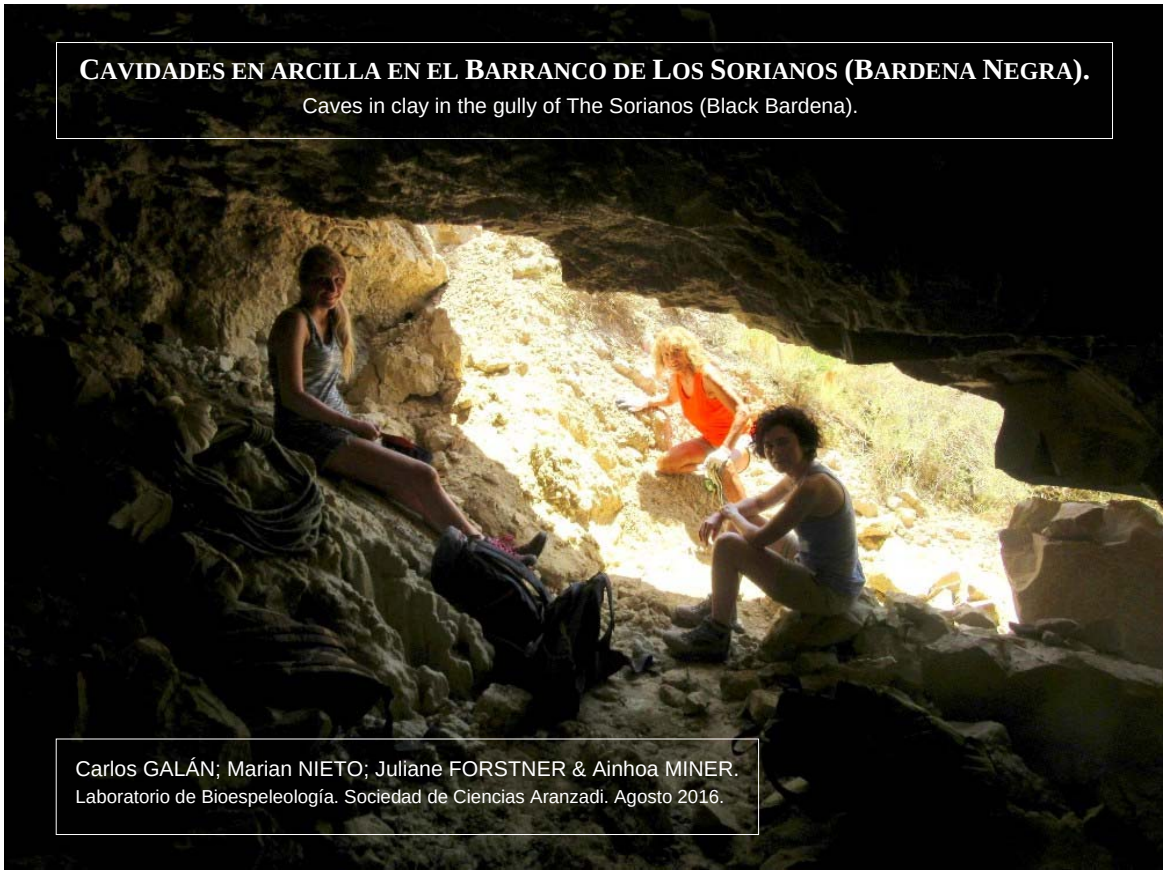


CAVIDADES EN ARCILLA EN EL BARRANCO DE LOS SORIANOS (BARDENA NEGRA).

Caves in clay in the gully of The Sorianos (Black Bardena).

Carlos GALÁN; Marian NIETO; Juliane FORSTNER & Ainhoa MINER.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Agosto 2016.

CAVIDADES EN ARCILLA EN EL BARRANCO DE LOS SORIANOS (BARDENA NEGRA).

Caves in clay in the gully of The Sorianos (Black Bardena).

Carlos GALÁN; Marian NIETO; Juliane FORSTNER & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Agosto 2016.

RESUMEN

En la Bardena Negra (región semidesértica situada en el Sur de Navarra) se encuentran importantes sistemas de simas y cuevas en arcillas de la Formación Tudela, de edad Mioceno (Terciario). Las cavidades se forman fundamentalmente por procesos de tubificación o piping en arcillas dispersivas ricas en sales de sodio. En menor medida se producen procesos de disolución y precipitación de minerales secundarios en forma de espeleotemas. Los ejemplos hallados en años recientes constituyen los mayores sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel mundial. En este trabajo aportamos el hallazgo de cuatro nuevos sistemas de cuevas en un sector de la Bardena Negra denominado Barranco de Los Sorianos. Se describen las cavidades exploradas y se aportan nuevos datos y detalles de interés biológico e hidrogeológico. Se discute su probable génesis y evolución.
Palabras clave: Espeleología física, Cuevas en arcilla, Hidrogeología, Espeleotemas, Geomorfología, Biología Subterránea.

ABSTRACT

In the Black Bardena (semi-desert region located in the South of Navarra) are important systems of chasms and caves in clays of Tudela Formation, of Miocene age (Tertiary). The cavities are essentially formed by processes of piping in dispersive clays rich in sodium salts. To a lesser extent dissolution and precipitation of secondary minerals in the form of speleothems occur. Examples found in recent years are the largest systems of caves in clay hitherto known worldwide. In this paper we provide the discovery of four new cave systems in a sector of the Black Bardena called gully of The Sorianos. The cavities explored are described and new data and details of biological and hydrogeological interest are provided. Its probable genesis and evolution is discussed.
Keywords: Physical Speleology, Caves in clay, Hydrogeology, Speleothems, Geomorphology, Subterranean Biology.

INTRODUCCION

Las cuevas en arcilla son extraordinariamente raras a nivel mundial y presentan rasgos atípicos con respecto al karst en otras litologías. Las cavidades conocidas, en distintas regiones del mundo, ocurren en áreas áridas a desérticas, destacando las de Arroyo Tapiado, en el área desértica de Anza-Borrego, California (Lindsay & Lindsay, 1985; Bremner, 2009), y los sistemas de cuevas en arcilla recientemente descubiertos en las Bardenas (Galán, 2015; Galán & Nieto, 2015; Galán et al, 2015), con sistemas de simas y cuevas que alcanzan 880 m de desarrollo y desniveles de hasta -100 m.

La formación de cuevas en arcilla es un fenómeno raro, por tratarse de materiales arcillosos poco consistentes y poco solubles, y 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, con escasa intervención de la disolución. Una vez formados los conductos iniciales de drenaje subterráneo, la ampliación de las galerías ocurre principalmente por procesos erosivos.

La tubificación o piping consiste en una remoción de partículas de la roca por flujos canalizados de aguas 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 situaciones intermedias, donde disolución y piping pueden actuar juntas, en variables proporciones. La tubificación participa también en el desarrollo de grandes cavidades formadas por procesos múltiples (Halliday, 2004, 2007), y en la formación del karst en cuarcitas en zonas tropicales (Urbani, 1986; Galán, 1991; Galán & Herrera, 2005; Galán & Lagarde, 1988), existiendo un continuo entre cuevas de tubificación y cuevas de disolución, en rocas de distintas solubilidades.

Los ejemplos que hemos ido encontrando en las Bardenas muestran una inusitada profusión local de cavidades de distinto tipo en los materiales arcillosos de la Formación Tudela (de edad Mioceno), con sectores literalmente acribillados por 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 ocurren en el flanco de las mesetas y otros en torno a la red incisa de gargantas y gullies en las zonas bajas y planicies.

En este sentido, los hallazgos previos han permitido orientar la búsqueda de nuevas cavidades. Basándonos en la relación que existe entre la topografía local y la presencia de cavidades, hemos examinado la cartografía digital y la fotografía aérea de distintas zonas, encontrando nuevos sectores de potencial interés. Uno de ellos es el abordado en esta nota, cuya exploración ha dado por resultado el hallazgo de nuevos e interesantes sistemas de cuevas, los cuales totalizan 332 m de galerías y conductos subterráneos penetrables. El desarrollo de estas redes de drenaje subterráneo en arcillas acompaña a procesos erosivos de superficie, tales como: el rebajamiento del relieve en el tope y flancos de lomas y mesetas, retroceso de escarpes, y erosión incisa de la red de gargantas y gullies sobre las zonas más bajas y el talweg de los barrancos.

De hecho existe una estrecha co-evolución entre los fenómenos de karstificación en arcilla y la génesis y desarrollo de gullies, como se verá en los ejemplos aportados en esta nota. Las cavidades halladas presentan además diversos rasgos geomorfológicos y espeleotemas peculiares, a la vez que constituyen un hábitat extenso, con rasgos microclimáticos propios, susceptible de ser poblado y/o utilizado por diversas especies de hábitos cavernícolas. Un conjunto de aspectos que serán descritos en esta nota.

MATERIAL Y METODOS

Las prospecciones efectuadas en este sector de la Bardena Negra estuvieron orientadas por la consulta previa de foto aérea, cartografía digital e información geológica. Las cavidades halladas fueron topografiadas con instrumental de precisión Suunto. Los planos fueron dibujados en programa Freehand. En la exploración de cavidades se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnicas verticales de cuerda estática y jumars. Algunas muestras de fauna y espeleotemas fueron examinadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital Canon PowerShot SX600 HS a fin de ilustrar las principales características de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Las cavidades exploradas se localizan al W de la meseta de la Nasa Baja, en la cabecera del barranco de Los Sorianos, y en el tope de una loma (de 477 m snm de altitud) situada al Sur de la misma (Figuras 1 á 4).

Los terrenos aflorantes son parte de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario) y están constituidos por una espesa secuencia de arcillas ocres y grises con intercalaciones espaciadas de estratos delgados (decimétricos) de luititas, calizas y margas calcáreas (unidad litoestratigráfica 396, en: Faci Aparicio et al, 2006; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA). En el cauce del barranco se encuentran también rellenos y acumulaciones detríticas aluviales-coluviales, que incluyen bloques colapsados de las laderas, así como rellenos limo-arcillosos, arenas y gravas, con cantos angulosos de tamaño 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.

La región de las Bardenas constituyó una cuenca endorreica, de 600 km^2. Su parte basal reposa sobre una espesa secuencia de arcillas y yesos (Formación Lerín, de edad Mioceno), que aflora al W. A ella suprayace una secuencia margo-arcillosa sensiblemente horizontal (Formación Tudela, también Miocena). Estos materiales están revestidos por glacis de cobertera del Pleistoceno (cantos y gravas con abundante matriz limo-arcillosa) y sedimentos Holocenos arcillosos menos compactos en las zonas planas inferiores. Desde el punto de vista sedimentológico, la unidad 396 representa un sistema fluvial que hacia el N pasa a una llanura lutítica distal con pequeños lagos carbonatados. La unidad presenta distintos episodios de sedimentación caliza en pequeños lagos de carácter relativamente efímero y salino, alternando con extensos 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 lomas, 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 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 misma contribuyen los procesos de tubificación o piping, que involucran la formación de cavidades subterráneas.

Figura 01. El paisaje en la Bardena Negra, en ruta hacia el barranco de Los Sorianos, con la Nasa Baja al fondo. En la árida planicie, lagunas que se secan en verano, con suelos de retracción poligonales (arriba), barrancos entallados y cárcavas (debajo).

Figura 02. El agua labra surcos en los materiales arcillosos de la Formación Tudela, formando cañones, redes de barrancos y cárcavas, con filigranas en sus paredes, que recuerdan grabados y diseños de templos budistas.

Figura 03. Paisaje de lomas y cárcavas en la árida Bardena Negra, en ruta hacia el área de estudio.

Figura 04. Loma que separa la cuenca del barranco de Los Sorianos de la del barranco de Tudela, con la zona de depresiones donde se localizan las simas del Sistema Los Sorianos 1.

Figura 05. La topografía de la zona de depresiones del sistema 1 es compleja: está compuesto de 12 simas principales, pero existen muchas otras depresiones menores, con oquedades y prominencias. Nótese la estratificación horizontal de los materiales arcillosos Miocenos de la Formación Tudela.

Figura 06. Sima 1 del Grupo A, en el Sistema Los Sorianos 1. Zona de entrada y paredes internas.

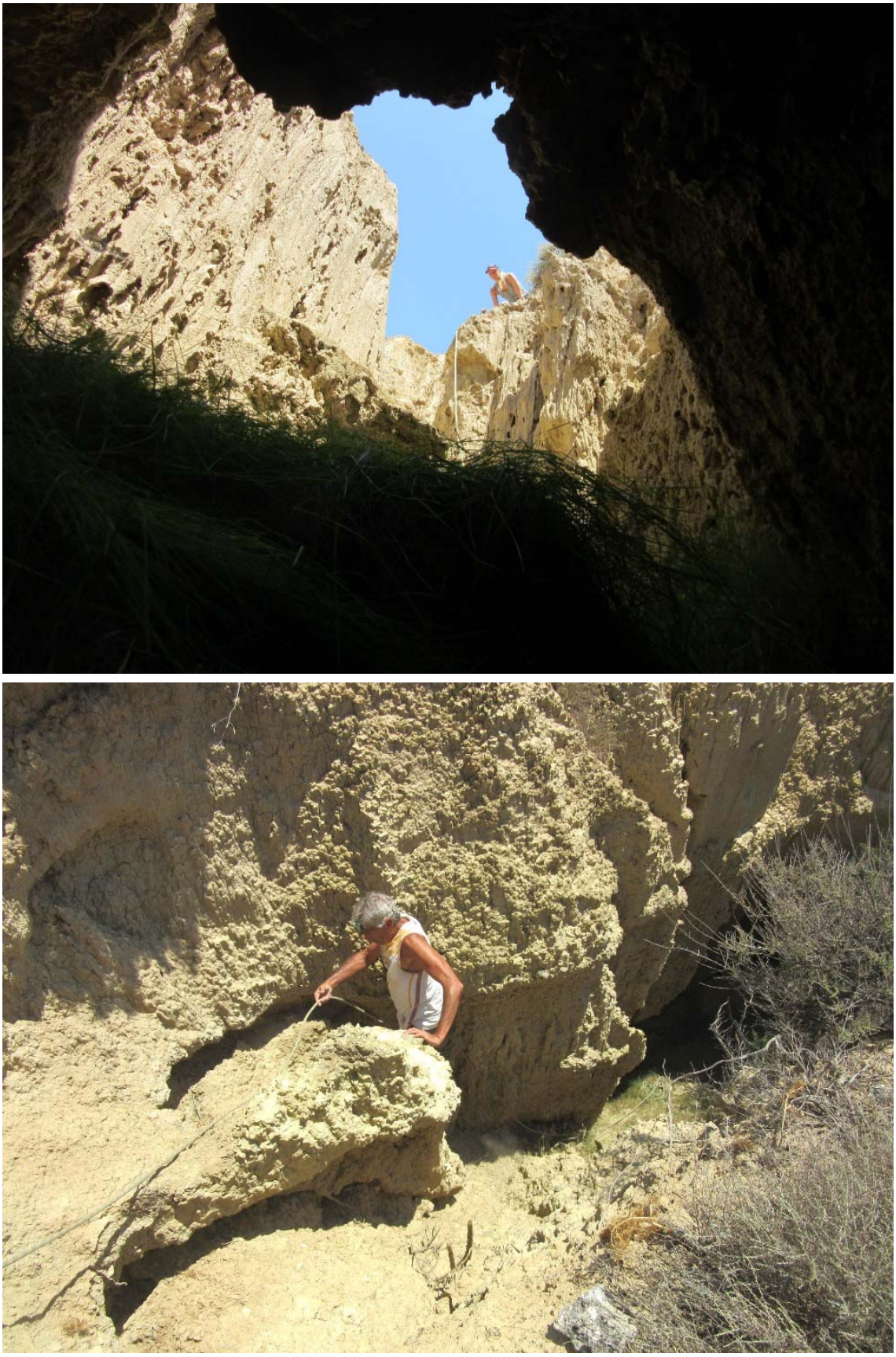


Figura 07. Remontando hacia la boca de la Sima 1 del Grupo A, que alterna tramos verticales y en rampa.

Figura 08. Descenso a la Sima 2 del Grupo B. Sistema Los Sorianos 1. Nótese las simas adyacentes y la cuerda de descenso.

Figura 09. Sima 2 del Grupo B. El pozo terminal, con su fondo cegado por sedimentos (arriba) y galería de comunicación con sima paralela (debajo). Nótese la formación de estalactitas de illita, por fluidificación de las arcillas.

Figura 10. Sima 3 del Grupo C. Sistema Los Sorianos 1. Zona de entrada, en rampa destrepable en oposición.

Figura 11. Saliendo de la cavidad, tras explorarla. Zona de entrada de la Sima 3 del Grupo C.

Figura 12. Detalle de paredes arcillosas de las simas del Sistema 1, con ventanas de comunicación entre simas y algunas superficies arcillosas más blancas y compactas, recementadas por carbonatos.

Figura 13. Tope de la loma del Sistema 1 (con la Nasa Baja al fondo) e inicio del gully que lo prosigue sobre la ladera del barranco de Los Sorianos. Estos gullies pueden contener accesos a más galerías o a tramos de ellas, pero su estrecho fondo es de difícil exploración, ya que a menudo presentan estrecheces y derrumbes internos.

Figura 14. En la ladera del barranco, algo más abajo y en paralelo al anterior, existe otra estrecha garganta o gully, cuyo inicio es una sima de -8 m de desnivel, que presenta un arco o puente de roca.

Figura 15. Cauce del barranco de Los Sorianos, con charcas temporales de agua (tras las lluvias caídas pocos días antes) y estratos delgados de margas y calizas intercalados en la serie arcillosa.

Figura 16. Detalles de geoformas en arcillas rosadas en el fondo del barranco (arriba) y pequeños conductos surgentes, con arcilla húmeda y grietas de desecación, a nivel del cauce (debajo).

Figura 17. Remontando el cauce del barranco bajo el Sistema 1 y vista hacia la boca de la Cueva Los Sorianos 2.

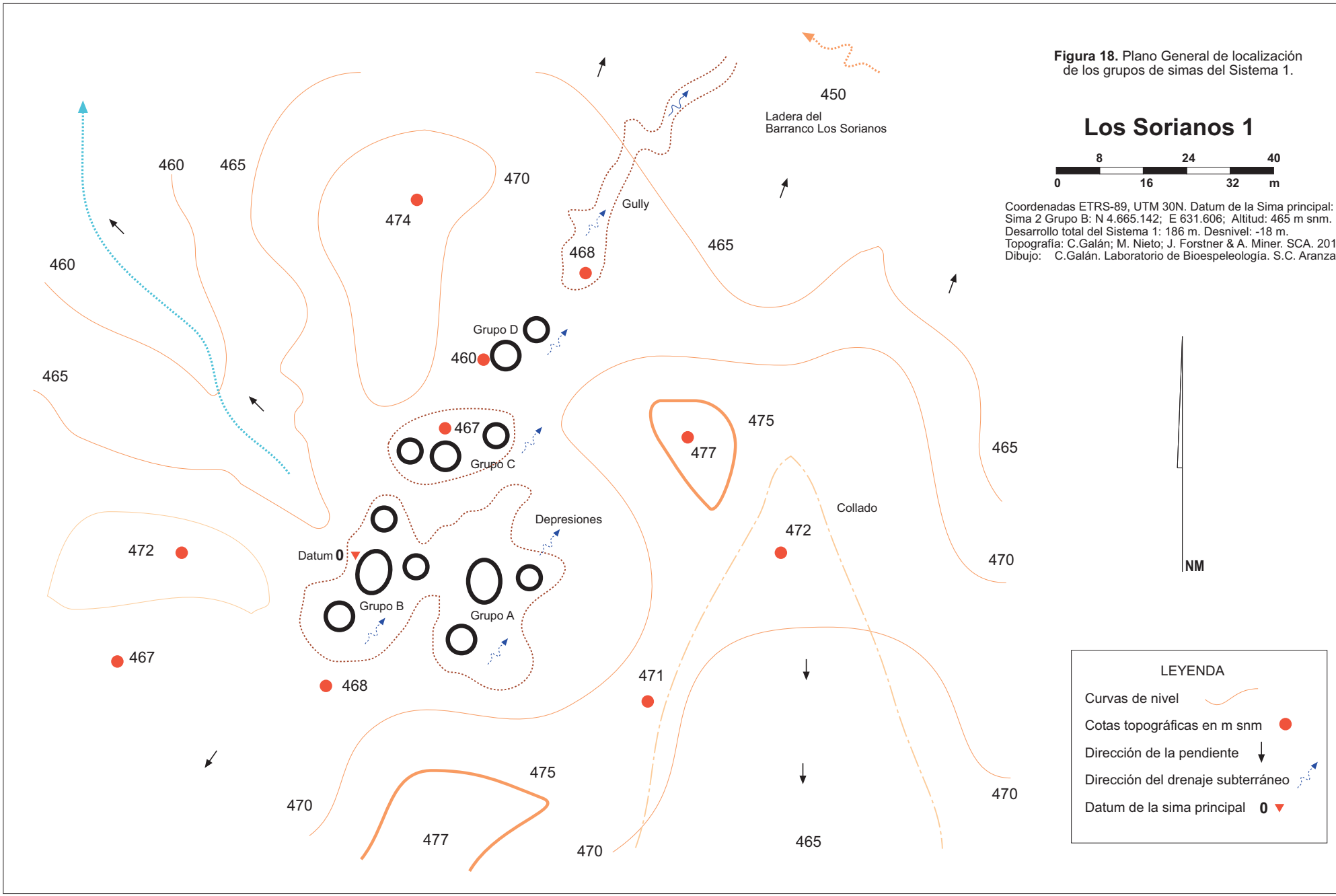


Figura 18. Plano General de localización de los grupos de simas del Sistema 1.

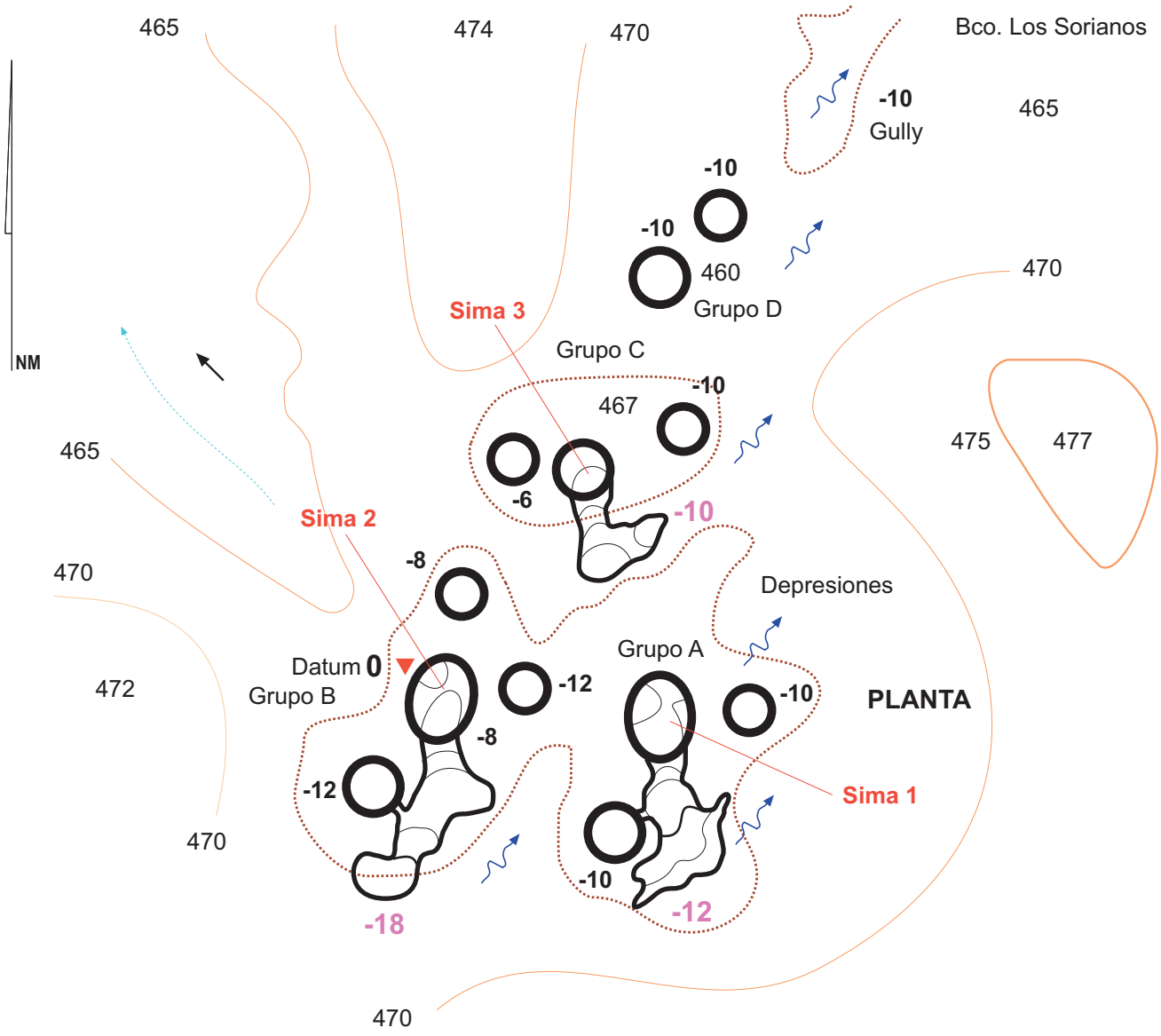


Figura 19. Plano de las principales simas del Sistema 1.

Los Sorianos 1

8 24 40

0 16 32 m

Coordenadas ETRS-89, UTM 30N. Datum de la Sima principal: Sima 2 - Grupo B: N 4.665.142; E 631.606; Altitud: 465 m snm.
Desarrollo total del Sistema 1: 186 m. Desnivel: -18 m.
Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2016.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.

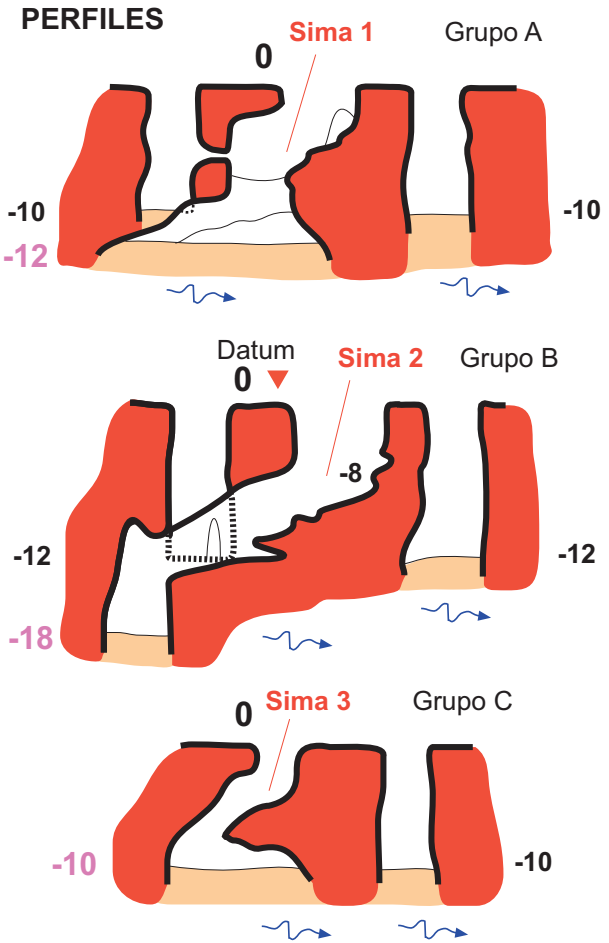


Figura 20. Plano de las cavidades Los Sorianos 2 á 4.

Los Sorianos 2 á 4

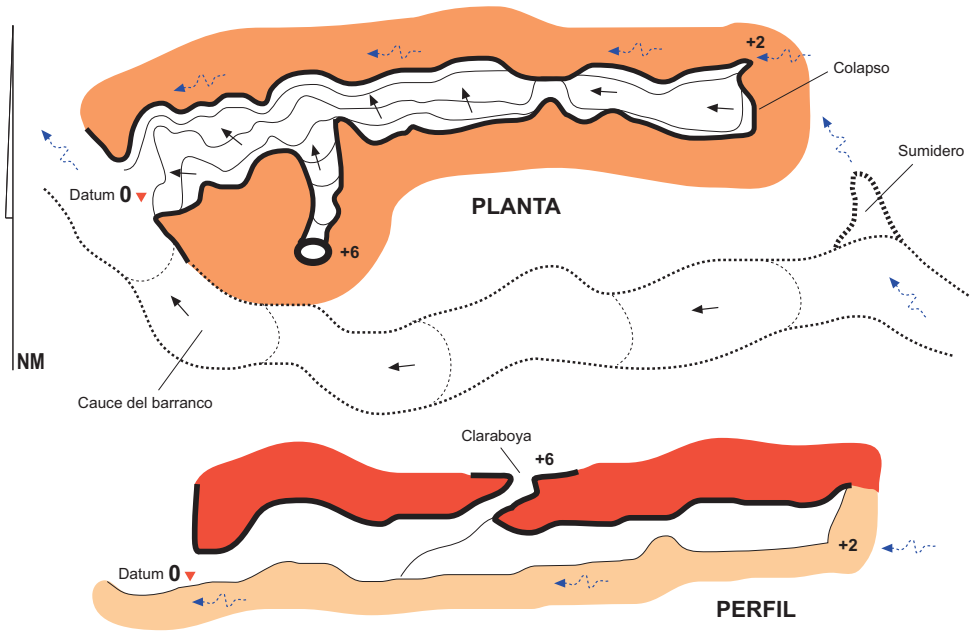
4 12 20
0 8 16 m

Cueva Los Sorianos 2:
Coordenadas UTM 30N: N 4.665.304; E 631.732; Alt.: 447 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 50 m. Desnivel +6 m.

Cueva Los Sorianos 3:
Coordenadas UTM 30N: N 4.665.260; E 631.860; Alt.: 454 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 40 m. Desnivel +4 m.

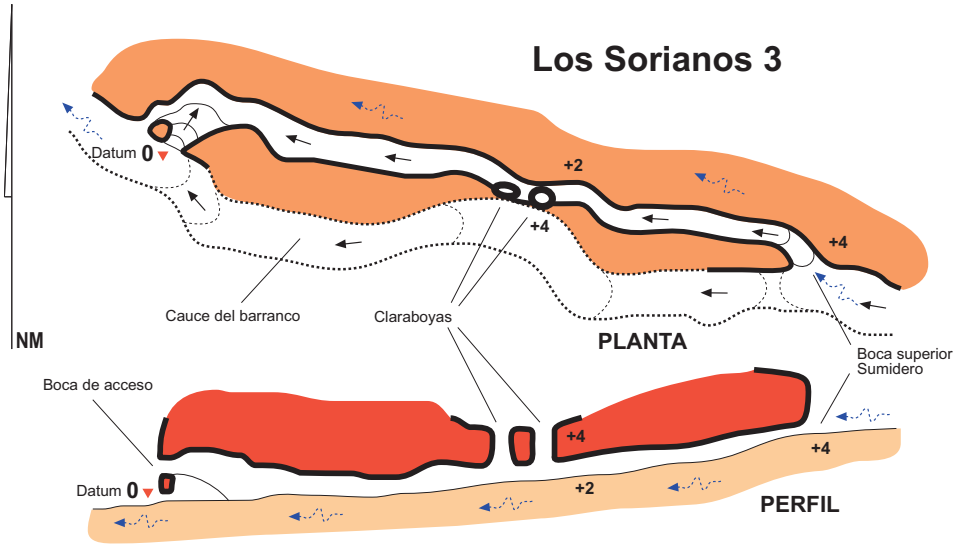
Sima Los Sorianos 4:
Coordenadas UTM 30N: N 4.665.787; E 631.499; Alt.: 440 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 56 m. Desnivel -17 m.

Topografía: C.Galán; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. SCA. 2016.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.

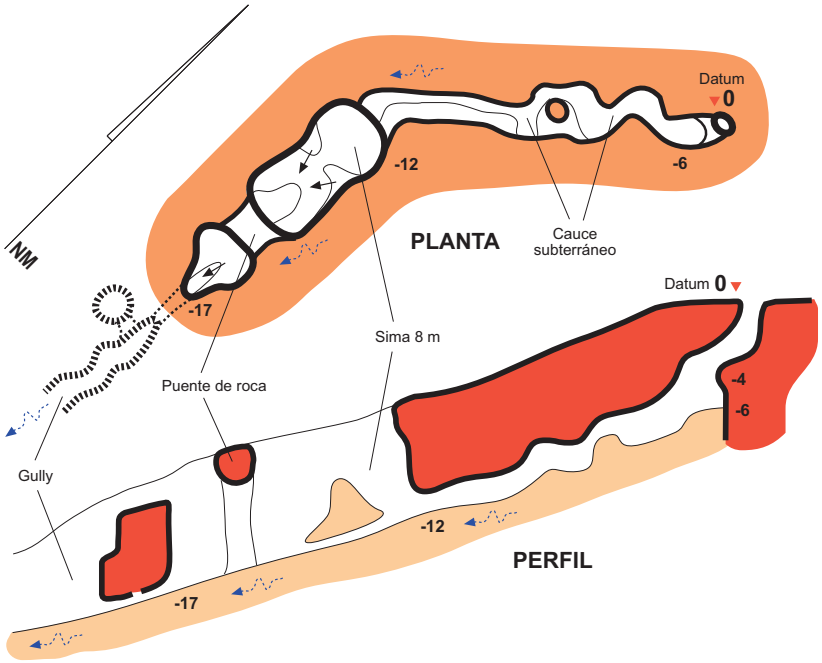


Los Sorianos 2

Los Sorianos 3



Los Sorianos 4



DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES

Sobre la loma situada al Sur del barranco de Los Sorianos, la fotografía aérea mostraba en su parte alta (cota 470 m snm) una zona deprimida. Esta posición es curiosa pues la depresión ocupa prácticamente el tope de una loma alargada en sentido E-W, que se desprende del flanco inferior de la Nasa Baja (607 m snm), separando la cuenca del barranco de Los Sorianos, al N, de la del barranco de Tudela, situada al Sur (Figura 4).

La depresión en sí es de topografía compleja (con leve declive hacia el NE), ya que está subdividida en depresiones menores acribilladas de bocas de simas. Algunas de ellas están muy próximas entre sí, separadas sólo por delgadas crestas y tabiques, en ocasiones con pináculos internos. Hemos contado 12 simas principales, distribuidas en 4 grupos, pero hay también todo un conjunto de pequeñas dolinas y prominencias menores. Este sistema de simas (de -10 m á -18 m de desnivel) tiene su continuación hacia el NE, sobre el flanco del barranco de Los Sorianos, a través de una garganta entallada o gully (también de -10 m de desnivel medio), la cual se prolonga varias decenas de metros ladera abajo. Denominamos a este conjunto de simas como Sistema Los Sorianos 1 (Figuras 4 á 13). Como ha sido dicho incluye un conjunto de 12 cavidades, de trazado predominantemente vertical, cuyo drenaje subterráneo parece dirigirse y ser parte de la circulación subterránea (temporal) bajo el gully. El desarrollo explorado de este sistema de simas (sin contar el gully) suma 186 m de galerías o conductos, con un desnivel de -18 m.

Descendiendo por la ladera hacia el barranco, algo más al E-NE hay otro gully menos profundo, cuya cabecera, separada por un arco de roca, es una sima de -8 m de desnivel, que no catalogamos por considerarla parte del gully (Figura 14).

Alcanzando el fondo del barranco, en la cota 440 m snm, exploramos su fondo, primero en dirección remontante (río arriba). Ya que conocíamos de salidas previas que en el origen del barranco se abre la boca inferior de una cavidad de 158 m de desarrollo (Galán et al, 2015). Esta cavidad se origina o tiene su boca superior en una dolina de paredes verticales que se abre en el flanco W de la Nasa Baja, a 475 m snm de altitud. Debido a que precisamente el barranco se origina (o es la continuación) de una cueva de cierta extensión (Figura 36), pensamos que podría haber más cavidades en similar situación, cuyas bocas drenaran hacia el talweg del barranco. A lo largo de este recorrido encontramos en efecto dos cavidades más (de 50 m y 40 m de desarrollo), que denominamos respectivamente Los Sorianos 2 y Los Sorianos 3. Contra lo esperado, estas cuevas no eran el punto de surgencia temporal de drenajes subterráneos laterales, procedentes de las laderas contiguas al barranco, sino galerías en bypass (o autocapturas) del propio cauce principal. Es decir, un nuevo camino (subterráneo) que están excavando las aguas del barranco entre dos puntos, dejando abandonado (en seco) el cauce superficial en esos tramos. (Ver Figuras 15 á 36).

Posteriormente exploramos la continuación río abajo del barranco, a lo largo de 1,5 km, encontrando una cuarta cavidad: Los Sorianos 4. Esta consta de una galería descendente entre dos simas, que luego prosigue a través de un arco de roca, para formar la cabecera de otro gully de menores dimensiones. La cavidad tiene 56 m de desarrollo y -17 m de desnivel. (Figuras 37 á 45).

El total de galerías de las cuatro cavidades catalogadas (y descritas en esta nota) suma 332 m de desarrollo, una cifra reveladora, ya que sólo concierne al sector prospectado, y a la vez una indicación más del potencial que encierran Las Bardenas para el desarrollo de fenómenos kársticos en arcilla. A continuación, la descripción de las cavidades.

Sistema Los Sorianos 1.

Situación: En el tope de una loma alargada situada al W de la parte central de la Nasa Baja. Al SW del cauce de la cabecera de la rama Sur del Barranco de Los Sorianos.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.142; E 631.606; Altitud 465 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Se trata de un conjunto de 12 simas, donde colocamos el Datum para las coordenadas en el borde de la boca de la cavidad más profunda (Sima 2 del Grupo B, de -18 m de desnivel y 44 m de desarrollo). El desarrollo espacial acumulado del conjunto de simas totaliza 186 m de desarrollo. El desnivel acumulado del conjunto de pozos de simas totaliza 128 m de verticales. Figuras 4 á 14. Plano en Figuras 18 y 19.

Descripción:

La depresión general tiene 74 m de largo en su eje mayor y está subdividida a grandes rasgos en 4 depresiones, cada una de ellas con grupos de simas de 4-6 m de diámetro. El grupo A consta de 3 simas (de -10, -12 y -10 m), dos de ellas intercomunicadas por una estrecha ventana. El grupo B consta de 4 simas (de -8, -12, -18 y -12 m), dos de ellas intercomunicadas por una gatera. El grupo C consta de 3 simas (de -6, -10 y -10 m). El grupo D consta de 2 simas (de -10 y -10 m). Así que se trata de 10 cavidades con 12 bocas en superficie. Las bocas de los grupos C y D están a unos 2-4 m más bajas de altitud que las de los grupos A y B. La zona deprimida en superficie desciende levemente hacia el NNE, donde prosigue en la ladera a través de un gully estrecho y profundo, de -10 m de desnivel medio. La mayoría de las cavidades son tubos verticales simples, cegados en su base por rellenos detríticos y bloques colapsados de los mismos materiales arcillosos. Tres cavidades presentan un desarrollo mayor (representado en los planos). Estas son las siguientes:

Sima 1 (del grupo A), consta de una entrada vertical de -8 m que requiere cuerda y prosigue en rampa, describiendo un giro, para cerrarse en una salita en la cota -12. El suelo del fondo está surcado por un pequeño meandro que drena hacia el NE. A mitad de la rampa una ventana comunica esta galería con la pared de un pozo paralelo de -10 m. El desarrollo total es de 34 m.

Sima 2 (del grupo B) es la mayor cavidad del conjunto. Consta de un pozo de acceso de -8 m que requiere cuerda y prosigue en rampa hasta una sala en la cota -12. En su pared W un corta gatera comunica con la base de una sima paralela de -12 m. Pasando la sala la galería sigue en rampa hasta un escalón vertical de -4 m en cuya base la cavidad se cierra (cota -18 m). El desarrollo total es 44 m.

Sima 3 (del grupo C) presenta una entrada destrepable que prosigue en rampa hacia el S y describe luego un giro hacia el NE, para cerrarse en un sumidero en la cota -10 m. El desarrollo total es de 22 m.

Las restantes cavidades son pozos simples y existe en adición un conjunto de depresiones y pináculos menores, en una topografía compleja, con delgadas crestas separando unas cavidades de otras. Diversos indicios y evidencias sugieren que el drenaje subterráneo temporal que penetra verticalmente, circula hacia el NE, probablemente siguiendo la misma dirección que el gully de la ladera, hacia el barranco de Los Sorianos, situado a una cota 30 m más baja que estas cavidades.

Las simas poseen espeleotemas arcillosas de mica-illita, formadas por fluidificación de las arcillas en condiciones húmedas y posterior desecamiento. También poseen geoformas tales como surcos de erosión vertical y delicadas filigranas que recuerdan a las esculturas labradas en bajorrelieve en templos budistas.

Cueva Los Sorianos 2.

Situación: En el cauce del Barranco de Los Sorianos (cota 447 m snm), a 190 m de distancia al WNW de su cabecera Sur.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.304; E 631.732; Altitud 447 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: +6 m; Desarrollo espacial: 50 m. Figuras 21 á 29. Plano en Figura 20.

Descripción: La boca, de 3 m de ancho x 1,5 m de alto, se abre en la base de una pared en la margen derecha del cauce. Enseguida se amplía formando una galería espaciosa, con su lado Sur en declive y el lado N ocupado por un cauce encajado, con arcilla húmeda, que indica la existencia de un drenaje temporal hacia la boca-surgencia. Esta galería, sinuosa, a los 15 m presenta un lateral que asciende hasta una claraboya en la ladera, en la cota +6 m. Sigue otro tramo de 25 m hasta un colapso que obstruye por completo el paso, emergiendo el cauce en la base del mismo (cota +2 m).

En el exterior, algo más arriba de este punto, se encuentra un sumidero en forma de laminador, por donde debe derivar el agua del barranco dejando el cauce externo seco.

La cavidad posee espeleotemas de yeso, que forman delicados frostworks de finísimas agujas cristalinas. También presenta estalactitas de illita y finos recubrimientos o costras de carbonatos y silicatos amorfos. En la cueva habitan quirópteros del género *Myotis* y una fauna de invertebrados que incluye varias especies de dípteros y araneidos.

Cueva Los Sorianos 3.

Situación: En el cauce del Barranco de Los Sorianos (cota 454 m snm), a 128 m al ESE de Los Sorianos 2 y a 62 m de distancia al W de su cabecera Sur.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.260; E 631.860; Altitud 454 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: +4 m; Desarrollo espacial: 40 m. Figuras 30 á 34. Plano en Figura 20.

Descripción: Presenta dos pequeñas bocas superpuestas que de inmediato se unen en una sala que prosigue en galería única, ligeramente ascendente. La boca inferior es la surgencia de otro pequeño cauce temporal, que recorre toda la cavidad formando un bypass con respecto al barranco. A mitad de su recorrido presenta dos claraboyas (de +2 y +3 m). La galería finaliza en una boca superior de techo bajo (cota +4 m) abierta en el cauce del barranco externo.

La presencia de varias bocas hace que sea una cavidad ventilada, con corrientes de aire. En partes de su cauce interno se presentan suelos poligonales, con láminas curvadas, producto de la desecación y retracción de materiales arcillosos finos. En menor proporción también presenta algunos recubrimientos de espeleotemas de yeso e invertebrados troglóxenos.

Sima Los Sorianos 4.

Situación: A 1,5 km río abajo de la cabecera del Barranco de Los Sorianos, en el flanco de una loma al N del cauce.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.665.787; E 631.499; Altitud 440 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -17 m; Desarrollo espacial: 56 m. Figuras 39 á 43. Plano en Figura 20.

Descripción: Desde la cota 420 m snm del cauce del barranco se observa sobre la ladera un pequeño gully, que da paso en su parte superior a una oquedad mayor. Esta forma una sima, de -8 m de desnivel, con un arco o puente de roca en su interior. Descendiendo la sima se alcanza una galería ascendente de 2 m de diámetro que, tras un paso estrecho conduce a una continuación más amplia, finalizada en un escalón de +2 m que prosigue en rampa hasta una pequeña boca de sima superior, donde establecimos la cota 0. El desnivel total de la cavidad es de -17 m y posee un desarrollo de 56 m de galerías. La continuación inferior hacia el gully está obstruida por un derrumbe.

La cavidad posee un cauce subterráneo temporal, que se continúa en el gully sobre la ladera. Posee también algunas espeleotemas y fauna de invertebrados troglóxenos. Tal vez lo más llamativo reside en la presencia en las bóvedas de la galería de geoformas constituidas por masas globulares blancas, aparentemente de margas o recubrimientos de carbonatos.

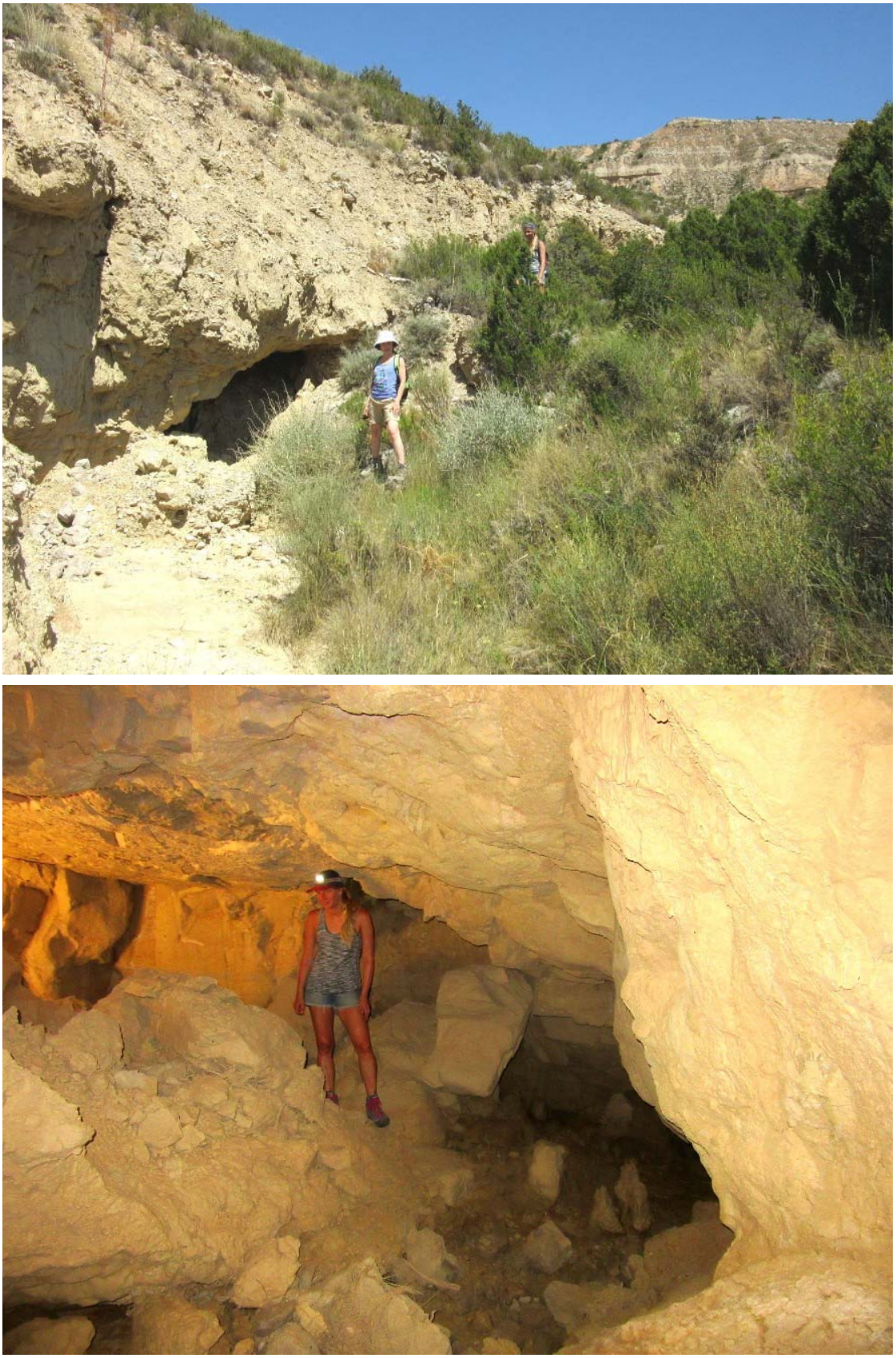


Figura 21. Boca de acceso y galería de entrada de la cueva Los Sorianos 2, con cauce surgente temporal.

Figura 22. Ejemplar de quiróptero *Myotis* en vuelo en la galería principal de la cueva Los Sorianos 2.

Figura 23. Recubrimientos de espeleotemas aciculares y frostworks de yeso en la cueva Los Sorianos 2.

Figura 24. Espeleotemas de illita en forma de estalactitas sobre el cauce subterráneo temporal de la cueva Los Sorianos 2. También se aprecia finos recubrimientos blancos de agujas de yeso sobre las bóvedas y suelos.

Figura 25. El derrumbe terminal y espeleotemas de calcita, silicatos amorfos y yeso en la cueva Los Sorianos 2.

Figura 26. Galería principal y lateral con claraboya en la cueva Los Sorianos 2.

Figura 27. Cueva Los Sorianos 2. Detalle del cauce temporal con arcilla húmeda en la parte baja de la galería.

Figura 28. Boca de la cueva Los Sorianos 2, vista desde el interior.

Figura 29. Cauce externo del barranco, con el laminador por donde ingresan las aguas al cauce subterráneo de la cueva Los Sorianos 2, y estrato delgado de caliza margosa con buzamiento NE de 4º, lo que facilita la captura lateral del cauce epígeo y su infiltración hacia la cavidad.

Figura 30. Cueva Los Sorianos 3. Boca de acceso inferior, con dos aberturas. La inferior un cauce surgente y la superior, tras un paso estrecho, comunica con el cauce, formando una larga galería.

Figura 31. Galería principal de la cueva Los Sorianos 3, con suelos de desecación poligonales. Nótese la curvatura de las láminas superficiales de arcilla.

Figura 32. Cueva Los Sorianos 3, con eflorescencias blancas de yeso sobre el cauce y suelos poligonales.

Figura 33. Claraboyas en la parte media de la galería principal de la cueva Los Sorianos 3.

Figura 34. Tramo superior y boca superior de la cueva Los Sorianos 3. Nótese la ocurrencia de espeleotemas blancas de agujas de yeso sobre el cauce, en algunas zonas.

Figura 35. Sector de cabecera del barranco de Los Sorianos, con el flanco W de la Nasa Baja al fondo. El barranco se origina o es la continuación de una cueva de 158 m de longitud, explorada previamente.

Figura 36. Cueva de 158 m de largo, habitada por quirópteros, en la cabecera del barranco de Los Sorianos.

Figura 37. Prospectando río abajo el barranco de Los Sorianos a lo largo de 1,5 km. Nótese los estratos delgados de calizas y margas intercalados en la serie arcillosa.

Figura 38. En verano, en horas de la tarde, la temperatura asciende en Las Bardenas a más de 40ºC y la insolación es fuerte. Tomando un descansito a la sombra de una solapa rocosa y refrescándonos con agua de las charcas que quedan en el cauce, durante las prospecciones.

Figura 39. Llegando a la cota 425 m snm en el cauce del barranco de Los Sorianos, donde se localiza otro gully con una sima en su cabecera: sima Los Sorianos 4.

Figura 40. Vista desde la parte alta de la ladera de la sima de 8 m con un puente de roca y galería interna ascendente en su base, recorrida por un cauce temporal. Sima Los Sorianos 4.

Figura 41. Detalles de la galería ascendente y de la sima-claraboya (boca superior) de Los Sorianos 4.

Figura 42. Boca superior de la sima Los Sorianos 4 y galería interna con masas globulares de margas y recubrimientos de espeleotemas de yeso.

Figura 43. Arco o puente de roca en la sima o boca inferior de Los Sorianos 4 y el gully que la prosigue.

Figura 44. El árido paisaje de la Bardena Negra, con lomas y barrancos, en el sector de Los Sorianos.

Figura 45. Detalle de cárcavas y barrancos, donde son frecuentes los procesos de tubificación o piping en arcillas, con la consiguiente formación de cavidades. Al fondo, la meseta de la Nasa Baja.

DESCRIPCIÓN DE ESPELEOTEMAS

Las espeleotemas predominantes en este grupo de cavidades son de yeso y de illita. En menor proporción hay recubrimientos que contienen calcita, silicatos amorfos, y espeleotemas compuestas de calcita y de yeso. La mayor cantidad y variedad de espeleotemas se presenta en la cueva Los Sorianos 2, pero en menor extensión se presentan en todas las cuevas.

Las espeleotemas de yeso forman recubrimientos aciculares blancos y extensos, de agujas muy delgadas (de varios mm de largo). Generalmente se forman sobre la parte media de las paredes y rellenos arcillosos, en zonas secas y ventiladas. Las agujas de yeso pueden crecer en paralelo o formando pequeñas formas radiales (frostworks) que se despliegan en todas las direcciones del espacio a partir de una base común. Las tramas más densas de frostworks adoptan formas algodonosas (que recuerdan al algodón de azúcar), muy delicadas y que se deshacen fácilmente al tocarlas (Figura 23).

Su mecanismo general de formación se debe a precipitación por evaporación: las aguas percolantes en las arcillas ascienden por capilaridad entre los poros debido al gradiente de evaporación existente entre las paredes y la atmósfera de la galería. La cristalización en forma de frostworks puede generarse tanto por evaporación de soluciones capilares como a partir de aerosoles (Hill & Forti, 1997; Galán, 2015). El yeso es un componente minoritario presente en las arcillas de la Formación Tudela. Su disolución por las aguas percolantes y su posterior cristalización en forma de espeleotemas se debe a su alta solubilidad y alta reactividad química del ión sulfato.

Las espeleotemas de illita forman generalmente pequeñas estalactitas y coladas (Figura 24). Distintas evidencias indican que se generan por fluidificación de las arcillas en épocas húmedas y posterior desecación (al cohesionarse por retracción y pérdida de agua en épocas secas o en condiciones de mayor ventilación). Generalmente son de tonos ocres, pero hay ejemplos en que adquieren tonalidades blancas, recubriendo paredes y suelos. Algunas de estas últimas son formas compuestas, con una capita superficial más blanca y compacta, recementada por carbonato cálcico durante su consolidación en fases secas.

En menor proporción también son frecuentes recubrimientos cristalinos milimétricos de calcita o de calcita y yeso. La calcita está ampliamente disponible en los nivelitos de caliza y marga intercalados en la roca-caja. Las espeleotemas de calcita se forman (como en las cuevas en caliza) al alcanzar las soluciones sobresaturadas la atmósfera de las galerías, facilitada por evaporación y pérdida de CO_2. Encontramos también algunos ejemplos de recubrimientos blancos de calcita con cristalitos de yeso sobre ellos. La formación de espeleotemas compuestas de calcita y yeso ha sido satisfactoriamente explicada por Forti & Marsigli (1978). La deposición de calcita es controlada por la pérdida de CO_2, 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 (Figura 25).

Hay por último algunos recubrimientos cristalinos, más raros, de tonos grises y aspecto opaco, correspondientes a la ocurrencia de silicatos amorfos y tal vez de ópalo-CT, los cuales podrían ser objeto de estudio con técnicas analíticas más finas. Su diversidad guarda relación con la diversidad mineralógica de los materiales arcillosos ricos en sales que presenta la Formación Tudela.

BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

Un primer aspecto a destacar es el elevado número de cavidades subterráneas que localmente presentan algunos sectores de Las Bardenas, probablemente totalizando muchos kilómetros de macro y mesocavernas. Lo que constituye un medio subterráneo extenso, susceptible de ser poblado por muy diversas especies de animales (Galán, 1993; Juberthie, 1983). Este medio posee características peculiares, tanto por su litología inusual, como por sus rasgos microclimáticos. La entera región es árida a desértica, con lluvias poco frecuentes (valores mensuales de 10 á 55 mm), con dos máximos pluviométricos anuales (a fin de primavera e inicio del otoño) (Marín & Desir, 2010). En este ambiente las cuevas presentan un régimen isotérmico, de humedad más elevada que en superficie, y con actividad hídrica temporal. En las cuevas de esta nota, exploradas en el mes de julio, mientras que la temperatura diurna externa alcanzaba 36ºC a la sombra (y más de 40ºC al aire libre), la temperatura en la atmósfera de las galerías rondaba los 20ºC, constituyendo por lo tanto un agradable refugio ante las severas variaciones térmicas y de aridez superficiales.

Provisionalmente, en las galerías mayores, hemos encontrado diversas especies troglóxenas de invertebrados, que incluyen gasterópodos terrestres, varias especies de dípteros, araneidos, coleópteros e isópodos terrestres, especialmente en las cuevas de Los Sorianos 2 y 4. En la cueva Los Sorianos 2 encontramos un ejemplar de quiróptero *Myotis sp.* (Vespertilionidae), que no fue posible identificar por estar en vuelo. Las fotos tomadas sugieren (por su talla y morfología) que se trata de la especie *Myotis daubentoni* (Figura 22). Adicionalmente encontramos pequeños depósitos de guano seco en las cuevas 2 y 4, pero no encontramos restos óseos de quirópteros que pudieran confirmar su identificación. En la Sima 3 (grupo C) del sistema Los Sorianos 1, encontramos el cráneo completo y la mayor parte del esqueleto de una oveja, procedente de superficie, así como huellas y excretas de mamíferos carnívoros (probablemente correspondientes a zorro y garduña). En trabajos previos reportamos otros hallazgos de fauna en cavidades de la región, que incluyen especies adicionales, de vertebrados e invertebrados.

Es probable también que el estudio de la meio y microfauna, con empleo de cebos atrayentes, pueda aportar otros ejemplos de interés, dada la extensión y características del hábitat hipógeo en la región.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las cavidades exploradas sugieren una estrecha co-evolución de sistemas de simas, cuevas y gullies en arcilla, generados fundamentalmente por procesos de piping. Las cuevas Los Sorianos 2 y 3 constituyen por su parte autocapturas en bypass del cauce epígeo del barranco. Su formación en este caso obedece al leve buzamiento de los estratos en el sector hacia el NE (de unos 4º) y al desnivel existente a lo largo del perfil longitudinal del talweg del barranco. Lo que propicia que el agua se infiltre lateralmente a expensas de la estratificación. Este leve buzamiento y la diferencia de cota entre Los Sorianos 1 y el fondo del barranco (que constituye el nivel de base local, con mayor diferencia de potencial hidráulico), también propiciaría la orientación del drenaje subterráneo hacia el NE en el sistema 1. Las partes más profundas de este sistema están muy próximas al nivel piezométrico y a una cota apenas 7 m más elevada que la zona de emergencia en el cauce del barranco.

El conjunto de cavidades explorado en este sector de Las Bardenas aporta nuevos datos sobre los procesos de karstificación que ocurren en arcillas. La presencia de espeleotemas también confirma que se producen procesos de disolución en esta litología, además del mecanismo predominante de tubificación o piping. Las cavidades exploradas suman 332 m de nuevas galerías y aportan detalles adicionales de interés biológico e hidrogeológico.

Nuestra principal conclusión es que cada sucesiva prospección va aportando nuevos datos sobre la inusual y poco conocida karstificación y formación de cuevas en arcilla. Revelando a su vez que la región de las Bardenas posee en este sentido un alto interés científico, ya que contiene algunos de los mayores sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel mundial.

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.

Forti, P. & M. Marsigli. 1978. Sulla genesi delle inflorescenze gessose sopra le concrezioni calcitiche delle grotte del Bolognese. Act. 8º Cong. Naz. Speleol., Perugia, 8 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. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.

Galán, C. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.

Galán, C. 2015. Espeleotemas de yeso, illita, calcita y ópalo-CT en cuevas en arcilla (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 35 pp.

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 21ST century. Journal of Cave and Karst Studies, 69 (1): 103-113.

Hill, C.A. & Forti, P. 1997. Cave minerals of the world. 2nd ed. Huntsville, Ala., National Speleological Society, 463 p.

Juberthie, C. 1983. Le Milieu souterrain: étendue et composition. Mémoires de Biospéologie, Tome X : 17-66. Biogeographie de la faune souterraine. Colloque de la Société de Biospéologie, Béziers, 1982. Communications Libres.

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.

Urbani F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. Interciencia, 11 (6): 298-300.