

**GEOMORFOLOGÍA Y CAVIDADES EN ARCILLA EN EL RINCÓN DEL BU Y PLANA DE SAGASTI
(BARDENAS - NAVARRA).**

Geomorphology and caves in clay in the Corner of Bu and Sagasti Plateau (Bardenas - Navarra).



Carlos GALÁN, Marian NIETO & Juliane FORSTNER.
Laboratorio de Bioespeleología, Sociedad de Ciencias Aranzadi

GEOMORFOLOGÍA Y CAVIDADES EN ARCILLA EN EL RINCÓN DEL BU Y PLANA DE SAGASTI (BARDENAS - NAVARRA).

Geomorphology and caves in clay in the Corner of Bu and Sagasti Plateau (Bardenas - Navarra).

Carlos GALÁN, Marian NIETO & Juliane FORSTNER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Octubre 2019.

RESUMEN

El trabajo describe la exploración y estudio de un conjunto de cavidades, cañones y geoformas, localizadas en el Rincón del Bu y Plana de Sagasti (zona Sur de la Bardena Blanca, Navarra). Las cavidades se desarrollan en arcillas y lutitas ocre y rojas de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario) y en arcillas Holocenas. El sector posee cuevas y mesocavernas formadas por procesos de piping en los flancos de mesetas y en paredes de gargantas entalladas (= gullies) en la planicie inferior, con diversas geoformas. Se presentan notas biológicas y algunos curiosos ejemplos de la fauna hallada en el interior de las cavidades y cañones (isópodos Porcellionidae y avispas Sphecidae). Los principales rasgos geomorfológicos son ilustrados 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 a group of cavities, canyons and geoforms, located in the Corner of Bu and Sagasti Plateau (South zone of the White Bardena, Navarra). The cavities develop in clays and shales ochre and red of the Tudela Formation (of Miocene, Tertiary age) and in Holocene clays. The sector has caves and mesocaverns formed by piping processes on the flanks of plateaus and gorge walls (= gullies) in the lower plain, with various geoforms. Biological notes and some curious examples of the fauna found inside the cavities and canyons (Porcellionidae isopods and Sphecidae wasps) are presented. The main geomorphological features are illustrated with digital photography.

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

INTRODUCCION

La región semidesértica de las Bardenas posee 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), con cavidades y geoformas asociados al modelado del relieve local.

La región de las Bardenas cubre una superficie de 600 km² y presenta una extensa red de cañones y mesetas. Con infinidad 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 Rincón del Bu y flanco W de la meseta de Sagasti (zona Sur de la Bardena Blanca, Navarra). En el sector localizamos y exploramos un conjunto de cavidades, de diversos tipos: pequeñas cuevas y abrigos bajo solapas rocosas de estratos métricos de caliza intercalados entre lutitas de la Formación Tudela (de edad Mioceno) y sistemas de simas interconectadas por mesocavernas en arcillas Holocenas, derivadas de la primera formación. Todas ellas se han formado por procesos de piping y erosivos. La fauna de los cañones y cuevas incluye ejemplos curiosos de isópodos Porcellionidae y avispas Sphecidae, así como otros taxa variablemente cavernícolas.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección y exploración de cavidades 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. Varias muestras de fauna 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 en el flanco W de la Plana de Sagasti y en un sector denominado Rincón del Bu (en la zona Sur de la Bardena Blanca), en territorio de Navarra, a cotas de 310 á 425 m snm. Se revisaron los flancos de la meseta (que presenta varios entrantes topográficos) y una serie de pequeños cañones y gullies que se extienden sobre la planicie inferior y que tributan sus cursos de agua temporales al Barranco de Tximorra, afluente a su vez del Barranco del Belcho.

Los materiales aflorantes en la ladera corresponden a lutitas ocres, blancas y rojas (con nivelitos espaciados de calizas y margas) de la Formación Tudela, Facies Tudela, de edad Aragoniense (Mioceno, Terciario continental). Constituyen la unidad litoestratigráfica 378, la cual suprayace a otra unidad de arcillas rojas, Facies Alfaro, de la misma formación (unidad 376, de edad Ageniense - Aragoniense), descritas por Faci Aparicio et al (2002) y SITNA Navarra, y cuya potencia de conjunto supera los 180 m.

Los niveles de la Facies Alfaro aparecen discordantes sobre la unidad Yesos de Los Arcos, de edad Oligoceno, que no aflora en la zona de estudio. El área de la planicie inferior contiene rellenos de fondos de valle con gravas, arenas y limos Holocenos (unidad litoestratigráfica 527) y glaciais de acumulación, con gravas y cantos rodados Pleistocenos (unidad 519).

Litológicamente la unidad 378 está compuesta por arcillas limosas (de colores ocres, grises y rojizos), con intercalaciones espaciadas de capas calcáreas de espesores decimétricos a métrico. Los niveles calcáreos presentan texturas de tipo *grainstone* y grano fino. Pueden contener abundantes algas, bioclastos, intraclastos y proporciones variables de limos o lutitas terrígenas que les confieren un carácter margoso. Las capas de margocalizas, de espesor inferior a 1 m, suelen presentar fauna de lamelibranchios y gasterópodos. El conjunto de la unidad representa distintos episodios de sedimentación carbonatada 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 (Faci Aparicio et al, 2002).

La unidad 376, predominantemente lutítica, está compuesta por arcillas limosas de coloraciones rojizas, beige/ocre y grises, en tramos de espesor decimétrico a métrico. Suelen contener abundantes nódulos dispersos de yeso alabastrino, capas de yesos masivos micronodulares, así como frecuentes vetas de yeso fibroso secundario. Corresponden a facies de llanura lutítica aluvial, próximas a un lago salino efímero y depositadas probablemente en condiciones climáticas semiáridas. Sedimentológicamente, estos depósitos son típicos de las zonas distales de abanicos fluviales, con paleocanales fluviales sinuosos que esporádicamente cruzan la llanura lutítica aluvial.

Los fondos de valle sobre la planicie presentan materiales arcillosos Holocenos (unidad 527), con cantos, gravas, arenas y arcillas. Predominan las lutitas grises y ocres que contienen clastos de diferentes tamaños y naturaleza, incluso bloques. En menor medida, también, se observan niveles de arenas. La naturaleza de los clastos varía según la procedencia, pero, en esta zona, suelen ser de areniscas de grano muy fino y algunas margocalizas. La potencia, casi nunca visible en su totalidad, se estima en 5 m. Sobre ellos aparecen recubriendo grandes áreas distintos glaciais de cobertera (unidad 519), constituidos por depósitos poco consistentes de limos y arcillas con clastos de caliza muy angulosos, gravas y pequeños cantos rodados. Los glaciais más recientes se encajan sobre los anteriores y sirven de enlace entre los taludes de las mesetas y los valles principales. Se caracterizan por tener pendientes del 2 a 5% y unos depósitos muy poco consistentes formados por limos y arcillas con clastos de caliza muy angulosos. Su cementación es escasa y también su potencia, casi siempre inferior a 2 m.

En el modelado actual, en general, la red de drenaje se encaja mediante procesos erosivos de incisión vertical, que van acompañados por el retroceso de las laderas de las mesetas y el desarrollo de cárcavas, que a menudo generan formas cónicas con surcos, las cuales evolucionan hasta dejar agudas aristas. Los procesos de piping intervienen continuamente en estos procesos, generando gargantas entalladas o gullies y numerosas cavidades subterráneas, a distintas escalas. El desarrollo de las mismas, así como el de los barrancos, están ligados a la acción torrencial propia de zonas en las que domina un clima semiárido, con lluvias escasas y un régimen hidrológico intermitente o temporal.

A continuación describiremos las cavidades encontradas y los principales rasgos geomorfológicos de su entorno, siguiendo de modo aproximado el orden seguido en la exploración del flanco W de la meseta de Sagasti, de Norte a Sur, desde la Majada de las Peñas hasta el Rincón del Bu. En este recorrido hay tres entrantes topográficos hacia el E, correspondiendo el más meridional al Rincón del Bu.

Las dos primeras cuevas (Sagasti 01 y 02) se desarrollan en la unidad 378, de lutitas ocres y rojas con niveles intercalados de calizas, mientras que la última (Sistema de simas del Rincón del Bu) se localizan donde el barranco N del Bu se abre a la planicie inferior del valle de Tximorra, en materiales arcillosos Holocenos y glaciais de cobertera Pleistocenos.

Cueva de Sagasti 01.

Situación: A 1 km al ENE de la Cabaña de Matías y a 820 m SSE de la pista que va por La Blanca y la Majada de las Peñas (desde el Embalse de Zapata hacia la Plana del Belcho).

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.667.766; E 627.636; Altitud 362 m snm.

Dimensiones: Desnivel: +4 m; Desarrollo espacial: 16 m. Figuras 01 á 07. Plano en Figura 08.

Descripción:

En las laderas de los dos primeros entrantes topográficos, la escorrentía ha labrado infinidad de surcos y pequeñas cárcavas, dejando en relieve positivo estratos métricos de calizas margosas, de disposición subhorizontal, espaciados verticalmente unos de otros. Teniendo a estos estratos más duros como techo, bajo ellos se forman abrigos, a veces muy extensos, por socavación basal. En los entrantes más pronunciados, en la zona de cabecera de los barrancos (que se organizan al pie de las laderas), los abrigos techados alcanzan mayor profundidad, contabilizándose decenas de ellos. El colapso progresivo de los estratos duros genera rellenos de bloques tabulares, entre los cuales se han formado algunas cuevas de recubrimiento, bajo los bloques y entre éstos y la pared. También se han formado en algunos puntos pequeñas cuevas, excavadas lateralmente bajo aristas cónicas de arcillas, por procesos de piping entre estas y el fondo de los surcos.

La primera cavidad que catalogamos (Cueva Sagasti 01) se localiza en un pequeño entrante formado a media ladera sobre un estrato duro y perfora una geoforma cónica para abrir su boca en el borde de un cortado vertical. El acceso es complicado, por la pronunciada inclinación del flanco, y hay que acceder lateralmente a la boca a través de una exigua cornisa.

La cueva tiene 1,5 m de diámetro y da paso a una galería en oscuridad de 12 m de largo, con un cauce seco excavado en su suelo. Tras un arrastradero la galería se amplía y asciende hasta una segunda boca superior a +4 m, la cual posee una chimenea lateral más estrecha. Las bocas superiores se abren sobre un relleno arcilloso que forma un pequeño replano al pie de un escarpe superior. La cueva totaliza 16 m de desarrollo y +4 m de desnivel. Esta cavidad se localiza en la parte media, Norte, del segundo entrante topográfico. En la cabecera del entrante hay amplios abrigos, escalonados bajo estratos de caliza, y en su parte inferior un pequeño cañón entallado, pero sin cavidades apreciables.

Cueva de Sagasti 02.

Situación: A 280 m al SSE de la cueva 01, en la cabecera del barranco Norte del Rincón del Bu.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.667.427; E 627.790; Altitud 350 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -4 m; Desarrollo espacial: 22 m. Figuras 09 á 14. Plano en Figura 08.

Descripción:

Tras remontar a una serie de replanos y plataformas horizontales, escalonadas en la ladera, se accede al tercer entrante, donde se localizan las cabeceras de dos cañones que discurren en paralelo hacia la planicie inferior. En su parte alta hay también abrigos bajo el techo de estratos duros y, por encima de ellos, grandes áreas de geoformas cónicas y agudas aristas en arcillas muy claras, casi blancas.

En la zona de cabecera del barranco situado más al N, bajo una plataforma horizontal, se sitúa la cueva Sagasti 02. La describimos por su curiosa morfología. Esta tiene por techo un estrato duro de caliza margosa que forma un semicírculo entre una pared y una geoforma cónica prominente. El colapso del borde del estrato calcáreo ha dejado acumulaciones de bloques y arcilla que forman la pared externa de la cueva, estando su fondo recorrido por un pequeño cauce seco. El lado externo de la galería presenta varias bocas abiertas al relleno. Por ello, la galería subterránea está en gran parte en penumbra. Su trazado describe un arco contra la pared de la meseta, de 18 m de longitud y 4 m de desnivel. Contando las bocas el desarrollo asciende a 22 m.

Sistema de simas del Rincón del Bu.

Situación: A 750 m al WSW de la cueva 02, en el barranco Norte del Rincón del Bu, donde se abre a la planicie inferior.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.667.158; E 627.116; Altitud 315 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -7 m; Desarrollo espacial: 128 m. Figuras 15 á 24. Plano en Figura 25.

Descripción:

Bajo las cabeceras del entrante del Rincón del Bu, se han formado dos largos cañones, que descienden hacia la planicie surcada por el barranco de Tximorra. En estos cañones hay diversas geoformas: torres de roca, pequeños puntos de surgencia a través de mesocavernas y pequeñas cuevas y abrigos formados en el recodo de meandros. Las paredes de los cañones son de arcillas ocreas con cantos angulosos, y poseen vetas y láminas de yeso fibroso secundario, de colores blancos y rosáceos. Llegan a alcanzar 6-8 m de profundidad. Los suelos poseen limos y materiales arcillosos finos, con algunas acumulaciones de arena.

El sistema de simas se localiza donde el cañón N se abre al alcanzar la planicie inferior, en su lado N. A nivel del suelo hay pequeñas galerías que enlazan con la base de simas más amplias, de bordes festoneados. La primera sima alcanza 6 m de diámetro y enlaza por pequeños conductos con una sima-depresión extensa, de unos 50 m de desarrollo en planta. El suelo está accidentado por bloques de arcilla colapsados de las paredes, y bajo el mismo se desarrollan pequeñas galerías que conducen el drenaje subterráneo, con comunicaciones entre unos puntos y otros. Una tercera depresión, anastomosada a la segunda, alcanza 20 m de largo y comunica a su vez con una cuarta sima, con dos pequeñas simas internas y mesocavernas basales.



Figura 01. La planicie en la Cañada de las Peñas (arriba) y el extremo N del flanco W de la Plana de Sagasti (debajo).



Figura 02. Geofomas cónicas, con surcos, y abrigos bajo estratos duros de margocalizas intercalados en la serie arcillosa de la Formación Tudela, con pequeñas cuevas de recubrimiento bajo bloques de colapso.



Figura 03. Pequeñas cuevas y amplios abrigos bajo el techo de estratos duros de caliza.



Figura 04. Primer entrante topográfico (flanco W de la meseta de Sagasti). La escorrentía ha excavado surcos que dejan geoformas cónicas y extensos abrigos bajo el techo de estratos de caliza intercalados en la serie arcillosa.



Figura 05. Pequeña garganta entallada o gully, formada en el primer entrante topográfico, al pie del talud basal.



Figura 06. Cueva de Sagasti 01. Vista de la ruta de acceso a la boca y vista desde el interior.



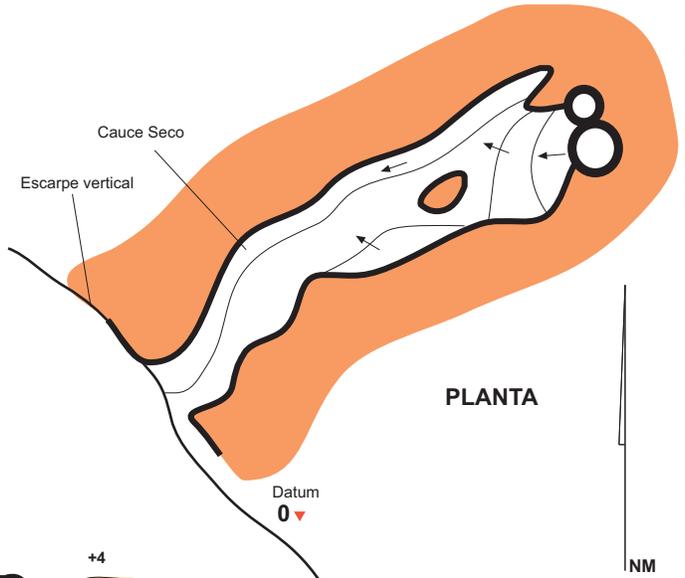
Figura 07. Diversos aspectos de la galería interna de la Cueva de Sagasti 01, con un cauce seco. En la imagen inferior se aprecia la luz de la boca superior al fondo.

Figura 08. Plano de las cuevas Sagasti 01 y 02.

Cueva de Sagasti 01.



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.667.766; E 627.636. Altitud: 362 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: +4 m. Desarrollo espacial: 16 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Forstner. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Cueva de Sagasti 02.



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.667.427; E 627.790. Altitud: 350 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -4 m. Desarrollo espacial: 22 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Forstner. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

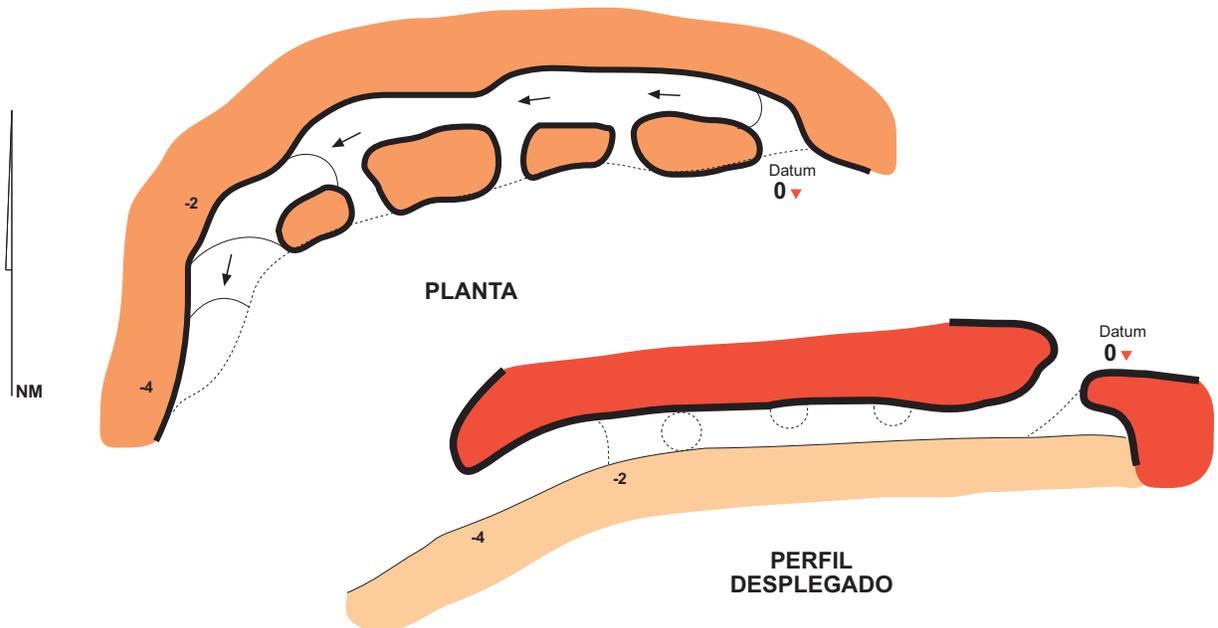




Figura 09. Abrigos en el segundo entrante y aristas superiores de arcillas blancas (arriba). Remontando el flanco para acceder a plataformas superiores (debajo).



Figura 10. Acceso a plataformas escalonadas superiores, formadas sobre estratos duros de margo-calizas.



Figura 11. Zona de cabecera del Rincón del Bu, con diversas plataformas y morfología de aristas y surcos.



Figura 12. Detalles de surcos, aristas y geoformas cónicas, con bandeados de arcillas de distintas coloraciones.



Figura 13. La Cueva Sagasti 02 (flechas rojas) se extiende en semicírculo bajo un estrato duro de caliza.



Figura 14. Detalles de la Cueva Sagasti 02, con distintas áreas en penumbra por la presencia de varias bocas.



Figura 15. Diversidad de morfologías en la cabecera del Rincón del Bu y detalle de geoformas con agrietamientos en las arcillas (por expansión y contracción), eflorescencias de sales y láminas rojizas de yeso.



Figura 16. Formación de cañones entallados bajo las cabeceras del Rincón del Bu.



Figura 17. Detalle de las paredes de los cañones y pequeñas cuevas formadas en los recodos de los meandros.



Figura 18. Morfología de los cañones en el Rincón del Bu. Los procesos de piping y erosivos excavan pequeñas cavidades y producen colapsos en las paredes, que amplían progresivamente los cañones.



Figura 19. Torres residuales en las paredes de los cañones y uno de los accesos al sistema de simas del Cañón del Bu, con galerías a varios niveles.



Figura 20. Sistema de simas del Rincón del Bu. Diversos accesos al sistema y vista de las depresiones-simas anastomosadas desde el plano superior.



Figura 21. Sistema de simas del Rincón del Bu, interconectadas por escotaduras superiores y conductos inferiores.



Figura 22. Detalles del fondo de las depresiones-simas, con pequeñas galerías inferiores y mesocavernas, de desarrollo dendrítico, que conducen el drenaje hacia el talweg del cañón externo.



Figura 23. Vistas de la cuarta sima y la depresión-sima mayor, interconectadas por galerías inferiores. La cavidad, en su conjunto tiene al menos 128 m de desarrollo de galerías y -7 m de desnivel.



Figura 24. El cañón se amplía al alcanzar la planicie inferior y presenta pequeños barrancos afluentes.

Figura 25. Plano del Sistema de simas del Rincón del Bu.

Sistema de simas del Rincón del Bu



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.667.158; E 627.116. Altitud: 315 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -7 m. Desarrollo espacial: 128 m.
Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Forstner. SCA. 2019.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

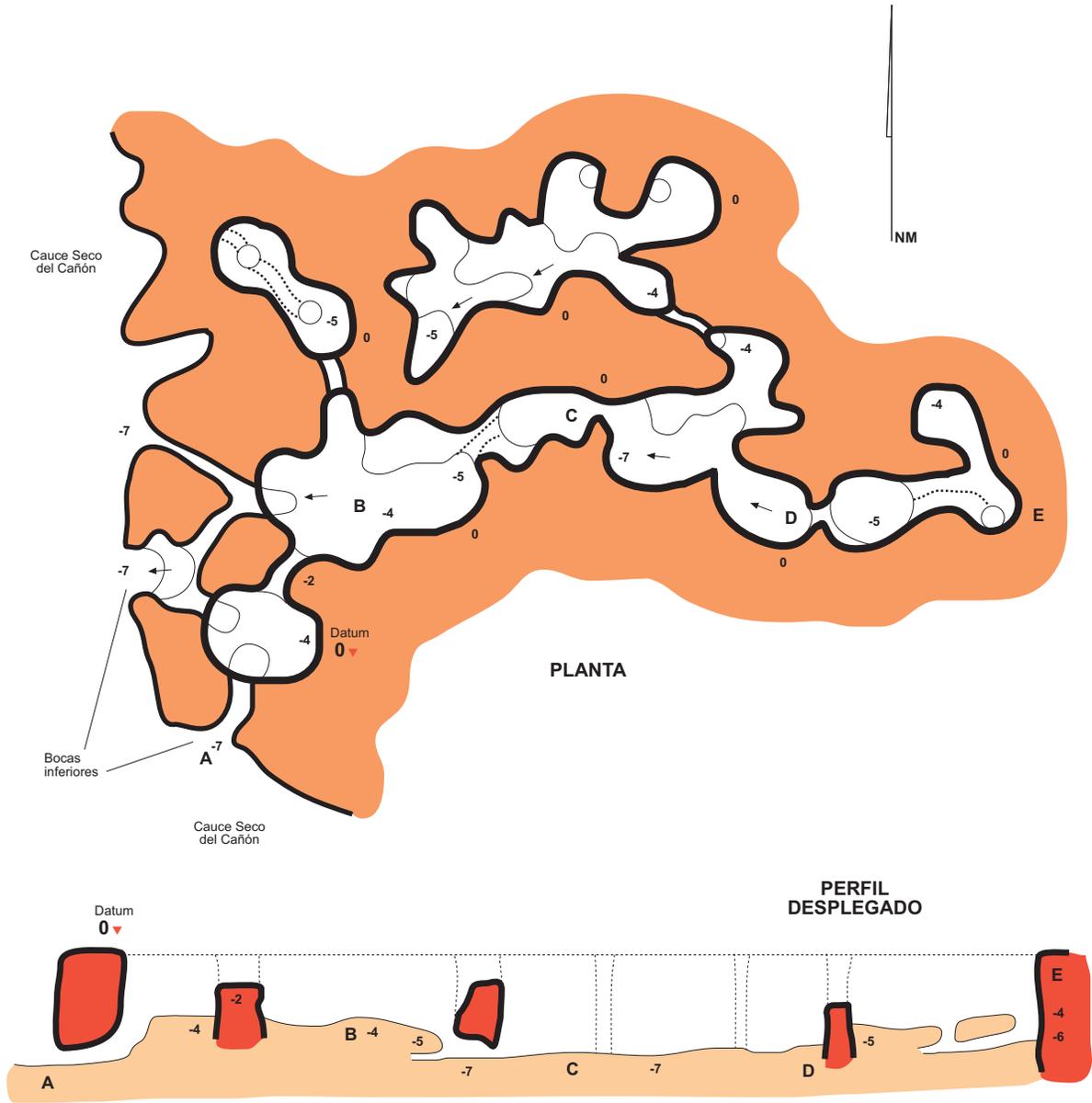




Figura 26. Pequeñas cuevas y cortos túneles en la red de barrancos afluentes excavados en arcillas Holocenas.



Figura 27. Pequeños caracoles e isópodos terrestres *Porcellio laevis* (Porcellionidae) en el cauce de los cañones y pequeñas cavidades surgentes.



Figura 28. Nidos de la avispa alfarera *Sceliphron spirifex* (Sphecidae) y detalle de adulto.

Las paredes verticales de este sistema de 4 simas-depresiones alcanzan desniveles de -4 á -7 m, pero existen varios puntos en sus bordes por donde es posible acceder a algunas partes de su interior escalando sin cuerda. Los conductos inferiores, que conducen el drenaje, se desarrollan en forma dendrítica, siendo penetrables en diversos tramos, pero tornándose a menudo laminadores muy estrechos e impenetrables, en el rango de mesocavernas (conductos con diámetros inferiores a 20 cm). Contabilizamos para el sistema de simas-depresiones un desarrollo espacial de 128 m (14 + 70 + 25 + 19 m) y un desnivel de 7 m.

Las cuatro depresiones están interconectadas por conductos inferiores y/o por escotaduras entre las depresiones mayores, por debajo del nivel de la planicie. Así que se trata de una única cavidad, que describimos como sistema por sus rasgos a nivel macro.

En la zona más baja por donde prosigue el cañón hacia el W y luego al N, la altura de las paredes es menor (4-5 m) y el cañón se amplía en barranco, dejando algunos islotes residuales. En sus paredes hay también algunas pequeñas cuevas y arcos de roca. En algunos pequeños barrancos afluentes se encuentran también cuevas-túneles que perforan algunos tramos entre ramas de los barrancos. La mayor de ellas alcanza 8 m de longitud (Ver detalles en Figura 26).

NOTAS BIOLÓGICAS

En los sectores explorados predominan ampliamente las morfologías erosivas, que dejan relieves de surcos y cárcavas a lo largo de las laderas, y cañones entallados en las planicies. Aunque existe gran número de abrigos y pequeñas cavidades, sólo adquieren cierta magnitud los tres fenómenos descritos, que catalogamos como cavidades. Estas, no obstante, son cuevas y simas muy superficiales, con amplias zonas iluminadas o en penumbra, reduciéndose la zona oscura a parte de la primera cueva y galerías inferiores de escaso diámetro del tercer sistema. Por ello la fauna hallada sólo es variablemente cavernícola. En ellas hallamos algunos ejemplares de araneidos, isópodos y diplópodos, que pueden considerarse representantes epígeos o troglóxenos.

Pero hay dos detalles que nos parece de interés reseñar. En primer lugar, el hallazgo de numerosos ejemplares de isópodos terrestres *Porcellio laevis* Latreille (Porcellionidae), deambulando en el cauce de los cañones y pequeñas cavidades de sus paredes. La especie alcanza 12 mm de talla, de color gris claro, muy variable, presenta un lóbulo frontal medio levemente triangular, telson con la base corta y la punta gruesa y triangular, y granulaciones débiles y aplanadas. Es de hábitos omnívoros y se alimenta de todo tipo de pequeños restos orgánicos. Es una especie cosmopolita, hallada en medios epígeos, pero podría considerarse subtroglófila, ya que puede reproducirse en las cavidades y mesocavernas, y completar su ciclo de vida en ellas si el alimento es abundante. Aunque igualmente puede efectuar desplazamientos y frecuentar el medio epígeo del fondo de los cañones, como observamos en el sector del Rincón del Bu. Previamente habíamos encontrado en cavidades de las Bardenas otra especie de la misma familia, *Porcellio haasi* Arcangeli, endemismo del NE ibérico, que consideramos una forma troglófila. Ambas especies habían sido previamente citadas para la región de las Bardenas por Cifuentes (1984).

También ha sido muy frecuente encontrar en la entrada de cavidades y abrigos numerosos hoyuelos cónicos en suelos con materiales arcillosos finos y pulverulentos. Estos no corresponden a goteos, sino a la excavación por avispa Sphecidae de agujeros o cámaras donde entierran a sus presas para comérselas después (Coville, 1987; Bohart & Menke, 1976).

En esta salida encontramos curiosos ejemplos de nidos de barro de la avispa alfarera *Sceliphron spirifex* Linnaeus (Sphecidae), tanto adosados al techo de estratos de caliza de abrigos y entrada de cuevas, como unidos a ramas de arbustos fuertes. Los primeros, en Sagasti 02, son algo aplastados, mientras que los unidos a ramas de arbusto son esféricos y alcanzan 5 cm de diámetro. Llamen la atención por estar contruidos por una masa sólida de barro, que presenta hasta 8 agujeros tubulares, de 4-5 mm de diámetro y 1 cm de profundidad. Cada celda de barro es independiente y corresponde a la cámara de puesta de un solo huevo. Las celdas están agregadas en una masa esférica mayor, que otorga gran solidez y mayor peso al conjunto del nido.

Los adultos de la especie tienen 15-25 mm de talla, cuerpo negro con un pecíolo (cintura) largo y amarillo, y patas negras con bandas amarillas; las antenas son negras y las alas son claras. Las hembras construyen grandes nidos de barro multicelulares unidos a acantilados, rocas, ramas de árboles y edificaciones humanas.

La avispa alfarera es solitaria. Los adultos se alimentan de néctar (aunque sus larvas son carnívoras), y no viven en nidos, sino que se ocultan entre la vegetación cuando quieren descansar. El macho adulto vive solo 3-4 semanas. La hembra adulta vive 2-3 meses, y pasa todo este tiempo construyendo nidos para sus huevos. En cuanto acaba uno empieza con el siguiente. Las larvas crecen solas. La construcción del nido corre a cargo de la hembra, que puede construir una celda en solo un día. El barro es trasladado en bolitas (que la avispa modela con sus piezas bucales y patas) desde su punto de origen (pequeños charcos) hasta el nido, mediante decenas de viajes de la hembra. Una vez construido el nido caza preferentemente arañas, y/u otros insectos, los adormece con su veneno, las mete al nido, pone el huevo y tapona el nido con barro. Cuando nace la larva se come todas las arañas que le ha dejado su madre, se hace grande y se convierte en crisálida. A finales de primavera la crisálida se transforma en avispa y sale rompiendo el nido por un extremo. Cada celda de barro contiene un huevo y varias presas, para que la larva pueda alimentarse. Las hembras suelen poner una media de 15 huevos durante toda su vida. Como otras avispas solitarias, *Sceliphron spirifex* no es una especie agresiva, si no es molestada. Se distribuye en diversos hábitats en el norte de África y sur de Europa.

Aunque la especie es ampliamente conocida, pocas veces habíamos observado la presencia de nidos esféricos de barro con agujeritos en las Bardenas y, en esta ocasión, en las entradas o en la proximidad de abrigos y cuevas (Figuras 27 y 28).

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 (Marín & Desir, 2010). La escorrentía se canaliza entonces por las grietas hacia el interior del sedimento. La disolución del sodio a nivel intergranular desfloca 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 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; 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.

En el sector estudiado, la escorrentía superficial ha excavado preferentemente una red de surcos y cárcavas sobre los flancos, que generan morfologías cónicas y aristas delgadas, así como pequeños cañones entallados en la planicie inferior. Bajo los estratos de caliza intercalados en la serie arcillosa, se forman con frecuencia abrigos poco profundos y también algunas pequeñas cuevas (tanto sobre como por debajo de los estratos de caliza). En los bordes de los cañones, en cambio, aprovechando las diferencias de potencial hidráulico entre distintos puntos, los procesos de piping excavan conductos verticales, que tienden a organizar una red de drenaje subterráneo, con desagüe hacia los puntos bajos de surgencia en los talwegs. Las cavidades se amplían en superficie conformando depresiones mayores, mientras prosigue la remoción de materiales arcillosos a través de pipes inferiores. El desarrollo de este proceso conduce a formar sistemas de simas y depresiones anastomosadas, con drenaje inferior hacia el barranco.

Estas cavidades constituyen a la vez un hábitat subterráneo 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. El trabajo aporta nuevos ejemplos de formación de cavidades en arcillas y lutitas de la Formación Tudela, así como detalles de interés científico sobre la biología y geomorfología 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

- Bohart, R.M. & A.S. Menke. 1976. Sphecid wasps of the world: A generic revision. Berkeley: University of California Press. 694 pp.
- Cifuentes Colmenero, J. 1984. Isópodos terrestres (Crust. Oniscoidea) de Navarra. Bol. Asoc. Esp. Entm., 8: 233-252.
- Coville, R.E. 1987. Spider-hunting sphecid wasps. In: Nentwig W. (ed). Ecophysiology of Spiders. Berlin; New York: Springer-Verlag. 309-319.
- 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. 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.
- 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. Geol.Soc.America, Special Paper 252.