

CAVIDADES EN ARCILLA Y SISTEMAS DE SIMAS EN EL CAIDERO (FLANCO ESTE DE LA PLANA DE LA NEGRA, BARDENA ARAGONESA).

Cavities in clay and abyss systems in the Caidero (East flank of La Negra plateau, Aragonese Bardena).



Carlos GALÁN, Marian NIETO & Juliane FORSTNER.
Sociedad de Ciencias Aranzadi. Septiembre 2017.

CAVIDADES EN ARCILLA Y SISTEMAS DE SIMAS EN EL CAIDERO (FLANCO ESTE DE LA PLANA DE LA NEGRA, BARDENA ARAGONESA).

Cavities in clay and abyss systems in the Caidero (East flank of La Negra plateau, Aragonese Bardena).

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

Septiembre 2017.

RESUMEN

Se describen nuevos ejemplos de sistemas de simas en arcilla, descubiertos en el flanco E de la meseta de La Negra. La región de Las Bardenas es árida a semidesértica y está situada en el Sur de Navarra, pero este sector queda comprendido en territorio de Aragón. El sector del Caidero posee un conjunto de depresiones y sistemas de simas en arcillas de la Formación Tudela, de edad Mioceno (Terciario). Las cavidades se han formado por procesos de piping en el talud de un flanco abrupto. Se describen las cavidades encontradas (la mayor de ellas de 82 m) y se aportan nuevos datos de interés geomorfológico.

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

ABSTRACT

New examples of abyss systems in clay, discovered in the East flank of La Negra plateau, are described. The Bardenas region is arid to semi-desert and is located in the south of Navarra, but this sector is included in Aragón. The Caidero sector has a set of depressions and abyss systems in clays of Tudela Formation, of Miocene age (Tertiary). The cavities are formed by processes of piping in the talus of an abrupt flank. Its described the cavities found (the largest of them 82 m) and its provides new data of geomorphological interest.

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

INTRODUCCION

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 (macroavernas). Las cuevas en arcilla constituyen casos raros a nivel mundial. La formación de cuevas en arcilla ocurre por procesos de piping, con escasa intervención de la disolución. Una vez formados los conductos iniciales de drenaje subterráneo, la ampliación de las galerías ocurre principalmente por procesos de piping y erosivos.

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.

Casos locales de formación de cavidades en arcilla son conocidos en distintas partes del mundo. Generalmente ocurren en regiones áridas o desérticas, destacando las de Arroyo Tapiado, en el área desértica de Anza-Borrego, California (Lindsay & Lindsay, 1985; Bremner, 2009), y los sistemas de cuevas en arcilla descubiertos en las Bardenas (Galán, 2015; Galán & Nieto, 2015; Galán et al, 2015, 2016, 2017), estos últimos con sistemas de simas y cuevas que alcanzan 880 m de desarrollo y desniveles de hasta -100 m. La mayor cavidad en arcilla conocida en las Bardenas (Sima Nasa Alta 04) alcanza 380 m de desarrollo espacial de galerías y -40 m de desnivel. La región es extensa y su geografía es poco conocida en detalle, existiendo la posibilidad de hallar cavidades aún mayores. De ahí nuestro interés en seguir prospectando nuevos sectores en las Bardenas.

En este trabajo exponemos los resultados obtenidos en un área con rasgos análogos a otras zonas exploradas antes, que presentaron sistemas de simas y cuevas extensos (Galán, 2015; Galán et al, 2016, 2017). Estas nuevas cavidades se localizan en el flanco Este de la meseta denominada Plana de La Negra (650 m snm), en territorio de Aragón (provincia de Zaragoza; pero próximas al límite con Navarra), en materiales arcillosos de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario).

El sector explorado presenta depresiones, simas y conductos de piping (= pipes), los cuales conducen el drenaje subterráneo temporal hacia surgencias en la cabecera de valles secos y barrancos entallados o gullies (a menor cota) que constituyen niveles de base locales. La serie arcillosa presenta intercalaciones espaciadas de estratos delgados de margocalizas y areniscas, que son atravesados por las galerías subterráneas.

Las morfologías observadas en cavidades y dolinas, muestran rasgos atribuibles a la continua creación de nuevos conductos o pipes, verticales y horizontales. Estas arcillas son altamente dispersivas y ricas en sales de sodio. Muestran una alta tendencia al agrietamiento, a la vez que una consistencia cohesiva, con elevados coeficientes de hinchamiento. La circulación temporal de las aguas subterráneas infiltradas propicia la remoción de materiales y la ampliación de los conductos, pero a la vez genera colapsos y deriva hacia la génesis de badlands, dando lugar a un modelado caótico propio. La litología de los materiales y el gradiente hidráulico determinan un comportamiento altamente dinámico.

MATERIAL Y METODOS

Las prospecciones efectuadas en este sector de las Bardenas se basaron en observaciones de campo de salidas previas y en la consulta de foto aérea y cartografía digital. En las topografías se utilizó instrumental de precisión Suunto (brújula y clinómetro) y cinta métrica. En la exploración se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnica vertical de cuerda estática y jumars. Varias muestras de roca y espeleotemas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. 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

Los sectores prospectados se localizan en la zona basal de un entrante topográfico, cóncavo hacia el E, que presenta la meseta Plana de La Negra en su parte central, al N del enclave de Sancho Abarca, en territorio de Aragón. El borde E de la meseta en esta zona, denominada El Caidero, tiene escarpes verticales, con paredes de 60 m de desnivel. En su base hay varios sectores con depresiones y escarpes menores sobre un flanco abrupto, que suaviza su pendiente (a medida que pierde altitud) y que conforma la cabecera de una serie de barrancos que se dirigen hacia el E, hacia la planicie recorrida de N a S por el Canal de las Cinco Villas y el Río Arba, afluentes del Ebro. El borde E de la meseta constituye el límite entre los territorios de Navarra y Aragón. Las cavidades exploradas se localizan en la Bardena aragonesa, pero muy próximas al escarpe que forma el límite con Navarra. De hecho el escarpe posee surcos y tubos de piping que canalizan la infiltración vertical hacia el flanco Este.

Nuestras exploraciones comenzaron en la cota 470 m snm de un barranco, remontándolo hacia las paredes del Sur del enclave. Estos terrenos por encima de la cota 470 m están constituidos por una secuencia de materiales arcillosos rojizos, ocres y grises con intercalaciones espaciadas de estratos delgados de margocalizas y algunas de areniscas (unidades litoestratigráficas 400 y 401, en Faci Aparicio et al, 2006; y Cartografía Geológica de Navarra - SITNA). Estratigráficamente están situados por encima de los niveles de arcillas rojas que ocupan el tope de la Nasa Alta y que en la región de la Plana de La Negra cubren grandes extensiones en las laderas inferiores.

Los cauces en la cabecera de los barrancos inferiores poseen también rellenos detríticos aluviales-coluviales de edad Holoceno, que incluyen bloques colapsados de las laderas; en tales depósitos resulta difícil discriminar entre la parte derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional. Sobre los taludes en el área de estudio hay también coluviones, cuya constitución litológica depende directamente de la naturaleza de los materiales suprayacentes, que ocupan la parte alta de la ladera. Predominan los limos y arcillas con cantos angulosos y subangulosos de tamaño muy variable. En la cartografía se distingue así mismo un lentejón de forma subcircular con bloques y arcillas (nivel 545), situado por debajo del escarpe de la meseta y sobre el barranco de acceso, que corresponde a deslizamientos de edad Holoceno. Como el transporte ha debido ser muy corto, el material que lo constituye se limita a la roca original fragmentada y a una matriz arcillosa resultante del frotamiento. Su potencia es difícil de determinar pero no parece superar los 8 m.

El tope de la meseta está constituido por materiales margosos con capas métricas de caliza y calcarenitas intercaladas en la serie (nivel 402; en Faci Aparicio et al, 2006). La estratificación es horizontal, con ligero buzamiento (2°) hacia el SE.

El nivel 400, de arcillas rojas y grises, donde se encuentra la mayor profusión de cavidades, tiene un espesor de 70-80 m. En la base de la unidad aparecen nivelitos de arenisca (paleocanales), mientras que en su parte media y hacia techo se intercalan niveles de calizas y margas. Sedimentológicamente, esta unidad corresponden al desarrollo de un sistema aluvial distal, caracterizado por una extensa llanura lutítica, que aparece cruzada por canales de arenisca. Estos materiales han sido atribuidos al Aragoniense.

Sobre ellos existe una serie arcillosa y carbonática (nivel 401), también Aragoniense, de 40 m de potencia. Se trata de niveles bien estratificados con calizas y margas grises, que pueden apreciarse con claridad en parte de los escarpes verticales. La caliza presenta abundantes fragmentos fósiles (de gasterópodos, caráceas, ostrácodos), trazas de bioturbación a techo y diversas estructuras (laminaciones, ondulaciones y estratificaciones cruzadas de pequeña escala). En su parte alta aparece una secuencia alternante de caliza y marga que gradualmente pasa al tramo superior de la unidad (nivel 402, en el tope de la meseta). Esta unidad calcárea representa el desarrollo de un sistema lacustre carbonatado, que abarcaría gran parte de la Depresión del Ebro en su región aragonesa. Estos lagos debieron tener una buena profundidad y estabilidad (Faci Aparicio et al, 2006).

Los sedimentos arcillosos aflorantes en el área de estudio con cavidades (niveles 400 y 401) son parte de la Formación Tudela (de edad Mioceno) y corresponden al denominado piso Aragoniense, cuya edad engloba un intervalo de tiempo de entre 17 y 11 millones de años antes del presente. Pero como ha sido mencionado antes, sobre los taludes bajo los escarpes hay numerosos coluviones de ladera y materiales deslizados, de edades Holoceno, que recubren y enmascaran las secuencias arcillosas. Sobre el terreno y en el interior de las cavidades exploradas se puede apreciar mejor la litología de los materiales arcillosos, que a menudo incluyen clastos angulosos e intercalaciones delgadas de marga-caliza, espaciadas en la serie.

Como contexto general cabe decir que la cuenca endorreica de las Bardenas (cuya extensión abarca un área de 600 km²) 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, tanto por la acción erosiva llevada a cabo en los fondos de valle, como por la ejercida en las laderas, a lo que se suma la incisión Holocena de la red de drenaje en las planicies. A la misma contribuyen los procesos de piping, que involucran la excavación del terreno, retroceso de los escarpes de las mesetas y formación de cavidades subterráneas.

En esta nota describimos cavidades ilustrativas de la diversidad de procesos que presenta la karstificación en arcillas. Las cavidades exploradas se localizan sobre el flanco E de la meseta de la Plana de La Negra (650 m snm), a cotas de 470 a 540 m snm. Las cavidades se encuentran en la parte Sur de una zona de depresiones topográficas localizadas en el talud basal de un escarpe vertical de 60 m (de desnivel medio) que contornea en este sitio la cumbre de la meseta. El desnivel entre las bocas de las simas y las zonas de surgencia en la cabecera de los barrancos es del orden de -70 m y contiene una extensa red hidrogeológica de galerías subterráneas, mesocavernas y pipes menores.

El trabajo es de naturaleza preliminar, ya que se trata de un área muy caótica y de relieve abrupto, sólo explorada en su parte Sur, restando por ver el sector situado más al Norte del enclave.

En el área Sur exploramos 1 cueva, 4 simas y varias depresiones-simas adicionales, en tres sectores distintos, reconociendo un área mayor. Las galerías exploradas suman 224 m de desarrollo. La mayor sima alcanza -22 m de desnivel y la mayor cueva 82 m de desarrollo.

DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES Y GEOFORMAS

Las cavidades se encuentran en el talud del escarpe que contornea el flanco E de la meseta, en su parte central, denominada El Caidero (Figuras 01 y 02). Se presentan planos topográficos y fotos de las cavidades más significativas. Se dan las coordenadas UTM de las mismas y su localización relativa. Para la descripción de cavidades y su denominación seguimos el orden de las exploraciones. Remontando el barranco de acceso hacia la pared situada más al Sur, encontramos primero una cueva en el cauce (cueva El Caidero Sur 01, Figuras 03 a 05). Algo más arriba de su boca superior el barranco finaliza en un talud con laminadores de débil diámetro, pero que obviamente constituyen uno de los puntos de surgencia de las zonas deprimidas superiores.

Remontando la ladera se alcanza una zona deprimida en la base de un pequeño escarpe vertical. Aquí se encuentran 5 depresiones, 3 de ellas podrían definirse como dolinas de hundimiento o dolinas-simas y las 2 restantes como simas propiamente dichas (simas El Caidero Sur 02 y 03), que exploramos y catalogamos (Figuras 06 a 14).

Siguiendo el ascenso hacia la pared Sur hay una elevación entre depresiones con rellenos coluviales de bloques heterométricos entre los cuales se forman otras simas del orden de -10 a -15 m de desnivel, entrelazadas en su base por mesocavernas. Se trata de un relleno muy inestable, con conductos de débil diámetro, que por prudencia descartamos recorrer y no catalogamos, pero obviamente constituyen cavidades de infiltración vertical en el relleno (Figuras 15 y 16).

Cruzando hacia la base de la pared central encontramos a media ladera una sima bien formada, de amplia boca, que desciende -22 m de desnivel, con una corta galería inferior (sima El Caidero Sur 04). Y poco después, en la base del gran escarpe vertical, un conjunto de simas terminadas en obstrucción por colapso de bloques. Dos de ellas son simas tubulares, de -10 m de desnivel, intercomunicadas en su base por una pequeña galería terminada en obstrucción (sima El Caidero Sur 05). Adicionalmente hay otras depresiones, depresiones-simas, pipes y laminadores a lo largo de la base de la pared, que podrían considerarse formas de superficie. La zona explorada se extiende hacia el N hasta un espolón con dos prominentes torres o chimeneas de las hadas (Figuras 17 a 34). El sector situado más N aún no ha sido explorado y puede contener cavidades adicionales.



Figura 01. Barranco de acceso y parte superior de la pared Sur de El Caidero, al fondo, y detalle de la pared Sur vista desde cerca. Con estratos delgados de caliza y margas intercalados en la serie de arcillas grises y rojas.



Figura 02. Las paredes Sur (arriba) y central (debajo) de los escarpes de El Caidero (de 60 m de altura), con numerosos surcos de piping en arcillas Miocenas de la Formación Tudela.



Figura 03. Cauce del barranco de acceso (algo húmedo tras lluvias recientes) y boca inferior (surgencia) de la cueva El Caidero Sur 01. Nótese las intercalaciones delgadas de marga-caliza en la serie arcillosa.



Figura 04. Tramos de la galería cerca de las dos bocas (simas-claraboyas) intermedias. Cueva El Caidero Sur 01.



Figura 05. Boca superior (sumidero) de la cueva El Caidero Sur 01, de débil diámetro (40 cm), con dos bloques que obstaculizan el paso. Pero tras este paso estrecho la galería se amplía.



Figura 06. Remontando hacia la base de pared Sur de El Caidero (arriba) y zona con depresiones bajo un escarpe menor, donde se encuentran las simas de El Caidero 02 y 03, junto a otras dolinas-simas (debajo). Nótese las chimeneas de las hadas en el borde superior del escarpe y los estratos delgados intercalados en la serie.



Figura 07. Sima El Caidero Sur 02. Boca de acceso y detalle del descenso de vertical de -12 m.

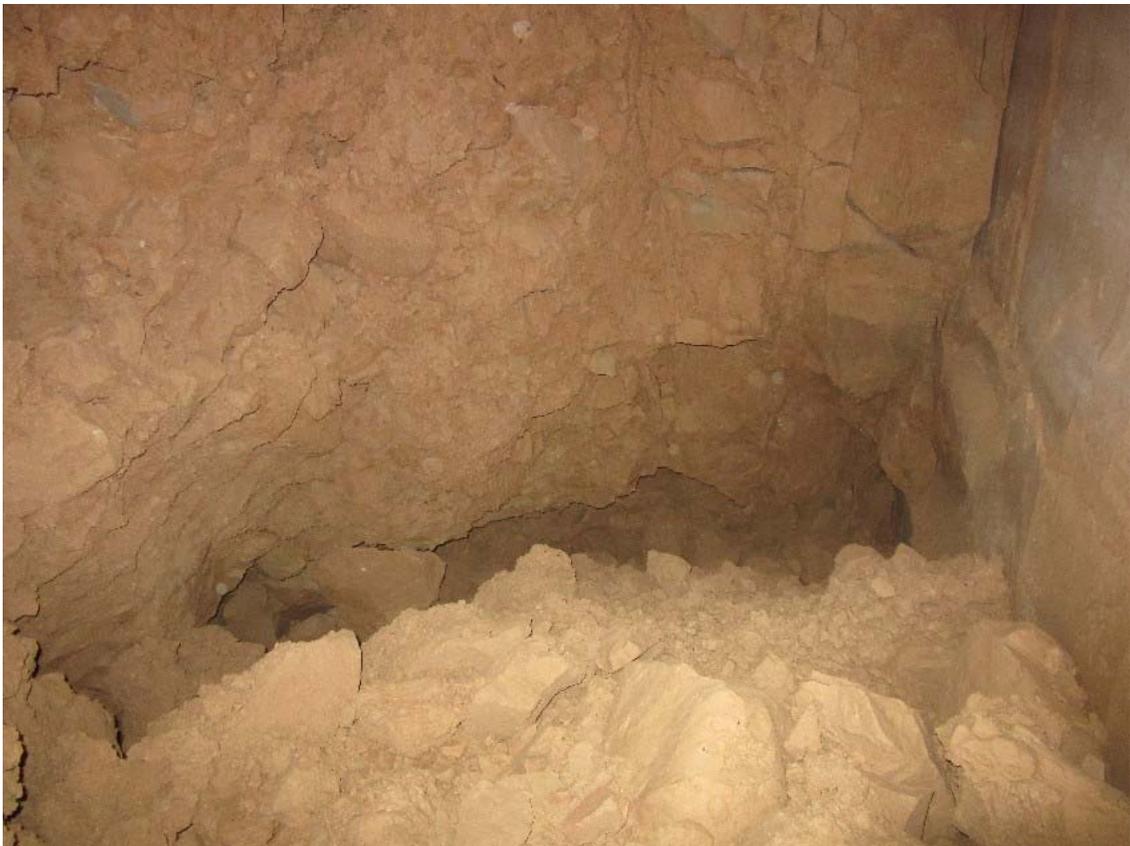


Figura 08. Sima El Caidero Sur 02. Vista hacia la boca desde el interior y sumidero terminal de la cavidad.



Figura 09. Galería interna de la sima El Caidero Sur 02. Sin y con flash.



Figura 10. Sima El Caidero Sur 03. Vista hacia la boca (se ve la cuerda de descenso) y sima terminal de -4m (con goteos y obstruida por bloques de colapso).



Figura 11. Espeleotemas de illita, formadas por fluidificación de las arcillas, en la sima El Caidero Sur 03 (arriba). Y zona de depresiones-simas adyacentes a las simas de El Caidero Sur 02 y 03 (debajo).



Figura 12. Depresión embudiforme (dolina), con sima de -4 m en su punto más bajo, obstruida por colapso. Localizada a escasos metros al SE de la sima El Caidero Sur 03.



Figura 13. Otra depresión de -8 m, destrepable sin cuerda, adyacente a las anteriores. Vista desde el interior hacia superficie (arriba) y fondo con sumidero entre bloques (debajo).



Figura 14. Algunos ejemplos de chimeneas de las hadas y pequeñas torres de arcilla (de 1 m de altura) en la zona de depresiones de El Caidero Sur 02 y 03.



Figura 15. Remontando hacia la pared Sur del Caidero se encuentra en su base una zona de depresiones entre coluviones de ladera, producto de deslizamiento, con bloques heterométricos, entre los cuales se forman simas.



Figura 16. Zona con depresiones y sistemas de simas de -10 á -15 m de desnivel y débil diámetro entre coluviones inestables. Al fondo, la pared Sur del Caidero.



Figura 17. En la base de la pared Sur, sobre un estrato métrico de caliza, hay varios laminadores por los que emergen aguas infiltradas a través de conductos de piping en las paredes. Los caudales discurren por la repisa y se vuelven a infiltrar en el relleno de sedimentos del talud.



Figura 18. Base de las paredes del sector Sur de El Caidero, en las que se aprecia numerosos surcos y conductos de piping, así como numerosas torrecillas de materiales arcillosos coronadas por clastos.



Figura 19. Estratos de colores en la pared Sur del Caidero, con surcos y conductos verticales de piping, pequeñas torres, bloques de colapso, y depresiones en los rellenos basales.



Figura 20. Depresiones en la base de las paredes, con pequeñas simas y grietas obstruidas por bloques. Se trata de una zona de infiltración a través de conductos de piping a gran escala, sin drenajes de superficie.

El Caidero Sur 01.

Situación: En el cauce del barranco. A 2,5 km al W del canal de Cinco Villas y a 3,3 km al NE de la cumbre de Sancho Abarca.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.265; E 640.504; Altitud 470 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -7 m; Desarrollo espacial: 82 m. Figuras 03 á 05. Plano en Figura 35.

Descripción: Se trata de una cavidad-túnel que se extiende 70 m y sigue el fondo del barranco. La boca inferior (cota -7 m) es la surgencia del curso temporal que recorre el barranco y posee otra boca anexa más alta, al lado de la primera, de 1 m de diámetro. La cavidad se amplía en su interior (2 m de ancho x 1,4 m de alto) y presenta un primer tramo de 40 m de largo hasta la base de una claraboya de +4 m. Sigue otro tramo amplio, en curva, de 10 m de largo hasta una segunda claraboya de +5 m. Su base es la cota -5 y su abertura a superficie, es la cota 0 (Datum). Ambas bocas-claraboyas tienen 2-3 m de diámetro y se pueden descender destreando sin cuerda. Río arriba sigue otro tramo sinuoso, amplio pero de techo a 1 m, de 20 m de largo. Tras un giro se alcanza la boca superior que forma un arrastradero de 40 cm de diámetro con dos clastos que obstaculizan un poco el paso. El desnivel entre las bocas superior e inferior es de -2 m y entre la boca-claraboya más alta (cota 0) y la inferior de -7 m. La galería sigue el cauce del río y sumando las galerías de las simas-claraboyas alcanza un desarrollo espacial de 82 m.

La cavidad se desarrolla entre sedimentos arcillo-limosos (con clastos angulosos) que ocupan el cauce del barranco. Tras otro tramo de 40 m de cauce aéreo se alcanza el inicio del barranco, en la base del talud, donde existe otra boca o laminador surgente e impracticable por su escasa altura, de donde procede el caudal infiltrado en las depresiones superiores.

El Caidero Sur 02.

Situación: A 265 m al NE de la cueva El Caidero Sur 01, en una zona con depresiones al pie de un escarpe vertical.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.480; E 640.347; Altitud 502 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 22 m. Figuras 06 á 14. Plano en Figura 36.

Descripción: Remontando la ladera hacia las paredes del Caidero se alcanza un escarpe menor cuya base presenta un replano con 5 depresiones, alineadas de NW a SE siguiendo la base de la pared. Tres de ellas constituyen dolinas-simas y las dos restantes simas propiamente dichas. La situada más al NW es la sima El Caidero Sur 02. Su boca es subcircular y alcanza 6 m de diámetro. Tras un escarpe vertical de -4 m prosigue en rampa pronunciada hasta la cota -12 m, donde forma una amplia pero corta galería, con una claraboya, y cuya base se obstruye por el colapso de bloques entre los que se filtra el drenaje. El descenso requiere cuerda y el desarrollo de la cavidad es de 22 m.

El Caidero Sur 03.

Situación: A 10 m al E de la sima El Caidero Sur 02, en la misma zona con depresiones al pie de un escarpe vertical.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.478; E 640.358; Altitud 502 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 06 á 14. Plano en Figura 36.

Descripción: La boca se abre en la base del escarpe vertical y es de forma alargada, de 4 m de ancho. Su descenso también requiere cuerda. Tras un escarpe con bloques se accede a una sala más amplia, en cuyo fondo se abre una sima de -4 m con su base (cota -10 m) obstruida por rellenos de arcilla y bloques. El desarrollo es de 20 m y la sala presenta numerosas espeleotemas de illita formadas por fluidificación de las arcillas.

Hacia el SE de esta sima hay otras tres depresiones: la primera de planta circular y -4 m; la segunda, embudiforme y más amplia, con una simita en su fondo que desciende 4 m hasta la cota -8; y la tercera formando un socavón que requiere destrepe y que se obstruye también contra la pared a -8 m. Todas terminan en obstrucción, sin galerías subterráneas penetrables. Por lo que las consideramos dolinas-simas o hundimientos del terreno. No obstante poseen desarrollos de 6, 10 y 16 m, respectivamente, contados a partir de su cota 0 (a partir del punto en que constituyen depresiones cerradas). Ello suma 32 m, que agregado a los desarrollos de las simas El Caidero Sur 02 y 03 da un total de 74 m para el conjunto del sector.

En las inmediaciones de estas depresiones-simas y en lo alto de la pared del escarpe hay diversas geoformas que constituyen torrecillas y "chimeneas de las hadas" (Figura 14).

Remontando hacia la base de la gran pared Sur se alcanza una zona de depresiones y dolinas, obstruidas y sin cavidades penetrables. No obstante en una elevación entre dos zonas deprimidas, formada por un coluvión con bloques decimétricos, existe un conjunto de 5-7 simas tubulares y alargadas, de escasa anchura, y de -10 á -15 m de desnivel, interconectado por galerías estrechas inferiores (Figuras 15 y 16). El terreno es inestable (propenso a colapsos) y por simple prudencia no nos aventuramos a explorar las cavidades, pero es obvio que en todo el sector se produce infiltración vertical a gran escala, con drenaje subterráneo.

En la pared vertical se observan numerosos surcos de piping y grandes torres y "dedos" adheridos a la pared, con algunas cornisas y replanos sobre los estratos espaciados de margocalizas que sobresalen en voladizo. En la base, sobre un estrato más compacto de caliza, existen laminadores por donde emergen flujos de agua procedente de la infiltración vertical en pipes de las paredes. Así mismo, a lo largo de la base, hay depresiones y grietas cegadas por bloques y sedimentos (Figuras 17 á 22).

El Caidero Sur 04.

Situación: A 175 m al NNE de la sima El Caidero Sur 03. En la ladera entre los escarpes Sur y central, sobre el flanco NE.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.638; E 640.430; Altitud 525 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -22 m; Desarrollo espacial: 40 m. Figuras 23 á 27. Plano en Figura 37.

Descripción: Tras prospectar la zona de depresiones y base de la pared situada más al Sur, nos dirigimos hacia la base de la pared del escarpe central. Aquí encontramos sobre el flanco, a media ladera, una sima bien formada que parecía dar paso a una galería inferior subhorizontal.

La cavidad es de boca amplia (8 m de diámetro), con su perímetro en declive. Establecimos la cota 0 en su borde más bajo. Desde este punto el desnivel es de -22 m y el descenso requiere el uso de técnica de cuerda estática y jumars. Para el mismo utilizamos una cuerda estática de 40 m, con anclaje a un grupo de arbustos. Tras un escalón aéreo de -6 m se alcanza una cornisa con helechos que prosigue en rampa pronunciada, con otro escalón intermedio y otro basal, de -4 m. La entrada forma una sala espaciosa, en declive, y penetra en zona oscura formando una galería alta de 2 m de ancho. El suelo desciende un poco hasta un sumidero impracticable, cegado por bloques y arcilla. A partir de este punto la galería asciende unos metros, remontando varios escalones hasta la base de una alta chimenea, sin comunicación con superficie. Como en otros casos resulta obvio que el drenaje es subterráneo, pero discurre a través de mesocavernas y pipes impenetrables. El desarrollo espacial de la cavidad alcanza 40 m (sin contar la chimenea) siendo su volumen hipógeo importante.

Siguiendo hacia la pared central hay otras pequeñas depresiones, bajo pequeños escarpes, pero sin cavidades practicables.

El Caidero Sur 05.

Situación: A 125 m al NNE de la sima El Caidero Sur 04. En la base del escarpe central.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.760; E 640.461; Altitud 525 m snm. Mapa de Referencia: Cartografía SITNA.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 28 m. Figuras 28 á 30. Plano en Figura 37.

Descripción: En la base de la pared central, de 60 m de altura, se abren en un punto varias simas y grietas a lo largo de su zona basal. Dos de ellas son simas tubulares, de 2 m de diámetro y -10 m de desnivel, intercomunicadas por una pequeña galería que se prolonga en su base hasta una obstrucción. Las otras grietas resultan impracticables por estrechas y quedan obstruidas por colapso de bloques.

Siguiendo hacia el N se alcanza un espolón o arista con dos altas torres o chimeneas de las hadas. En su base hay otras depresiones finalizadas en pipes verticales y conductos menores (Figuras 31 y 32). La arista constituye el límite N de la pared central y lo separa de otro enclave con depresiones bajo la pared N, sector este aún inexplorado, pero que tributa hacia un segundo barranco, paralelo al de acceso (Figuras 33 y 34). En el fondo de este barranco encontramos varios laminadores por donde salen aguas subterráneas procedentes de las inexploradas depresiones que, suponemos, pueden albergar otras cavidades.

En conjunto, exploramos y catalogamos 5 cavidades que suman 192 m y 3 depresiones-simas con 32 m adicionales por lo que en este sector de la Bardena Negra hay al menos 224 m de galerías subterráneas y sin duda una cifra considerablemente mayor de pipes y pequeños conductos. Muchas depresiones, de amplia apertura en superficie, finalizan obstruidas por rellenos detríticos o se prolongan en laminadores y mesocavernas de débil diámetro, siendo evidente la continuidad de los procesos de piping y exportación de materiales por flujos subterráneos basales.

Llama también la atención la presencia de numerosos surcos de piping en las paredes y la ocurrencia de los mismos procesos (y morfologías resultantes) a distintas escalas, lo que indica su naturaleza fractal. Las áreas exploradas muestran infiltración vertical en los materiales arcillosos, con un drenaje subterráneo que parece derivar a través de pequeños conductos hacia las áreas de surgencia en la cabecera de los barrancos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las arcillas de la Formación Tudela poseen altos valores de sodio intercambiable y cambian sus propiedades físicas según su estado de hidratación. Al haber un predominio de arcillas expansivas, se favorece el agrietamiento y se canaliza la escorrentía hacia el interior del sedimento. La disolución del sodio acelera la pérdida de coherencia y desflocula las arcillas, produciendo piping. Los flujos de infiltración se canalizan y generan conductos tubulares (pipes) en los cuales se produce remoción intergranular. Las aguas infiltradas verticalmente, al encontrarse con niveles progresivamente menos permeables en profundidad, tienden a circular horizontalmente formando redes de galerías, con líneas de flujo determinadas por el gradiente hidráulico.

Si los procesos persisten llegan a formarse simas y cuevas a escala humana (macro cavernas). Al formarse redes de drenaje subterráneo los procesos de erosión normal contribuyen al crecimiento volumétrico de las galerías. Pero la débil coherencia de los materiales produce con frecuencia colapsos, que obstruyen los conductos y generan desarrollos tortuosos.



Figura 21. Piping, colapsos y vuelcos en la base de la pared, con subsidencia local de los materiales desprendidos.



Figura 22. Morfología de la pared, con surcos de piping, colapso de bloques procedentes de los estratos duros, grietas y depresiones basales, con drenaje subterráneo a través del relleno y de la serie arcillosa inferior.



Figura 23. En el flanco, entre las paredes Central y Sur del Caidero, se localiza la sima El Caidero Sur 04.



Figura 24. Descenso de la sima El Caidero Sur 04, de -22 m de desnivel, y vista hacia la boca desde su interior.

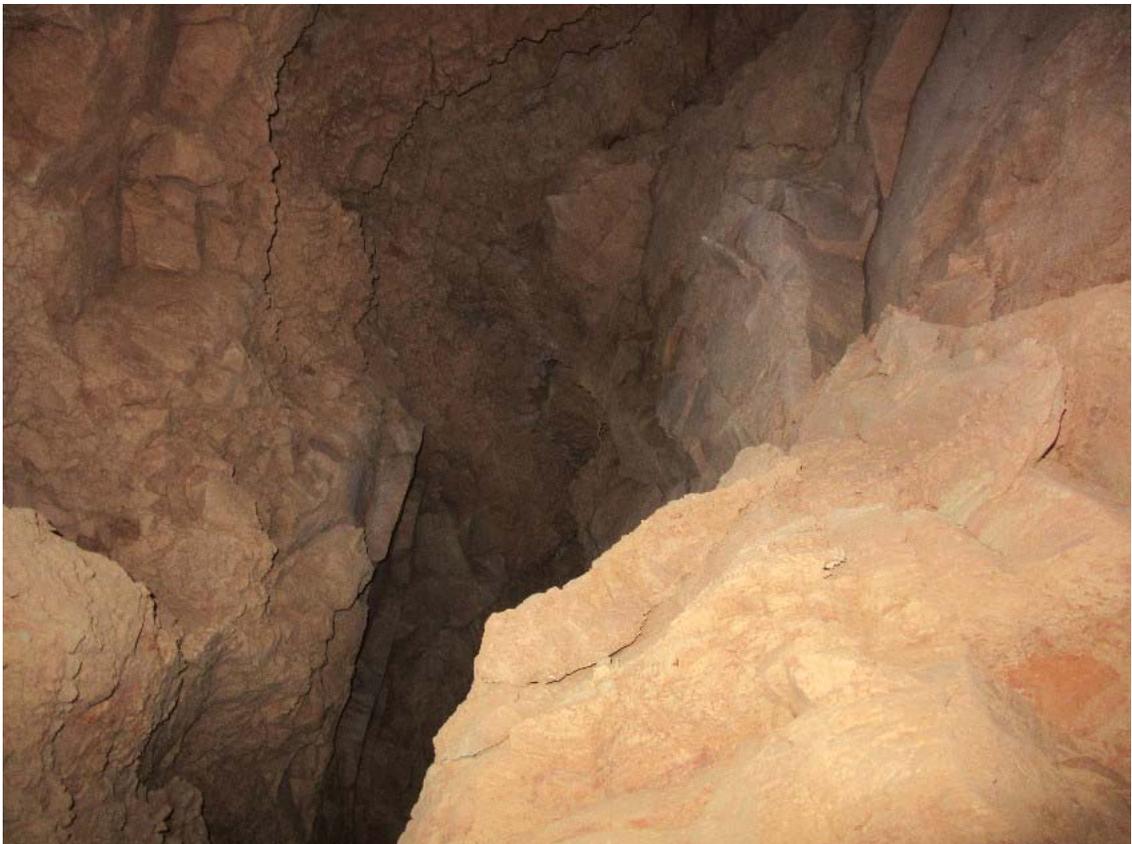


Figura 25. Galería interna de la sima El Caidero Sur 04, con goteos, y sumidero final a través de pipes menores.



Figura 26. Vista desde el interior hacia la boca, con repisa de helechos, y ascenso en jumars de la vertical de 22 m. Sima El Caidero Sur 04.



Figura 27. Alcanzando el borde superior de la sima El Caidero Sur 04, tras finalizar su exploración y topografía.
Y vista hacia el entrante de la pared central.

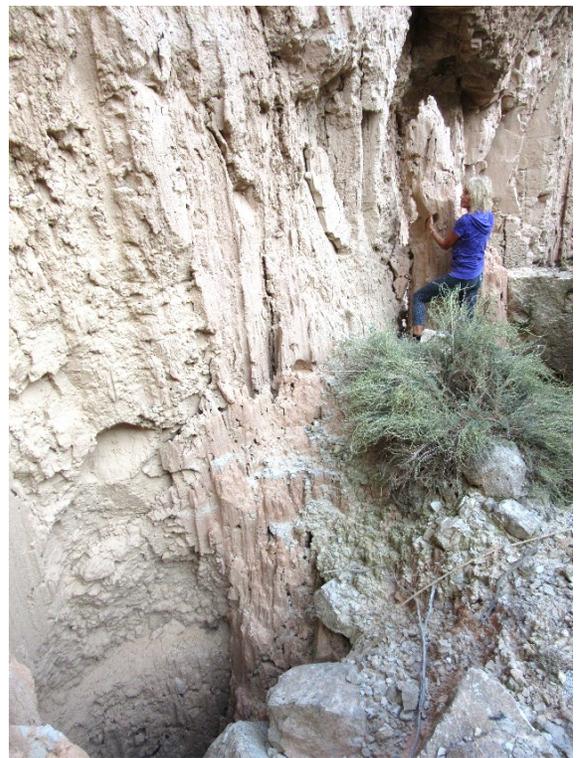


Figura 28. Detalles de la pared central del Caidero, con surcos de piping y simas en su base.



Figura 29. Sima El Caidero Sur 05, en la base de la pared central. Inicio del descenso.



Figura 30. Descenso y ascenso en jumar de la sima El Caidero Sur 05, de -10 m. En su base comunica con otra sima tubular, paralela, y se prolonga en una corta galería inferior, obstruida por bloques arcillosos.



Figura 31. Prospectando taludes y zonas con depresiones por debajo de la pared central. Hasta un espolón con dos altas chimeneas de las hadas.



Figura 32. En el talud, bajo las chimeneas, hay dolinas y depresiones cegadas, con mesocavernas y pipes menores.

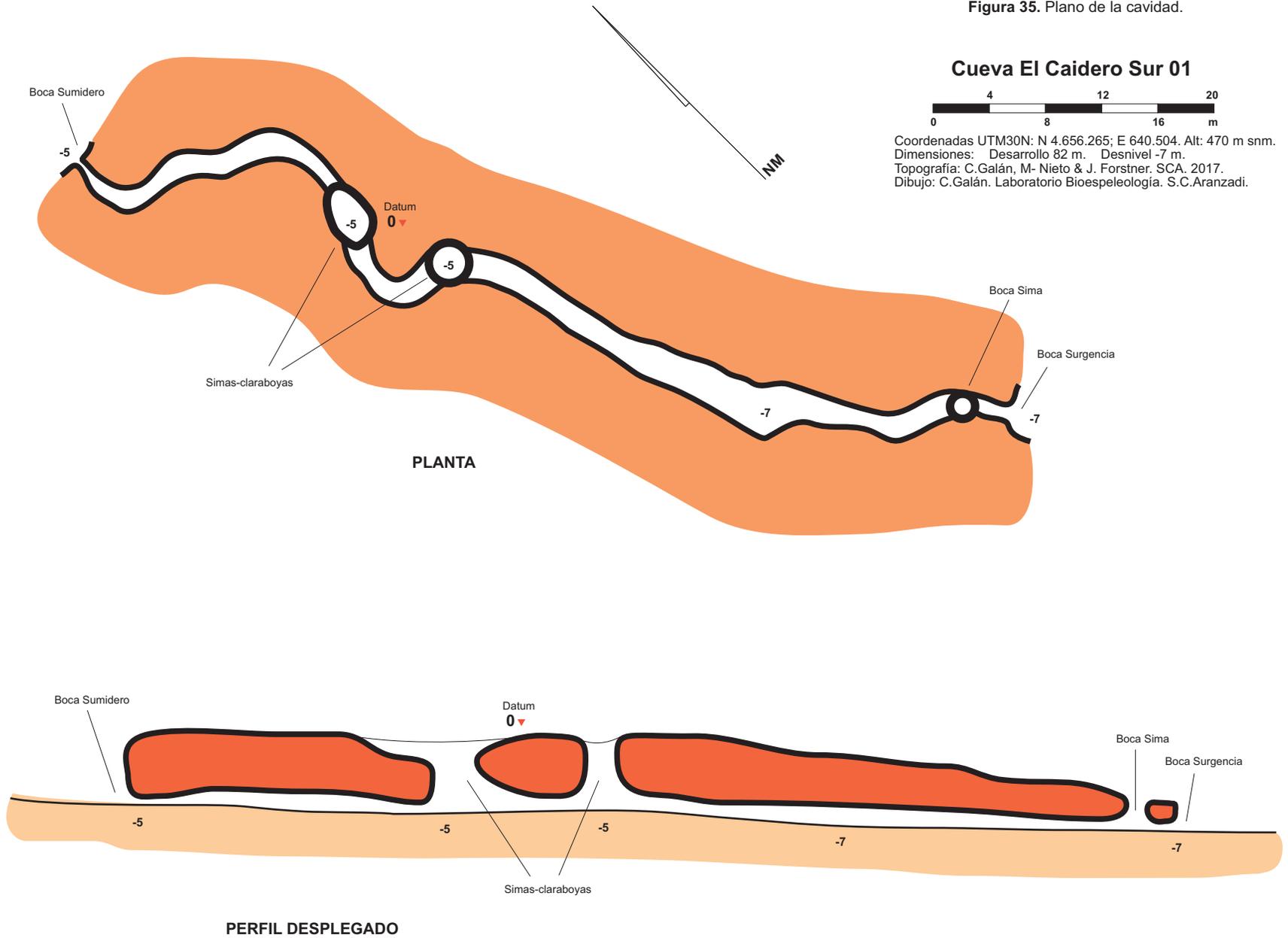


Figura 33. Al norte del espolón se localiza otro sector (pared Norte), con depresiones y posibles cavidades.



Figura 34. Descendiendo hacia otro barranco, con laminadores y cuevas surgentes en el cauce, en la cabecera o inicio del barranco. Probablemente drenan las aguas subterráneas que se infiltran en el sector de la pared Norte.

Figura 35. Plano de la cavidad.



Sima El Caidero Sur 02



Coordenadas UTM30N: N 4.656.480; E 640.347. Alt: 502 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 22 m. Desnivel -12 m.
Topografía: C.Galán, M- Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

Sima El Caidero Sur 03



Coordenadas UTM30N: N 4.656.478; E 640.358. Alt: 502 m snm.
Dimensiones: Desarrollo 20 m. Desnivel -10 m.
Topografía: C.Galán, M- Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

Posición relativa en planta de las 3 depresiones-simas

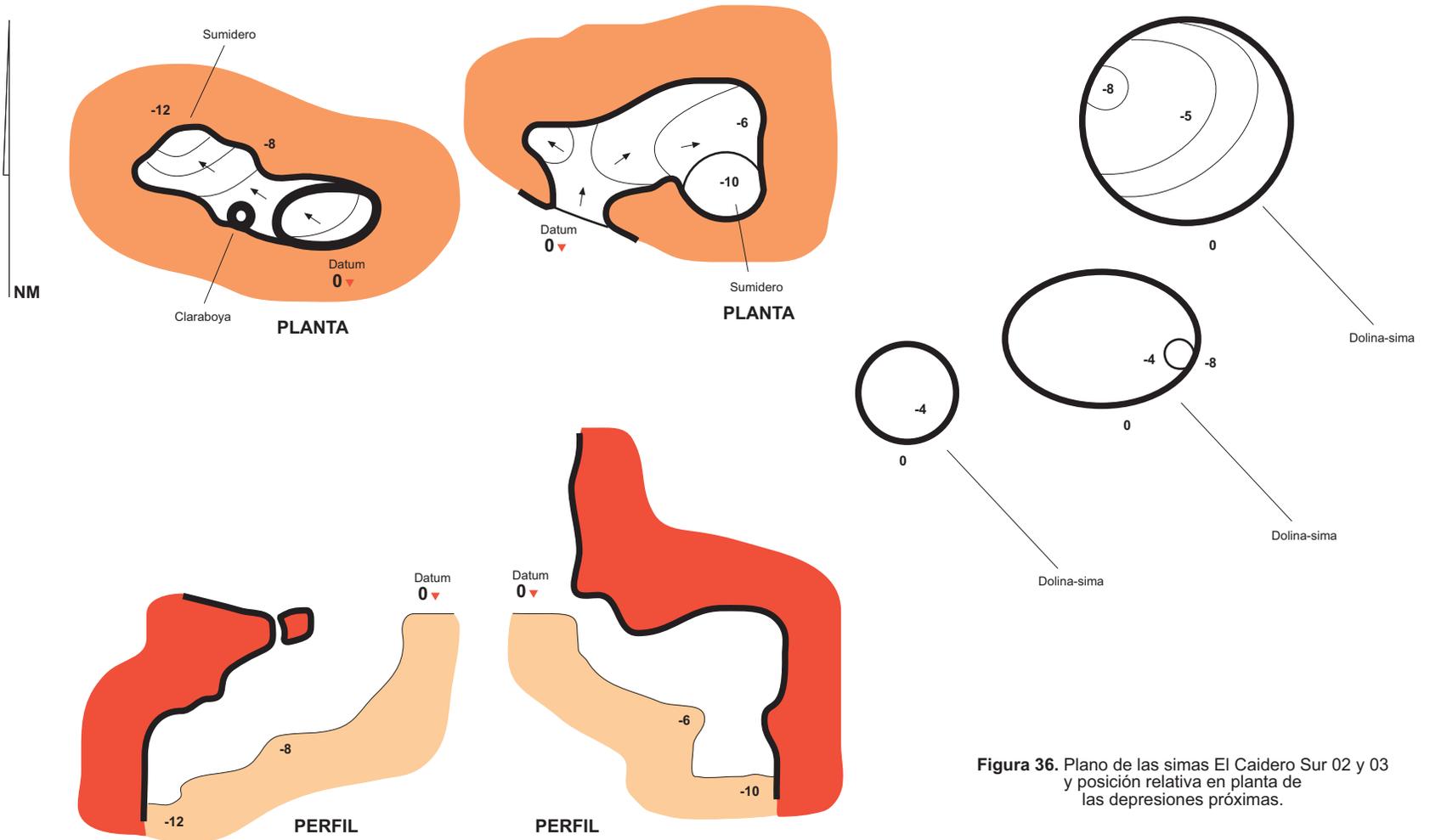
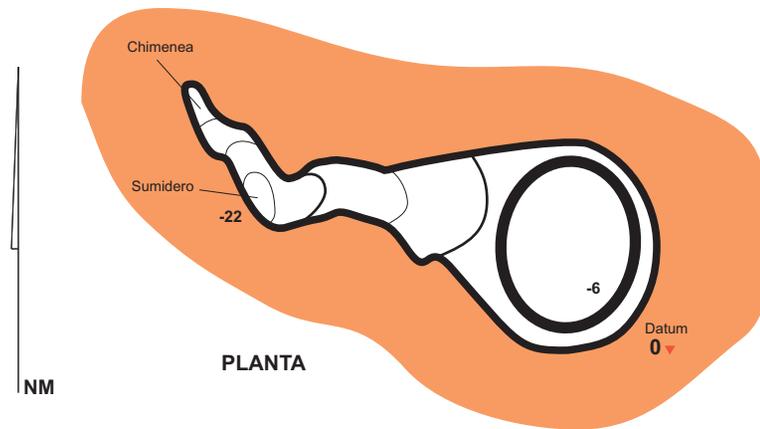


Figura 36. Plano de las simas El Caidero Sur 02 y 03 y posición relativa en planta de las depresiones próximas.

Sima El Caidero Sur 04



Coordenadas UTM30N: N 4.656.638; E 640.430. Alt: 525 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 40 m. Desnivel -22 m.
 Topografía: C.Galán, M- Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Sima El Caidero Sur 05



Coordenadas UTM30N: N 4.656.760; E 640.461. Alt: 525 m snm.
 Dimensiones: Desarrollo 28 m. Desnivel -10 m.
 Topografía: C.Galán, M- Nieto & J. Forstner. SCA. 2017.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

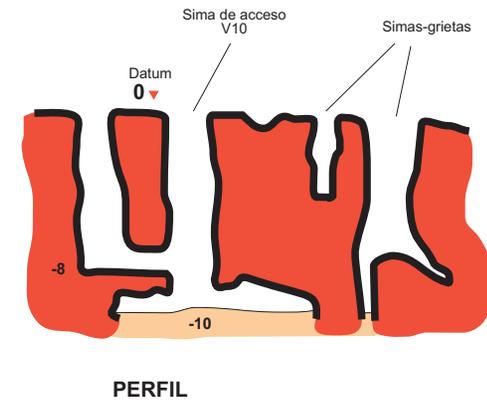
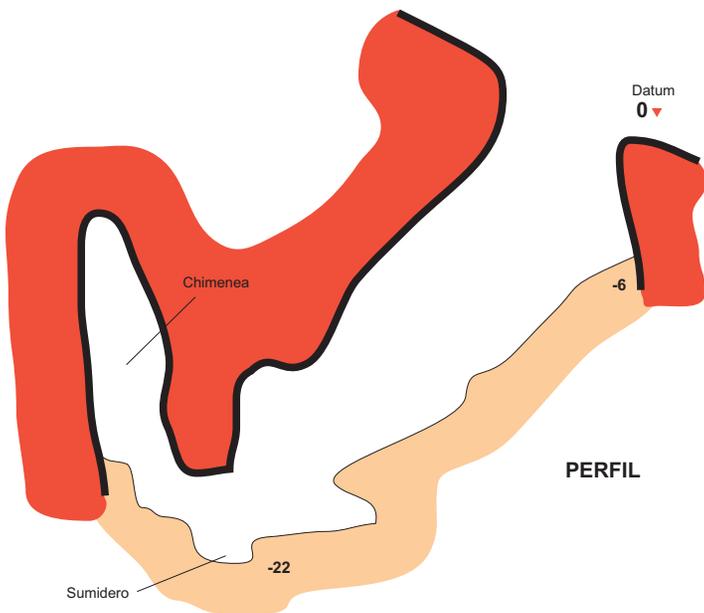
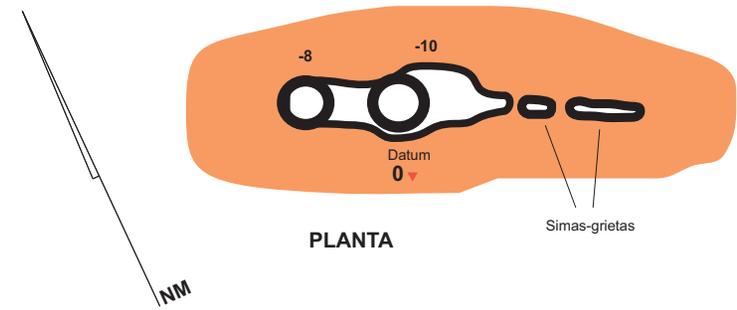


Figura 37. Planos de las simas El Caidero Sur 04 y 05.

En el área de estudio la erosión normal y el piping producen el retroceso de los escarpes de la meseta y la verticalización de sus paredes, por vuelcos, colapsos y deslizamientos. Los cuales acumulan materiales desprendidos, en heterogénea mezcla, al pie de los escarpes. Estos rellenos de colapso y coluviales recubren y enmascaran los materiales infrayacentes, en los que sigue actuando el piping, pero dificultan la espeleogénesis, creando depresiones caóticas de tipo badlands. No obstante, pueden formarse simas y cuevas de cierto desarrollo y desnivel aprovechando el gradiente hidráulico en los flancos de acentuada pendiente.

El trabajo aporta nuevos ejemplos de procesos de karstificación en arcillas de edad Mioceno (Formación Tudela), así como detalles de interés científico sobre la geomorfología y dinámica de la región 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 del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas 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.
- Dunne, T. 1990. Hydrology, mechanics and geomorphological implications of erosion by subsurface flow. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252.
- Faci Paricio, E.; G. Galán Pérez; A. García de Domingo; P. Cabra Gil; J. González Lastra & G. Díaz Pinto. 2006. Memoria de la Hoja 283-IV El Sabinar. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 77 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. & F. Herrera. 2005. Sistema Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas: 11 km. Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 27 pp. + Reeditado en Pág. web Cota0.com.
- Galán C. & J. Lagarde. 1988. Morfologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Karstologia* 11-12: 49-60.
- Galán, C. & M. Nieto. 2015. Nuevos datos sobre cuevas en arcilla, cárcavas y cañones en la Bardena Negra. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; Dv. Arrieta & Daniel Arrieta. 2015. Espeleotemas y quirópteros en una cueva en arcilla de 158 m de desarrollo (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.
- Galán, C.; D. Arrieta; M. Nieto & J. Forstner. 2016. 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.; M. Nieto; J. Forstner & A. Miner. 2017. 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.
- 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.