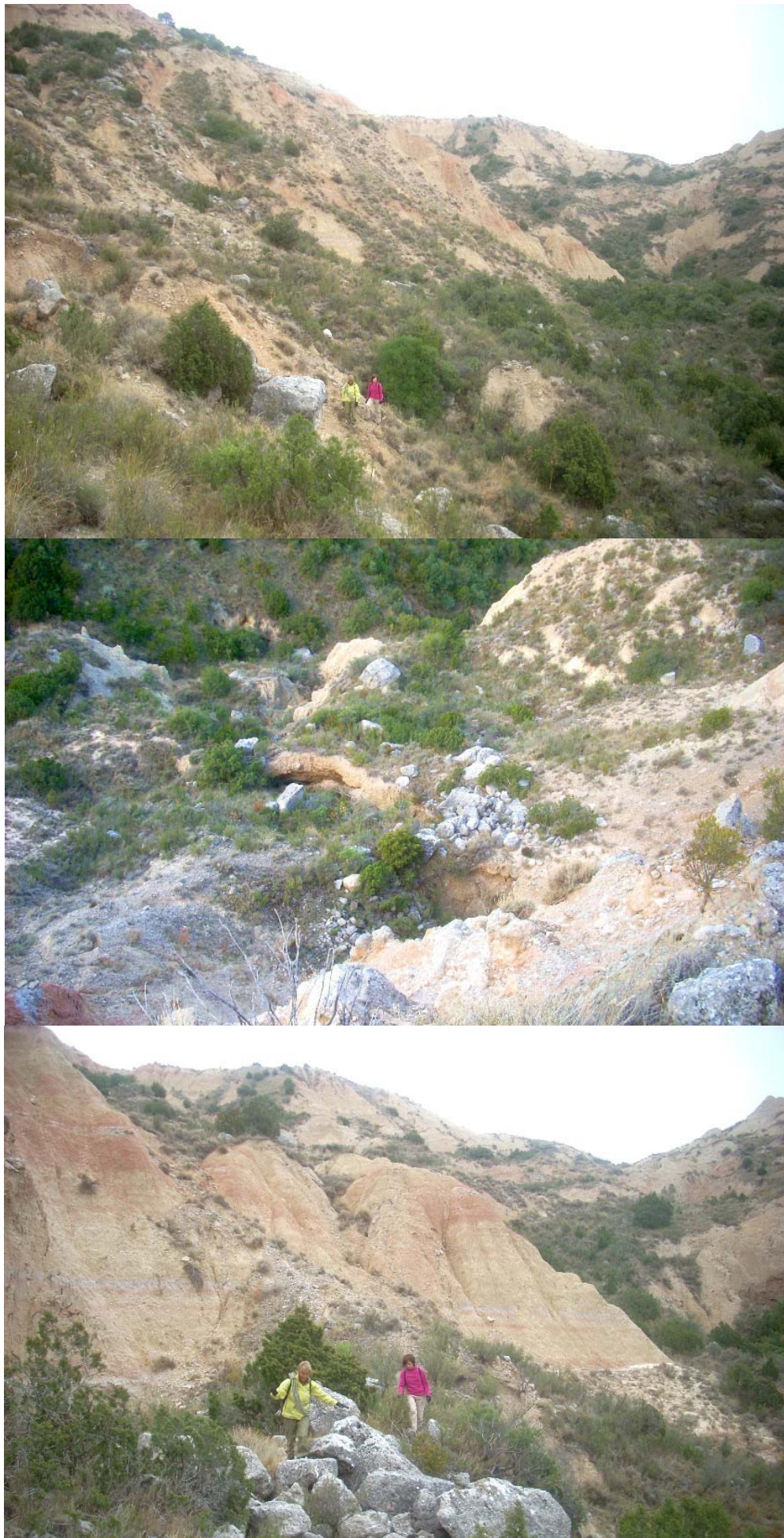
En trabajos previos describimos cuevas de hasta 60 m de desarrollo en la Bardena Blanca y de hasta 158 m en la Bardena Negra (Nasa Baja), así como la ocurrencia de sistemas de simas, con galerías internas (posiblemente interconectadas) en la Bardena Negra (Nasa Alta) (Galán & Nieto 2015 a, 2015 b; Galán et al, 2015). Estas últimas, que permanecían inexploradas (por no contar con equipo para verticales en el momento de su localización) han sido parcialmente exploradas en salidas recientes y constituyen el objeto de esta nota. En estas últimas salidas localizamos nuevas bocas y exploramos en la Nasa Alta un total de 24 cavidades, algunas de ellas de modo parcial, por el riesgo que presentaban diversas galerías estrechas o sujetas a crecida en caso de lluvia, dado que durante su exploración tuvimos lloviznas intermitentes con posibilidad de tormentas. No obstante, el trabajo de exploración y topografía quedó prácticamente completo para 12 de las cavidades (organizadas en tres sistemas, que describimos en esta nota), las cuales suman 880 m de desarrollo de galerías. El desnivel hasta la cabecera de los barrancos alcanza 100 m. Las mayores cavidades individuales alcanzan 380 m (Sima Nasa Alta 04, -40 m) y 170 m (Sima Nasa Alta 09, -30 m). El sistema más extenso totaliza 778 m de galerías y -70 m de desnivel. Pero nuestras prospecciones muestran que existe un conjunto aún mayor de redes de galerías, en general estrechas, que comprende al menos 2 km de conductos adicionales.



**Figura 01.** El flanco W de la Nasa Alta, en su parte N. Se aprecia el estrato de caliza que separa los materiales del tope de la meseta, de los niveles inferiores de arcillas rojas y ocre.



**Figura 02.** Relieve del flanco NW de la Nasa Alta, con depresiones caóticas, cavidades y geoformas.



**Figura 031.** Bloques desprendidos, depresiones y geofomas en el flanco W de la Nasa Alta.



**Figura 04.** Barrancos entallados y gullies en la Nasa Alta. Su cabecera constituye el nivel de base local para las cavidades y sistemas de drenaje subterráneo existentes en el flanco de la meseta.

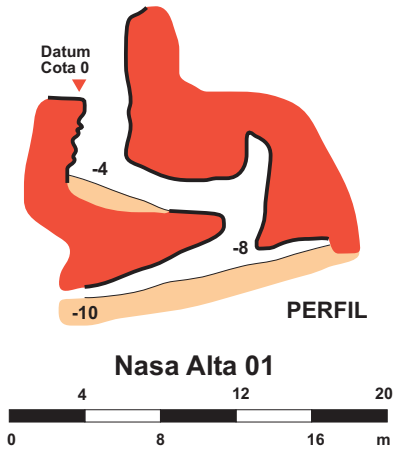
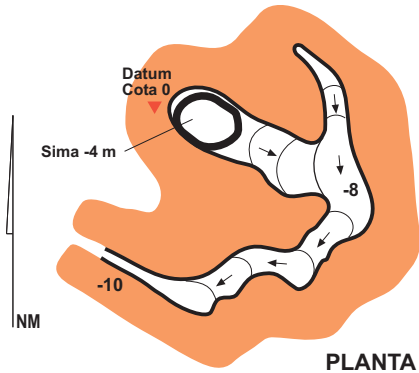


**Figura 051.** Barrancos temporales con intercalaciones de niveles delgados de margas en la serie arcillosa. Imágenes inferiores: sistemas de simas y pequeños conductos surgentes.

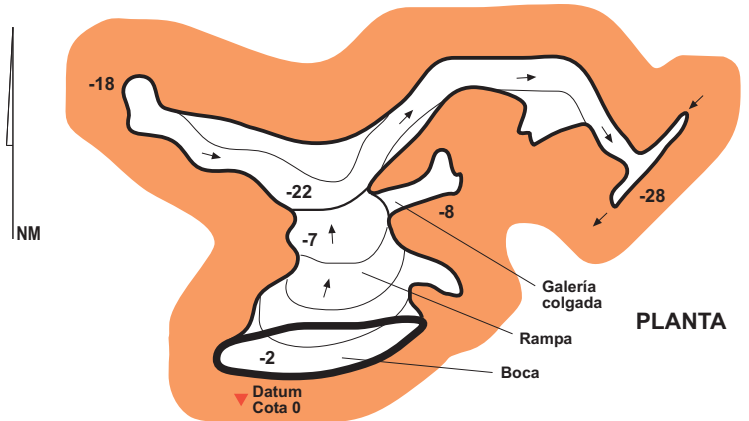
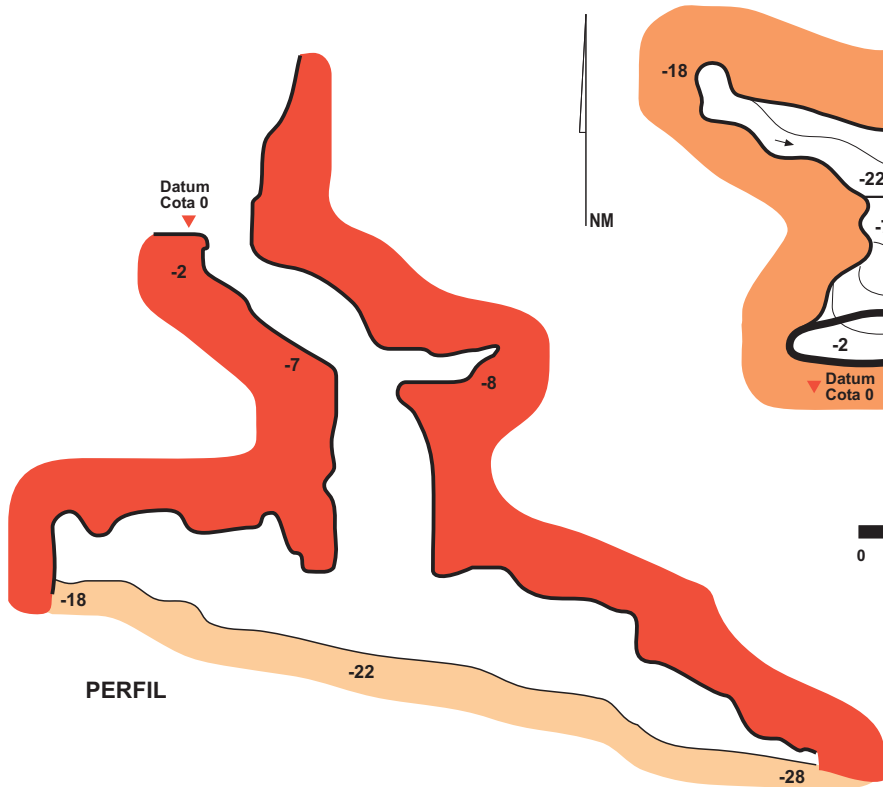
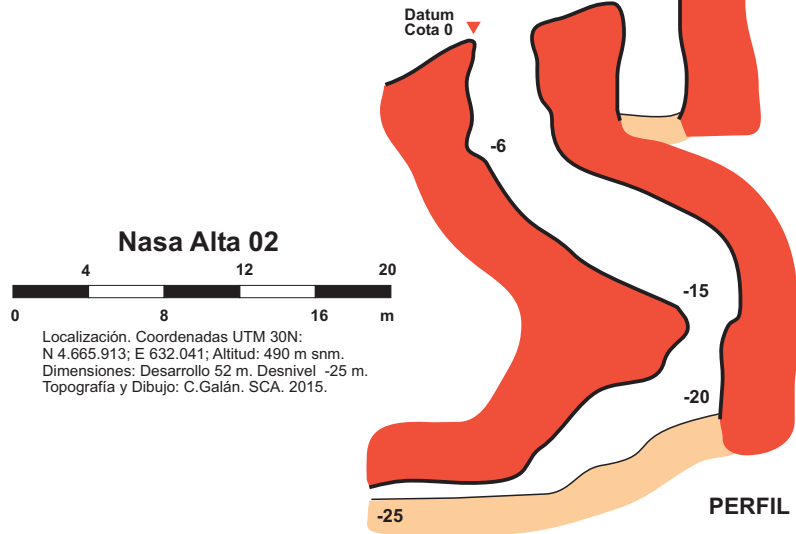
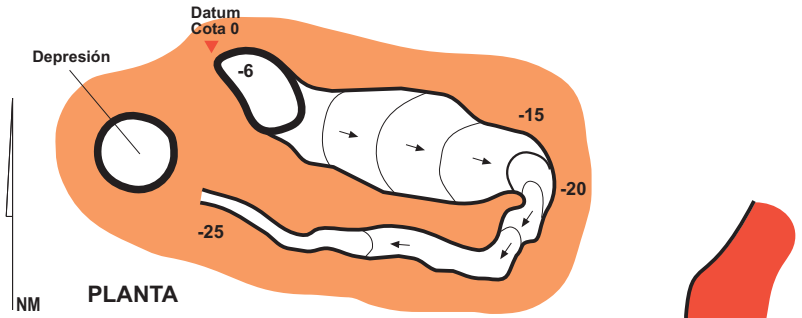




**Figura 06.** Diversidad de geoformas. A partir de fisuras de expansión y contracción en las arcillas ricas en sales se inician los procesos de tubificación o piping, con posterior formación de cavidades, depresiones y colapsos. Las chimeneas de las hadas llegan a formarse bajo bloques y clastos desprendidos, por erosión de superficie.



Localización. Coordenadas UTM 30N:  
N 4.665.992; E 632.081; Altitud: 500 m snm.  
Dimensiones: Desarrollo 24 m. Desnivel -10 m.  
Topografía y Dibujo: C.Galán. SCA. 2015.



**Nasa Alta 03**

0 4 8 12 16 20 m

Localización. Coordenadas UTM 30N:  
N 4.665.913; E 632.068; Altitud: 485 m snm.  
Dimensiones: Desarrollo 70 m. Desnivel -28 m.  
Topografía y Dibujo: C.Galán. SCA. 2015.

Figura 7. Nasa Alta 01 á 03.

Figura 8. Nasa Alta 04.

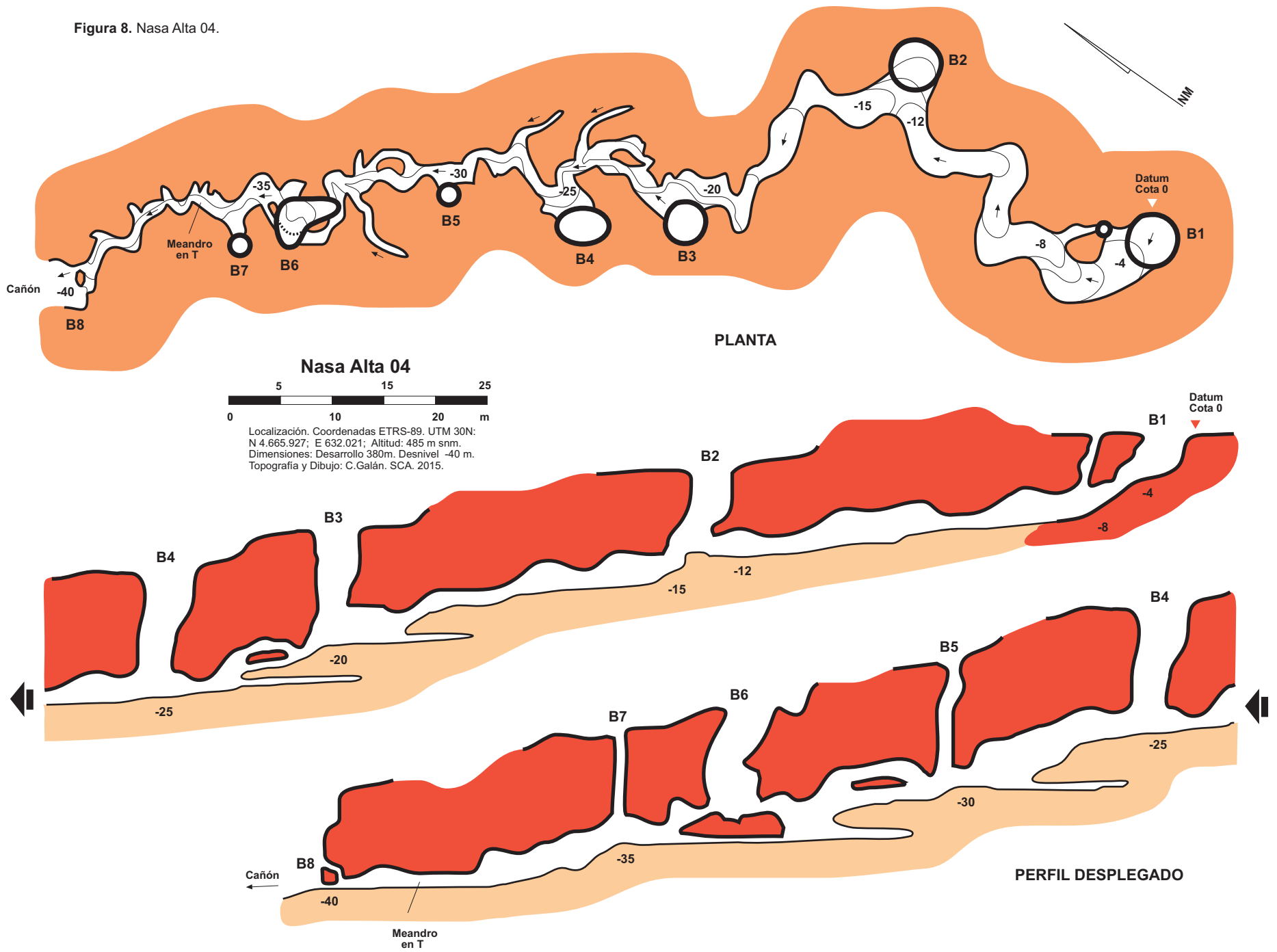
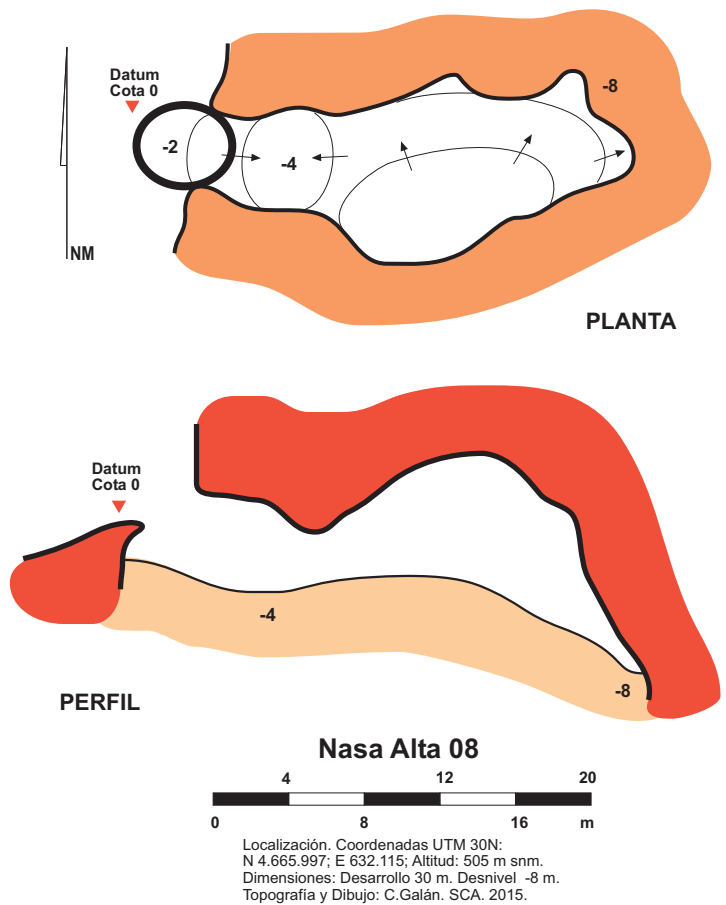
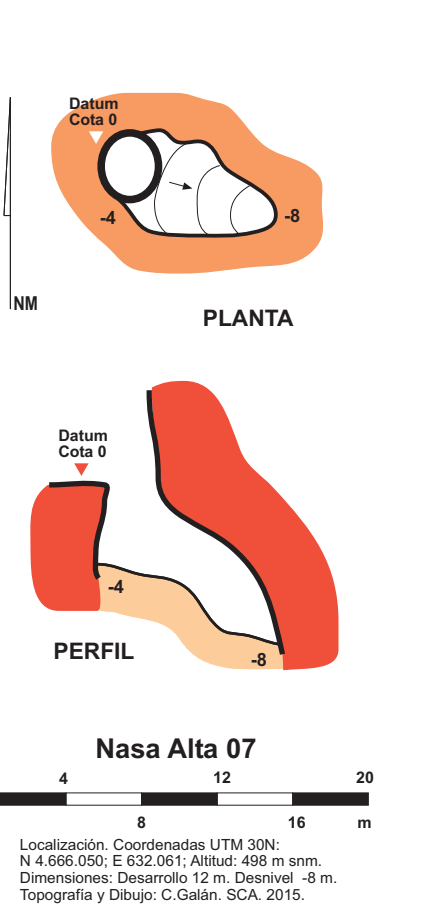
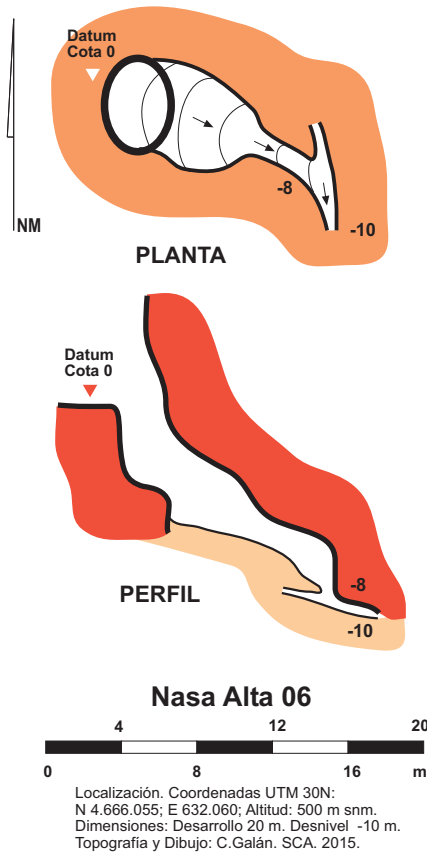
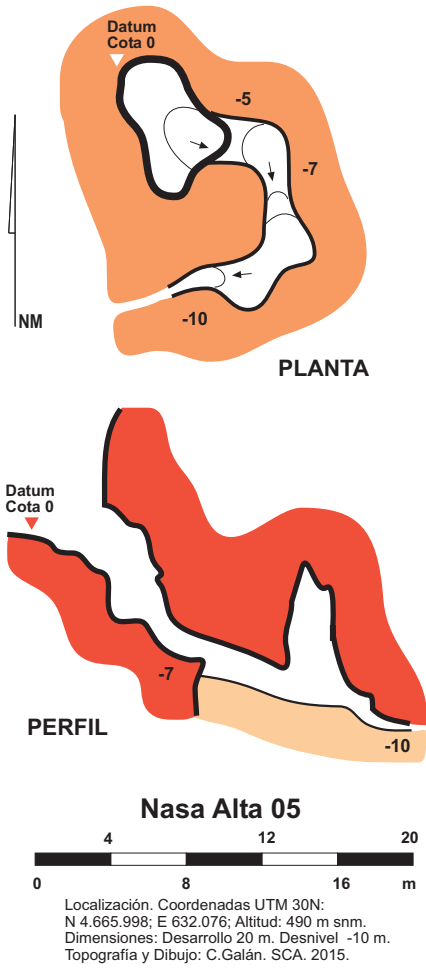


Figura 9. Nasa Alta 05 á 08.



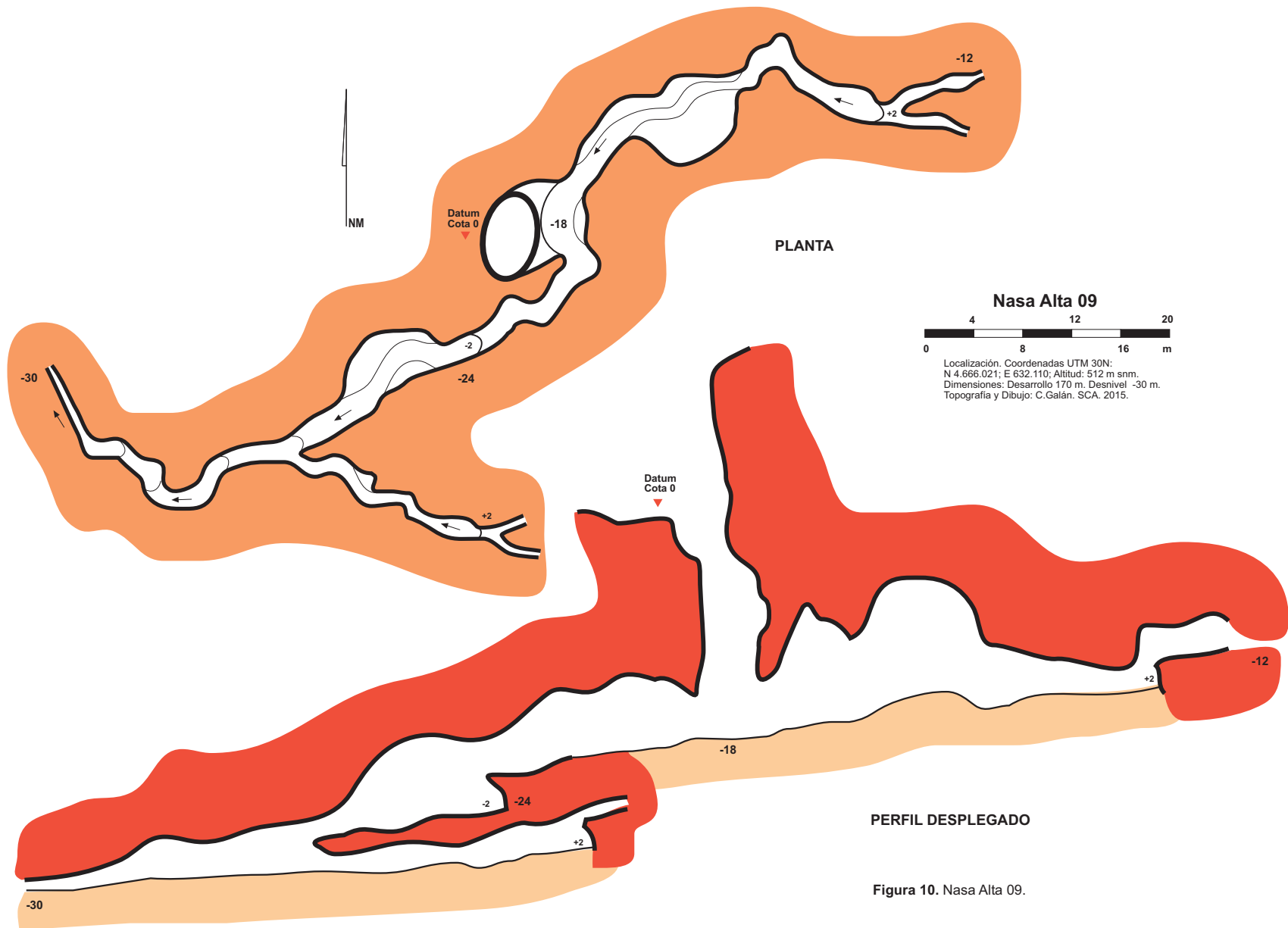
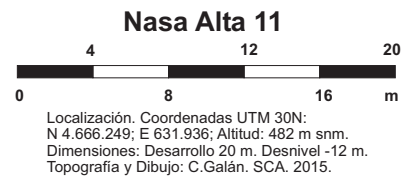
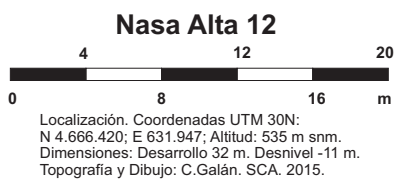
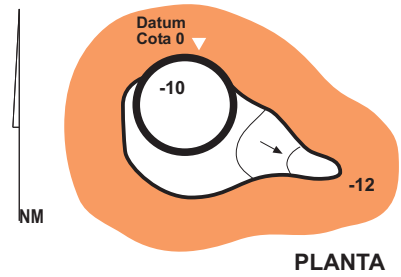
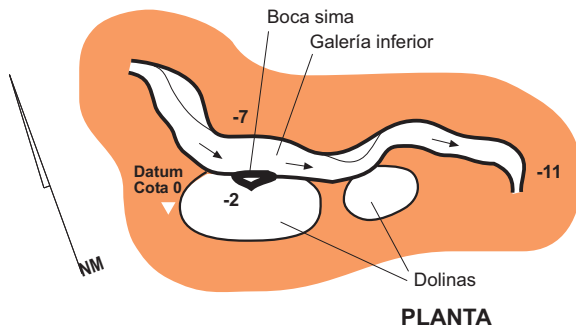
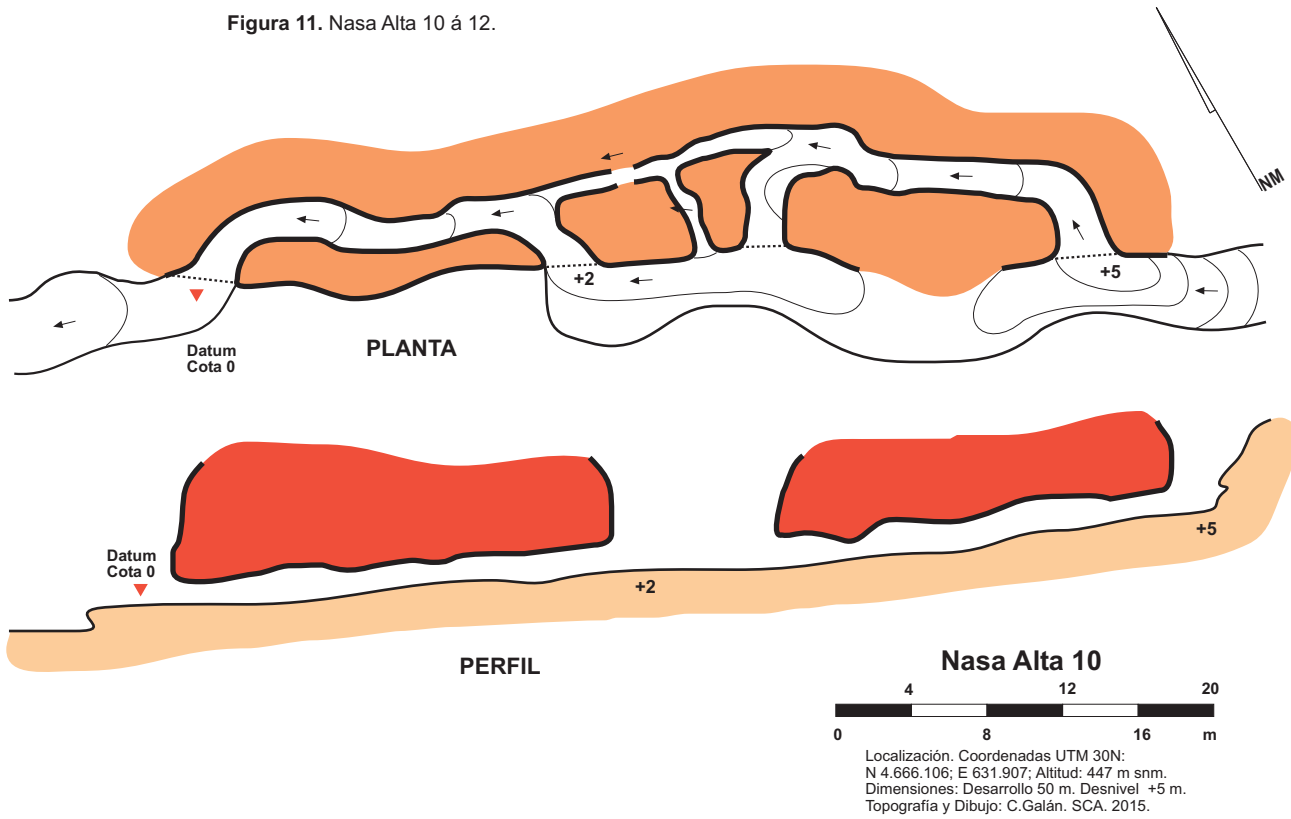


Figura 10. Nasa Alta 09.

Figura 11. Nasa Alta 10 á 12.



Según la bibliografía revisada, estos sistemas de simas y cuevas de las Bardenas pasan a ser los ejemplos más extensos y notables hasta ahora conocidos -a nivel mundial- para cuevas en arcilla. Algo que intuíamos pero que ahora pasa a ser una confirmación. De igual modo estos sistemas de cuevas en arcilla poseen espeleotemas novedosas y otros rasgos biológicos e hidrogeológicos de interés. El potencial para futuras prospecciones y exploración de cuevas es por demás considerable, pudiendo decirse que lo conocido es sólo la punta del iceberg, con respecto a lo que queda por conocer.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Los datos presentados son el resultado de exploraciones recientes efectuadas en el flanco W de la Nasa Alta (Bardena Negra). Se utilizaron los equipos habituales en espeleología (cascos con iluminación de frontales Leds, cuerda estática y jumars para verticales, y material de colección para fauna cavernícola). La zona de estudio fue seleccionada en base a observaciones previas y consulta de información cartográfica y foto aérea, encontrando nuevas cavidades en campo. Las cuevas fueron topografiadas con instrumental de precisión Suunto. Los planos han sido dibujados en programa Freehand (Figuras 7 á 11). Los principales rasgos de las cavidades son ilustrados con fotografía digital de 16 megapíxeles de resolución (Canon PowerShot SX600HS). Varias muestras de roca-caja, espeleotemas y fauna de artrópodos están en proceso de estudio en laboratorio.

## **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 NW de la meseta denominada Nasa Alta, de 629 m snm de altitud, al N del collado (514 m snm) entre la Nasa Alta y la Nasa Baja. La zona con cavidades queda enteramente incluida en territorio de Navarra y drena hacia el 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).

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 ciclonal), 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.

Otra dificultad que encontramos para la exploración de simas reside en que el terreno es poco consistente y no permite colocar clavos de expansión para evitar roces, teniendo que recurrirse a amarres naturales a arbustos o bloques, y sin poder efectuar fraccionamientos. Por ello hay que prestar particular cuidado a la elección del punto de instalación de las cuerdas, de modo que su roce durante el ascenso no produzca la caída de clastos o bloques incluidos en la matriz arcillosa. En el interior de las cavidades pueden encontrarse galerías (o tramos) donde las bóvedas y paredes son poco estables y están sujetas a desprendimientos, por lo que hay que avanzar con prudencia, evitando el contacto con las paredes en tales puntos. En otras ocasiones, las huellas de crecidas y la posición topográfica de la sima (con respecto al relieve de superficie que drena) puede indicar la magnitud potencial de riesgo en caso de lluvias o desprendimientos de ladera. En todo caso, cabe señalar y destacar que la exploración de cavidades en estos terrenos, poco consistentes, presenta problemas que no se dan en roca compacta como la caliza, y requieren cierta destreza y una progresiva experiencia para no exponerse a riesgos evitables. Esto a la vez explica por qué hemos dejado cavidades o galerías sin explorar, en espera de condiciones más propicias para un avance seguro.

En el texto presentamos la descripción de 12 cavidades, habiendo señalado la existencia de un número mayor, cuya exploración sólo es parcial, y de la posibilidad de continuaciones. Algunos otros sistemas y sus rasgos observados serán también comentados. Debido a la gran cantidad de simas, dolinas y hundimientos, no resulta fácil discriminar en foto aérea, ortofotos y cartografía, la posición de las bocas, ya que las sombras confunden y otras veces no son apreciables por abrirse contra paredes y escarpes, siendo mucho más fiables los datos obtenidos sobre el terreno. Para un trabajo de mayor precisión sería necesario contar con levantamientos topográficos de superficie entre las distintas bocas de cavidades, depresiones y formas del relieve reconocibles e identificables en cartografía y en campo.

## GEOLOGÍA

La entera región de la cuenca endorreica de las Bardenas ocupa un área de 600 km<sup>2</sup> y reposa en su parte basal, que aflora al W, en una espesa secuencia de arcillas y yesos (Formación Lerín, de edad Mioceno), a la que suprayace una secuencia margo-arcillosa superior sensiblemente horizontal (Formación Tudela, también Miocena). Estos materiales están revestidos por glaciares de cobertera del Pleistoceno (cantos y gravas con abundante matriz limo-arcillosa) y sedimentos Holocenos arcillosos menos compactos en las zonas planas inferiores.

Los taludes del flanco NW de la Nasa Alta están constituidos por materiales arcillosos (con intercalaciones delgadas de calizas, margas y lutitas) 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 arcillas rojas, margas y calizas (nivel 399 en la Cartografía Geológica de Navarra, SITNA), que tiene por base un nivel calizo muy visible de 4 m de potencia. (2) Bajo él, en los flancos y paredes subverticales de la meseta, aflora un nivel de arcillas rojas con espesores de 50 a 75 m (nivel 398), el cual contiene delgadas intercalaciones de nivelitos de caliza margosa, lutitas y arenisca, con profusión de paleocanales. (3) A menores cotas se desarrolla otra unidad de arcillas y margas ocreas y grises con nivelitos 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 ocreas, aunque también son frecuentes niveles grises en tramos de espesor decimétrico a métrico. Los nivelitos de caliza tienen texturas de tipo grainstone y grano fino, y se manifiestan en capas decimétricas. 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 los niveles medio (398) e inferior (396), existiendo cavidades que se extienden y atraviesan ambos. Las cavidades que actúan como surgencia (temporal) se localizan invariablemente en el nivel inferior.

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 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.

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.

Las cavidades exploradas descritas en esta nota se distribuyen y son parte de tres sistemas distintos de drenaje subterráneo. El Sistema 1, el más extenso, comprende las cavidades Nasa Alta 01 a 09. El Sistema 2, las cavidades Nasa Alta 10 y 11. Y el Sistema 3 la cavidad Nasa Alta 12. Las nueve cavidades del primer sistema totalizan 778 m de desarrollo topografiado de galerías, estando situada la boca más alta (Sima Nasa Alta 09) en la cota 512 m snm, y la más baja en la boca inferior (B8) de la Sima Nasa Alta 04, en la cota 444 m snm, siendo el desnivel entre ambos puntos de -68 m. Pero existen cavidades menores, que drenan hacia el mismo sistema, en el mismo collado entre las Nasas Alta y Baja (cota 514 m snm), siendo por tanto el desnivel de -70 m. Existe además un abrupto cañón-sima (con galerías subterráneas) que tiene su punto más alto 30 m por encima del collado, sobre el flanco NW de la Nasa Alta, por lo que el desnivel del sistema considerando parte del mismo a esta cavidad alcanza los -100 m. En el segundo sistema el desnivel conocido es de 35 m, pero puede extenderse considerablemente más por encima de la cavidad superior (Nasa Alta 11). El tercer sistema incluye la cavidad situada a mayor altitud (Nasa Alta 12, a 535 m snm), existiendo grupos de simas interconectadas (aún por explorar) tanto por encima de la depresión en que se localiza dicha cavidad, como por debajo de la misma; potencialmente este sistema puede cubrir un desnivel de -120 m (entre cotas de 560 y 440 m snm).

En total, las cavidades exploradas en este sector suman 880 m de desarrollo topografiado de galerías. Y puede estimarse que futuras exploraciones hagan pasar esta cifra a más de 2 km. La sima Nasa Alta 04 (con 380 m de desarrollo y -40 m de desnivel), pasa a ser actualmente la mayor cavidad del mundo en arcillas (mud caves), y la región en su conjunto presenta un karst en arcilla notable por sus rasgos y variedad de fenómenos a nivel mundial. Veremos a continuación las principales características de las cavidades exploradas.





**Figura 12.** Sima Nasa Alta 01: Detalles de sima de entrada (-4 m), galería descendente y continuación inferior.



**Figura 13.** Sima Nasa Alta 02: vertical de -20, con rampa intermedia y detalles de acceso a galería inferior.



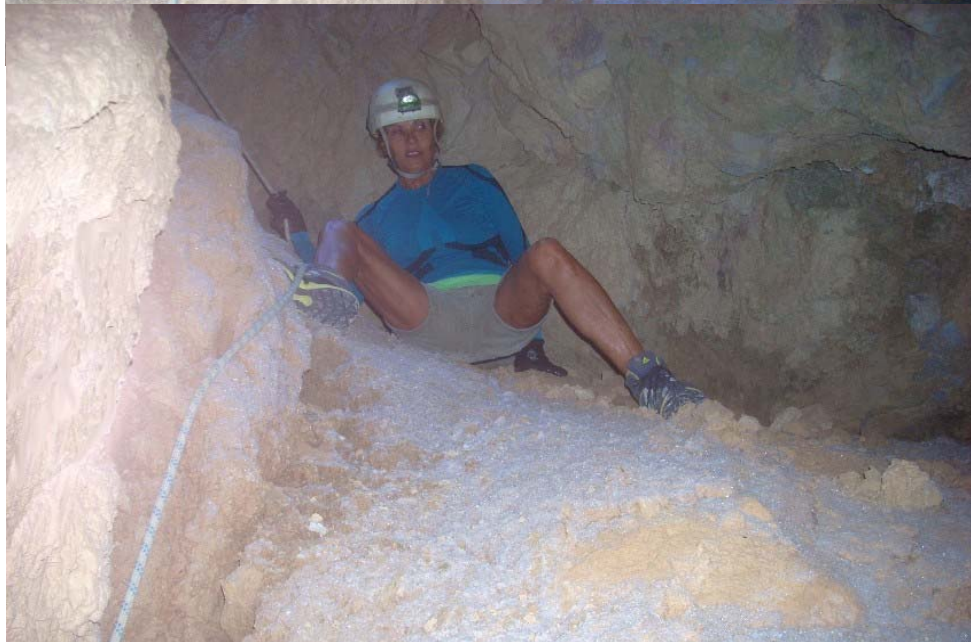
**Figura 04.** Sima Nasa Alta 02. La galería inferior, detalle de bandas de arcillas grises y rojas, alcanzando la rampa intermedia de la sima y vista hacia la boca de entrada.



**Figura 15.** Inicio en rampa de la vertical de -22 m de la sima Nasa Alta 03 (con la galería colgada) y vista desde el interior hacia la boca (las manchas blancas y grises son espeleotemas de yeso. Nótese en las paredes los numerosos clastos incluidos en la matriz arcillosa.



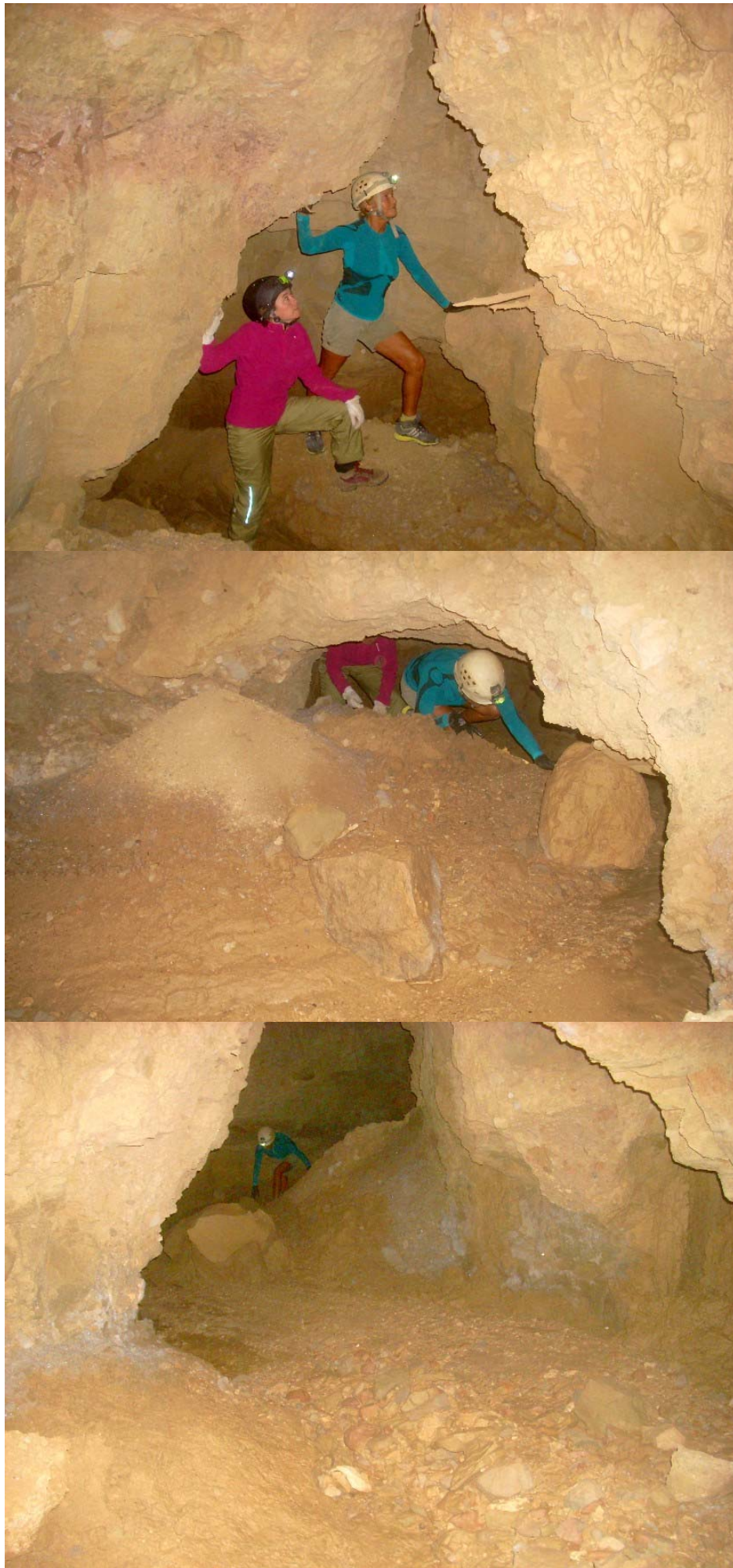
**Figura 16.** Sima Nasa Alta 03. Vista de la vertical de acceso desde su base, galería inferior, detalles de clusters de espeleotemas aciculares de yeso y bandas de arcillas rojas y grises.



**Figura 17.** Sima Nasa Alta 04. Vertical de acceso en rampa y recubrimientos de yeso.

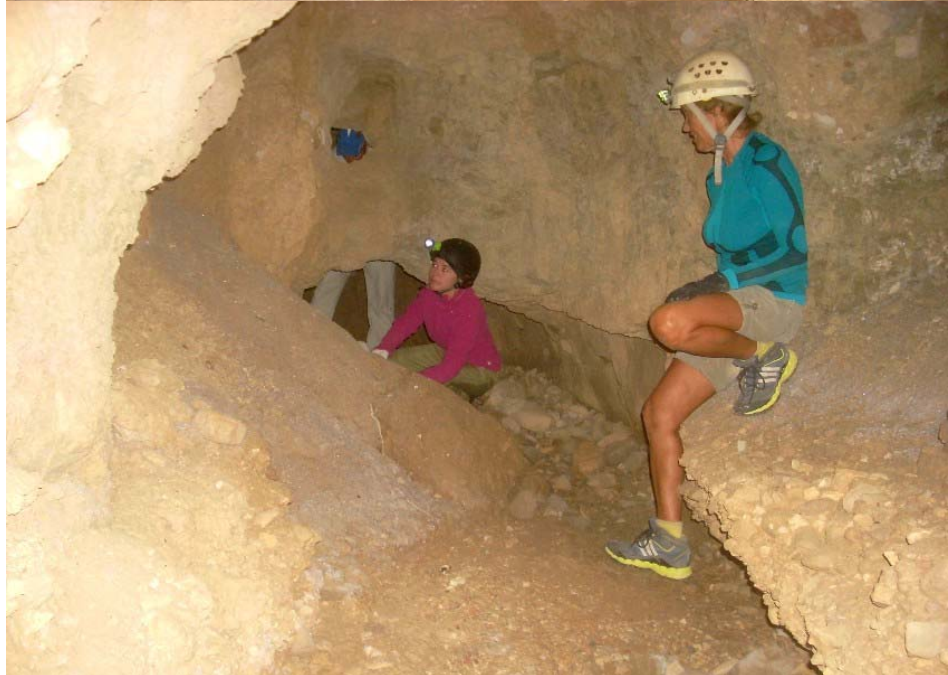
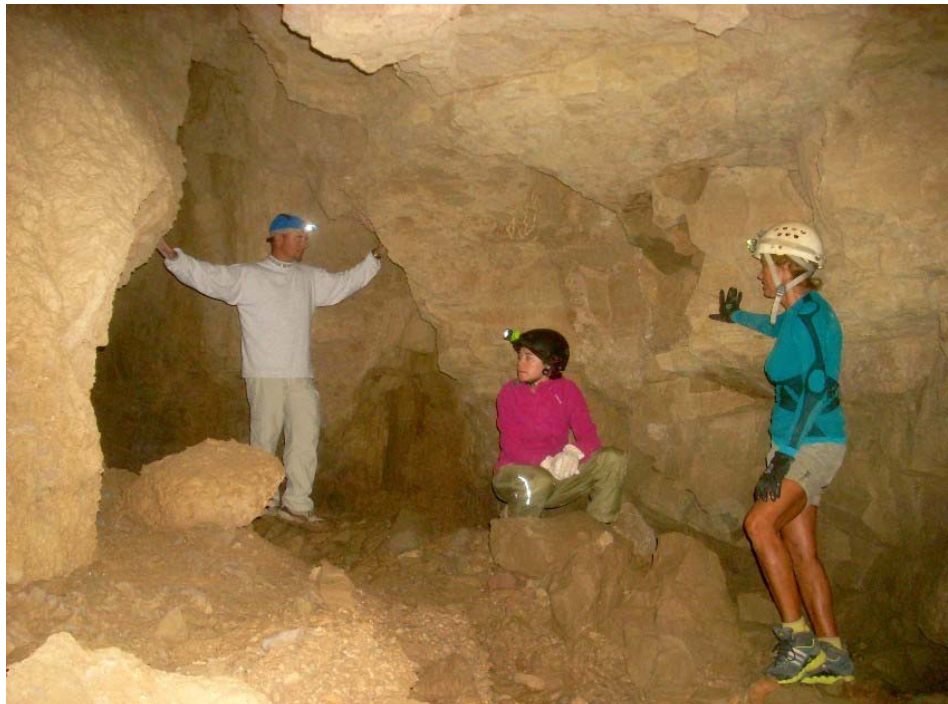


**Figura 18.** Sima Nasa Alta 04, galería principal, con un cauce entallado, espeleotemas de agujas de yeso y algunos recubrimientos de calcita en las zonas más secas.



**Figura 19.** Diversos aspectos de la galería principal en la sima Nasa Alta 04, cavidad de 380 m.





**Figura 20.** Sima Nasa Alta 04. Tramos amplios, pasos de techo bajo y cauce temporal.



**Figura 21.** Galería principal de la sima Nasa Alta 04, y detalle de espeleotemas de illita.



**Figura 22.** Galería principal, pequeños laterales y espeleotemas de yeso, illita y carbonatos.

## DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES

### **Sima Nasa Alta 01.**

Situación: A 75 m en planta al N del collado (514 m snm) que separa la Nasa Alta de la Nasa Baja.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.992; E 632.081; Altitud 500 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 24 m. Figuras 7 y 12.

Descripción: La boca de 2 m de ancho x 3 m de largo se abre en la base de una pared vertical. Consta de un pozo de entrada de -4 m que prosigue en galería descendente hasta un resalto de -2 m que conduce a una galería inferior. Esta finaliza a los 10 m en un estrechamiento impracticable.

### **Sima Nasa Alta 02.**

Situación: A 42 m en planta al W de la sima Nasa Alta 01.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.913; E 632.041; Altitud 490 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -25 m; Desarrollo espacial: 52 m. Figuras 7 y 13-14.

Descripción: Sima de boca semicircular de 6 m de diámetro y -20 m de desnivel. El pozo de entrada es vertical los 6 primeros metros y luego prosigue en una sala en rampa descendente hasta un nuevo reborde vertical. Su base prosigue en galería descendente de 2 m de diámetro hasta la cota -25 m. Aquí la galería pasa a ser un arrastradero horizontal que a los 10 m dobla en ángulo y reduce sus dimensiones, resultando impracticable. Hasta el punto alcanzado el desarrollo es de 52 m.

### **Sima Nasa Alta 03.**

Situación: A 63 m en planta al NE de la sima Nasa Alta 04 y a igual altitud.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.966; E 632.068; Altitud 485 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -28 m; Desarrollo espacial: 70 m. Figuras 7 y 15-16.

Descripción: Se trata de otra sima de boca amplia y alargada, que se abre contra una pared. Se desarrolla en rampa hasta la cota -7 m para luego caer en vertical aérea hasta la cota -22. En la pared opuesta a la rampa de descenso, en la cota -8 m, se observa colgada una galería, al parecer de corto desarrollo. La base de la sima es una galería amplia que puede seguirse en ambas direcciones. En sentido ascendente es muy amplia (6 m de ancho x 8 m de alto) y finaliza bajo una chimenea. En sentido descendente la galería tiene inicialmente 4 m de ancho x 8 m de alto, pero va reduciendo su sección y, tras un giro, intercepta en la cota -28 m un arrastradero de débil dimensión. El desarrollado explorado es de 70 m. La cavidad posee espeleotemas de yeso, que forman recubrimientos densos y extensos de agujas cristalinas, de varios milímetros de largo, los cuales crecen sobre la arcilla de las paredes en zonas secas y ventiladas.

### **Sima Nasa Alta 04.**

Situación: A 90 m en planta al NNW del collado (514 m snm) que separa la Nasa Alta de la Nasa Baja y a 25 m al NW de la sima Nasa Alta 02.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.927; E 632.021; Altitud 485 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -40 m; Desarrollo espacial: 380 m. Figuras 8 y 17 a 24.

Descripción: Es la cavidad más extensa de todas las exploradas. La boca (B1) es amplia y forma una sima en rampa, que puede descenderse con ayuda de cuerda hasta la cota -8 m, donde se alcanza una galería subhorizontal de 2-4 m de diámetro. En este punto hay una claraboya vertical, más estrecha, que comunica con superficie. A partir de este punto sigue una galería principal, sinuosa, que alterna tramos amplios con pasos estrechos o de techo bajo, a lo largo de 250 m de recorrido. La parte final sensiblemente horizontal, es un meandro con sección en T, y un cauce encajado y húmedo que sale a una boca inferior (B8) en el inicio de una entallada garganta o gully. A lo largo del trayecto la galería pasa al lado (o debajo) de 6 bocas de sima o claraboyas de 10 a 15 m de desnivel cada una (B2 a B7). Por lo que contando la boca de acceso y la inferior posee un total de 8 bocas. Los laterales bajo las simas y el desarrollo de estas agregan 105 m más de desarrollo. Hay por último algunos tramos de galería dobles (superpuestas) y pequeños laterales afluentes (arrastraderos), que suman 25 m explorados, dando un total topografiado de 380 m de desarrollo y -40 m de desnivel. En época seca podría avanzarse algo más en los arrastraderos, ampliando el desarrollo de la cavidad a más de 400 m de galerías.

La cavidad es seca y bien ventilada (por corrientes de aire entre sus bocas), a excepción del cauce encajado con forma de meandro en la parte inferior, el cual posee arcilla húmeda, con huellas evidentes de la circulación periódica de aguas. Las paredes poseen varias zonas con espeleotemas de yeso y, en la mitad inferior, otras espeleotemas y coladas estalagmíticas de arcilla (illita), carbonatos (calcita), y tal vez otros minerales secundarios o combinaciones de ellos (incluyendo p.ej. ópalo y montmorillonita).

Detalles sobre las espeleotemas halladas en estas cavidades de la Nasa Alta serán objeto en un trabajo separado, que presentaremos cuando concluyamos su estudio analítico. De momento sólo queremos destacar que la ocurrencia de espeleotemas no había sido reportada para cuevas en arcilla a nivel mundial, salvo para cuevas exploradas hace poco por nosotros en esta región de Las Bardenas (Galán et al, 2015).

#### **Sima Nasa Alta 05.**

Situación: A 32 m en planta al N de la sima Nasa Alta 03.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.998; E 632.076; Altitud 490 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 9 y 25-26.

Descripción: La boca se abre en la base de una pequeña pared y desciende escalonada un desnivel de 7 m (que se puede bajar destrepando, sin empleo de cuerda). Aquí prosigue en galería amplia que a los 20 m se cierra en arrastradero.

La cavidad destaca por poseer espectaculares crecimientos de espeleotemas aciculares de yeso, cuyo espesor alcanza desde algunos milímetros a varios centímetros.

Algunas son revestimientos simples de grupos de agujas blancas de menos de 1 mm de diámetro y varios mm de largo, pero también hay recubrimientos delicados y densos que despliegan crecimientos radiales (frostworks) y tramas con formas algodonosas de intrincado diseño, muy delicadas y que recuerdan al algodón de azúcar o algodón de fibra de vidrio. Una ocurrencia excepcional. Estos recubrimientos algodonosos pueden formar proyecciones colgantes en forma de estalactitas níveas y etéreas.

#### **Sima Nasa Alta 06.**

Situación: A 97 m en planta al NNW de la sima Nasa Alta 05.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.055; E 632.060; Altitud 500 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 9 y 27.

Descripción: La boca es una sima en rampa que desciende -8 m, ampliándose e interceptando una galería inferior que se obstruye enseguida en ambos sentidos. El punto más bajo es la cota -10 m. Esta cavidad también posee algunas espeleotemas aciculares de yeso.

#### **Sima Nasa Alta 07.**

Situación: A 5 m en planta al N de la sima Nasa Alta 06.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.050; E 632.061; Altitud 498 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figuras 9 y 27.

Descripción: Se abre al lado de la cavidad anterior y, tras un escalón vertical de -4 m, sigue en rampa para obstruirse por colapso de bloques de arcilla en la cota -8 m. Su desarrollo totaliza 12 m.

#### **Sima Nasa Alta 08.**

Situación: A 80 m en planta al SE de la sima Nasa Alta 07.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.997; E 632.115; Altitud 505 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 30 m. Figuras 9 y 28.

Descripción: La boca presenta un escalón vertical de 2 m el cual da paso a una amplia boca de cueva. El vestíbulo o pórtico de acceso se amplía formando un salón de 25 m de largo y 7 m de altura, con relleno de bloques de arcilla bajo la bóveda central. En su fondo, descendente, se alcanza un pequeño meandro en la cota -8 m. En la cavidad encontramos diversos acúmulos de guano de quirópteros (que deben frecuentar la cueva en algunas épocas del año) así como algunas espeleotemas de yeso y de calcita.

#### **Sima Nasa Alta 09.**

Situación: A 25 m en planta al N de la sima Nasa Alta 08.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.021; E 632.110; Altitud 512 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -30 m; Desarrollo espacial: 170 m. Figuras 10 y 29 a 32.

Descripción: La boca se abre en el interior de una dolina, contra una pared de base extraplomada y presenta una vertical de -18 m. Inicialmente en rampa (4 m) cae luego en vertical absoluta (14 m), y enlaza en el centro de una amplia y alta galería, con un cauce que presenta huellas de circulación periódica de agua. El cauce posee algunos rellenos de cantos rodados alóctonos (de areniscas, margas y calizas), procedentes sin duda de la erosión de niveles altos de esas litologías localizados en el tope de la meseta. El cauce, de arcilla húmeda, presenta incluso un par de pozas de agua en su recorrido. Es una de las mayores cavidades exploradas, con 170 m de desarrollo y un desnivel total de -30 m.

La galería en sentido río arriba es amplia (4 m) y alta (8 m), presenta una ampliación en sala y a los 40 m alcanza un escalón vertical de +2 m, coronado por un estrato rocoso margo-calizo, difícil de remontar, sobre el cual la galería se bifurca en dos galerías menores. Río abajo la galería es de sección circular y a los 20 m presenta un escalón vertical de -2 m que requiere cuerda. En su base se forma una amplia sala, descendente, que prosigue 50 m en una galería descendente, a la cual se le une otro lateral. Siguiendo río abajo la galería va reduciendo sus dimensiones en un recorrido sinuoso. En la cota -30 m describe un giro y prosigue más de 10 m en arrastradero excavado en arcilla húmeda. El lateral ascendente aporta también un cauce que a los 20 m presenta un escalón de +2 m, difícil de remontar, sobre el cual la galería prosigue con menores dimensiones. Como el tiempo durante la exploración era lluvioso, no nos aventuramos a seguir los conductos más estrechos, por el riesgo de una eventual crecida, pero en época seca podría proseguirse las exploraciones (en todos los extremos de la red). La cavidad posee algunas espeleotemas de yeso, carbonatos y probablemente otros minerales secundarios.



**Figura 23.** Sima Nasa Alta 04. Estalactitas y coladas estalagmíticas de illita, formadas por fluidificación y desecación de las arcillas, y agujas de yeso en clastos y salientes aireados.



**Figura 24.** Galerías meandriformes en la parte inferior de la sima Nasa Alta 04, con tramos de barro húmedo en el cauce. Arrastradero o tramo de techo bajo en la proximidad de la boca B8.



**Figura 25.** Sima Nasa Alta 05, boca de acceso y profusión de espeleotemas aciculares de yeso.





**Figura 26.** Galería inferior de la sima Nasa Alta 05, con frostworks y delicadas tramas algodonosas de yeso.



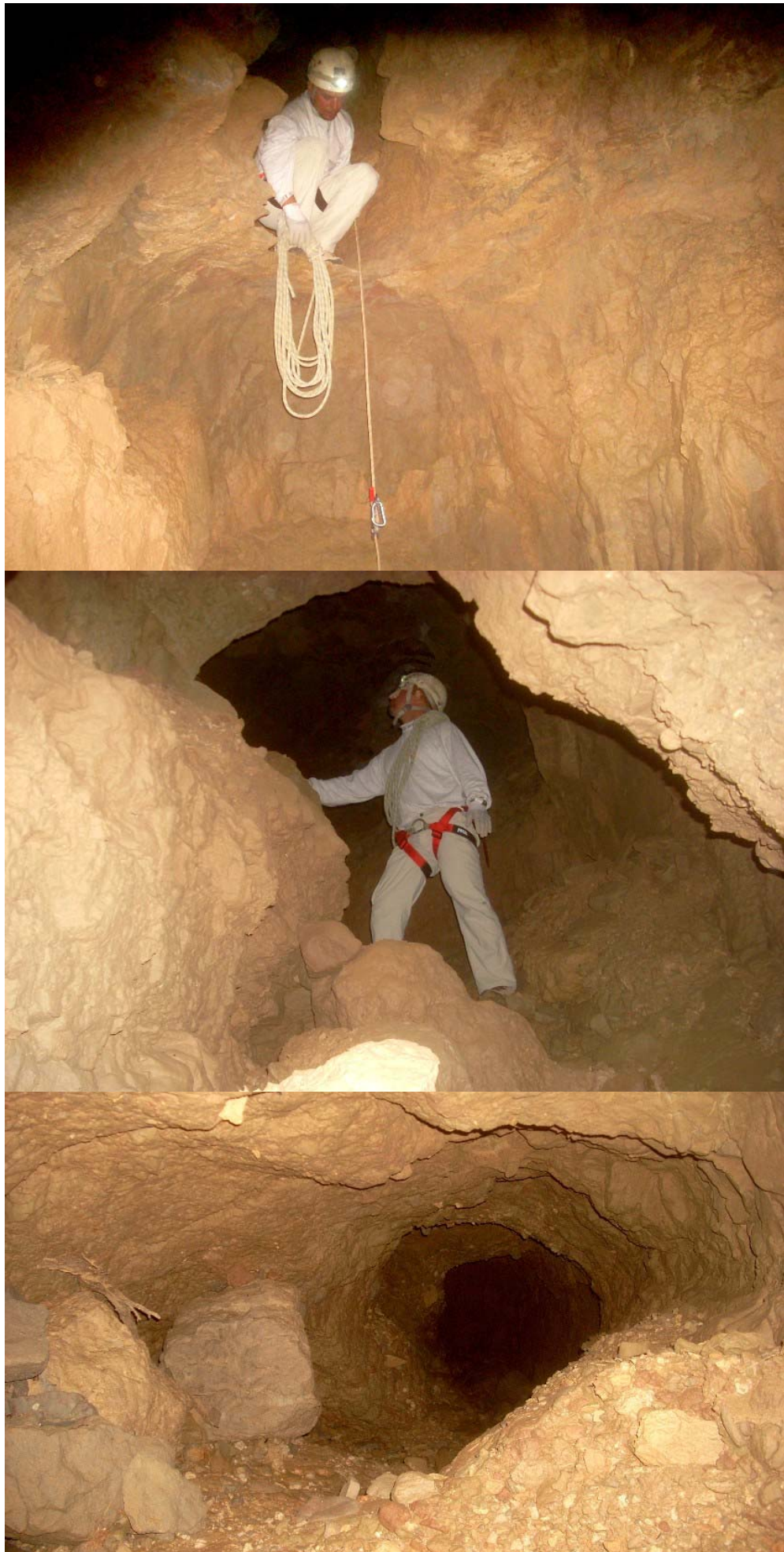
**Figura 27.** Entrada y cristales de yeso en la sima Nasa Alta 06 y vertical de acceso a Nasa Alta 07.



Figura 28. Acceso y salón interno de la sima Nasa Alta 08.



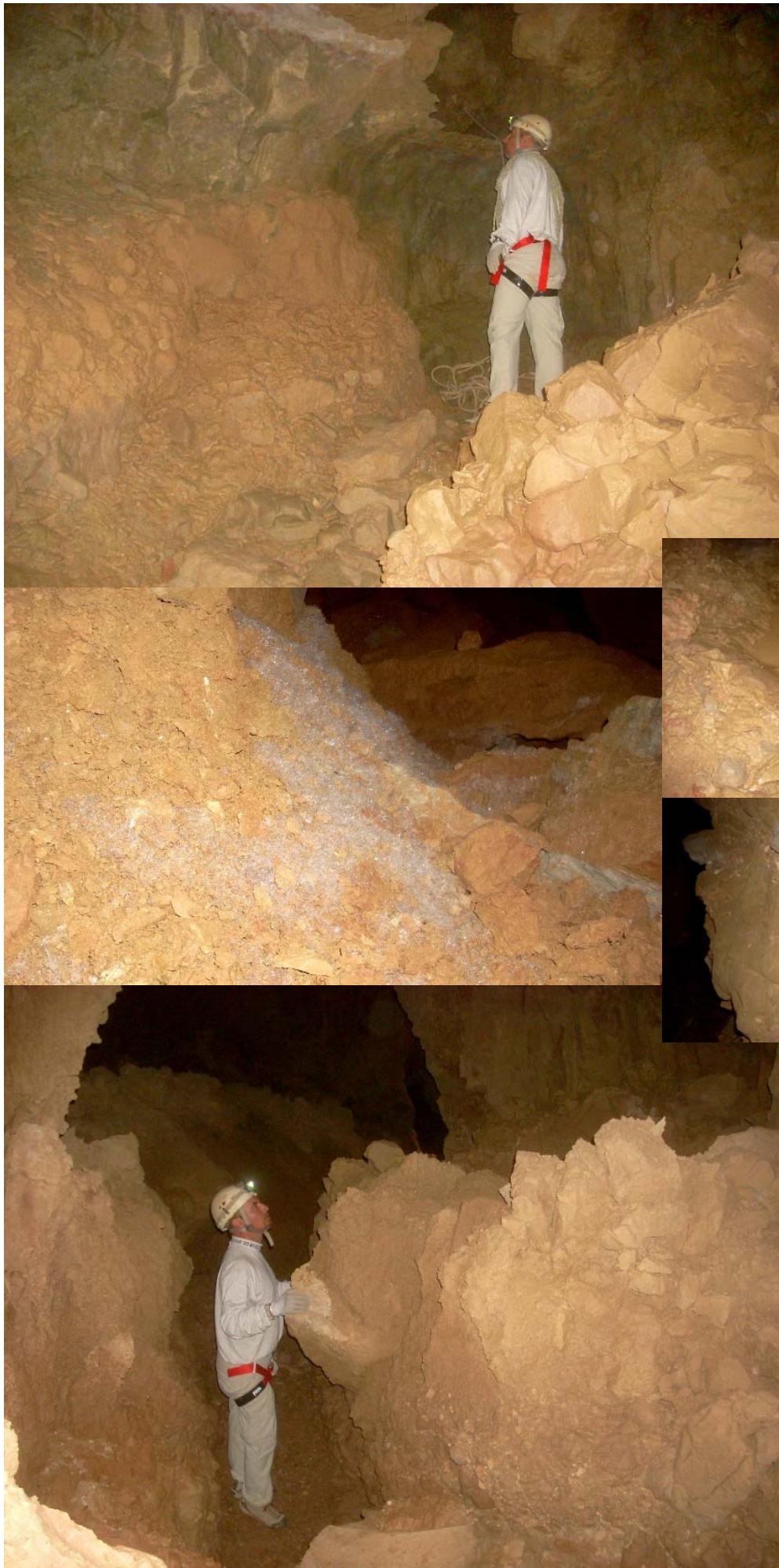
**Figura 29.** Vertical de acceso y detalles de ascenso y descenso con técnica de cuerda estática y jumars en la sima Nasa Alta 09.



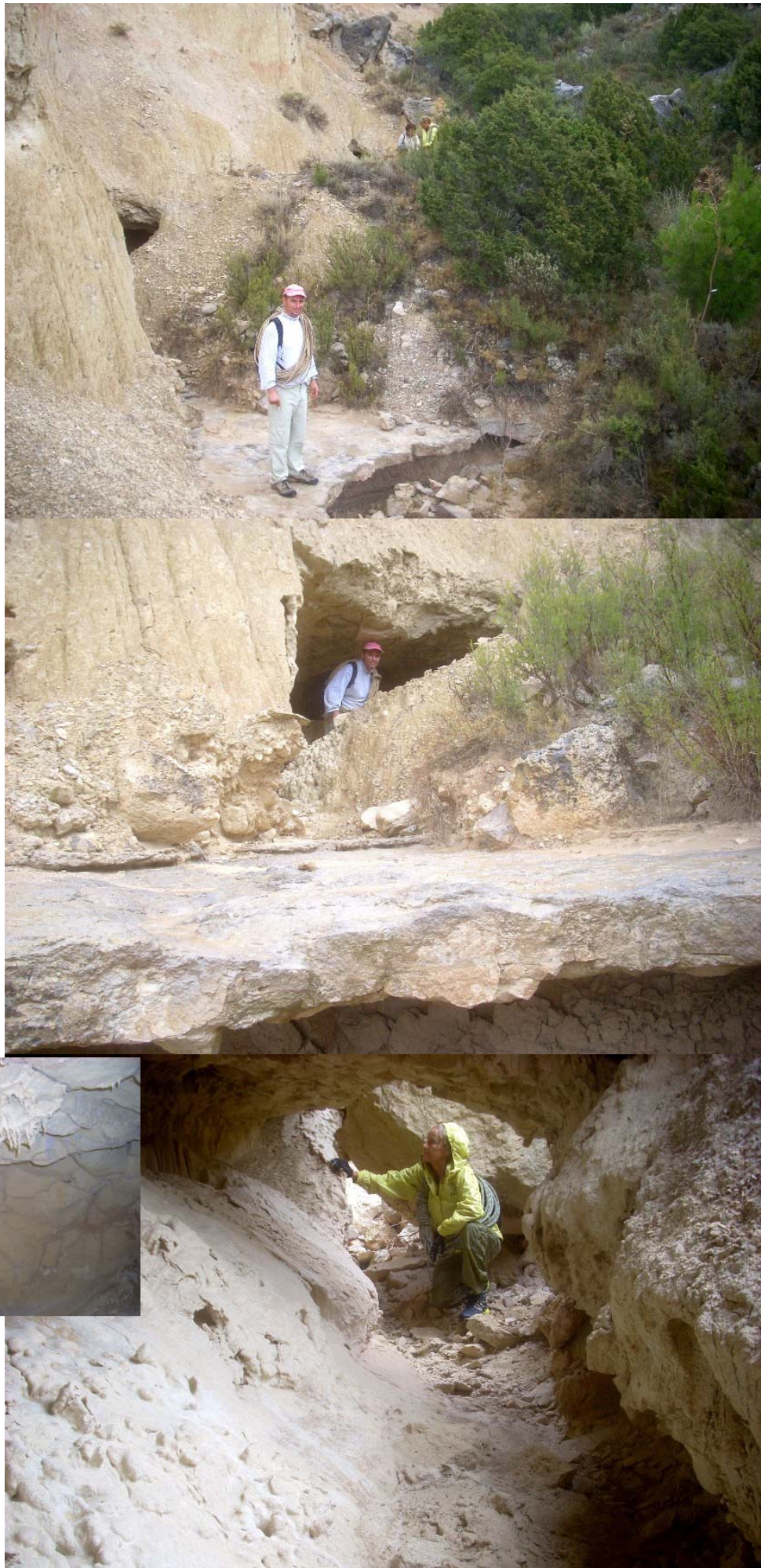
**Figura 30.** Galería inferior de la sima Nasa Alta 09, tras el escalón vertical de 2 m.



**Figura 31.** La sima Nasa Alta 09 es una de las más extensas, con 170 m de desarrollo. Detalles de la morfología de sus galerías, con bloques de colapso y bandas de arcillas multicolores.



**Figura 32.** Galerías en la sima Nasa Alta 09, con espeleotemas de yeso, charcas y cantos rodados.



**Figura 33.** Cueva Nasa Alta 10. Tramo inferior y detalle de espeleotemas de illita.



### **Cueva Nasa Alta 10.**

Situación: A 310 m en planta al N del collado (514 m snm) que separa la Nasa Alta de la Nasa Baja.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.106; E 631.907; Altitud 447 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: +5 m; Desarrollo espacial: 50 m. Figuras 11 y 33-34.

Descripción: La cavidad se localiza en la zona de cabecera de otro barranco, situado más al N del sector anterior. Remontando el barranco y tras superar un escalón rocoso se alcanza la cavidad, que se desarrolla lateralmente sobre la pared del barranco. Consta de dos tramos, de 20 y 30 m, que constituyen la continuación del talweg, enlazados por conductos menores. La sección de las galerías es circular, de 1 a 2 m de diámetro y la cavidad asciende +5 m. Sobre ella, el cauce externo se torna muy abrupto y empinado, con depresiones internas. La cavidad posee ejemplos notables de espeleotemas de illita.

### **Sima Nasa Alta 11.**

Situación: A 177 m en planta al N ligeramente NNE de la cueva Nasa Alta 10.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.249; E 631.936; Altitud 482 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 11 y 35.

Descripción: La cavidad se localiza en la parte alta de una cresta situada al N del barranco anterior, sobre la misma ladera pero casi en la línea de cresta. La boca es de 5 m de diámetro y sección circular, y cae en simaacampanada de -10 m de desnivel. Su base forma una sala más amplia, en declive, que se obstruye por colmatación en su punto más bajo, cota -12 m.

Estas dos cavidades (Nasa Alta 10 y 11) forman un segundo sistema de drenaje subterráneo, y sobre la ladera, a media altura entre ambas cavidades, hay otras dos pequeñas cuevas surgentes, que se cierran por estrechas.

### **Sima Nasa Alta 12.**

Situación: A 100 m en planta al N de la sima Nasa Alta 11. A 580 m al N del collado que separa la Nasa Alta de la Nasa Baja.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.666.420; E 631.947; Altitud 535 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -11 m; Desarrollo espacial: 32 m. Figuras 11 y 36-37.

Descripción: Es la cavidad situada más al N de todas las cavidades exploradas. Y forma parte de un tercer sistema de drenaje subterráneo, que se inicia en la pared de la meseta. Una boca rectangular, prácticamente colgada en la pared, pero que se cierra obstruida por derrumbe, prosigue formando un surco externo, con varias bocas de simas, escalonadas, en las que se puede observar la existencia de una galería inferior, a -10 m de desnivel, que no exploramos por el riesgo de lluvias. Esta especie de canalización va a dar a una depresión en su base, amplia y caótica, pero obstruida. A su lado hay otra dolina menor, en cuyo fondo contra la pared (de arcillas rojas) se abre la estrecha boca de la sima 12.

Un exiguo paso, de 1 x 0,4 m, cae en vertical a través de un pozo amplio. En su base (cota -7 m) se alcanza una galería que puede seguirse en ambas direcciones. Hacia arriba se estrecha enseguida en arrastradero de donde parece proceder el drenaje de la depresión adyacente y la canalización con simas que provienen de la boca colgada rectangular. Hacia abajo sigue una galería en meandro descendente, que a los 20 m (cota -11) se torna un arrastradero en arcilla húmeda, por el que se podría avanzar en época seca. En la misma ladera W, más abajo, hay también dos grandes depresiones obstruidas por colapso, bajo las cuales parece dirigirse el drenaje de esta sima. Este tercer sistema drena hacia la cabecera de otro barranco, situado al N del sistema anterior.

## **HIDROGEOLOGÍA**

Dada la situación geográfica y el trazado observable de las galerías, las cavidades exploradas se organizan en tres sistemas de drenaje dendríticos (Figuras 38 a 44). El primero de ellos, que comprende las simas Nasa Alta 01 a 09, tributa hacia la boca surgente B8 de la sima 04, localizada en la cota 444 m snm, en la cabecera de una garganta entallada o gully, a 230 m de distancia en planta al NNW del collado entre ambas Nasas.

Esta cabecera del Barranco de los Sorianos sigue un cauce temporal hacia el W, al que a los 450 m de distancia se le une otro cauce afluente formando una Y. La rama N de la Y presenta otra zona de surgencia donde se localiza la cueva Nasa Alta 10, en la cota 447 m snm. Hacia este sector drena el segundo sistema, del que forman parte las cavidades 10 y 11 y que se extiende al N del sistema anterior hasta la base de las paredes del flanco W de la Nasa Alta.

El cauce epígeo del barranco de Los Sorianos, se dirige descendiendo hacia el W para describir un giro y tomar dirección N. A partir de la citada confluencia en Y, tras 2 km de recorrido, presenta la unión con otro barranco afluente, en cuya cabecera E se localiza la zona de surgencia del tercer sistema, sobre la cota 400 m snm.

El conjunto de los tres sistemas drena un franja de 250 m de anchura en sentido E-W (desde la pared de la meseta hasta las zonas de surgencia) por 860 m de largo en sentido S-N (sobre el flanco W, entre el collado de Las Nasas y el límite N del tercer sistema), lo que representa un área de 0,215 km<sup>2</sup>. El caudal medio anual drenado por estos sistemas supone una cifra del orden de 2,4 l/s. Pero como son pocos los días de lluvia al año, y dado el carácter tormentoso de una buena parte de las precipitaciones, puede suponerse que las pérdidas por evapotranspiración son bajas. La mayor parte del caudal se infiltra apenas caer y alimenta a las redes subterráneas que luego desaguan en los gullies inferiores, pero el sistema es intermitente y las cavidades permanecen secas gran parte del año. Estimamos que en eventos de lluvia fuerte pueden producirse crecidas con caudales del orden de 50 l/s,

con fuerte capacidad erosiva. Esto concuerda con las morfologías observadas en el interior de las cavidades, cuyos suelos tienen a menudo un canal de drenaje central, más fuertemente encajado que la amplitud de la galería.

Aunque el mecanismo de tubificación (así como cierto grado de disolución de las partículas minerales) son los mecanismos primarios de creación de conductos, galerías y cavernas, la ampliación volumétrica de los mismos ocurre tanto por erosión como por colapsos de descompresión mecánica, siguiendo a fases alternas de actividad hídrica. Las crecidas subsiguientes remueven y exportan los materiales desprendidos, ampliando las redes subterráneas en volumen y extensión.

Observaciones de campo muestran que el dispositivo estructural de las mesetas tabulares en el sector posee un ligero basculamiento hacia el SE, con buzamientos locales de los estratos arcillosos hacia el E y SE. Tal dispositivo en el talud, que no se da en otras mesetas, facilita o propicia la infiltración.

Muchas de las cavidades exploradas, tras las simas iniciales, profundizan hacia el E, para luego descender hacia N ó S y, al alcanzar cierta profundidad, cambia la dirección del drenaje tomando un rumbo opuesto, hacia las zonas de surgencia situadas al W. En las cavidades mayores la orientación final de las galerías guarda relación con la posición que ocupan las surgencias inferiores, en general en la parte W más baja de los taludes.

Así, tanto la infiltración vertical como la escorrentía de la parte superior de la meseta, ve facilitada su infiltración sobre el talud por el leve buzamiento hacia el E de los estratos. El fuerte gradiente hidráulico impuesto por la diferencia de cota entre las cavidades y la zona de surgencia, propicia en este caso la karstificación de las arcillas y la espeleogénesis. Con formación de gran número de cavidades, dolinas y depresiones de hundimiento sobre la zona de circulación de los drenajes subterráneos.

Los rasgos observados en los flancos W de la Nasa Alta y Nasa Baja, con gran profusión de cavidades, suponemos que pueden presentarse en otras mesetas de la región que posean condiciones similares. Por lo que existe un considerable potencial para futuros descubrimientos de cavidades de mayores dimensiones que las conocidas.

## **BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA**

Aunque hasta la fecha no se han efectuado prospecciones biológicas detalladas con empleo de cebos atrayentes, no han sido hallados cavernícolas especializados en estos sistemas de cuevas. Lo que no quiere decir que no pueda haberlos.

En muchas de las cavidades encontramos numerosas huellas de micromamíferos (topillos y roedores), así como heces de carnívoros (zorro, comadreja, tejón) y acumulaciones dispersas de guano de quirópteros. En la Nasa Baja reportamos la presencia de quirópteros en una de las cavidades (Galán et al, 2015), correspondiente a 7 ejemplares de una especie del género *Myotis*. Por lo que muchas cavidades pueden servir de refugio o abrigo temporal a una gran variedad de mamíferos. En la sima Nasa Alta 08, que posee un amplio salón en zona oscura, también encontramos evidencias de su frecuentación por quirópteros.

En la sima Nasa Alta 03, que posee una galería colgada en una cornisa en la sima de acceso, y en la base de la vertical, observamos plumas de córvidos *Pyrrhocorax* (chovas), que aparentemente utilizan la cornisa como posadero. En otras cavidades de las Bardenas hemos reportado igualmente la presencia de lechuzas y cárabos, por lo que diversas rapaces nocturnas frecuentan también estos ambientes, generalmente en zona de entrada.

La fauna de invertebrados incluye especies troglógenas de araneidos, opiliones, isópodos, colémbolos, dípteros, ortópteros y coleópteros Carabidae y Curculionidae. Los más frecuentes y fácilmente observables en las zonas de entrada son araneidos. En zona oscura la fauna es mucho más escasa, encontrándose araneidos (con sus telas de caza y puestas de huevos o cocoons), de especies aparentemente troglófilas y hábitos predadores. Otras especies detritívoras o micrófagas incluyen especies troglófilas de isópodos y colémbolos. Así como especies de coleópteros curculiónidos rizófagos, que se alimentarían de las raíces que alcanzan las cavidades u otros restos vegetales aportados por crecidas. Entre el material arrastrado por las crecidas también encontramos conchas vacías de caracoles terrestres (Gastropoda), de especies frecuentes en superficie.

El ambiente subterráneo de estas cavidades -como ha sido dicho- muestra actividad hídrica temporal, siendo en general seco y bien ventilado, por la existencia de corrientes de aire entre las múltiples bocas. Aunque no parece muy propicio para la ocurrencia de troglobios o cavernícolas especializados, que requieren condiciones de alta humedad relativa, debe recordarse que se trata de una zona árida a desértica. Donde la simple presencia de una mayor constancia de la temperatura-ambiente, protección contra la aridez y fuerte insolación, así como la oscuridad reinante, facilitan su utilización para la reproducción y el descanso de muchas especies de artrópodos. Las futuras prospecciones bioespeleológicas probablemente aportarán muchos otros datos, tal vez novedosos, sobre las especies que habitan o frecuentan estas cuevas, de las que desconocemos por el momento casi todo.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Hemos descrito los ejemplos encontrados en sólo una pequeña área de la Bardena Negra, correspondiente al flanco NW de la Nasa Alta. Destaca el hallazgo de sistemas de simas interconectadas, con galerías inferiores, que suman 880 m de desarrollo espacial. Las mayores cavidades individuales alcanzan cerca de 400 m de desarrollo de galerías y -40 m de desnivel.



**Figura 34.** Detalle de galerías en la cueva Nasa Alta 10, tramo superior.



**Figura 35.** 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 incluidos en la arcilla).



**Figura 36.** Depresión donde se localiza la sima Nasa Alta 12 (flecha roja) y tramo superior del Sistema 3, bajo la boca rectangular (flecha naranja). Detalles de depresiones internas.



**Figura 37.** Depresión donde se abre la estrecha boca de la sima Nasa Alta 12 y galería inferior.



**Figura 38.** Cañón-sima en la parte alta del Sistema 1, con simas y galerías internas inferiores. El cañón se inicia a 30 m por encima del collado entre ambas Nasas.



**Figura 39.** Bajo el estrato calizo marcador (de 4 m, en la parte alta de la meseta) y la cabecera de los barrancos situados al W, se organizan tres sistemas de drenaje subterráneo, sobre un relieve muy abrupto en sus detalles, con numerosas cavidades, depresiones y geoformas.





**Figura 40.** Sistema de drenaje subterráneo 1. Bajo el cañón-sima superior, que se inicia por encima del collado entre las Nasas, hay una cueva-túnel con una amplia claraboya cerrada por una pared. Su interior está colapsado, pero se sitúa sobre la traza de la galería inferior que recorre el cañón.



**Figura 41.** Sistema de drenaje subterráneo 2. Entre la cueva Nasa Alta 10 y la sima Nasa Alta 11, sobre la misma ladera, hay dos pequeñas cuevas surgentes que se prolongan en galerías de débiles dimensiones, por las que se podría intentar avanzar más en época seca.



**Figura 42.** Cavidades en el sector inferior del Sistema de drenaje subterráneo 3. Bajo el nivel de la sima Nasa Alta 12 hay otra depresión amplia, con un tramo en tunel y dos simas de -10 m que al parecer prosiguen en una galería inferior hacia la cabecera de otro gully, al N del Sistema 2.



**Figura 43.** Sistema de drenaje subterráneo 3. En la zona situada sobre la sima Nasa Alta 12, se observa una boca colgada rectangular y, bajo ella, un surco que se dirige hacia la depresión inferior, con varias simas escalonadas en su recorrido, de difícil acceso.



**Figura 44.** Cavidades del Sistema 3, sobre la sima Nasa Alta 12. Las dos bocas rectangulares más altas se cierran por colapso, pero en el surco bajo ellas se abren varias bocas de sima, de -8 á -10 m, con una galería inferior cuya traza se dirige hacia la depresión que se observa bajo la imagen inferior derecha.

La presencia de cavidades parece depender o estar controlada por la existencia generalizada de procesos de tubificación o piping en los materiales arcillosos predominantes. A lo que se suma la posición topográfica de los enclaves sobre el talud, el leve buzamiento en sentido contrario a la pendiente, y la existencia de un fuerte gradiente hidráulico.

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, colapsos y también espeleotemas de arcilla. Un alto contenido en sodio intercambiable desflocula estas arcillas, concentrando el flujo de agua en las grietas y proporcionando una lubricación adicional. El proceso de piping en las arcillas comienza con el transporte laminar de partículas a través de pequeñas fisuras, pudiendo ocurrir una cantidad limitada de disolución intergranular de la matriz o de las partículas, aumentando también su porosidad (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.

Aunque muchos conductos son de corta duración, algunos persisten el tiempo suficiente para alcanzar el tamaño de cuevas o macrocavernas, y una vez alcanzada esta etapa su persistencia en el tiempo resulta mayor, sobre todo si logran concentrar la actividad hídrica. El crecimiento volumétrico de las cavidades ocurre por excavación, colapso y remoción de los materiales desprendidos por procesos erosivos, a la vez que sigue actuando la tubificación, en una evolución remontante, con formación de cavidades en zonas progresivamente más altas y retroceso de las cabeceras de las redes subterráneas.

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.

De modo conjugado con la karstificación de las arcillas se produce la formación de gullies y el modelado del relieve. La erosión normal (de superficie) comanda la evolución del relieve, generando el retroceso de los escarpes y taludes de las mesetas, así como la incisión de la red de barrancos en las planicies y zonas bajas de la antigua cuenca endorreica. 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 nivelitos y lentes de margocalizas y lutitas). 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 litología de los materiales, su estructura, y el relieve resultante del trabajo erosivo, son factores que condicionan tanto la espeleogénesis como la diversidad de geoformas presentes en superficie. Los factores climáticos a su vez condicionan este peculiar modelado de terrenos comparativamente "blandos", que experimentan una rápida evolución temporal, a escala geológica.

Los procesos de formación de cavidades y sistemas de drenaje subterráneo en arcillas están ampliamente extendidos en la región de las Bardenas y, según muestran las prospecciones efectuadas, pueden alcanzar gran extensión en los relieves Miocenos de la Formación Tudela, aunque también hay gran número de cavidades de modestas dimensiones en torno a la red de barrancos de las planicies Holocenas.

La ocurrencia de drenajes subterráneos, simas, cuevas, sumideros y surgencias, es una clara muestra de que existe un peculiar proceso de karstificación y espeleogénesis en arcilla, a veces con cavidades que alcanzan dimensiones importantes, y que a menudo presentan rasgos de gran interés científico, geográfico y medio-ambiental. Por ello, 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 en las Bardenas. De modo especial para este trabajo queremos agradecer la colaboración de: Marian Nieto, Piero Di Bartolomeo y Ainhoa Miner. 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. & 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.
- 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.
- Galán, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. Munibe (Ciencias Naturales.), S.C.Aranzadi, 43: 43-72.
- Galán, C. & F. Herrera. 2005. Sistema Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas: 11 km. Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 27 pp. + Reeditado en Pág. web Cota0.com.
- Galán C. & J. Lagarde. 1988. Morfologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quarzites du Roraima. Karstologia 11-12: 49-60.
- 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.
- 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.
- 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.
- Halliday, W.R. 2007. Pseudokarst in the 21<sup>ST</sup> century. Journal of Cave and Karst Studies, 69 (1): 103-113.
- 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, 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.
- 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 12<sup>th</sup> International Congress of Speleology, vol. 1, Basel, Switzerland.
- Urbani F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. Interciencia, 11 (6): 298-300.