

SIMAS DEL RISCO: DOS NUEVAS CAVIDADES EN LUTITAS OCRES Y ROJAS DE LA FORMACIÓN TUDELA (BARDENA BLANCA).

El Risco's abysse: Two new cavities in ocher and red shales of the Tudela Formation (Bardena Blanca).



Carlos GALÁN, Iñigo HERRAIZ & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Diciembre 2018.

SIMAS DEL RISCO: DOS NUEVAS CAVIDADES EN LUTITAS OCRES Y ROJAS DE LA FORMACIÓN TUDELA (BARDENA BLANCA).

El Risco's abysses: Two new cavities in ocher and red shales of the Tudela Formation (Bardena Blanca).

Carlos GALÁN, Iñigo HERRAIZ & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Diciembre 2018.

RESUMEN

El trabajo describe la exploración y estudio de dos nuevas simas, en lutitas y arcillas, localizadas en el sector del Risco (flanco Sur de la Punta de la Estroza, Bardena Blanca). La primera de ellas alcanza -30 m de desnivel y 60 m de desarrollo, finalizando en una obstrucción por bloques. La segunda es una sima-túnel de -34 m de desnivel y 102 m de desarrollo. Su cauce subterráneo, de régimen hídrico temporal, finaliza en un laminador con agua, que emerge bajo la boca inferior. Ambas cavidades se desarrollan en arcillas y lutitas ocres y rojas de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario). Presentan espeleotemas aciculares y frostworks de yeso y están habitadas por quirópteros Vespertilionidae. Se describen y discuten los rasgos de estas simas en arcilla, ilustrando el trabajo con fotografía digital.

Palabras clave: Karst y cuevas en arcilla, Espeleología, Tubificación, Hidrogeología, Geomorfología, Biología subterránea.

ABSTRACT

The work describes the exploration and study of two new chasms, in shales and clays, located in the Risco sector (South flank of Punta de la Estroza, Bardena Blanca). The first of them reaches -30 m depth and 60 m of development, ending in an obstruction by blocks. The second one is an abyss-tunnel of -34 m depth and 102 m of development. Its underground channel, of temporary hydric regime, ends in a laminator with water, which emerges under the lower mouth. Both cavities develop in ocher and red shales and clays of the Tudela Formation (of Miocene age, Tertiary). They present acicular speleothems and gypsum frostworks and are inhabited by Vespertilionidae bats. The features of these abysses in clay are described and discussed, illustrating the work with digital photography.

Keywords: Karst and caves in clay, Speleology, Piping, Hydrogeology, Geomorphology, Subterranean Biology.

INTRODUCCION

A raíz de las exploraciones efectuadas en años recientes, la región semidesértica de las Bardenas está mostrando que en ella se encuentran miles de cavidades en arcilla, una litología inusual para el desarrollo del karst, pero que se está revelando de gran interés científico por contener los mayores sistemas de simas y cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel global (Galán, 2015; Galán et al, 2017, 2018) y los más diversos ejemplos de karstificación y espeleogénesis en arcillas y lutitas.

La región de las Bardenas cubre una superficie de 600 km² y presenta una extensa red de cañones y mesetas. Con ininidad de cavidades, sólo reconocibles mediante la prospección directa del terreno. Aunque muchas de ellas son de moderadas o pequeñas dimensiones (de sólo decenas de metros), cada tanto encontramos sistemas mayores de cuevas o simas cuyas características o dimensiones no se pueden conocer de antemano (ni mediante el empleo de sensores remotos). Sólo la ubicación de bocas de cuevas y la exploración y topografía de sus galerías subterráneas revelará sus principales características. De ahí el interés en seguir explorando nuevas zonas, como la abordada en este trabajo, ya que agrega información sobre los procesos de karstificación en arcilla y ejemplos de nuevas cavidades y sistemas hidrogeológicos.

En esta ocasión nuestro trabajo de prospección se dirigió al flanco Sur de la meseta de La Estroza, sector denominado El Risco (localizado bajo la Punta de la Estroza), donde la fotografía aérea y observaciones de campo sugerían la existencia de sistemas inexplorados de simas y cuevas. En esta primera fase de exploración del sector, localizamos y exploramos dos nuevas simas. Ambas se desarrollan por procesos de piping y erosivos en el talud, al pie del escarpe vertical superior de la meseta, y atraviesan lutitas y arcillas ocres y rojas de la Formación Tudela. Las cavidades, de régimen hídrico temporal, poseen espeleotemas de yeso. Su fauna cavernícola incluye una población de quirópteros Vespertilionidae.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección y exploración de las simas se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnica de cuerda estática y jumars para verticales. Se efectuaron levantamientos topográficos con instrumental de precisión Suunto (brújula y clinómetro). Los planos fueron dibujados en formato digital con programa Freehand. Varias muestras de espeleotemas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Se tomaron fotos a color con una cámara digital Panasonic, a fin de ilustrar los rasgos de las cavidades y la geomorfología de su entorno.

RESULTADOS

Las cavidades descubiertas se localizan inmediatamente al Sur de la Punta de la Estroza (462 m snm), en territorio de Navarra. El sector, denominado El Risco, está situado bajo el escarpe vertical que corona la meseta y desciende en fuerte pendiente hacia la planicie inferior central de la Bardena Blanca, surcada por el Barranco Grande y una red de cañones menores. Las cavidades se encuentran en dos zonas con depresiones en embudo que aparentemente drenan hacia el talweg de barrancos situados a menor cota (Figuras 01 á 04).

Los materiales aflorantes en la ladera corresponden a lutitas ocres y rojas de la Formación Tudela, de edad Orleaniense (Mioceno temprano, Terciario). Constituyen la unidad litoestratigráfica 369, descrita por Faci Aparicio et al (2002) y SITNA Navarra. El área contiene algunos glaciares de acumulación, con gravas y cantos rodados Pleistocenos-Holocenos (unidad litoestratigráfica 517) y rellenos de fondos de valle con arcillas y limos Holocenos (unidad 527).

Las cavidades exploradas se localizan en la unidad 369, de lutitas ocres y rojas, con intercalaciones delgadas de nivelitos de caliza y/o arenisca. Su potencia alcanza 180 m y suprayace y grada sobre margas grises con yesos pertenecientes a la Formación Lerín, de edad Ageniense, Mioceno basal (unidad 356). Litológicamente se trata de una unidad muy heterogénea, de tonalidades claras, en la que predominan lutitas ocres que presentan un aspecto masivo, con tonalidades de color ocre y a veces rojizo. Los tramos basales de la serie suelen ser algo margosos; en general presentan tonalidades rosáceas, si bien a veces se presentan intercalados horizontes centimétricos oscuros.

Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos corresponden a facies de orla distal de abanicos (en la cuenca endorreica Miocena), con desarrollo de amplias llanuras de fangos y donde de forma esporádica se localizaron episodios fluviales efímeros así como áreas lagunares donde precipitaron carbonatos (Faci Aparicio et al, 2002).

Las dos simas exploradas se desarrollan en arcillas y lutitas ocres, en el talud de la meseta, a cotas de entre 412 y 370 m snm, en la zona de cabecera de los barrancos que van entallando el flanco Sur de La Estroza. A continuación describimos las simas exploradas y algunos rasgos destacables de su entorno. La referencia para las coordenadas UTM es la cartografía SITNA, contrastada con datos de campo.

Sima del Risco 01.

Situación: A 60 m en planta al Sur de la Punta de la Estroza.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.173; E 624.680; Altitud 412 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -30 m; Desarrollo espacial: 60 m. Figuras 05 á 10. Plano en Figura 11.

Descripción: La boca, de 6 m de diámetro, se abre a una vertical de -20 m. A -6 m hay una repisa inclinada con helechos y, tras otro escalón vertical sigue en rampa muy pronunciada. Al lado de la boca hay otra menor y ambas comunican entre sí en la cota -6, estando sólo separadas por un puente de roca y de bloques acuñaados.

La sima prosigue en una amplia galería descendente, de 8 m de anchura y bóveda a 6-10 m de altura, que al cabo de 40 m se hace de techo bajo y finaliza obstruida por un relleno de bloques. También posee un pequeño hundimiento tubular en su inicio. En las paredes de esta amplia galería se observan estratos horizontales de lutitas ocres y rojizas. En la zona inferior son frecuentes sobre la base de las paredes y bloques delicados crecimientos de espeleotemas aciculares y frostworks de yeso.

Al lado de esta cavidad hay otra depresión embudiforme o dolina, cegada por bloques. La cavidad captura las precipitaciones locales sobre la ladera y en su entorno, pero no posee ningún cauce apreciable, siendo su ambiente bastante seco. El drenaje subterráneo, de carácter temporal, se dirige hacia ESE, muy probablemente hacia la cabecera de un cañón aún no explorado.



Figura 01. Punta de La Estroza (462 m snm) y vista desde la misma de la planicie inferior con barrancos y cañones. La flecha roja indica la posición de la boca de la Sima del Risco 01.



Figura 02. Vista desde lo alto de la meseta de la Punta de La Estroza hacia la Sima del Risco 01 (arriba) y la depresión embudiforme con varias bocas de la Sima del Risco 02 (debajo), enmarcadas en óvalos blancos.



Figura 03. Vista con zoom desde el borde superior de la meseta hacia la Sima del Risco 02 (imagen superior, óvalo blanco). Se aprecia una pequeña boca en el centro, rodeada por tres bocas más grandes; la más amplia es la boca de acceso a la sima. En la imagen inferior se aprecian surcos de escorrentía y geoformas en el talud de la meseta.



Figura 04. Relieve del talud de la meseta sobre el flanco Sur, bajo el escarpe vertical. Al pie de las paredes la escorrentía ha ido excavando vaguadas e interfluvios. Se aprecia la estratificación horizontal de las lutitas.



Figura 05. Boca de acceso de la Sima del Risco 01. Se aprecia el inicio de la galería inferior y algunos pipes verticales recortados en las paredes de la sima.



Figura 06. Inicio del descenso en la Sima del Risco 01, con helechos en una repisa en la cota -6 m, donde el pozo comunica con otra boca vertical adyacente.



Figura 07. Vertical de acceso a la Sima del Risco 01 y la amplia galería inferior, con estratos horizontales de lutitas ocre, grises y rojizas. El suelo es un relleno de bloques arcillosos colapsados.

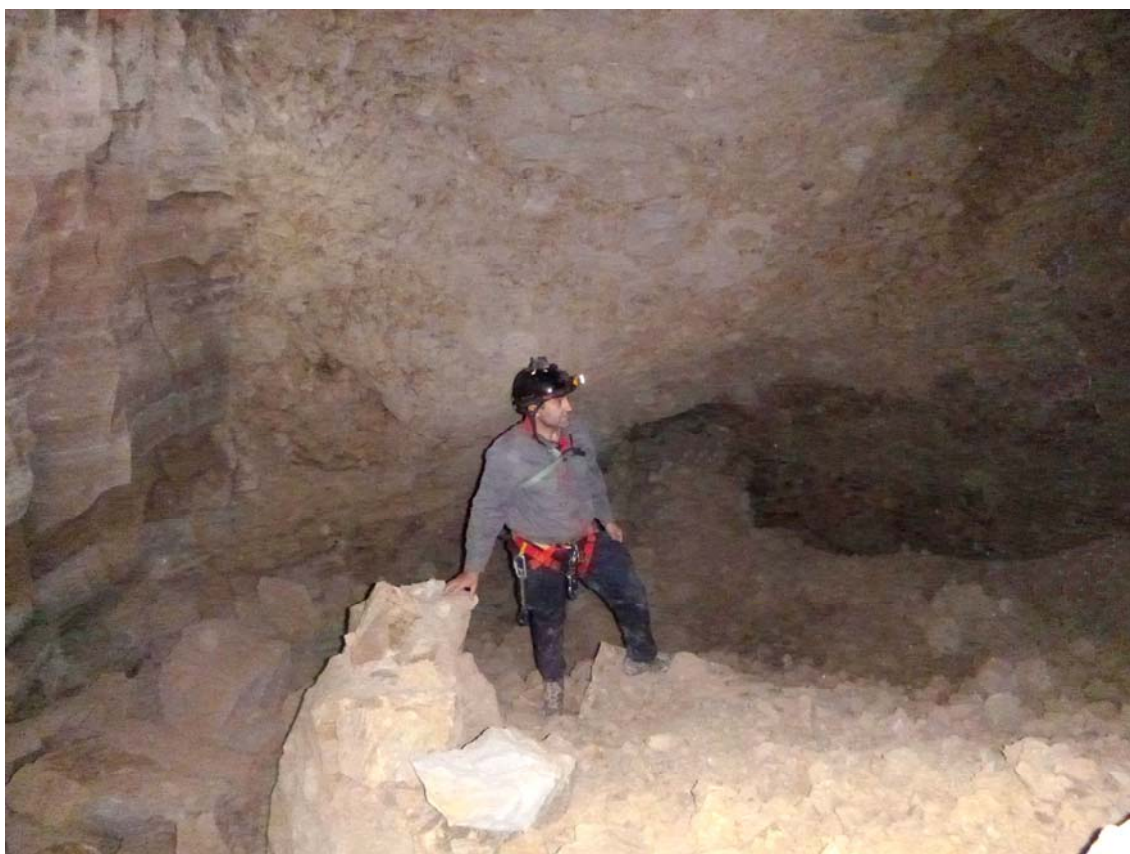


Figura 08. Amplia galería inferior de la Sima del Risco 01, con recubrimientos de espeleotemas aciculares y frostworks de yeso en la base de paredes y entre bloques del suelo.



Figura 09. Sector terminal de la Sima del Risco 01 (cota -30 m), donde la galería se obstruye por colapso de bloques.



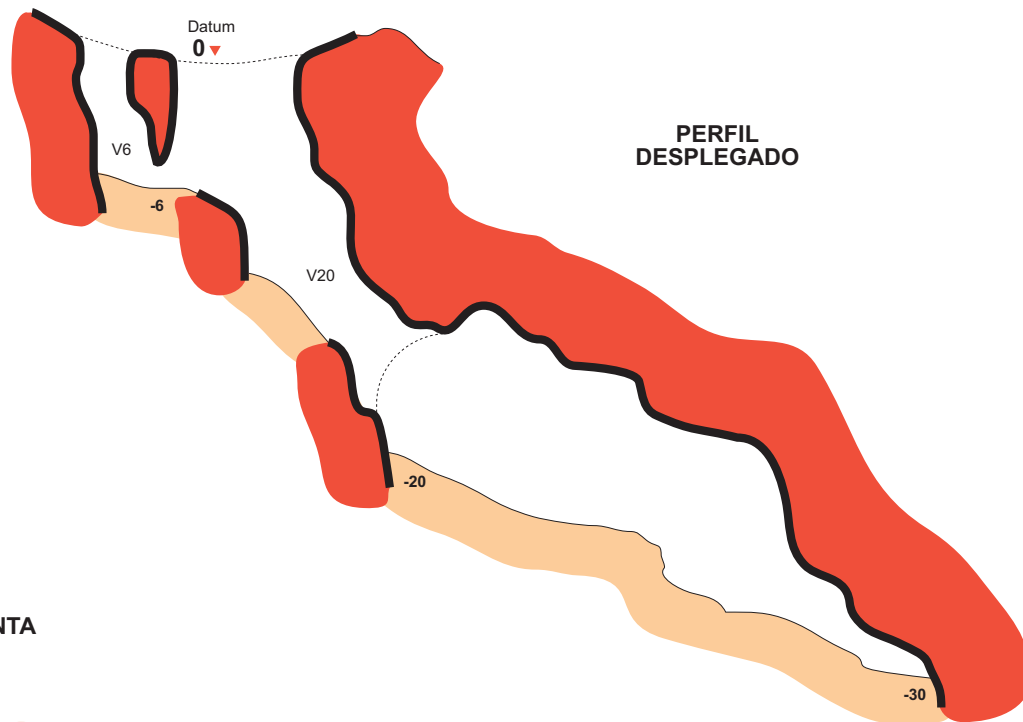
Figura 10. Galería inferior y remontando en jumars la vertical de acceso de la Sima del Risco 01.

Figura 11. Plano de la sima 01.

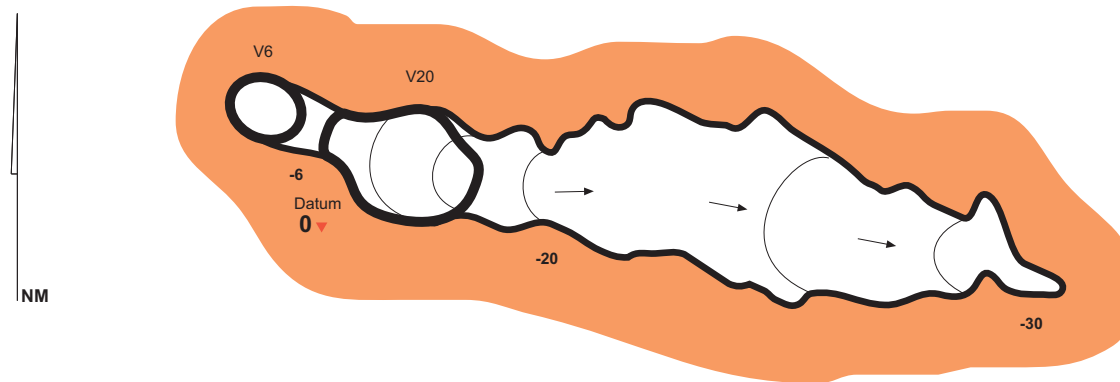
Sima del Risco 01.



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.679.173; E 624.680. Altitud: 412 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -30 m. Desarrollo espacial: 60 m.
Topografía: C.Galán, I.Herraiz & A.Miner. SCA. 2018.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



PLANTA



Sima del Risco 02.

Situación: A 115 m en planta al SSW de la Punta de La Estroza.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.140; E 624.610; Altitud 400 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -34 m; Desarrollo espacial: 102 m. Figuras 12 á 24. Plano en Figura 25.

Descripción: Situada cerca de la cavidad anterior, a menor altitud, y a 80 m al WSW de la misma. Sobre la ladera se abre una zona embudiforme o deprimida que consta de tres bocas principales de simas o dolinas, separadas por delgados tabiques, y todo un conjunto de pipes verticales menores.

La boca principal de la sima forma un amplio embudo, con paredes verticales en el borde Sur. El descenso se efectúa desde el lado N, ya que otros puntos del perímetro resultan de difícil acceso. La entrada es así una sima en rampa muy pronunciada, que resulta techada a partir de la cota -10 m. La parte inferior presenta escalones subverticales alternantes con rampas, siendo necesario el uso de cuerda hasta la cota -24 m.

En este punto el embudo forma una estrecha galería horizontal, con un cauce húmedo de arcilla y grandes cantos rodados. Tras un paso estrecho bajo bloques acuñaos inestables, la galería forma un meandro con un escalón vertical de -2 m (cota -26).

El meandro, serpenteante, es alto y estrecho (6 x 2 m), y tras varias curvas desemboca en una galería más amplia y horizontal, con suelo de bloques, algunos colapsados de una bóveda inestable (en lutitas granulares blancas y rojas), como muestran los bloques de colapso, con agudas aristas de corte reciente. El drenaje del cauce del meandro se hunde en dos puntos, entre el suelo de bloques. El extremo de este tramo de galería desciende con techo bajo para interceptar la continuación del cauce (cota -30).

Tras otro paso estrecho se alcanza una sala en declive en cuyo fondo se divisa la luz de otra boca (cota -34). Trepando un leve desnivel se alcanza la apertura subvertical de la segunda boca en la cota -30. El cauce sigue y pasa bajo la boca formando un laminador inundado por agua. En superficie, bajo la boca, se abre una galería surgente con agua estancada, que procede obviamente del laminador (cota -34).

Esta última sala de la segunda boca posee dos laterales amplios y ascendentes, en cuyas bóvedas se observaron quirópteros Vespertilionidae en vuelo, que se refugiaban en nichos de la bóveda. Su talla, morfología y aspecto sugiere que se trata de alguna especie del género *Myotis*, o más improbablemente del género *Pipistrellus*. La distancia e inaccesibilidad de los nichos de bóveda no permitieron lograr una identificación más detallada.

A lo largo de la galería-meandro, las paredes incluyen muchos cantos rodados y clastos de lutitas, mientras en que en la galería horizontal se aprecia bien la estratificación horizontal, con bandeados de distintos colores (como en la Sima del Risco 01). En esta parte, los colapsos de bóveda más recientes ocurren en un estrato de lutitas granulares rojas y blancas que sirve de techo. En distintos puntos se observan claraboyas cegadas por colapso de bloques y arcillas ocreas. Probablemente en correspondencia con el fondo de dolinas adyacentes o de pipes verticales abiertos en la ladera. En las zonas más húmedas a lo largo del cauce existen también recubrimientos milimétricos de espeleotemas aciculares y delicados frostworks de yeso.

La cavidad forma así una sima-túnel, con dos bocas, que captura las precipitaciones locales, constituyendo el cauce colector del conjunto. El drenaje subterráneo se dirige hacia el SW para desaguar en el talweg de otro barranco temporal entallado en la ladera.

El desarrollo de la sima en rampa es de 35 m (hasta la cota -26) y el de la galería inferior de 50 m. Contando los laterales ascendentes de la sala de la segunda boca, el desarrollo espacial total suma 102 m. El desnivel total es de -34 m.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las lutitas de la Formación Tudela poseen altos valores de sodio intercambiable y cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación, aumentando su volumen hasta un 12% en estado húmedo y contrayéndose en estado seco, produciendo de este modo agrietamientos (Gutiérrez et al, 1997; Marín & Desir, 2010). La escorrentía se canaliza entonces por las grietas hacia el interior del sedimento. La disolución del sodio a nivel intergranular desflocula las arcillas y acelera su pérdida de coherencia, produciendo cierto grado de desagregación que permite actuar al proceso de tubificación o piping. Los flujos de infiltración se canalizan y generan conductos subterráneos tubulares (pipes), los cuales conducen el drenaje y evolucionan excavando volúmenes mayores de roca, generando de este modo simas y cavernas.

El proceso de piping actúa de forma general por remoción de partículas en materiales granulares y rocas poco solubles. En su forma pura el piping es el extremo teórico de un espectro espeleogenético, con 100% de disolución kárstica en el extremo opuesto (Parker & Higgins, 1990; Dunne, 1990; Halliday, 2004). Entre ambos extremos hay situaciones intermedias, donde la disolución y el piping pueden actuar juntos, en variables proporciones, existiendo un continuo entre cuevas de tubificación y de disolución, en rocas de distintas solubilidades. En los materiales arcillosos de las Bardenas estos procesos están ampliamente extendidos, pudiéndose hablar de la existencia de un auténtico karst en arcilla. Sólo que muy distinto al karst clásico en caliza, tanto por la litología de los materiales como por la importancia que revisten los procesos de piping y erosivos, los cuales comandan el modelado regional.



Figura 12. Depresión embudiforme donde se abre la boca de la Sima del Risco 02 (flecha roja, arriba). En la imagen inferior se señala con flechas negras otras bocas de dolinas-simas (dos de ellas intercomunicadas) y la boca de la sima 02 (flecha roja). El acceso se realiza desde el punto A (cota cero).



Figura 03. Sima del Risco 02. Vista desde los arbustos de anclaje de la cuerda (A). Se aprecia un puente de roca entre dos de las dolinas-sima adyacentes (arriba). La sima es una rampa escalonada subvertical (debajo).



Figura 14. Sima del Risco 02. Galería inferior con grandes cantos rodados en la cota -24 m. Tras un paso estrecho presenta un escalón de -2 m y prosigue en galería-meandro.



Figura 15. Galería-meandro con sección en ojo de cerradura de 6 m de alto en la Sima del Risco 02. Vista desde la parte alta, más amplia, hacia el suelo, con un cauce temporal (arriba) y vista normal hacia el interior (debajo).



Figura 16. Tramo de galería amplia (4 m de ancho) tras el meandro, en la sima 02. Puede apreciarse la estratificación horizontal, con arcillas de distintos colores, bloques de colapso, y chimeneas obstruidas por bloques, probablemente correspondientes al fondo de las dolinas adyacentes, cegadas, o a pipes menores.



Figura 17. Cauce inferior con arcilla húmeda y crecimientos de cristales aciculares de yeso (arriba). Detalle de colapso de estratos granulares de lutitas rojas y ocre, muy disgregables (debajo). Sima del Risco 02.



Figura 18. El tramo de galería amplia se hace progresivamente de techo bajo. Sima del Risco 02.



Figura 19. El suelo de la galería desciende hasta el cauce, donde presenta un paso más estrecho en la cota -30.



Figura 20. Sala de la segunda boca (cota -34), con un cauce entallado que sifona en un laminador inundado.



Figura 21. Boca inferior (cota -30 m) y laterales ascendentes en la sala de la cota -34, donde observamos quirópteros Vespertilionidae en vuelo.



Figura 22. Detalle de surgencia al otro lado del laminador sifonante de la cota -34 (arriba, flecha blanca) y segunda boca en la cota -30 (flecha roja), vistas desde el talweg del barranco hacia el cual desagua la cavidad (debajo).



Figura 23. Surgencia y segunda boca de la Sima del Risco 02 y talweg del barranco que actúa como nivel de base local para el drenaje de la sima (arriba) y cabecera de dicho barranco bajo las paredes de la meseta (debajo).



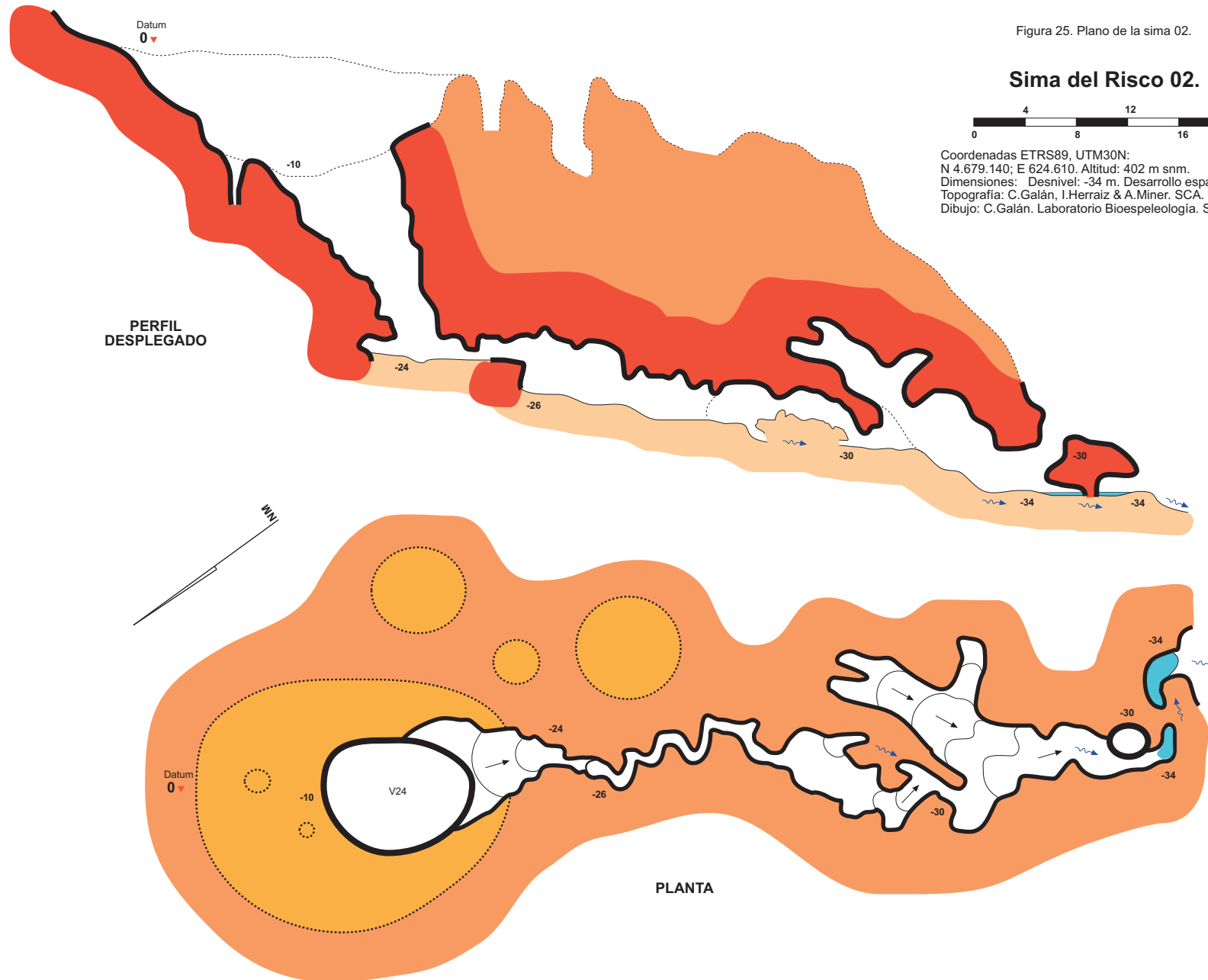
Figura 24. Vista con zoom desde lo alto de la meseta hacia la planicie, con redes de cañones y barrancos (arriba). Y vista de conjunto con mesetas, cerros residuales y planicies disectadas por cañones (debajo), en la Bardena Blanca, un territorio semi-desértico con miles de cavidades en arcillas y lutitas de la Formación Tudela.

Figura 25. Plano de la sima 02.

Sima del Risco 02.



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.679.140; E 624.610. Altitud: 402 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -34 m. Desarrollo espacial: 102 m.
Topografía: C.Galán, I.Herraiz & A.Miner. SCA. 2018.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



En el sector estudiado, la escorrentía superficial ha excavado progresivamente una red de barrancos sobre el flanco Sur de la meseta, que profundizan su incisión en el relieve hasta alcanzar la planicie inferior. Este entallamiento erosivo deja interfluvios que forman espolones y crean así una diferencia de cota entre niveles altos y bajos de la ladera y entre el fondo de los barrancos y el tope de los interfluvios.

De este modo los procesos de piping aprovechan las diferencias de potencial hidráulico entre distintos puntos. La infiltración vertical tiende entonces a organizar una red de drenaje subterráneo, con desagüe hacia los puntos bajos de surgencia en los talwegs. Sobre el terreno se aprecian muchos pipes menores y dolinas cegadas por colapso de los materiales arcillosos. Pero eventualmente el desarrollo de este proceso conduce a formar galerías colectoras, simas y cavernas.

Dado la variabilidad de las precipitaciones, en esta región árida a semi-desértica, la red hidrológica es de régimen temporal. Las crecidas, con fuerte poder erosivo, amplían los conductos, pero a la vez son frecuentes los colapsos, por la inestabilidad de los materiales arcillosos. El material desprendido por colapso amplía también las galerías al resultar removido en subsecuentes crecidas. Esto puede dar lugar a desarrollos dendríticos, a obstrucciones en galerías y fondos de sima, y también a una alternancia de morfologías en los conductos principales, con tramos en forma de galerías amplias, alternando con meandros estrechos, laminadores y/u otros rasgos geomorfológicos, como se puede apreciar en las dos cavidades descritas.

El mecanismo de piping es el proceso fundamental que actúa en la formación de estas cavidades, pero, como ha sido dicho, también existe cierto grado de disolución de los materiales parentales. La presencia de espeleotemas y recubrimientos de yeso constituye una evidencia de que existe disolución en las lutitas y una posterior precipitación de yeso secundario en las paredes de las galerías.

Estas cavidades constituyen a la vez un hábitat subterráneo extenso, que puede servir de refugio a una amplia variedad de invertebrados y vertebrados de hábitos variablemente cavernícolas, los cuales buscan la humedad y la sombra bajo las inclementes condiciones climáticas del desierto. En este caso, como en otros anteriores, encontramos en la sima O2 una pequeña población de quirópteros Vespertilionidae.

El trabajo, de naturaleza descriptiva, aporta nuevos ejemplos de formación de cavidades en arcillas y lutitas de la Formación Tudela, así como detalles de interés científico sobre la geomorfología y dinámica de la región semidesértica de las Bardenas.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en prospecciones anteriores efectuadas en la región de las Bardenas. A dos árbitros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.; A. Olivé Davó; A. Martínez Arias & P.P. Hernaiz. 2002. Memoria de la Hoja 245-I, Alera. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 101 pp.
- Galán, C. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz; D. Arrieta & J. Forstner. 2017. Cuevas en arcilla en el cañón de Las Bodegas (Bardena Blanca). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 54 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2018. Notas sobre técnicas de exploración de cuevas en arcilla en la región semidesértica de las Bardenas. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 37 pp.
- Gutiérrez, M.; C. Sancho; G. Benito; J. Sirvent & G. Desir. 1997. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. *Geomorphology*, 20: 237-253.
- 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.
- 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.