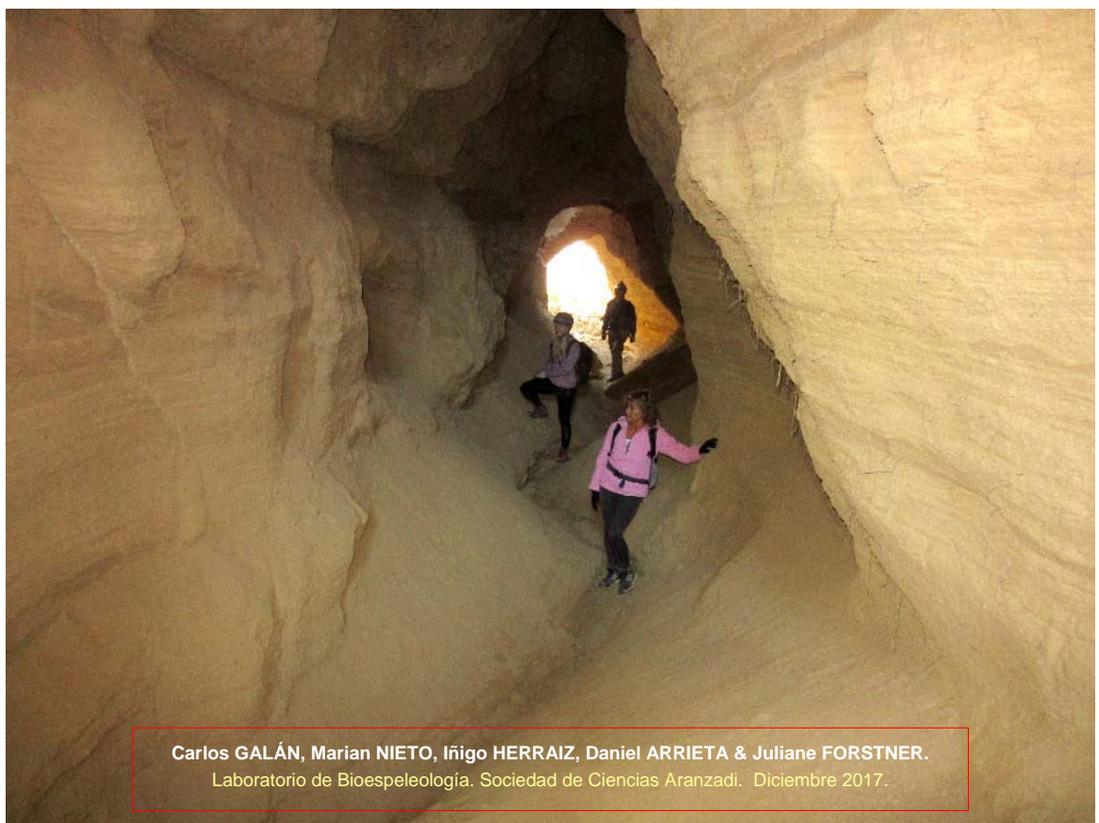


CUEVAS EN ARCILLA EN EL CAÑÓN DE LAS BODEGAS (BARDENA BLANCA).

Caves in clay in the canyon of The Wineries (White Bardena).



Carlos GALÁN, Marian NIETO, Iñigo HERRAIZ, Daniel ARRIETA & Juliane FORSTNER.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Diciembre 2017.

CUEVAS EN ARCILLA EN EL CAÑÓN DE LAS BODEGAS (BARDENA BLANCA).

Caves in clay in the canyon of The Wineries (White Bardena).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Iñigo HERRAIZ, Daniel ARRIETA & Juliane FORSTNER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Diciembre 2017.

RESUMEN

Recientes exploraciones en barrancos de la parte Norte de la Bardena Blanca han permitido estudiar nuevos ejemplos de sistemas de simas y cuevas en arcilla, con desarrollos de varios cientos de metros y rasgos hidrogeológicos de interés. Las cavidades han sido formadas por procesos de piping. Su exploración, tras un período de cortas lluvias, ha permitido apreciar su funcionamiento hidrológico y el comportamiento de las arcillas bajo condiciones húmedas, de carácter temporal, ya que se trata de zonas semidesérticas. Se describen las cavidades encontradas y se discuten sus principales rasgos geomorfológicos. El trabajo aporta nuevos datos sobre los procesos de karstificación en arcillas.

Palabras clave: Espeleología física, Karst, Cuevas en arcilla, Piping, Hidrogeología, Geomorfología.

ABSTRACT

Recent explorations in canyons of the northern part of the White Bardena have allowed us to study new examples of systems of chasms and caves in clay, with developments of several hundreds of meters and hydrogeological features of interest. The cavities have been formed by piping processes. Its exploration, after a period of short rains, has allowed to appreciate its hydrological functioning and the behaviour of the clays under humid conditions, of a temporary nature, since they are semi-desert zones. The cavities found are described and their main geomorphological features are discussed. The work sheds new light on the processes of karstification in clays.

Keywords: Physical Speleology, Karst, Caves in clay, Piping, Hydrogeology, Geomorphology.

INTRODUCCION

La región de las Bardenas, situada en el SE de Navarra, es una comarca semidesértica muy extensa, que ocupa una superficie de 600 km². Se trata de una antigua cuenca endorreica que se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos) durante el intervalo Eoceno - Mioceno (Terciario) y pasó a ser exorreica en el Mioceno final. La erosión posterior fue vaciando la cuenca, generando planicies y relieves tabulares de formas caprichosas. Actualmente posee una trama entallada de barrancos y cañones que disecta los materiales arcillosos y que es drenada por una red hidrográfica de carácter temporal, ya que las lluvias en la región son muy escasas (170 mm/a en la Bardena Blanca y 350 mm/a para el conjunto de la región). Junto con el Desierto de Tabernas (en Almería) constituye una de las regiones más áridas de toda Europa.

En los sedimentos arcillosos de las Bardenas tienen un extraordinario desarrollo los procesos de piping y formación de cuevas en arcilla. Estos van unidos a la formación de cañones entallados o gullies que desaguan en los barrancos mayores, formando sobre las planicies una red dendrítica de cientos de kilómetros de desarrollo, con miles de cavidades, a distintas escalas.

La karstificación y formación de cavidades subterráneas puede ocurrir en distintos tipos de rocas y por lo general involucra procesos de disolución, aunque sea parcial, de los materiales parentales. Los casos más conocidos obviamente se dan en rocas duras y a la vez solubles, como es el caso de la caliza y el yeso. Los materiales arcillosos son en cambio poco consistentes, poco solubles y primariamente impermeables, por lo cual son poco susceptibles de experimentar karstificación y generar cavidades (simas y cuevas) a escala humana (macro cavernas). Las cuevas en arcilla constituyen por ello casos raros a nivel mundial.

Casos locales de formación de cavidades en arcilla son conocidos en distintas partes del mundo. Generalmente ocurren en regiones semidesérticas, 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 descubiertos y explorados en años recientes en las Bardenas (Galán, 2015, 2017; Galán & Nieto, 2015; Galán et al, 2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b).

Estos últimos poseen sistemas de simas y cuevas que alcanzan 880 m de desarrollo y desniveles de hasta -100 m, constituyendo los mayores sistemas de cuevas en arcilla a nivel mundial. La mayor cavidad individual conocida en las Bardenas (Sima Nasa Alta 04) alcanza 380 m de desarrollo espacial de galerías y -40 m de desnivel. Pero dada la extensión de la región y su geografía (poco conocida en detalle), cada sucesiva exploración conduce al hallazgo de nuevas simas y cuevas, existiendo la posibilidad de hallar cavidades aún mayores. De ahí nuestro interés en seguir prospectando nuevos sectores en las Bardenas.

Adicionalmente, las exploraciones más recientes están mostrando que la cantidad de cavidades es considerable y, aunque en la mayoría de los casos se trata de cuevas de modestas dimensiones (algunas decenas de metros), su profusión en torno a la red de gullies y barrancos puede ser enorme. A día de hoy puede afirmarse que la región de las Bardenas contiene la mayor concentración y diversidad de cavidades en arcilla hasta ahora conocida a nivel global.

El proceso básico que rige la formación de cavidades en arcilla es el piping. La tubificación o piping consiste en la formación de conductos tubulares (= pipes) por remoción de partículas de la roca por flujos de aguas subterráneas 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.

En las cuevas en arcilla de las Bardenas, una vez formados los conductos iniciales de drenaje subterráneo, la ampliación de las galerías ocurre principalmente por procesos erosivos, aunque sigue actuando el piping en áreas contiguas a los conductos subterráneos ya formados, extendiendo de esta manera esta peculiar karstificación a áreas y volúmenes de roca mayores. No obstante, los colapsos del terreno también pueden dismantelar áreas extensas, generando badlands y propiciando la erosión y remoción de materiales a través de la red principal de drenaje temporal. De este modo son evacuados hasta 32 Tm/Ha/año (toneladas métricas por hectárea al año) de materiales Terciarios a 77,2 Tm/Ha/año de materiales Holocenos (Desir & Marín, 2007).

En este trabajo exponemos los resultados obtenidos en una zona de la parte Norte de la Bardena Blanca, próxima a otra explorada dos meses antes (Galán, 2017), la cual presentó varios sistemas de simas y cuevas en arcilla. Estas nuevas cavidades se localizan en el Barranco de Las Bodegas y sus inmediaciones, y se desarrollan en arcillas dispersivas ricas en sales de sodio pertenecientes a la Formación Tudela (de edad Mioceno medio).

MATERIAL Y METODOS

En la exploración de cavidades se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnica vertical de cuerda estática y jumars. En las topografías se utilizó instrumental de precisión Suunto (brújula y clinómetro) y cinta métrica. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital Canon Power Shot a fin de ilustrar las principales características de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

La región explorada comprende la parte central del Barranco de Las Bodegas, hasta su confluencia con el Barranco Grande, y los terrenos contiguos, que contienen diversos afluentes y gullies menores. Las cavidades se localizan en las paredes de los barrancos o sobre ellos, a cotas de 304 a 328 m snm, en la parte Norte de la Bardena Blanca.

Esta región es una de las más desérticas de las Bardenas, con un relieve constituido por materiales arcillosos que forman extensas zonas llanas, barrancos laberínticos y rellenos de fondo de valle, de los que sobresalen cerros tabulares aislados. La abundancia de sales y yesos en el sustrato geológico y la aridez del clima motivan la presencia de fases salinas en muchos de los suelos de esta parte de la Bardena Blanca, dándole sus característicos colores blanco-amarillos (Figuras 1 a 4).

Los terrenos aflorantes están constituidos por una espesa secuencia de materiales arcillosos (lutitas y arcillas) de colores claros (ocres, amarillentos, rojizos y grises), con algunas intercalaciones espaciadas de estratos delgados de margocalizas y areniscas (unidades litoestratigráficas 376 y 369, en: Faci Aparicio et al, 2002; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA). Los cauces de los barrancos poseen también rellenos detríticos aluviales de edad Holoceno, constituidos por gravas, arenas y arcillas.

Los materiales arcillosos son parte de la Formación Tudela (Facies Las Bardenas, de edad Mioceno medio) y corresponden al denominado piso Aragoniense, cuya edad engloba un intervalo de tiempo de entre 17 y 11 millones de años antes del presente.

Litológicamente la unidad 376 presenta un carácter bastante homogéneo, estando constituida por una secuencia monótona de arcillas y limos de tonalidades claras, ocres a rojizas, de aspecto masivo, con intercalaciones esporádicas de nivelitos de areniscas y margocalizas grises de espesor decimétrico a métrico. Hacia el W grada a lutitas ocres y rojizas de la unidad 369, muy visibles a lo largo y por debajo de los farallones que constituyen los cantiles de La Estroza.

Aunque predominan las tonalidades claras ocres en las arcillas y lutitas, se diferencian de forma rítmica horizontes decimétricos rojizos, relacionados con procesos edáficos postsedimentarios, así como algún que otro horizonte grisáceo de espesor centimétrico. Ocasionalmente entre las lutitas se reconoce algún nivel de yeso disperso. Los tramos básales de la serie suelen ser algo margosos, de tonalidades rosáceas, si bien a veces se localizan intercalados horizontes más oscuros.

Los niveles de caliza son de color gris y tamaño centimétrico a decimétrico. Aunque presentan cierta continuidad lateral, destacan y resultan más llamativos debido a su composición y color, más que por su escaso espesor. Se trata de micritas arcillosas que suelen contener abundantes restos de oogonios de charáceas. Las areniscas presentan diferentes facies y espesores. Suelen ser de grano medio a fino, los granos están cementados por carbonatos y son de tonalidades grises y de espesor decimétrico, con base planar y abundantes ripples de corriente.

Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos se relacionan con facies distales de abanicos aluviales (de procedencia Pirenaica), con desarrollo de amplias llanuras de fangos, y donde de forma esporádica se localizan episodios fluviales efímeros con canales, así como áreas lagunares donde precipitaron los carbonatos, siendo éstas más frecuentes hacia el Este.

Como contexto general cabe decir que la cuenca endorreica de las Bardenas se rellenó de sedimentos fluvio-lacustres (fundamentalmente arcillosos) durante el Eoceno-Mioceno. 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 erosión normal ha seguido profundizando el modelado de la región, con incisión Holocena de la red de drenaje en las planicies. A la misma contribuyen los procesos de piping, que involucran la excavación del terreno, retroceso de los escarpes de las mesetas y formación de cavidades subterráneas.

El relieve en el área de estudio corresponde a una extensa planicie, con buzamiento subhorizontal y en leve declive NE-SW, surcada por el barranco de Las Bodegas y el barranco Grande, con una red entallada de cañones y afluentes menores.

En esta nota describimos ejemplos ilustrativos de la diversidad de procesos que presenta la karstificación en arcillas, a distintas escalas, y que generan cavidades de variables dimensiones y formas. Las cavidades básicamente se localizan en las paredes de los barrancos e interfluvios entre estos.

DESCRIPCION DE CAVIDADES

En el área de estudio catalogamos ocho cavidades de cierta entidad que suman 580 m de desarrollo de galerías subterráneas, existiendo un conjunto mucho mayor de cuevas pequeñas, abrigos y mesocavernas, así como infinidad de pipes y conductos de escaso diámetro, visibles en las paredes. Existen también múltiples depresiones-simas, de amplia apertura en superficie, que finalizan obstruidas por rellenos detríticos o se prolongan en laminadores y mesocavernas impenetrables, siendo evidente la continuidad de los procesos de piping y exportación de materiales por flujos subterráneos basales.

Las áreas exploradas muestran infiltración vertical en los materiales arcillosos, con un drenaje subterráneo que deriva a través de pequeños conductos hacia las áreas de surgencia en la base o a distintas alturas de las paredes de los barrancos y gullies. Describimos a continuación las cavidades más representativas, siguiendo un orden ascendente a partir de la confluencia del Barranco de Las Bodegas con el Barranco Grande en la cota 304 m snm.

Las Bodegas 01.

Situación: Sobre un entrante en el lado N del cauce del barranco de Las Bodegas. A 290 m al NE de la confluencia.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.920; E 626.337; Altitud 317 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 42 m; Desnivel: -10 m. Figuras 05 y 06. Plano en Figura 41.

Descripción: Se trata de una sima de trazado complejo, drenada por un conducto inferior, abierto a la vaguada de un entrante lateral del cauce o pequeño barranco afluente al de Las Bodegas. En su parte superior presenta 4 bocas irregulares (parcialmente anastomosadas) y una boca adicional más amplia, de sección circular, que forma un tubo vertical de -8 m de desnivel. Todas ellas se abren a un mismo nivel, sobre una repisa, y están entrelazadas por varias ventanas y pequeños arrastraderos. Todos estos conductos se reúnen en una pequeña galería colectora, de 10 m de largo, que desciende ligeramente hasta una boca inferior (en la cota -10 m). Esta galería inferior, de 1 m de diámetro, posee un cauce entallado, seco y sinuoso, que obviamente conduce el drenaje que capturan las simas en épocas de lluvia. El desarrollo espacial de las galerías penetrables totaliza 42 m.

Las Bodegas 02.

Situación: En el borde superior del lado N del cauce del barranco. A 202 m al E de la sima Las Bodegas 01.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.900; E 626.538; Altitud 322 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 24 m; Desnivel: -15 m. Figuras 07 a 09. Plano en Figura 41.

Descripción: Es una sima de amplia boca (3 m de diámetro) localizada en zona plana muy cerca del borde de la pared N del barranco. La boca forma un embudo que prosigue en rampa hasta una sala más amplia (cota -10 m) donde se divide en dos.

Una rama desciende 4 m más, a través de un tubo vertical cegado en su base por sedimentos, mientras la otra rama sale en rampa a una segunda boca (cota -15), colgada en una repisa sobre el cauce del barranco. Presenta suelos pulverulentos, pero sus paredes son compactas. Se trata así de una cavidad que perfora la pared del barranco, entre el plano superior y el talud basal.

En su cercanía la pared presenta otras bocas similares, ascendentes, pero sin comunicación con el plano superior.

Las Bodegas 03.

Situación: En una repisa sobre el cauce del barranco, en su pared Sur, a 52 m al SE de la sima Las Bodegas 02.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.856; E 626.567; Altitud 308 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 65 m; Desnivel: +10 m. Figuras 10 á 13. Plano en Figura 42.

Descripción: Se trata de una cueva-túnel excavada en una repisa del barranco. La boca de acceso inferior (cota 0 m) es una surgencia temporal. La galería es de amplio volumen interno (sección de 4 m de ancho x 6-8 m de alto). Tras un recorrido ligeramente ascendente de 24 m de longitud, asciende 6 m más a través de una rampa lateral hasta una boca superior (cota +7), abierta en una depresión, a 3 m por debajo de su borde superior (cota +10).

Esta galería en forma de amplio túnel presenta una claraboya adicional cerca de la boca inferior. Su sección es en U invertida, pero su base tiene un perfil en V, con un surco entallado inferior. Aunque la galería es rectilínea, el surco del cauce es de trazado sinuoso y describe meandros que dejan a los lados rellenos de sedimentos finos. Aunque la galería es seca, de paredes compactas, y bien ventilada, el surco de drenaje poseía en el momento de la visita arcilla algo más húmeda. Ello sugiere que aún con lluvia sólo existe una escasa circulación hídrica en el surco del cauce. Sólo eventualmente las aguas podrán alcanzar un caudal algo mayor, ya que su cuenca de captación es reducida.

La depresión se prolonga algo más de 20 m y su fondo presenta varias depresiones-simas adicionales, la mayor de ellas, en acentuado embudo, alcanza -10 m de desnivel. Gran parte de las precipitaciones se infiltran en las partes más bajas de esta hondonada, de modo que el área que alimenta el cauce del túnel es reducida. Las aguas infiltradas (de modo temporal) pueden derivar a través de pequeños conductos bien hacia el cauce de la cueva o bien directamente hacia la base del barranco.

Las Bodegas 04.

Situación: En el cauce del barranco, en la base de su pared Sur, a 247 m al E de la cueva Las Bodegas 03.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.868; E 626.814; Altitud 305 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 248 m; Desnivel: +20 m. Figuras 14 á 21. Plano en Figura 43.

Descripción: Es la cavidad más grande en desarrollo y la más compleja de las exploradas. Su trazado, extraordinariamente laberíntico, sigue no obstante un patrón dendrítico, fácil de comprender pero muy difícil de topografiar y de dibujar en un plano. Su estructura es arborescente, como un tronco que se ramifica en ramas cada vez más pequeñas y que ha entallado progresivamente el terreno, con varios niveles superpuestos, en leve declive hacia el barranco.

En la parte superior de la planicie forma un relieve ligeramente deprimido, sobre un área de 75 m de largo x 50 m de anchura, con forma de concha de peregrino, ligeramente cóncava hacia superficie. Esta especie de amplia concavidad esta surcada por pequeños surcos (con conductos inferiores y numerosas simas) que convergen en ramas (progresivamente más anchas y más profundas) que se van reuniendo en ramas mayores y luego en un corto tronco principal, cercano a la pared del barranco. Las galerías tienen una sección estrecha y alta, en ojo de cerradura, con hasta tres niveles de conductos superpuestos. El nivel superior tiene amplios tramos con simas-claraboyas (alargadas o circulares) que perforan verticalmente la red de galerías, pero sin coincidir estas aberturas con las que comunican con los niveles inferiores. Por lo que la red forma una compleja trama tridimensional de pequeños conductos o galerías, presentando cauces muy estrechos y encajados en el nivel inferior, que se extiende desde superficie hasta cotas de -8 m en la parte central y que alcanza la cota -20 m en el conducto colector inferior, el cual se abre a través de dos bocas superpuestas a un corredor con colapsos, bajo el cual sigue el drenaje hasta unos laminadores surgentes bajo el relleno, a nivel del cauce del barranco, cota 0 (Datum para las coordenadas).

Cabe decir que no toda la red es transitable: en la periferia las galerías son mesocavernas (diámetro inferior a 20 cm) y se amplían hasta 1-2 m en las galerías mayores. Casi toda la red está formada por conductos de 1-1,5 m de ancho, con pasos estrechos y ampliaciones, que en los colectores y claraboyas más amplias llegan a alcanzar 2-4 m de diámetro. Obviamente se trata de un desarrollo radial, convergente hacia el colector, con galerías que han ido profundizando en fases sucesivas y con numerosas conexiones verticales entre los distintos niveles. En suma, un laberinto tridimensional.

Nosotros exploramos la cavidad partiendo de una sima en surco (de 1,5 m de ancho y -8 m de desnivel) en la parte central de la concha, descendiendo con cuerda hasta el segundo nivel. Luego proseguimos por los niveles más bajos. Cuando estos se tornaban muy estrechos, ascendíamos para superarlos por conductos intermedios más amplios. Así seguimos en sentido descendente hasta alcanzar las bocas abiertas al colapso inferior. También exploramos algunos tramos laterales, parcialmente iluminados por múltiples simas-claraboyas. La topografía de las galerías techadas recorridas suma 248 m de desarrollo (aunque su extensión en planta es de sólo 75 m). Los laterales transitables observados (no topografiados) comprenden una cifra estimada mayor de 500 m. Pero si se quisiera forzar el paso en galerías ascendentes muy estrechas, hasta el límite de mesocavernas, se podría incrementar el desarrollo hasta tal vez 1 km de galerías.



Figura 01. El área Norte central de la Bardenas Blancas es una planicie surcada por una red dendrítica de barrancos y cañones que convergen en otros mayores. Los materiales arcillosos presentan colores claros, ocre, con algunos horizontes rojizos y suelos blancos por la presencia de sales y yeso.



Figura 02. Pequeños barrancos en las cabeceras de cuenca y niveles de estratos margosos intercalados espaciadamente en la serie arcillosa. Estos estratos se fracturan en lajas al progresar la erosión.



Figura 03. Paisaje semidesértico de la Bardena Blanca en otoño, tras cortas lluvias. Cañón de Las Bodegas.



Figura 04. Relieve con depresiones, gullies y pequeñas simas en torno a la red de barrancos afluentes (arriba). Microrelieves tipo lapiaz de surcos en torno a zonas con estrechos gullies y conductos (debajo).



Figura 05. Bocas de la sima Las Bodegas 01, algunas irregulares y otra formando un conducto tubular vertical de 2 m de diámetro y -8 m de desnivel. Varias ventanas intercomunican unos pozos con otros. En la base se reúnen en una galería colectora subhorizontal.



Figura 06. Sima Las Bodegas 01. Galería colectora inferior, con un marcado surco de drenaje, y boca inferior.



Figura 07. Sima Las Bodegas 02. Vertical de acceso vista desde la sala inferior. Nótese la rampa con espesos rellenos pulverulentos de partículas arcillosas finas, formadas por desagregación intergranular de las paredes.



Figura 08. Sima Las Bodegas 02. Boca inferior. Vista desde la sala (arriba) y vista de la pequeña repisa sobre el cauce del cañón de Las Bodegas (debajo).



Figura 09. A lo largo de las paredes del cañón, cerca de Las Bodegas 02, se abren otras bocas de cuevas en rampa ascendente, pero sin comunicación con el plano superior, lo que sugiere un crecimiento volumétrico por desagregación intergranular. En la imagen inferior, tras las lluvias recientes, se ha formado una poza de agua bajo un escalón de margas, intercalado en la serie.



Figura 10. Cueva-túnel Las Bodegas 03. Nótese el cauce sinuoso entallado en los sedimentos finos del suelo.



Figura 11. Amplia galería de 30 m en Las Bodegas 03. Imágenes con flash. Se aprecia la luz de la boca inferior y de una claraboya adyacente. Cauce entallado entre sedimentos finos desagregados de las paredes.



Figura 12. Cueva Las Bodegas 03. Vistas hacia la boca superior.



Figura 13. Las Bodegas 03. La boca superior enlaza y ha quedado cortada por la formación de una depresión en la zona alta, la cual posee varias hondonadas y simas de hasta -10 m de desnivel. El drenaje que antes capturaba la galería se canaliza verticalmente a través de estas simas y pipes menores.



Figura 14. Extensa depresión arborescente, en forma de concha de peregrino poco profunda, con numerosos surcos radiales y bocas de simas, en la parte superior de Las Bodegas 04. Cubre un área de 75 x 50 m.



Figura 15. Las Bodegas 04. Surcos y bocas de simas entallan el relieve. En la periferia los surcos y conductos son de débil diámetro. Su anchura y profundidad se incrementa hacia el centro de la depresión, donde la red dendrítica de la cueva tiene hasta tres niveles superpuestos de galerías, interconectados por simas.



Figura 16. Las Bodegas 04. Detalle de bocas de simas a lo largo de surcos en superficie, los cuales dejan ver fragmentos de galerías en el primer nivel (arriba), y áreas con geoformas cónicas (debajo).



Figura 17. Sima de acceso de -8 m abierta en la parte central de la red de galerías de Las Bodegas 04.



Figura 18. Sima Las Bodegas 04. Vertical de acceso vista desde galería en la cota -6 m (segundo nivel) y galería inferior en la cota -8 m (tercer nivel). Las simas interceptan y fragmentan las galerías, excepto la inferior, que posee un cauce entallado en su base.



Figura 19. Las Bodegas 04. Vistas desde el segundo nivel de diversos tramos de galerías, con claraboyas abiertas a superficie y simas que conectan con el nivel más bajo.



Figura 20. Sima Las Bodegas 04. Galería inferior en la cota -18 m, con un cauce entallado (arriba). Y bocas inferiores abiertas a una zona de colapso (debajo). La galería más profunda (cota -20 m) se extiende bajo el colapso. Nótese que el colapso ha recortado varias galerías (dos superpuestas y otra adyacente).

El relieve en superficie de la depresión en concha, con surcos y simas, presenta curiosas geofomas, destacando amplias áreas con pequeños montículos cónicos y otras con infinidad de acanaladuras tipo lapiaz en los bordes de las hendiduras verticales. Las observaciones efectuadas no muestran variaciones litológicas significativas entre unos puntos y otros de la red.

Nuestra hipótesis genética es que la cavidad comenzó a formarse sobre el plano del borde del cañón, excavando pequeñas galerías. En fases sucesivas la red se va entallando en profundidad, a través de conductos estrechos, a la vez que se va ampliando en forma remontante, capturando la infiltración a pequeña escala en áreas contiguas progresivamente más extensas. En esta evolución los conductos inferiores (por donde circula la escorrentía esporádicamente, con cada ciclo de lluvias) van alcanzando niveles más bajos, dejando colgados conductos antiguos (algunos de amplio diámetro), y removiendo los materiales colapsados por la formación de nuevas simas y claraboyas. En la parte inferior de la red más próxima al cañón, se produce un colapso global, que forma una entalladura o pequeño cañón ascendente, por retroceso de la pared del cañón. Los últimos colapsos han obstruido el colector de desagüe, circulando las aguas a través de estrechos laminadores bajo el relleno de bloques arcillosos, y dejando colgadas varias bocas inferiores abiertas al cañón. En otros puntos del cañón de Las Bodegas se aprecian también entalladuras laterales con morfología de badlands, producidas por el colapso y desmantelamiento de antiguas galerías.

Aunque el drenaje temporal actual debe circular por los niveles más bajos de los conductos excavados, las precipitaciones en superficie también contribuyen a la ampliación de los conductos y apertura de nuevas bocas, taladrando el terreno verticalmente. Los tramos abandonados por las aguas (hidrológicamente inactivos) pueden también crecer en volumen por desagregación intergranular de los materiales arcillosos, como se discute en el apartado final de Discusión y conclusiones.

Las fotografías tomadas y el plano topográfico levantado pueden dar una idea de la intrincada red de galerías y conductos que presenta esta cavidad y pueden facilitar la comprensión de su génesis.

Las Bodegas 05.

Situación: En el borde de la pared Sur del barranco, a 88 m al ESE de la cueva Las Bodegas 04.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.895; E 626.898; Altitud 302 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 22 m; Desnivel: -15 m. Figuras 22 y 23. Plano en Figura 44.

Descripción: Es una sima situada muy cerca del borde que enlaza con una cueva inferior abierta a la base del barranco. Situamos la cota 0 en la boca superior. La boca de la sima tiene 4 m de diámetro y -15 m de desnivel, formando un tubo vertical que en la cota -12 enlaza a través de dos aberturas con el techo de la galería inferior, de 7 m de desarrollo. Si se accede desde la boca inferior en el barranco, se divisa la luz de la sima como alta claraboya. Su trazado en L perfora el borde de la pared del barranco.

Las Bodegas 06.

Situación: En el cauce del barranco, en la base de su pared Sur, a 34 m al ENE de la cueva Las Bodegas 05.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.924; E 626.914; Altitud 304 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 128 m; Desnivel: +12 m. Figuras 24 a 30. Plano en Figura 44.

Descripción: Es una cavidad grande que conecta con una depresión superior. Constituye, como en el caso de Las Bodegas 04, una cavidad surgente. Consta de una galería principal (con sección media de 2 m de ancho x 3-4 m de alto), con ampliaciones que presentan claraboyas abiertas a superficie por colapso de las bóvedas. Bajo las claraboyas hay acumulaciones de bloques y rellenos de arcilla. La galería principal es subhorizontal y sinuosa, con marcados meandros, y tiene 58 m de desarrollo. Presenta también un surco o cauce basal, que al momento de la visita conservaba tramos con agua estancada y barro húmedo. Como su cuenca de captación es mayor, conserva más tiempo zonas húmedas. En su parte media posee un lateral de 15 m, que drena hacia el conducto principal. Tras pasar bajo tres bocas-claraboyas (la superior es la cota +12 m) la galería se estrecha los últimos 8 m hasta resultar impenetrable en la cota +2 m, de donde procede el cauce. Posee además dos galerías ascendentes que comunican con el fondo de una depresión. Esta es una especie de cañón-depresión, alargada y caótica, ya que su suelo ascendente presenta numerosos bloques de colapso. Entre estos se divisan algunas continuaciones, obstruidas por el material colapsado, que sugieren que la galería principal resultó aplastada y obstruida por estos derrumbes. Computamos un desarrollo de 128 m desde la boca inferior hasta las superiores, en la zona terminal de la galería, pero el cañón colapsado se prolonga en planta al menos 50 m más.

Las Bodegas 07.

Situación: En el cauce del barranco, sobre un talud de su pared Sur, a 30 m al NNE de la cueva Las Bodegas 06.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.679.955; E 626.926; Altitud 305 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 26 m; Desnivel: +10 m. Figuras 31 y 32. Plano en Figura 45.

Descripción: Es una cavidad colgada sobre un talud de la base del barranco, a +4 m sobre el cauce. Vista de lejos parece ser un simple arco o puente de roca. Pero en realidad consta de una galería de 14 m en forma de túnel ascendente, amplio y de suelo pulverulento, que enlaza con otra depresión abierta a superficie. A 2 m de la boca superior el suelo forma una sima de -6 m en forma de embudo, obstruida por sedimentos arcillosos. También posee pipes verticales al lado de la boca inferior, sobre el talud. El desnivel total es de +10 m, pero resulta obvio que el drenaje temporal profundiza más, bajo la cueva-túnel, hasta el nivel impuesto por el cauce del barranco.

Las Bodegas 08.

Situación: En el cauce del barranco, en la base de su pared Sur, a 130 m al ENE de la cueva Las Bodegas 07.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.680.024; E 627.027; Altitud 307 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desarrollo espacial: 25 m. Desnivel: +6 m. Figura 33. Plano en Figura 45.

Descripción: Es una cavidad en forma de alta grieta abierta en la pared del cauce del barranco. Tras un tramo de 8 m de galería alta y estrecha, presenta un escalón de +2 m, que sigue amplio 6 m más. Luego se torna un arrastradero tortuoso y ascendente por el cual puede proseguirse 11 m más hasta un colapso.

Además de las cavidades referidas, encontramos cerca de 20 cavidades adicionales, de menor entidad y que no catalogamos. Estas incluyen cavidades de pocos metros de desarrollo y comprenden varios tipos: (a) cuevas en la base y taludes de las paredes, con perfil en L, y generalmente con claraboyas adicionales abiertas a partes más altas de las mismas paredes, donde son frecuentes arcos y puentes de roca; (b) abrigo con pequeñas salas internas; (c) sistemas de pequeñas simas similares a Las Bodegas 01, pero más estrechas, en el rango de mesocavernas; (d) numerosos conductos de piping menores; y (e) cortos túneles bajo bloques de recubrimiento perforados por meandros del cauce del barranco y/o gullies menores. Se muestran diversos ejemplos en las Figuras 34 á 40.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Resulta interesante apreciar que, tras cortas lluvias, las paredes de las cavidades mantienen su cohesión, y conservan algo de agua o suelos húmedos sólo en las partes horizontales más bajas. Algo similar ocurre en los barrancos. La presencia de agua en pozas y tramos encharcados parece ser proporcional al tamaño de su cuenca de alimentación y magnitud de los caudales que circularon previamente. Las cuevas colgadas sobre los niveles de base locales se presentan secas en toda su extensión, mientras que las zonas bajas de las galerías (próximas al nivel piezométrico) se desecan rápidamente por evaporación y ventilación, ya que en general se trata de cuevas con varias bocas y claraboyas que presentan corrientes de aire.

La alternancia de condiciones húmedas y secas, que siguen las oscilaciones pluviométricas, puede producir deslizamientos y colapsos mecánicos en paredes y bóvedas, mientras los caudales circulantes generan erosión basal y remoción de los materiales desprendidos. En las partes altas de las galerías, fuera del alcance de la acción de las corrientes de agua, las aguas porales pueden también desagregar las arcillas y precipitar sales formando superficies endurecidas (caprocks), contribuyendo así a la cohesión y compactación de las paredes, otorgándoles mayor estabilidad mecánica.

En trabajos previos ha sido explicado en detalle que los materiales arcillosos de las Bardenas poseen altos valores de sodio intercambiable, un índice de dispersión medio y elevados coeficientes de hinchamiento. Lo que contribuye al desarrollo de los procesos de piping, ya que la disolución del sodio desflocula las arcillas, acelera la pérdida de coherencia y facilita la exportación de materiales finos en los conductos iniciales por los que fluye el agua. A su vez, tanto la capacidad de hinchamiento de las arcillas como la dispersión son factores importantes en el desarrollo de los procesos de erosión ya que ambos causan agrietamiento, canalizando la escorrentía hacia el interior del sedimento y produciendo remoción intergranular.

Estas arcillas expansivas, ricas en sales de sodio, cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación. Las arcillas hidratadas resultan altamente cohesivas a la vez que impermeables, y contribuyen a mantener el equilibrio mecánico en las galerías formadas, evitando su desmoronamiento y permitiendo una mayor permanencia en el tiempo. De hecho, así como se observa ejemplos de zonas inestables, con colapsos recientes, se da también el caso inverso, de galerías con perfiles muy estables, tanto inactivas como hidrológicamente activas, donde es frecuente el desarrollo de cauces secundarios entallados sobre los depósitos de sedimentos que ocupan el suelo de galerías amplias.

Las cavidades descritas en este trabajo aportan varios detalles esclarecedores sobre el crecimiento volumétrico de las galerías. Por ejemplo, la sima Las Bodegas 02 parece haber sido formada desde abajo hacia arriba, ya que su amplio volumen interno no guarda relación con su mínima área de alimentación (la boca superior está situada en una zona plana, muy próxima al borde). Probablemente comenzó a formarse a expensas de pequeñas grietas que capturaron la escorrentía formando pequeños conductos verticales (como otros pipes que se observan en los barrancos recortados por el retroceso de las paredes). Pero su ampliación, hasta alcanzar diámetros de 3-4 m, no parece ser producto de circulaciones hídricas de cierta entidad, sino más bien de una desagregación intergranular progresiva, por acción de aguas porales percolantes. Las partículas desagregadas generarían los suelos y rellenos pulverulentos (constituídos por materiales muy finos) que se observan en el suelo en rampa, y que serían evacuados por acción de la gravedad. Las paredes secas de la galería irían retrocediendo y ampliando su diámetro interno, creciendo a su vez hacia arriba hasta interceptar la superficie del plano superior, ampliando el conducto y formando la boca en embudo de la sima. Obviamente las lluvias también contribuyen con el colapso y remoción de materiales, pero en baja proporción. Otras cavidades cercanas muestran similar morfología (cuevas ascendentes) pero están cegadas en su parte alta, sin conexión aún con la superficie del plano superior. En estos casos las paredes son consistentes (han alcanzado un equilibrio mecánico) pero su superficie, aunque sólida, se desagrega al tocarla en granos pulverulentos, similares al sedimento fino de los suelos.



Figura 21. Las Bodegas 04. Laminador surgente del sistema bajo la zona de colapso, el cual ha recortado parcialmente la red de galerías, dejando bocas colgadas. La obstrucción en el punto más bajo de la galería colectora de la red (cota -20 m) se sitúa por debajo del colapso, al mismo nivel que el laminador-surgencia.



Figura 22. Tramo con agua embalsada tras lluvias recientes en el cañón de Las Bodegas, donde se aprecia la boca inferior de la sima Las Bodegas 05 y detalle de la misma desde más cerca.



Figura 23. Las Bodegas 05. Galería inferior vista hacia el interior (arriba) y sima superior de -15 m (debajo). Se aprecia la luz de la comunicación en la cota -12 entre ambas. Se trata de una cavidad, con perfil en L, que se desarrolla en paralelo a la pared del cañón.



Figura 24. Cueva Las Bodegas 06, de 128 m de desarrollo. Boca y galería de entrada, con cauce húmedo.



Figura 25. Cueva Las Bodegas 06. La galería principal cruza bajo varias claraboyas formadas por colapso. Se aprecia el material desprendido y el cauce inferior, más estrecho y con tramos que conservan algo de agua. Imágenes tomadas durante trabajos de topografía en la cavidad (se observa la cinta métrica).



Figura 26. Marcados meandros en la galería principal de la cueva Las Bodegas 06.

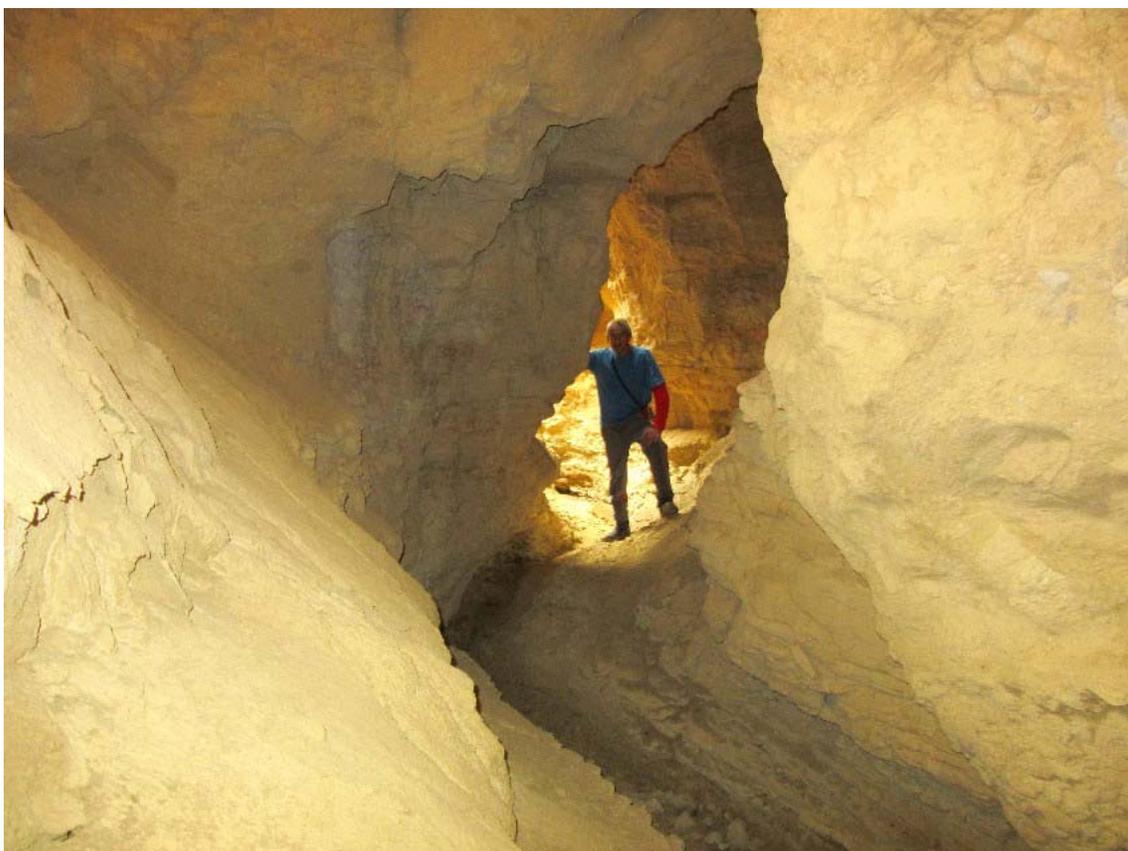


Figura 27. Cauce entallado y bóvedas en arco en la cueva Las Bodegas 06.



Figura 28. Cueva Las Bodegas 06. Se aprecia la luz de dos galerías-claraboyas que iluminan tramos del conducto principal y permiten acceder al colapso superior.

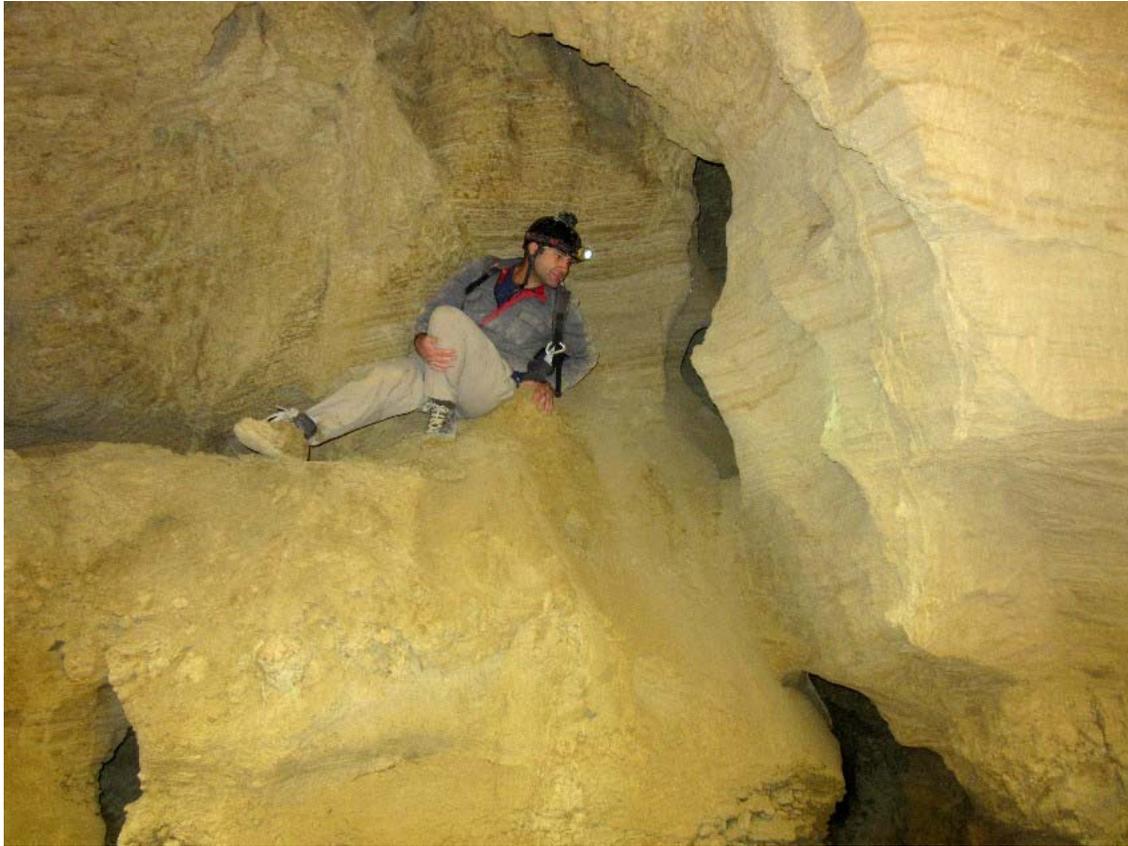


Figura 29. Dos accesos a galería lateral afluyente, de 15 m de desarrollo (arriba) y sector terminal de la galería principal de la cueva Las Bodegas 06, que se obstruye bajo una depresión de colapso (debajo).



Figura 30. Las Bodegas 06. En el fondo de una depresión de colapso se abren dos accesos a la zona terminal de la galería principal de Las Bodegas 06 (flechas rojas, arriba). La depresión se prolonga en cañón ascendente más de 50 m y posee fragmentos de pequeñas galerías obstruidas por los bloques desprendidos (debajo).



Figura 31. Cueva-túnel Las Bodegas 07. Vista de la boca inferior, colgada en la pared, y galería de 14 m que enlaza con una depresión en la parte superior. Nótese la ocurrencia de pipes verticales en la entrada a la galería y en la pared del cañón, algunos de ellos formando otras perforaciones.



Figura 32. Suelos con material arcilloso fino en la galería-túnel de Las Bodegas 07 y depresión superior con hundimientos adicionales del terreno, que alcanzan -10 m de desnivel.



Figura 33. Boca en forma de grieta de la cueva Las Bodegas 08, abierta en la base de la pared Sur del cañón, en arcillas rosadas y grises, y vista desde el primer tramo de su interior hacia la boca.



Figura 34. Diversos tipos de pequeñas cuevas en el área de estudio, las cuales forman túneles con claraboyas y conductos de drenaje en los rellenos del cauce.



Figura 35. Cavidades con perfiles en L perforan las paredes del cañón, con pipes adicionales. Forman claraboyas y arcos de roca en la parte superior y conductos de drenaje temporal en la zona basal.



Figura 36. Pequeñas cuevas surgentes, abiertas en la base de las paredes del cañón, con salas internas sin continuidad (arriba). El retroceso de las paredes ha dejado aislada una alta torre y ha recortado dos galerías, una ascendente y otra con una amplia claraboya abierta a la planicie superior (imagen inferior).



Figura 37. Detalle del la sima-claraboya y torre de roca de la figura anterior, vistas desde abajo. Nótese la ocurrencia de pipes y cavidades menores en las paredes del cañón y de la sima.



Figura 38. En el área de estudio del cañón de Las Bodegas hay numerosas simas y pequeñas cavidades, muchas de ellas cegadas en profundidad por colapsos o estrecharse hasta el rango de mesocavernas.



Figura 39. Pequeños conductos en los taludes de la base de las paredes del cañón que comunican con pequeñas cuevas y túneles excavados por meandros del cauce en depósitos de arcilla producto de deslizamientos, vuelcos y colapsos de las paredes. Cañón de Las Bodegas.

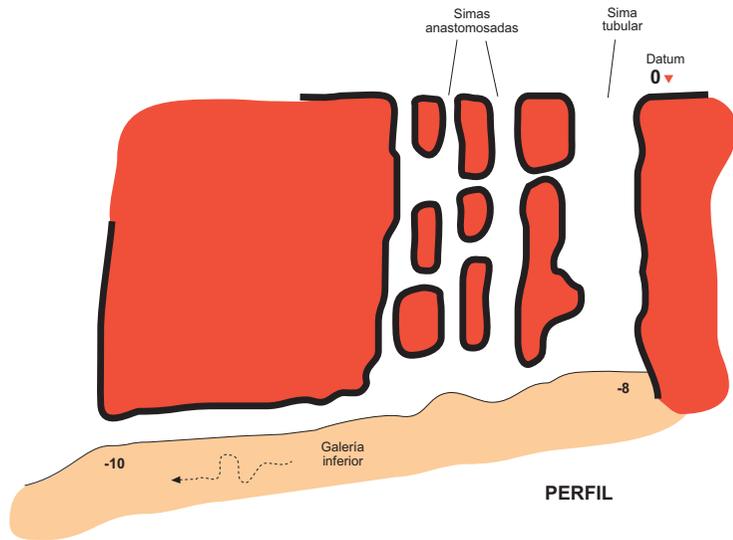
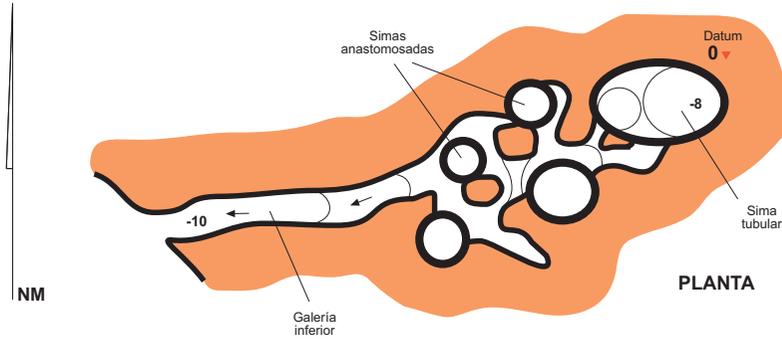


Figura 40. Paredes con múltiples abrigos, pequeñas cavidades y conductos de piping en la red de barrancos afluentes al cañón de Las Bodegas. En conjunto, miles de cavidades en arcilla, a distintas escalas.

Sima Las Bodegas 01



Coordenadas UTM30N: N 4.679.920; E 626.337. Alt: 317 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 42 m. Desnivel -18 m.
Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Sima Las Bodegas 02



Coordenadas UTM30N: N 4.679.900; E 626.538. Alt: 322 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 24 m. Desnivel -15 m.
Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

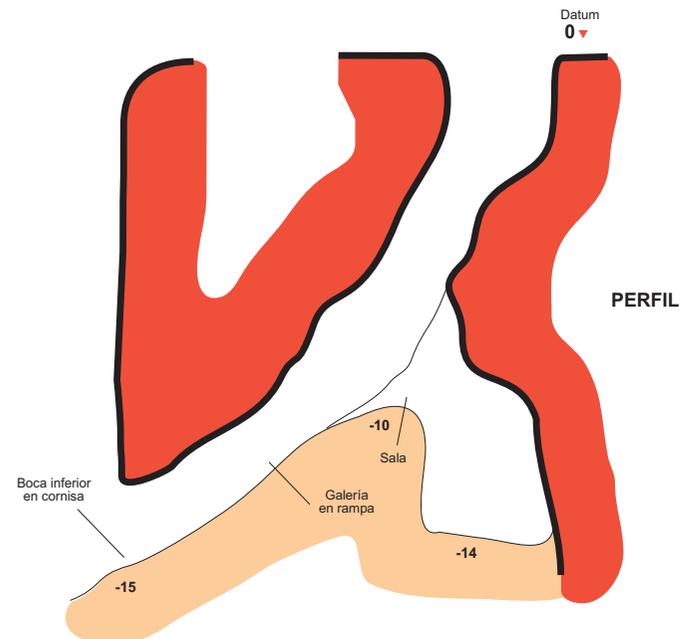
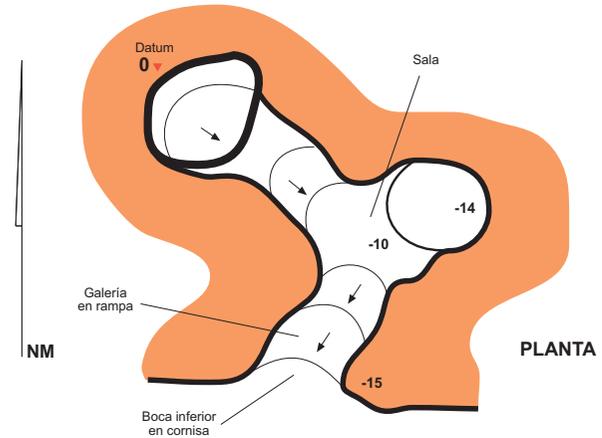


Figura 41. Plano de las simas Las Bodegas 01 y 02.

Figura 42. Plano de Las Bodegas 03 y 05.

Sima Las Bodegas 03

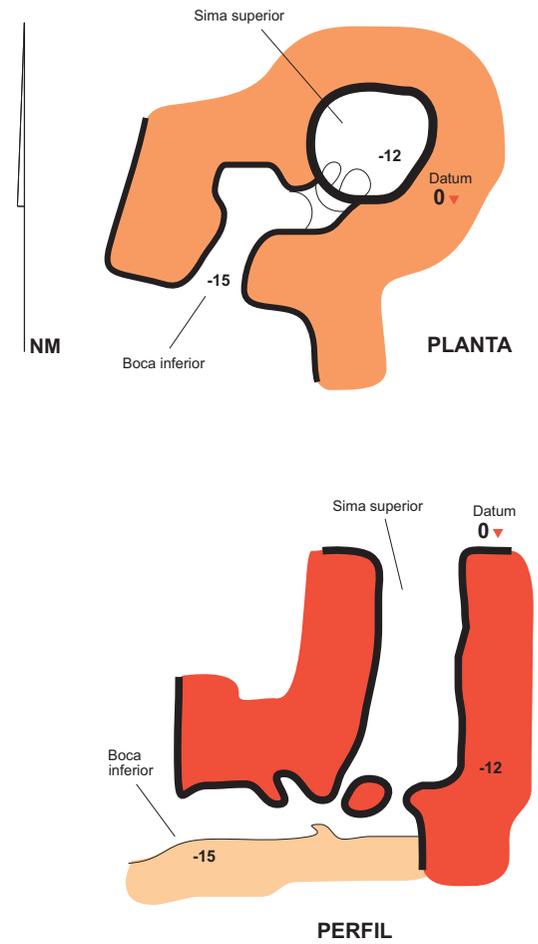
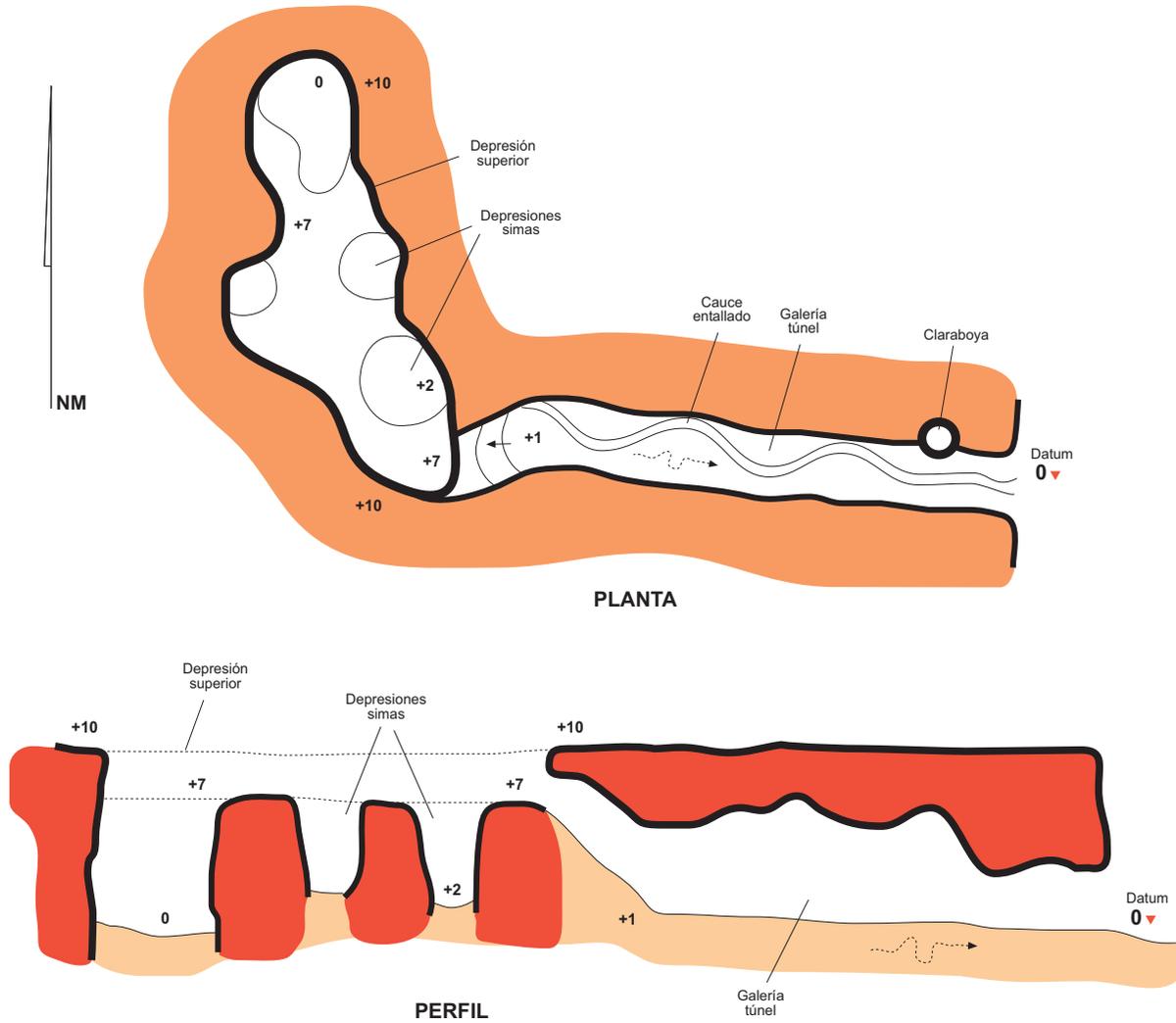


Coordenadas UTM30N: N 4.679.856; E 626.567. Alt: 308 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 65 m. Desnivel +10 m.
 Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

Sima Las Bodegas 05



Coordenadas UTM30N: N 4.679.895; E 626.898. Alt: 302 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 22 m. Desnivel -15 m.
 Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



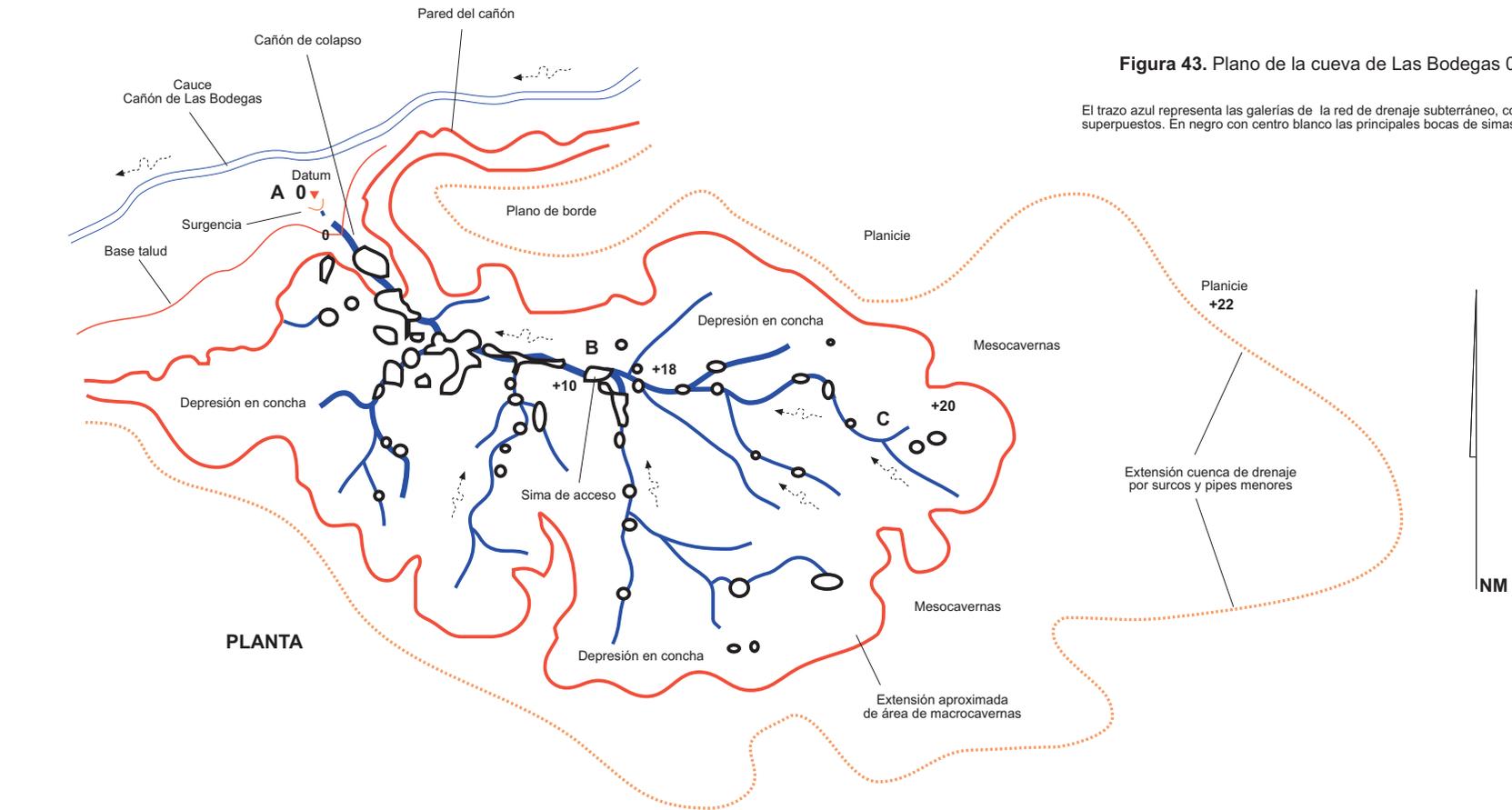
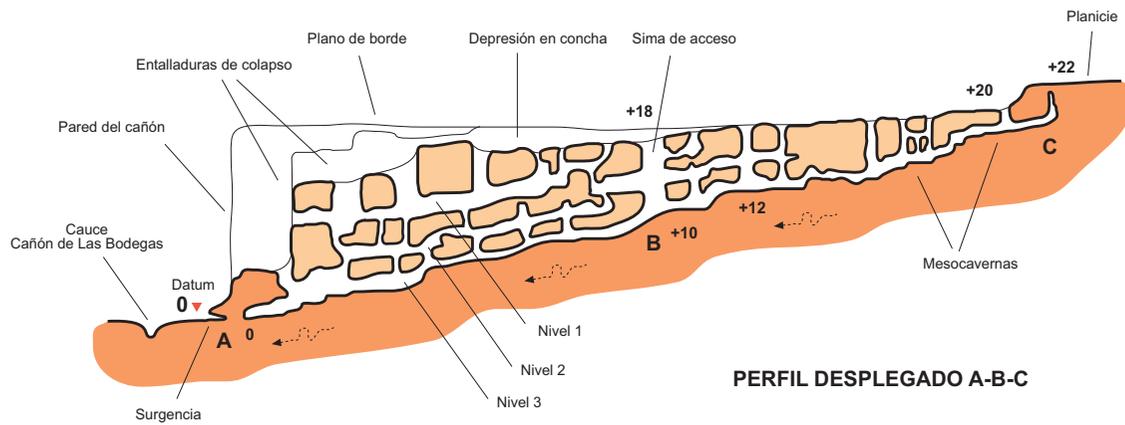


Figura 43. Plano de la cueva de Las Bodegas 04.

El trazo azul representa las galerías de la red de drenaje subterráneo, con 2-3 niveles superpuestos. En negro con centro blanco las principales bocas de simas-claraboyas.



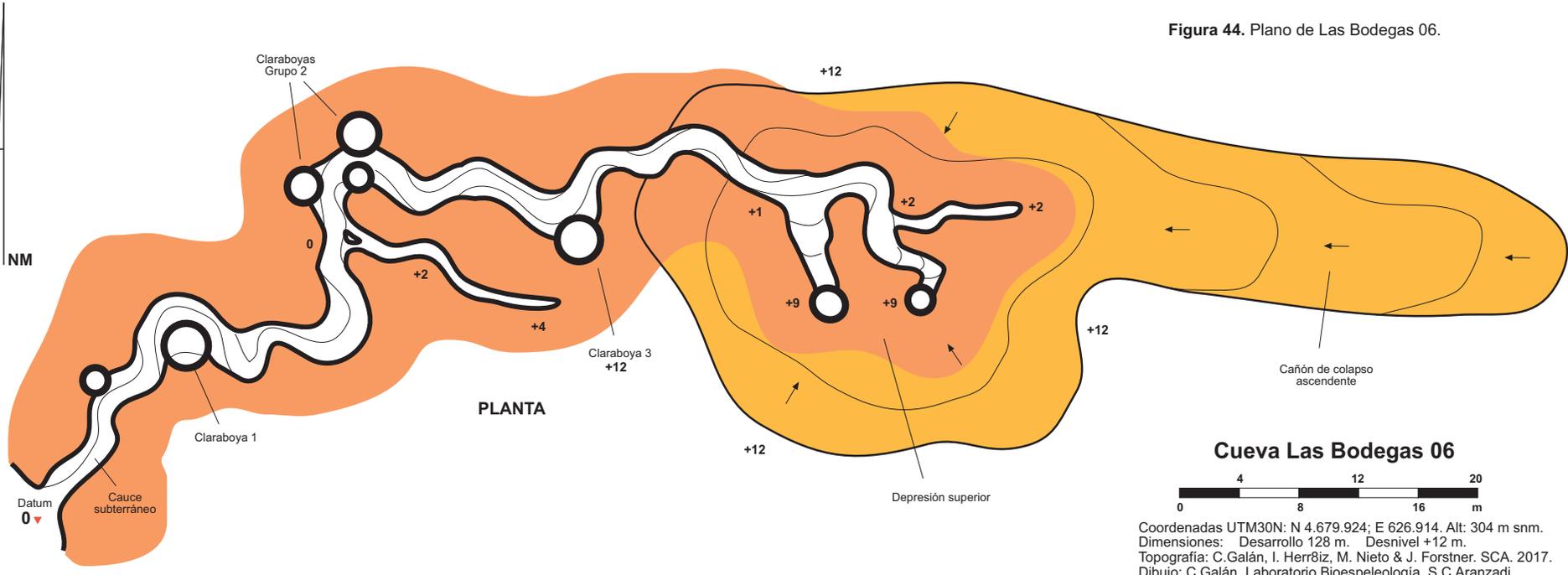
PERFIL DESPLEGADO A-B-C

Cueva Las Bodegas 04



Coordenadas UTM30N: N 4.679.868; E 626.814. Alt: 305 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 248 m. Desnivel +20 m.
Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

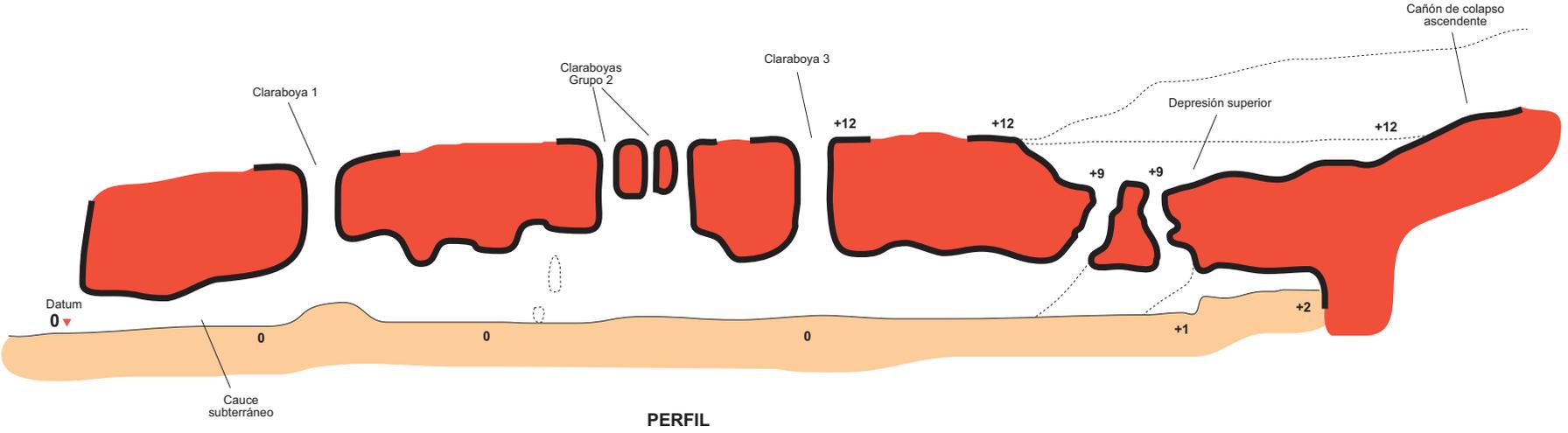
Figura 44. Plano de Las Bodegas 06.



Cueva Las Bodegas 06



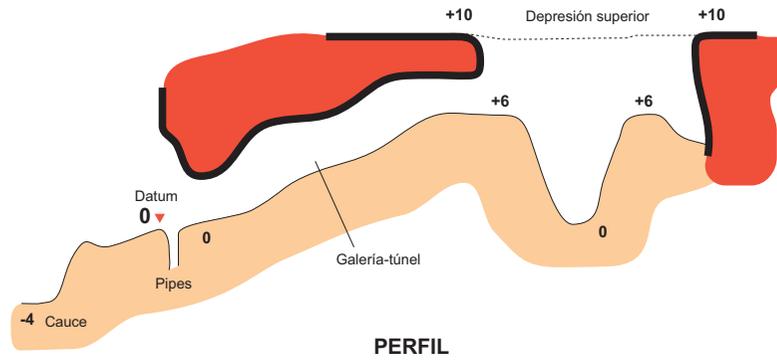
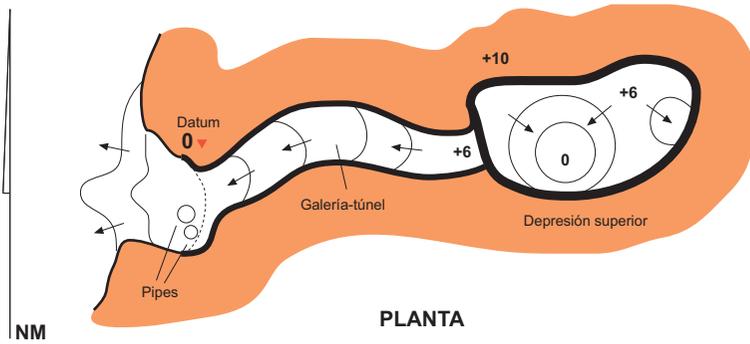
Coordenadas UTM30N: N 4.679.924; E 626.914. Alt: 304 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 128 m. Desnivel +12 m.
Topografía: C.Galán, I. Herrñiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Cueva Las Bodegas 07



Coordenadas UTM30N: N 4.679.955; E 626.926. Alt: 305 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 26 m. Desnivel +10 m.
 Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Cueva Las Bodegas 08



Coordenadas UTM30N: N 4.680.024; E 627.027. Alt: 307 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 25 m. Desnivel +6 m.
 Topografía: C.Galán, I. Herraiz, M. Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

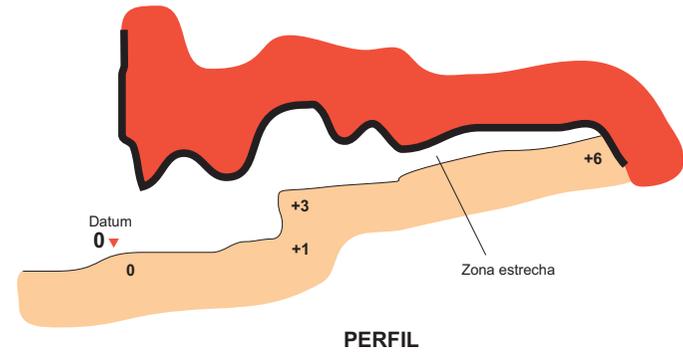
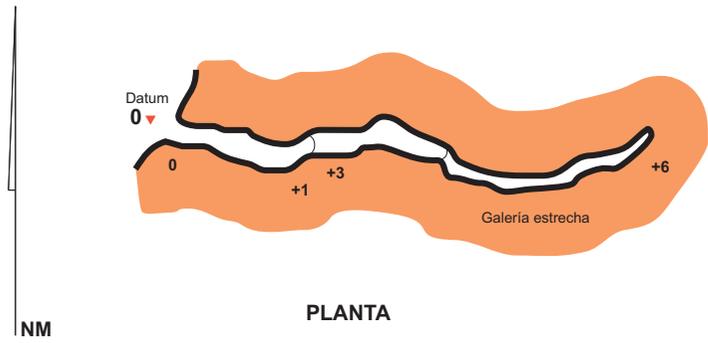


Figura 45. Plano de Las Bodegas 07 y 08.

Se trata en consecuencia de una acción intergranular, a pequeña escala, y no o mucho menos de erosión y transporte por aguas circulantes. Estaríamos así en presencia de distintos procesos operando a distintas escalas.

Otro buen ejemplo lo suministra la cueva Las Bodegas 03. Su galería-túnel de amplio volumen interno no parece haber sido formada sólo por la acción hidrológica de las aguas circulantes. Esta acción se circunscribe al canal entallado en su cauce, como puede observarse en la cavidad. De igual modo, no cuenta con una cuenca de alimentación extensa, que pueda aportar caudales cuantiosos, ni tan siquiera en periodos de lluvia. Así que no se trata de una galería excavada por la erosión progresiva de las aguas a todo lo ancho del conducto. Su crecimiento volumétrico más bien parece producto, como en el caso de la sima 02, de una desagregación intergranular de los materiales arcillosos de paredes y bóvedas, con desprendimiento progresivo de las partículas desagregadas por acción de la gravedad. Lo que lleva a formar bóvedas en arco o ahusadas, que han evolucionado hasta alcanzar su perfil de equilibrio por procesos de descompresión mecánica. Los materiales granulares finos que se han desprendido, forman los rellenos laterales y en V que se observan a lo largo de los suelos (que no han sido depositados por las crecidas). En ellos, las circulaciones hídricas temporales han formado un pequeño cauce central entallado, con meandros sinuosos.

El proceso de piping en arcilla comúnmente comienza con el transporte laminar de partículas a través de pequeñas grietas, pudiendo ocurrir una cantidad limitada de disolución intergranular de la matriz o de las partículas. Una vez que se establece un conducto continuo, el transporte se vuelve turbulento y la socavación aumenta el mecanismo erosivo. A medida que los tubos se hacen más grandes, aumenta el volumen de flujo. El hundimiento y colapso local del techo pueden permitir la entrada de volúmenes adicionales de escorrentía, ampliando aún más los conductos, e incorporar fragmentos de la superficie, lo que lleva al desarrollo de conductos tortuosos. Los tubos resultantes pueden propagarse verticalmente o con cierta inclinación, y pueden desarrollarse trezados y redes dendríticas. En otros casos, los conductos incipientes desarrollan en su parte inferior otras hendiduras, dando lugar *de novo* a la remoción de partículas, con una tendencia final a la horizontalidad, determinada por el nivel de base local impuesto por el fondo del barranco hacia el cual desaguan. El caso de la cueva Las Bodegas 04 ilustra ampliamente estos fenómenos. Su extraordinario y laberíntico desarrollo se aparta de lo que conocíamos previamente, constituyendo un nuevo tipo de cavidad, de rasgos singulares. Es posible que muchas otras cavidades de este tipo hayan resultado completamente desmanteladas por el avance de los procesos de piping y erosivos, generando áreas extensas en las planicies que actualmente presentan una morfología de badlands.

El caso de la cueva Las Bodegas 06 presenta algunas similitudes con la 04, aunque su trazado es mucho más simple, sin desarrollos radiales. En la cueva 04 ha colapsado el tramo inferior, más próximo al cañón, mientras que en la 06 es toda la zona superior la que ha colapsado, formando un caótico cañón secundario. Diferentes resultados para un mismo proceso, propio del comportamiento de sistemas complejos y dinámica no-lineal, donde cualquier pequeño cambio en las condiciones iniciales puede conducir a resultados distintos e impredecibles.

Cada ciclo de lluvias permite la actuación del piping, pero también erosiona y amplía los conductos, genera colapsos, y remueve los materiales desprendidos. Introduciendo distintos niveles de base locales que generan mayor complejidad y diversidad de formas en las galerías subterráneas, extendiendo los procesos de piping a volúmenes mayores en las arcillas contiguas. Pero a la vez, a pequeña escala, progresa también la desagregación intergranular de los materiales parentales, generando depósitos pulverulentos de arcillas finas y haciendo retroceder las paredes y bóvedas, contribuyendo de este modo al crecimiento volumétrico de las cuevas y galerías hidrológicamente inactivas o escasamente activas en la actualidad.

Se trata así de una evolución dinámica, donde operan varios procesos y factores a distintas escalas. Muchos rasgos exhibidos por las cavidades de las Bardenas difieren ampliamente de aquellos propios del karst clásico en caliza, mostrando que los procesos de karstificación en materiales arcillosos y rocas poco solubles crean paisajes con rasgos específicos, los cuales tienden a persistir a través de largos periodos de tiempo.

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 Venezolana de Espeleología y Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner, L. 2009. The Carrizo Badlands Mud Caves in Arroyo Tapiado. Anza-Borrego Desert State Park. California. Desert USA.
- Desir, G. & Marín, C. 2007. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena*, 71: 31-40.
- 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 Huerta. 2002. Memoria de la Hoja 245-I Alera. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 101 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. 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. 2017. Dinámica de piping y sistemas complejos de cuevas en arcilla: Bardena Blanca. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 36 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. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Karstologia* 11-12: 49-60.
- Galán, C. & M. Nieto. 2015. 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; 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.
- Galán, C.; D. Arrieta; M. Nieto & J. Forstner. 2016 a. Cuevas en arcilla en el barranco Norte de La Nasa (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 48 pp.
- Galán, C.; J.M. Rivas; M. Nieto & J. Forstner. 2016 b. Notas sobre procesos de tubificación, cuevas y geoformas en la Bardena Blanca. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 52 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. 2017 a. Nasa Alta extremo Norte: sistema de simas en arcillas Miocenas (Bardenas). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 50 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2017 b. Cavidades en arcilla y sistemas de simas en El Caidero (flanco Este de la Plana de La Negra, Bardena aragonesa). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 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.
- Lindsay, L. & D. Lindsay. 1985. *The Anza-Borrego Desert Region*. Wilderness Press, 170 pp.
- 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.