

**UN NUEVO SISTEMA DE SIMAS EN ARCILLA: EL CAIDERO NORTE (BARDENA ARAGONESA).**

A new abyss system in clay: The North Caidero (Aragonese Bardena).



**Carlos GALÁN, Iñigo HERRAIZ & Marian NIETO.**

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Mayo 2018.

# UN NUEVO SISTEMA DE SIMAS EN ARCILLA: EL CAIDERO NORTE (BARDENA ARAGONESA).

**A new abyss system in clay: The North Caidero (Aragonese Bardenas).**

---

**Carlos GALÁN, Iñigo HERRAIZ & Marian NIETO.**

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

**Mayo 2018.**

## RESUMEN

Se describe un nuevo sistema de simas en arcilla, explorado en la región semidesértica de las Bardenas. Las cavidades se localizan en el talud, al pie de escarpes verticales, en el flanco Este de la Plana de La Negra. El sistema se desarrolla en materiales arcillosos de edad Mioceno (Formación Tudela) y ha sido formado fundamentalmente por procesos de piping. La cavidad mayor alcanza 142 m de desarrollo y -40 m de desnivel. El sistema en su conjunto se extiende sobre 100 m de desnivel y 250 m de distancia en planta. Se describe el sistema y sus cavidades y se discuten sus principales rasgos hidrogeológicos. El trabajo es ilustrado con fotografía digital.

*Palabras clave:* Espeleología física, Karst en arcilla, Procesos de tubificación, Hidrogeología, Geomorfología.

## ABSTRACT

A new clay abyss system is described, explored in the semi-desert region of the Bardenas. The cavities are located on the slope of the east flank of La Plana de La Negra, at the foot of vertical escarpments. The system is developed in clay materials of Miocene age (Tudela Formation) and has been formed mainly by piping processes. The greater cavity reaches 142 m of spatial development and -40 m of depth. The system as a whole extends over 100 m of height and 250 m of distance in plan. The system and its cavities are described and its main hydrogeological features are discussed. The work is illustrated with digital photography.

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

## INTRODUCCION

La formación de cavidades subterráneas puede ocurrir en distintas litologías. Exceptuando las cuevas en lava, en general las cuevas se forman en rocas duras y a la vez solubles, en distinto grado, siendo los casos más conocidos los karsts en caliza y yeso. Los materiales arcillosos son en cambio poco consistentes y poco solubles, 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 casos raros a nivel mundial y generalmente se presentan en zonas áridas a desérticas. 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; Halliday, 2004). 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, existiendo un continuo entre cuevas de tubificación y de disolución, en rocas de distintas solubilidades.

Trabajos recientes han permitido descubrir en la región de las Bardenas una enorme cantidad y diversidad de cuevas en arcilla, incluyendo los mayores sistemas de cuevas en arcilla hasta ahora conocidos a nivel global (Galán, 2015; Galán et al, 2015, 2017a, 2017b, 2018), con hasta 880 m de desarrollo de galerías. En la Bardenas aragonesa exploramos previamente varias cavidades en El Caidero (sectores Sur y Central) (Galán et al, 2017a), pero restaba por prospectar el sector Norte, donde la cartografía y foto aérea mostraban la ocurrencia de depresiones y probables simas, que constituyen el objeto del presente trabajo. En efecto, encontramos un sistema extenso, con siete simas, varias depresiones y una zona de surgencia.

## 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 a fin de ilustrar las principales características de las cavidades y su entorno.

## RESULTADOS

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 arcillas y lutitas de la Formación Tudela (de edad Mioceno, Terciario).

Los sectores prospectados se localizan en la zona basal de un entrante topográfico denominado El Caidero, donde la meseta de La Negra presenta paredes verticales de 70 m de desnivel. El sector explorado ocupa el extremo N, situado al N de un espolón con dos prominentes y esbeltas chimeneas de las hadas. Al pie de las paredes se presenta una amplia cubeta, con depresiones menores, que convergen en un abrupto barranco seco que desagua hacia la planicie E, recorrida 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.

Nuestras exploraciones comenzaron en la cota 474 m snm de un barranco, remontándolo hacia las paredes del enclave del Caidero Norte (Figuras 01 á 04). El terreno está constituido por una secuencia de materiales arcillosos rojizos, ocre 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). Buena parte de los materiales que recubren el relieve constituyen un coluvión, con clastos angulosos de margocalizas (de tamaño muy variable), fragmentados de los estratos superiores, y entremezclados e incluidos en una matriz de materiales arcillosos ocre. El espesor de los rellenos detríticos es difícil de precisar, pero lo atraviesan todas las galerías de simas, aunque está más consolidado en profundidad.

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 lutífica, 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 de arcillas y margas, grises y rojas, con algunos estratos métricos de caliza, como puede apreciarse en las paredes verticales. La caliza presenta fragmentos fósiles (de gasterópodos, ostrácodos y caráceas), 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 que contienen 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.

Como contexto general cabe decir que la cuenca endorreica de las Bardenas (cuya extensión abarca un área de 600 km<sup>2</sup>) 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. 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.

Al pie de las paredes encontramos cinco simas, de -6 m a -12 m de desnivel, todas ellas cegadas por sedimentos, entre los cuales se infiltra el agua de lluvia a través de pipes menores. Las simas más altas se localizan a 545 m snm, existiendo un desnivel de -70 m hasta la zona de surgencia. Pero se observan también algunas bocas de simas y pipes colgados en las paredes (Figura 05), hasta +30 m por encima de esta cota, por lo que las aguas de infiltración atraviesan un espesor de sedimentos arcillosos de al menos 100 m. En la cubeta superior hay otras depresiones o dolinas, sin galerías penetrables, pero que son parte del área de alimentación.

La cubeta desciende y converge en un abrupto barranco, donde se abre la boca de la sima mayor, en la cota 520 m snm. Esta sima desciende -40 m de desnivel y posee una galería colectora inferior, que finaliza en un laminador tras 142 m de recorrido.

Siguiendo el barranco se encuentra una séptima sima, de -7 m, que intercepta el lado opuesto del laminador de Sima 6, y prosigue en su base a través de pipes menores. A 60 m de distancia en planta de este punto se encuentra la zona de surgencia del sistema, en la cota 480 m snm, donde hay varios laminadores y pipes con huellas de surgencia temporal. El barranco presenta algunos pipes menores, con drenaje subterráneo, hasta la cota 475 m snm, donde pasa a presentar un fondo plano, subhorizontal.

El desnivel entre las bocas de las simas superiores y la zona final de surgencia en el barranco es de -70 m, recorriendo el drenaje subterráneo una extensión en planta de 250 m. Aunque como ha sido dicho hay algunas simas y pipes colgados en repisas y entre pináculos en la pared superior, por lo que el sistema recoge aguas de infiltración hasta a 120 m por encima de la zona de surgencia. A continuación describiremos las cavidades exploradas (Referencia para Coordenadas UTM: Cartografía SITNA).

## **DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES**

### **Sima El Caidero Norte 01.**

Situación: En la base de la pared, a 80 m de distancia en planta al NNW de la chimenea de las hadas más prominente.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.833; E 640.515; Altitud 545 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -6 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figura 06. Plano en Figura 31.

Descripción: Pequeña sima con boca de 1 m de diámetro que desciende en dos escalones, de -4 y -2 m. En el exterior, sobre la sima inferior, se abre en un entrante de la pared (sobre una repisa de +1 m) la boca de una cueva de 3 m de altura, pero que sólo profundiza 2 m, drenando hacia la sima inferior. La sima se cierra a -6 m taponada por arcilla húmeda.

### **Sima El Caidero Norte 02.**

Situación: En la base de la pared, a 20 m de distancia al NE de la sima 01.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.846; E 640.530; Altitud 540 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figura 07. Plano en Figura 31.

Descripción: La boca es amplia (3 m de ancho x 6 m de largo) y se abre contra la base de la pared, formando dos depresiones tubulares internas, con numerosos surcos de piping. Su base esta colmatada por clastos y arcilla húmeda, con pipes menores.

### **Sima El Caidero Norte 03.**

Situación: En la base de la pared, a 10 m de distancia al ESE de la sima 02.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.846; E 640.540; Altitud 525 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figuras 08 y 09. Plano en Figura 31.

Descripción: Se abre contra la base de la pared, subdividida en dos simas internas. La superior penetra bajo la pared formando una cueva descendente que se cierra en un arrastradero con arcilla húmeda en la cota -8 m. La inferior, adyacente a la primera, sigue el trazado vertical de la pared y se taponada por clastos y arcilla muy húmeda en la cota -10 m.

### **Sima El Caidero Norte 04.**

Situación: En la base de la pared, a 20 m de distancia al SE de la sima 03.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.835; E 640.553; Altitud 528 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 14 m. Figuras 10 a 12. Plano en Figura 31.

Descripción: La boca se abre en una hondonada, penetrando bajo un entrante techado de la pared, donde se inicia una sima en forma de grieta alargada, de 1 m de ancho. La vertical desciende -6 m hasta un tapón acuñado de bloques inestables y barro húmedo, bajo el cual sigue en forma tubular 6 m más, con barro húmedo y pipes menores en la cota -12 m. Tal vez en condiciones más secas sería factible descender un desnivel mayor, pero por el riesgo de colapso detuvimos la exploración en este punto.

### **Sima El Caidero Norte 05.**

Situación: En una depresión, a 20 m de distancia al S de la sima 04.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.819; E 640.554; Altitud 530 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 16 m. Figuras 13 a 15. Plano en Figura 31.

Descripción: La sima se inicia como amplia dolina embudiforme, localizada algo más alta que la anterior, sobre el flanco de un espolón lateral que limita por el NE la cubeta superior. La parte baja del embudo y el contorno Sur son verticales, formando una sima que se cierra en la cota -10 m taponada por una mezcla de bloques heterométricos y arcilla húmeda. El lado NW de la amplia dolina presenta pequeñas depresiones-simas adicionales en su interior, con pipes que profundizan entre los materiales arcillosos.

Las cinco simas que acabamos de describir se distribuyen en semicírculo contra la pared de El Caidero y un espolón más bajo que se prolonga hacia el SE, formando una cubeta que drena hacia la cabecera de un barranco que desciende hacia el SSE.





**Figura 01.** El sector El Caidero Norte queda comprendido en un entrante de la pared E de la Plana de la Negra, limitado al Sur por una cresta con dos prominentes torres o chimeneas de las hadas (arriba) y un espolón o estribo montañoso al Norte (debajo).





**Figura 02.** Cauce seco del barranco de acceso al sector El Caidero Norte, en la cota 475 m snm, con las paredes de El Caidero al fondo.





**Figura 03.** Acceso al espolón con las dos chimeneas de las hadas que separan el sector Norte (arriba, derecha) del sector central de El Caidero (izquierda). El tope de la meseta, con estratos gruesos de margocaliza, constituye la unidad litoestratigráfica 402. Por debajo de ella se extienden las unidades 401 y 400, con arcillas grises, ocres y rojizas, donde se desarrolla el sistema de cavidades.





**Figura 04.** La chimenea de las hadas más prominente conserva en su tope fragmentos de estratos duros de caliza, en precario equilibrio (arriba). En la base de la pared del sector Norte del Caidero (debajo) se encuentran cinco simas y varias depresiones adicionales. Nótese los clastos desprendidos de los estratos duros superiores.





**Figura 05.** Las paredes del Caidero Norte, donde se aprecia la boca de la Sima 01, en la cota 545 m snm (arriba, flecha roja). En ambas imágenes puede apreciarse también la existencia de otras bocas y pipes colgadas a mayor altura sobre las paredes (flechas negras, arriba y debajo).





**Figura 06.** Sima El Caidero Norte 01. La boca de la sima se abre en el talud, contra la pared (flecha roja, arriba), presentando un pozo bajo la boca de la cueva superior (que es sólo un corto abrigo, con drenaje hacia la sima) (debajo). Nótese los bloques y clastos desprendidos y los surcos de pipes verticales en la arcilla.





**Figura 07.** Sima El Caidero Norte 02. Consta de dos tubos verticales conjugados, de -8 m, cegados en su base por un fondo plano de rellenos detríticos.





**Figura 08.** Sima El Caidero Norte 03. Consta de dos bocas adyacentes, la situada más al Sur penetra bajo la pared en cueva descendente (flecha roja) hasta prácticamente unirse al fondo de la sima situada más al Norte.





**Figura 09.** Detalles de la sima 03. En la imagen superior se aprecian pipes verticales seccionados en el techo de la pared extraplomada. En la imagen inferior, el fondo colmatado de la sima del lado NE.





**Figura 10.** Sima El Caidero Norte 04. Se abre en el fondo de una depresión, bajo la pared de lutitas, estando su boca techada. La sima penetra -12 m de desnivel, con continuación semiobstruida en arcilla húmeda.





**Figura 11.** Detalles de la sima 04: la boca se abre techada bajo la pared, en el fondo de una depresión.





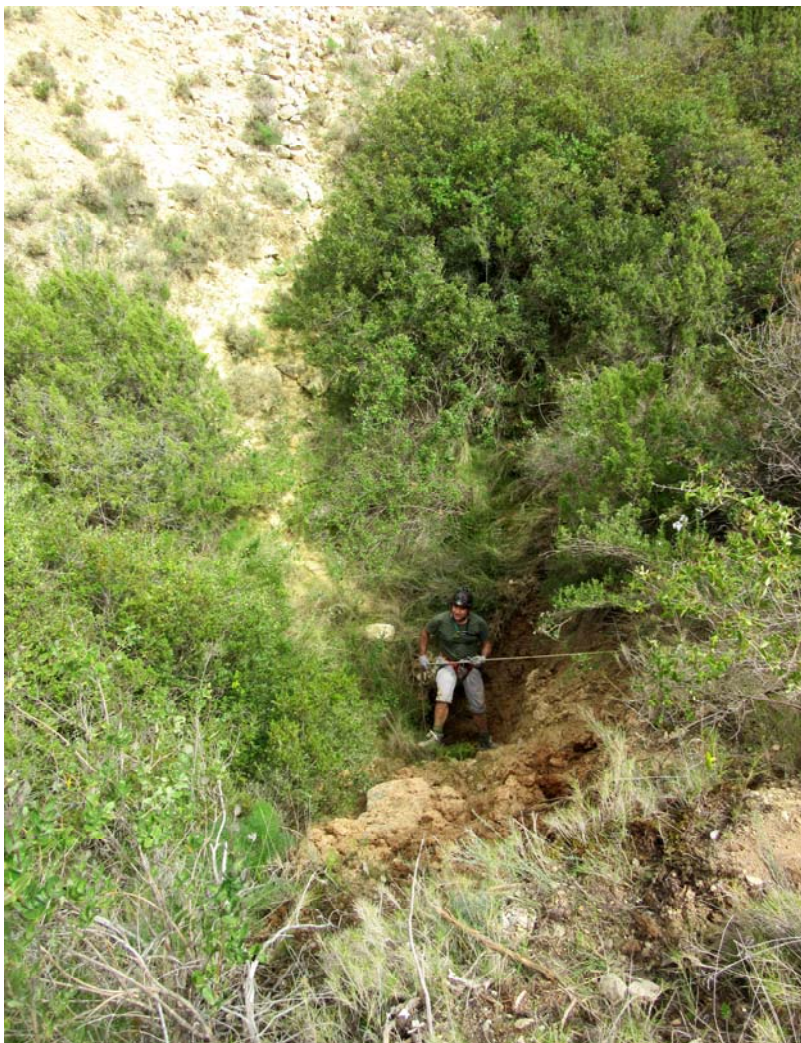
**Figura 12.** Detalles del ascenso en jumars de la sima 04, con materiales arcillosos húmedos que han fluido hacia su interior, obstruyendo la cavidad en la cota -12 m.





**Figura 13.** Vista de las chimeneas de las hadas desde la depresión de la sima 04 (arriba) y bordeando la parte superior de la amplia depresión adyacente, donde se abre la boca de la sima 05 (debajo).





**Figura 14.** En el fondo de una amplia depresión embudiforme se abre la boca semioculta de la sima 05.





**Figura 15.** El collado que separa las depresiones de sima 04 y sima 05 (arriba) y depresiones internas en el perímetro NE de la depresión de sima 05, cerrada por un espolón o estribo lateral.

### **Sima El Caidero Norte 06.**

Situación: En una depresión, a 52 m de distancia al SSW de la sima 05 y a 30 m al ENE de la chimenea de las hadas.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.766; E 640.546; Altitud 520 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -40 m; Desarrollo espacial: 142 m. Figuras 16 á 25. Plano en Figura 32.

Descripción: Se trata de una cavidad compleja. En superficie forma una depresión que constituye la cabecera del barranco, separada por un fuerte talud de la cubeta superior y situada al ENE de la chimenea de las hadas más prominente. Su perímetro está en fuerte declive hacia una amplia boca central de sima, enmascarada entre vegetación alta. Un pequeño collado en el lado Sur separa la depresión-sima de la continuación del barranco, en fuerte pendiente. Desde este punto (inicio de la cavidad o depresión cerrada) la sima cae en vertical aérea, de 6 m de diámetro, hasta un piso horizontal en la cota -20 m. Pero desde su lado N convergen hacia la sima dos cañoncitos en rampa acentuada, alcanzando el borde vertical en la cota -5 m.

Descendiendo desde el lado W, tras un tramo en rampa, se cae en vertical 15 m, a lo largo de un tubo, más amplio en su base, de fondo bastante plano. Este fondo, en penumbra, tiene prolongaciones estrechas: una ascendente, bajo el cañoncito N, y otra descendente, a través de un arrastrero inestable con barro húmedo y clastos.

Pero a +4 m sobre el suelo (cota -16) se abre una repisa o galería colgada que se prolonga en sima. Desde la cuerda de descenso hay que describir un péndulo lateral de 4 m para alcanzar la cornisa. Esta forma un agudo filo, ya que cae en vertical del lado opuesto, donde forma un segundo pozo (primero en rampa y luego vertical) de 10 m de desnivel. Se alcanza así la base de una amplia galería, en oscuridad, en la cota -26 m.

Desde el suelo, hacia el lado N, bajo la repisa, se aprecia una estrecha galería-arrastrero ascendente que comunica con la base del primer pozo. Hacia el Sur la galería forma una sala alargada (20 m de largo x 8 m de ancho) con varias hondonadas en el suelo de clastos y barro húmedo (cota -30).

La sala se estrecha y asciende ligeramente para luego descender con un destrepe hasta la cota -35. Este tramo presenta un lateral, que asciende 4 m hacia el E para prolongarse en una claraboya tubular y vertical de +17 m, abierta a superficie. Esta segunda boca de sima se abre en la ladera E del barranco.

Volviendo a la cota -35, la cavidad prosigue en galería subhorizontal, ligeramente descendente y meandriforme, de 4 m de alto x 1,5 m de ancho, con sección en ojo de cerradura. El suelo es de barro húmedo y presenta algunos bloques acuñados entre las paredes, de arcilla con clastos, que hay que sortear por la parte alta. Tras un tramo de 20 m (cota -38) se alcanza una leve ampliación en curva. La galería sigue más estrecha, con meandros, y reduce su altura a 2 m. Tras otros 20 m de recorrido cambia de golpe la morfología, y el estrecho meandro desemboca en una galería laminador de 4-5 m de ancho y 30 cm de altura, en arcilla compacta con huellas de flujo hídrico temporal. Al cabo de 8 m de recorrido el laminador, igualmente amplio, reduce su altura a sólo 22 cm, tornándose impracticable (cota -40 m, punto más bajo de la cavidad).

En el meandro previo y en el laminador se aprecia fuerte corriente de aire, indicador de la existencia de otra boca cercana. Los datos topográficos mostrarán después que sólo unos metros separan el fondo alcanzado en el laminador de la zona de surgencia 01, que presenta también laminadores y pipes menores.

La galería principal de esta sima, entre las cotas -30 y -35, presenta extensos recubrimientos de espeleotemas de yeso y, en varios puntos, pequeñas estalactitas de mica-illita, formadas por fluidificación de las arcillas. También existen costras consolidadas de barro rojizo, teñidas por oxi-hidróxidos de hierro. La cavidad se desarrolla en parte entre rellenos detríticos coluviales y arcillas ocres del nivel estratigráfico 400.

Puede apreciarse que la cavidad constituye un colector del drenaje infiltrado en la cuenca superior. Pero a lo largo de la galería entre las cotas -26 y -40 se observan pipes menores, bajo el suelo o adyacentes a la misma, por lo que tal vez sólo una parte del drenaje subterráneo es canalizado a través de esta sima.

Contando los laterales de los pozos de entrada y la segunda boca o sima-claraboya, el desarrollo espacial de la cavidad asciende a 142 m de galerías, siendo el desnivel total de -40 m.

### **Sima El Caidero Norte 07.**

Situación: En una depresión en el talweg del barranco, a 100 m de distancia al SSE de la chimenea de las hadas.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.678; E 640.594; Altitud 487 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -7 m; Desarrollo espacial: 16 m. Figuras 26 a 28. Plano en Figura 31.

Descripción: Se trata de una sima abierta en el talweg del barranco. Forma una depresión alargada, de 3 m de ancho y -7 m de desnivel. Su base, más amplia, tiene 9 m de largo, con prolongaciones ascendentes y descendentes. Su lado N forma una pequeña cueva con un laminador basal, el cual, por sus características y morfología, debe comunicar con el laminador de la cota -40 de la sima 06, pero el paso es impracticable, dada su escasa altura. En el lado opuesto, Sur, del fondo de la sima hay pequeños pipes que profundizan y prolongan la sima en horizontal, con huellas de flujo hídrico temporal hacia la zona de surgencia 01, situada a 60 m de distancia de este punto y similar cota (480 m snm).

Entre esta sima y las zonas de surgencia 01 y 02 hay a lo largo del talweg del barranco todo un conjunto de pequeñas hondonadas y pipes menores, que profundizan 1-2 m, a tenor de su posición topográfica. Obviamente instalados sobre el trazado inferior de la red hídrica del sistema de drenaje subterráneo.

### **Zona de surgencia 01.**

Situación: En una depresión en el talweg del barranco, a 60 m de distancia al SE de la sima 07.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.639; E 640.648; Altitud 480 m snm.

Dimensiones: 0 m. Figuras 28 y 29.

Descripción: En la base de un recorte del talweg, cerrado por una pequeña pared vertical, se abre un laminador de 2 m de ancho y 10 cm de altura, y una galería arrastradero, también impracticable por estrecha, con huellas evidentes de flujo surgente, el cual prosigue por el fondo del barranco. La cota del laminador (480 m snm) es igual a la del fondo de la sima 07.

### **Zona de surgencia 02.**

Situación: En el talweg del barranco, a 10 m de distancia al SE de la zona de surgencia 01.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.656.628; E 640.650; Altitud 475 m snm.

Dimensiones: 0 m. Figura 30.

Descripción: En el cauce del barranco, ligeramente más abajo, se aprecian varios pipes menores, surgentes, que se unen al fondo plano del mismo, constituyendo los puntos de surgencia más bajos, en la cota 475 m snm.

En conjunto catalogamos siete simas (que suman 232 m de desarrollo de galerías) y 2 surgencias, existiendo pipes y pequeños conductos adicionales, tanto en la zona inferior de surgencia, como en la zona de la pared superior, colgadas por encima de las simas más altas. El desnivel del sistema de cavidades alcanza 70 m, mientras que el desnivel total del sistema hidrogeológico, desde los puntos de infiltración más altos en las paredes supera los 100 m. La extensión mayor en planta del conjunto es de 250 m.

## **CONCLUSIONES**

El sistema descrito muestra que sobre los materiales arcillosos del talud de la meseta se produce infiltración y se organizan sistemas de drenaje subterráneo, con cavidades de cierta extensión, equiparables a las que se presentan en otras litologías. En este caso parte de las galerías se desarrolla en un coluvión de ladera, y entre éste y las unidades arcillosas y lutíticas de la Formación Tudela. El terreno es progresivamente más compacto en profundidad, lo que ha permitido formar la galería colectora de la sima 06. No obstante, al aproximarse el drenaje a la superficie en la zona de surgencia los conductos vuelven a atravesar materiales menos consolidados, tendiendo al aplastamiento de los conductos en laminadores y pipes menores, con desarrollos dendríticos y tortuosos. ¿En que medida puede denominarse karst en arcilla a los fenómenos y procesos involucrados?

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, al exportar los materiales disgregados. Pero la débil coherencia de los materiales produce con frecuencia colapsos, que obstruyen los conductos y generan desarrollos tortuosos.

Las simas halladas en la base de las paredes son más propensas a la obstrucción debido a la continua caída de materiales desprendidos de las paredes superiores y a flujos temporales de escorrentía en la superficie de las mismas y/o a través de pipes verticales, como se observa en las paredes. Los escurrimientos tras las lluvias forman rellenos de barro con numerosos clastos incluidos entre los materiales arcillosos.

Aunque el mecanismo de piping es el proceso fundamental que actúa en la formación de cavidades, también existe cierto grado de disolución de los materiales parentales, como lo prueba la formación de espeleotemas en el interior de las cavidades. A su vez, gran parte del crecimiento volumétrico de las cavidades es debido a la remoción de materiales por la erosión normal, que en esta región de clima semidesértico actúa de manera temporal, quedando las redes hídricas en seco la mayor parte del año.

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, por subsidencia y aplastamiento de los materiales. No obstante, pueden formarse simas y cuevas de cierto desarrollo y desnivel aprovechando el gradiente hidráulico en los flancos del barranco inferior. El trabajo aporta nuevos ejemplos de procesos de karstificación en arcillas de edad Mioceno, así como detalles de interés científico sobre la geomorfología y dinámica de la región de las Bardenas.





**Figura 16.** Un collado separa la cuenca o cubeta superior, donde se encuentran las simas 01 á 05, de la cabecera del barranco que prosigue en superficie, donde se encuentran las simas 06 y 07. La sima 06 se localiza en la cabecera, oculta entre vegetación densa, donde convergen dos cañoncitos (flechas rojas).





**Figura 17.** Sima El Caidero Norte 06. Vista en picado de la vertical de acceso, con fondo en la cota -20 (arriba) y vista desde la cuerda de descenso del segundo pozo, hacia la cornisa y superficie (debajo).



**Figura 18.** Sima El Caidero Norte 06. Vista de la segunda vertical, desde la cornisa (arriba) y desde la sala inferior (cota -26 m, debajo), con un espeleólogo sobre la cuerda.





**Figura 19.** Galería inferior de la sima 06, con espeleotemas blancas de yeso y estalactitas ocre de mica-illita.





**Figura 20.** Detalles de recubrimientos extensos de espeleotemas de yeso en la galería principal de sima 06.





**Figura 21.** Galería principal de la sima 06 entre las cotas -35 y -38. Nótese los suelos teñidos por oxi-hidróxidos de hierro (rojizos) y la ocurrencia de clastos incluidos en la matriz de arcillas ocreas.





**Figura 22.** Varios tramos de la galería-meandro en la cota -38 m de sima 06. Nótese los clastos incluidos en la matriz arcillosa y suelos con zonas algo más húmedas que las paredes.





**Figura 23.** La galería colectora de sima 06 finaliza en un laminador en la cota -40 m, pero nótese la ocurrencia de hundimientos en el suelo y pipes inferiores a lo largo de su recorrido. Así como espeleotemas de yeso.





**Figura 24.** Vista vertical hacia superficie de la sima-claraboya de +17 m (segunda boca de sima 06, arriba).  
Y vista desde la cornisa de la sima de acceso hacia la cota -26 (debajo). El flash refleja motas de polvo  
desprendidas durante el ascenso.





**Figura 25.** En el perímetro superior de sima 06 convergen dos cañoncitos hacia la sima de acceso enmascarada entre la vegetación (C1 y C2). Bajo el cañón C2 se desarrolla una galería ascendente (arriba). La amplia hondonada con vegetación densa oculta la boca de acceso (debajo). Al fondo la pared de El Caidero.





**Figura 26.** Hay que contornear la ladera bajo la chimenea de las hadas (arriba) para seguir el barranco, en abrupto declive, hasta un escarpe donde se abre sima 07 (flechas rojas, debajo).





**Figura 27.** Sima El Caidero Norte 07, descendiendo a su interior. En su fondo, cota -7 m, se abren laminadores sobre el trayecto de las circulaciones subterráneas, procedentes del fondo de sima 06.





**Figura 28.** Vistas desde el SE hacia la cabecera del barranco, chimenea de las hadas y paredes de El Caidero. En la imagen superior se aprecia el cortado de sima 07 y en la inferior el cortado de la zona de surgencia 01 (flechas negras), sobre el talweg del barranco.





**Figura 29.** Zona de surgencia 01 (en la cota 480 m snm) con detalles de laminadores y conductos de débil diámetro en el cauce del barranco, que tiende a la horizontalidad.

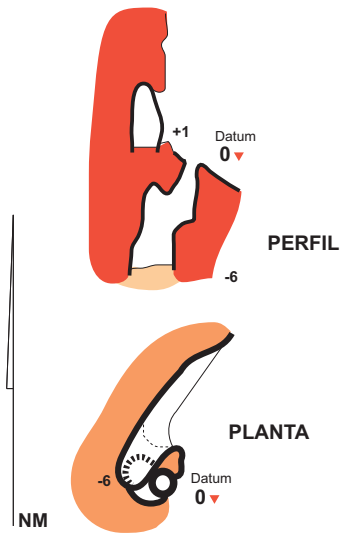




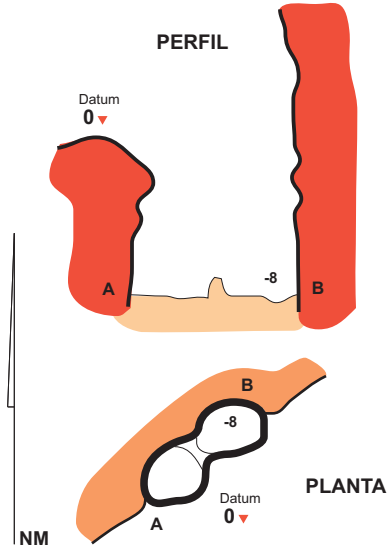
**Figura 30.** Zona de surgencia 02 (entre las cotas 480 y 475 m snm). En este tramo existen pipes y laminadores menores sobre el cauce y flancos del barranco. El desnivel del sistema entre las simas superiores y la zona de surgencia es de -70 m y su extensión en planta de 250 m.



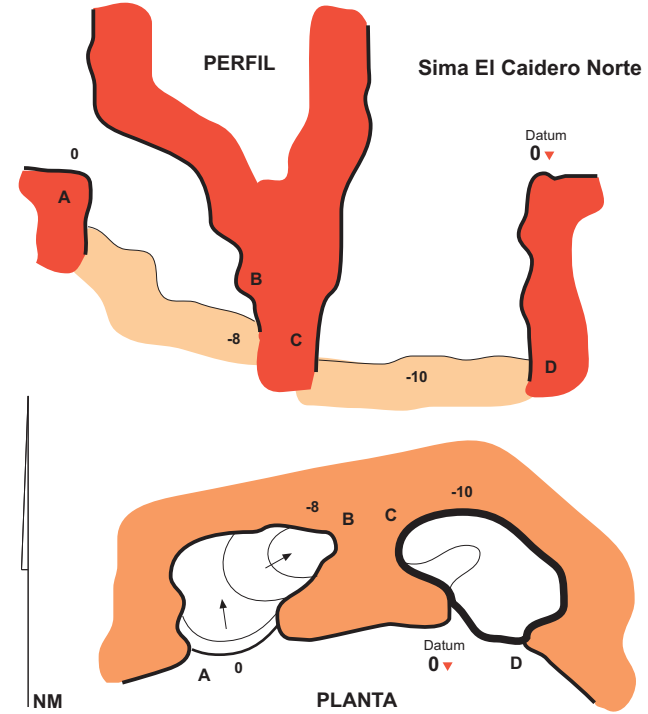
Sima El Caidero Norte 01



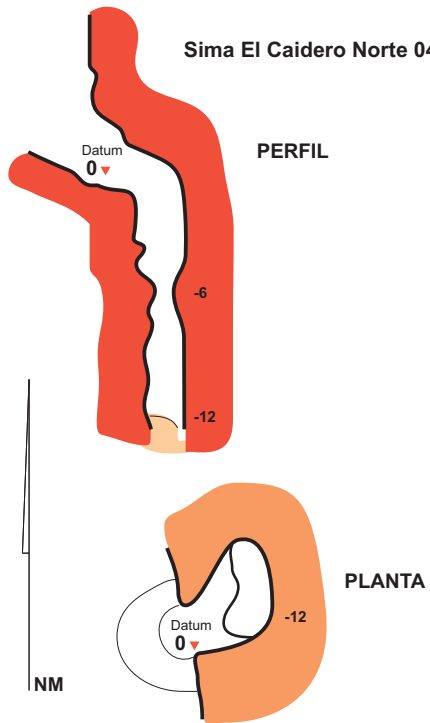
Sima El Caidero Norte 02



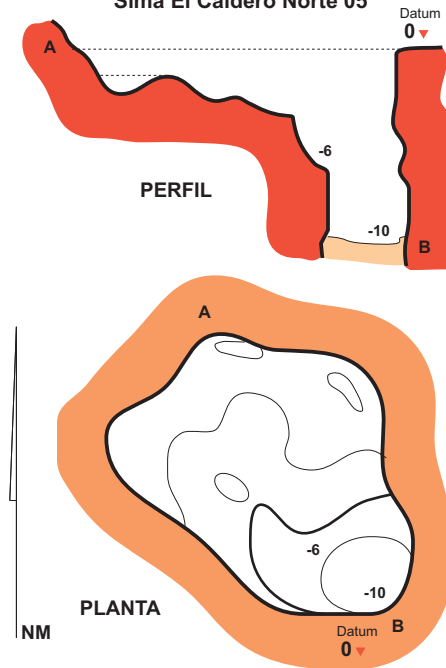
Sima El Caidero Norte 03



Sima El Caidero Norte 04



Sima El Caidero Norte 05



Sima El Caidero Norte 07

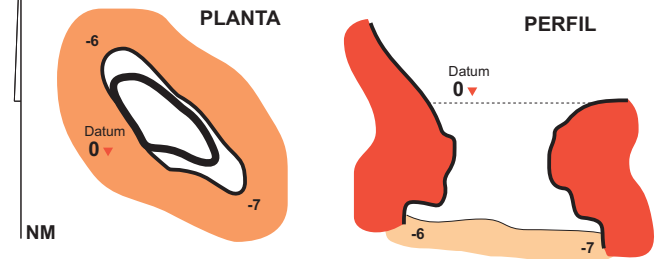


Figura 31.  
Simas El Caidero Norte 01-05 y 07.



Datos de Coordenadas UTM y dimensiones el el texto.  
Topografía: C. Galán, I. Herraz & M. Nieto. SCA. 2018.  
Dibujo: C. Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C. Aranzadi.

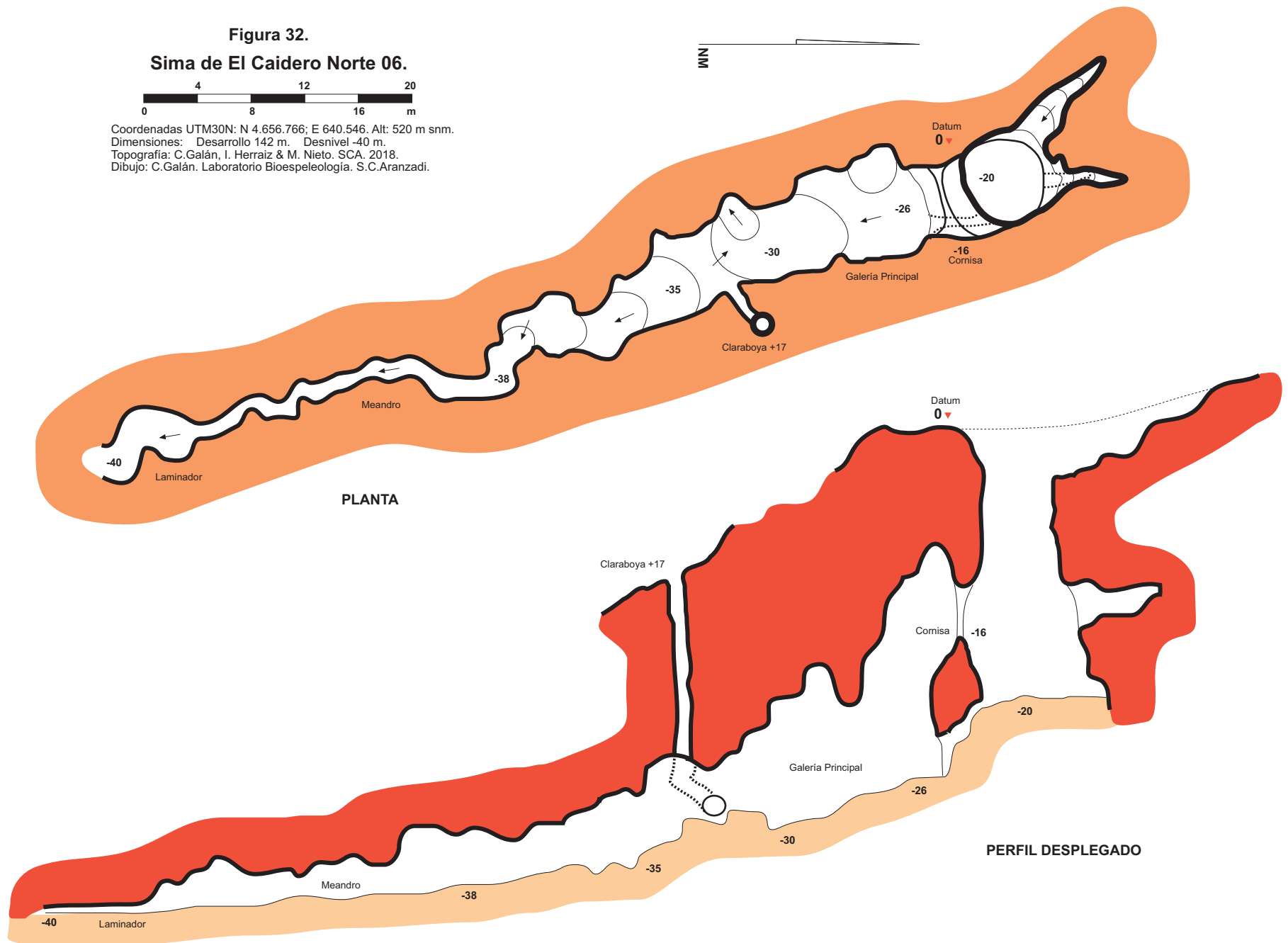
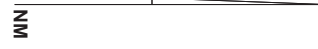


Figura 32.

Sima de El Caidero Norte 06.



Coordenadas UTM30N: N 4.656.766; E 640.546. Alt: 520 m snm.  
Dimensiones: Desarrollo 142 m. Desnivel -40 m.  
Topografía: C.Galán, I. Herraiz & M. Nieto. SCA. 2018.  
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.





## AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en prospecciones anteriores efectuadas en la región de las Bardenas y especialmente a Juliane Fortsner, quien participó en las primeras prospecciones del sector de El Caidero. A dos árbitros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Dunne, T. 1990. Hydrology, mechanics and geomorphological implications of erosion by subsurface flow. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252.
- Faci Paricio, E.; 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. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; 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.; M. Nieto & J. Forstner. 2017 a. 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.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz; D. Arrieta & J. Forstner. 2017 b. Cuevas en arcilla en el cañón de Las Bodegas (Bardena Blanca). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 54 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2018. Notas sobre técnicas de exploración de cuevas en arcilla en la región semidesértica de las Bardenas. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 37 pp.
- Halliday, W.R. 2004. Piping caves and Badlands pseudokarst. In: Gunn, J. Ed. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis Books, London: 1260-1268.
- 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.