

SIMA EN YESO CON NIVELES DOLOMÍTICOS DE EDAD OLIGOCENO EN EL BARRANCO SALADO (MENDAVIA, NAVARRA).

Abyss in gypsum with dolomitic levels of Oligocene age in the Salado Canyon (Mendavia, Navarra).



Carlos GALÁN, Marian NIETO, Iñigo HERRAIZ & Ainhoa MINER.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

SIMA EN YESO CON NIVELES DOLOMÍTICOS DE EDAD OLIGOCENO EN EL BARRANCO SALADO (MENDAVIA, NAVARRA).

Abys in gypsum with dolomitic levels of Oligocene age in the Salado Canyon (Mendavia, Navarra).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Iñigo HERRAIZ & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Octubre 2019.

RESUMEN

El trabajo describe la exploración y estudio de una sima localizada en el tramo superior de un barranco en la cabecera del arroyo Salado (Mendavia, zona Sur de Navarra). La cavidad se desarrolla en una unidad de yesos con intercalaciones de margas dolomíticas y dolomías carniólicas, recubiertos lateralmente por otra unidad de arcillas rojas y yesos, de edad Arverniense - Ageniense (Oligoceno). La cavidad atraviesa el núcleo del Anticlinal de Imaz y se ha formado por karstificación de los yesos, aprovechando diferencias de cota en el talweg del barranco. La sima alcanza -12 m de desnivel y 52 m de desarrollo. El trabajo describe la cavidad y su entorno geomorfológico, hidrológico y topográfico, ilustrando con fotografías sus principales rasgos.

Palabras clave: Karst en yeso, Espeleología Física, Geomorfología, Hidrogeología, Topografía, Espeleogénesis.

ABSTRACT

The work describes the exploration and study of an abyss located in the upper section of a ravine in the headwaters of the Salado stream (Mendavia, southern area of Navarra). The cavity is developed in a gypsum unit with intercalations of dolomitic marls and carniolic dolomites, laterally coated by another unit of red clays and gypsum, of Arverniense - Ageniense age (Oligocene). The cavity crosses the nucleus of the Anticlinal de Imaz and has been formed by karstification of the gypsum, taking advantage of elevation differences in the talweg of the ravine. The abyss reaches -12 m depth and 52 m of development. The work describes the cavity and its geomorphological, hydrological and topographic environment, illustrating with photographs its main features.

Keywords: Karst in gypsum, Physical Speleology, Geomorphology, Hydrogeology, Topography, Speleogenesis.

INTRODUCCION

En la zona Sur de Navarra existen distintos afloramientos de yesos y sales susceptibles de haber experimentado procesos de karstificación y espeleogénesis, con el consiguiente desarrollo de simas y cuevas. Las características de los depósitos evaporíticos de la Formación Falces (de edad Oligoceno) incluyen numerosos conjuntos yesíferos con intercalaciones de lutitas y margas salinas sobre una potencia estimada de más de 1.000 m de evaporitas.

En el núcleo del Anticlinal de Imaz, que se desarrolla al E de la localidad de Mendavia, se reconoce un afloramiento de yesos bastante masivos, de 50 m de potencia, recubiertos lateralmente por niveles de arcillas rojas, ricas en sales (anhidrita, halita). La presencia de sal en el subsuelo, a pocos metros de la superficie, es evidente debido a la salinización natural de las aguas del arroyo que forma el Barranco Salado, el cual atraviesa y disecta las capas yesíferas del anticlinal.

Estos materiales ocupan la base de la subcuenca endorreica Terciaria Navarro-Riojana del Ebro, que se rellenó de sedimentos continentales durante el Oligoceno y Mioceno, para pasar a ser exorreica en el Mioceno final. Las arcillas de la Formación Tudela (de edad Mioceno) fueron los últimos sedimentos en depositarse en la subcuenca y afloran extensamente en las Bardenas, donde existen numerosas cuevas en arcilla formadas por procesos de piping (Galán, 2017). En la zona N de las Bardenas, cerca de la localidad de Caparrosa, exploramos previamente una interesante sima en yesos de la Formación Falces (Galán, 2018). Por lo que pensamos que podrían desarrollarse otras cuevas en yesos en afloramientos semejantes. Llamó nuestra atención al respecto el Barranco Salado, próximo a Mendavia, donde diversas referencias sugerían la ocurrencia de cavidades inexploradas en yeso y/o arcillas rojas, por lo que prospectamos este árido sector, con los resultados que presentamos a continuación.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección y exploración de cavidades se utilizaron frontales con iluminación de Leds y técnica de cuerda estática y jumars para verticales. Se efectuaron levantamientos topográficos con instrumental de precisión Suunto. Se tomaron fotos a color con una cámara digital Panasonic, a fin de ilustrar los rasgos de las cavidades y la geomorfología de su entorno. Algunas muestras geológicas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon.

RESULTADOS

Las prospecciones efectuadas se extendieron a lo largo del Barranco Salado -aguas arriba- hasta su zona de cabecera de cuenca, donde el análisis previo de la cartografía y fotografía aérea sugerían la existencia de varios sectores de interés. En un barranco afluente en zona de cabecera (Barranco de los Juncos) localizamos una sima en yesos. En los cerros y barrancos circundantes encontramos así mismo varias depresiones, pequeñas cavidades de piping, cárcavas, abrigos, y algunas surgencias.

Los afloramientos estudiados comprenden la unidad litológica 312 (Yesos de Falces) y la unidad 316 (de yesos y arcillas rojas), de edad Arvernense - Ageniense inferior (Oligoceno, Terciario continental), detalladamente descritos por Faci Paricio et al (2000), López Olmedo et al (2010) y SITNA Navarra, que resumimos a continuación.

En superficie la Formación Falces constituye un conjunto yesífero deformado con intercalaciones lutíticas subordinadas. Los yesos aparecen en litofacies laminado-nodulares, presentan un aspecto alabastrino, con frecuentes brechificaciones que dan lugar a texturas poiquiloblásticas, y exhiben frecuentes pliegues enterolíticos y fluidales. De modo característico poseen niveles dolomíticos laminados y carniolares en el seno de los intervalos yesíferos. Los términos lutíticos adquieren mayor desarrollo hacia el techo de la unidad. Muestran coloraciones grisáceas a rojizas y su espectro litológico varía de arcillas a margas dolomíticas, registrando en todos los casos, contenidos elevados en yesos. La potencia de la formación se cifra en unos 1000 m como promedio, si bien se pueden alcanzar espesores mayores por migración halocinética hacia núcleos anticlinales (Faci Paricio et al, 2000).

En el subsuelo la formación está representada por anhidrita y halita con intercalaciones lutíticas. Las anhidritas, por lo general, alternan rítmicamente con niveles de sal y, en menor medida, con arcillas y margas, e incluyen delgados horizontes de dolomías laminadas. Por otra parte Salvany (1989) constató la presencia de capas de glauberita entre los términos anhidríticos y halíticos.

En el núcleo del Anticlinal de Imaz, se reconoce un afloramiento de yesos bastante masivos que han sido asimilados, por su posición estratigráfica, a la Formación Falces. En este afloramiento, donde se localiza la Sima del Barranco Salado, descrita en este trabajo, la potencia observable de la formación es de unos 50 m. Litológicamente corresponde a un conjunto muy deformado de yesos, con escasas intercalaciones de margas dolomíticas grises y dolomías carniólicas. Los yesos, muy recristalizados, muestran un aspecto sacaroideo, con un marcado predominio de la litofacies laminada frente a la nodular y está generalizado el desarrollo de pliegues fluidales. La presencia de sal en el subsuelo, a pocos metros de la superficie, es evidente debido a la salinización natural de las aguas del arroyo que disecta el afloramiento de yesos (Barranco Salado).

Las características de las evaporitas de la Formación Falces indican que su depósito se efectuó en condiciones esencialmente subacuáticas por concentración de salmueras sulfatado-cloruradas en una zona interna de un sistema lacustre salino estable.

La unidad de yesos y arcillas rojas (316) se reconoce exclusivamente en el afloramiento del Barranco Salado, en el núcleo del Anticlinal de Imaz, donde supera los 30 m de potencia. Litológicamente constituye una alternancia cíclica, de frecuencia métrica, entre arcillas rojas y yesos. Los intervalos arcillosos son de carácter homogéneo e incluyen algunos nódulos de yeso diseminados. En los tramos de yesos predomina la litofacies nodular, especialmente a muro de los niveles, registrándose un progresivo incremento hacia techo de los términos laminados (Faci Paricio et al, 2000). La unidad se considera como un tramo de tránsito entre la Formación Falces y las Arcillas de Mendavia y se enmarca ambientalmente en un contexto de tránsito entre las zonas más distales de sistemas aluviales de procedencia meridional y un área lacustre hipersalina estable. Esta situación dio lugar a llanuras fangosas evaporíticas, a las que se les atribuye una edad Ageniense inferior (Faci Paricio et al, 2000).

En la cartografía de superficie, remontando el arroyo Salado hacia el N, desde la carretera Mendavia - Lodosa, al cabo de 1 km se alcanza una confluencia, con un área plana en la cota 350 m snm. La rama E del barranco presenta una segunda confluencia a 250 m al N (cota 355 m). Las dos ramas de esta Y están separadas por un cerro (cota 378 m) situado 120 m más al N, por cuya cumbre pasa el eje del Anticlinal de Imaz, de orientación N-S. La rama W del barranco que prosigue ascendiendo hacia el N es el arroyo Salado, que a partir de este punto trae poca agua, existiendo en su cauce varios manantiales surgentes de aguas salinas, en cotas de 355 á 358 m de altitud. La rama E es llamada en los mapas Barranco de los Juncos y asciende hacia el NE. La sima encontrada forma una depresión cerrada alargada en la cota 367 m snm, en el talweg de este barranco de los Juncos, a 170 m al NE de la confluencia previa y a 50 m en planta al NE del cerro citado. La sima ocupa una posición al E del eje anticlinal, donde el buzamiento de las capas de yeso es de 25° NE. Este Barranco de los Juncos está prácticamente seco (no lleva agua en estiaje) salvo en su parte inferior, próxima a la confluencia. En su recorrido hay varias depresiones, que constituyen sumideros temporales. La sima es el sumidero principal del tramo superior del barranco y por su boca debe ingresar todo el caudal que circula por el cauce superior, con huellas evidentes de circulación periódica torrencial sobre un suelo de cantos rodados y arcillas Holocenas.

DESCRIPCIÓN DE LA SIMA

Sima del Barranco Salado.

Situación: A 4,7 km al E-ESE de Mendavia y a 1,7 km al NNE de la carretera Mendavia - Lodosa, sobre el talweg del Barranco de los Juncos (rama NE del Barranco Salado).

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.698.410; E 570.784; Altitud 367 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 52 m. Figuras 01 a 25. Plano en Figura 17.

Descripción: La boca de la sima es una depresión cerrada, alargada y sinuosa, cuyo fondo se entalla progresivamente hacia el Sur en un estrecho meandro. Esta depresión-sima tiene mayor amplitud en superficie y un fondo más estrecho y entallado, recorrido por un cauce temporal. Su anchura alcanza 2-4 m en superficie y 0,5 m en el meandro inferior. Su profundidad es de -4 m en su parte media y -6 m en su parte Sur, contorneada por paredes verticales. El fondo de la tortuosa depresión tiene un desarrollo de 28 m (para 20 m de longitud en planta y en línea recta). En su extremo Sur se amplía un poco en un área circular, donde se inicia la zona techada de la galería subterránea (cota -6 m). Colocamos sobre este punto la cota 0 (= Datum UTM de la topografía).

La depresión-sima intercepta y corta el trazado del cauce superior del Barranco de los Juncos, cuyo fondo de valle está ocupado por un relleno de lutitas con cantos rodados y arenas (unidad litoestratigráfica 527), de edad Holoceno, que recubren y enmascaran la roca-caja infrayacente, de yesos y margas de la Formación Falces. En la sima se aprecia que este relleno alcanza 3 m de espesor, estando la parte basal excavada en los yesos. En el meandro se aprecia que los yesos presentan litofacies laminadas y nodulares, con intercalaciones delgadas de margas, y desarrollo de micropliegues fluidales. La sima captura así todo el caudal temporal del extenso barranco superior, cuya superficie de cuenca alcanza 2,8 km². Los suelos del meandro y de la galería subterránea que lo prosigue presentan grandes cantos rodados, gravas, y materiales arcillosos finos, en estado húmedo, lo que indica la circulación periódica de agua.

La zona techada de la cavidad se inicia con una amplia sala descendente, con algunos bloques de colapso y rellenos arcillosos. En su parte baja (cota -9 m), la sala da paso a una galería descendente de menor diámetro. Tras un tramo de techo bajo, la galería dobla en ángulo recto, alcanza 2 m de altura, y prosigue descendiendo con varios escalones y curvas hasta un punto bajo en la cota -12 m, donde la cavidad queda colmatada en un conducto impracticable por estrecho. A un costado hay un corto lateral ascendente, también cegado. En casi toda la extensión de esta galería, que alcanza 24 m de desarrollo, las paredes de yesos y margas, y los suelos de cantos rodados, están recubiertos de finas películas de arcilla húmeda, lo que indica su inundación durante las crecidas.

Así como los cantos rodados sugieren una circulación torrencial de agua, con fuerte capacidad de arrastre, los depósitos de arcilla fina indican que durante las crecidas la cavidad se inunda: los conductos inferiores no pueden absorber todo el caudal y el agua debe ascender de nivel, alcanzando la boca techada, el meandro y el fondo de la depresión externa. No descartamos que incluso, en determinados momentos, pueda rebasar la sima y pasar a circular por superficie.

La cavidad no presenta espeleotemas apreciables y los films de arcilla fina enmascaran en gran parte y dificultan la observación de la roca-caja. La cavidad totaliza un desarrollo espacial de 52 m y un desnivel de -12 m.

HIDROGEOLOGÍA

En la continuación inferior del Barranco de los Juncos, bajo la sima, y hasta la confluencia con la rama W del Barranco Salado, hay varios resaltes o depresiones menores, también secas. La primera de ellas se localiza a 40 m al S de la sima y tiene un escarpe de -4 m de desnivel. Inicialmente pensamos que este podría ser el punto de surgencia de las aguas subterráneas de la sima, pero dadas las diferencias de cota (el fondo del escarpe está situado a +8 m sobre el fondo de la sima) esto no es posible. El fondo de este escarpe está también obstruido por materiales arcillosos, y presenta pequeños conductos (mesocavernas), prácticamente colmatados, que deben actuar normalmente como sumideros. No obstante, diversos indicios sugieren que también podrían actuar como puntos emisivos durante las crecidas.

En cotas inferiores del talweg hay otros escarpes menores, e igualmente se presentan en la rama adyacente del Barranco Salado, constituyendo pequeñas depresiones-sumidero. La surgencia de la sima debe localizarse en la zona de confluencia de ambos barrancos, en la cota 355 m snm. En este sector localizamos una pequeña surgencia en la rama W del Barranco Salado, pero puede haber múltiples puntos de surgencia difusa ocultos bajo el relleno aluvial Holoceno del fondo del valle, que reciben las aguas subterráneas surgentes transmitidas desde los tramos yesíferos y margosos adyacentes.

Se trataría en consecuencia de un acuífero kárstico complejo, en yesos y margas dolomíticas, donde ocurre cierto grado de infiltración dispersa sobre el afloramiento, y una importante infiltración concentrada en la sima-sumidero, la cual captura todo el caudal de la extensa cuenca superior del barranco. La surgencia de las aguas subterráneas se produciría igualmente en forma dispersa a través del aluvial Holoceno del fondo del valle, en torno a la cota 355 m.

El área de alimentación o superficie de la cuenca captada por la sima alcanza una extensión de 2,8 km². El valor medio anual de las precipitaciones es de 418 mm (repartidos en 80 días de lluvia al año) (AEMET, 2012). Gran parte de la lluvia es de carácter intermitente y tormentoso, con una precipitación máxima histórica en 24 horas de 49,2 mm (AEMET, 2012).

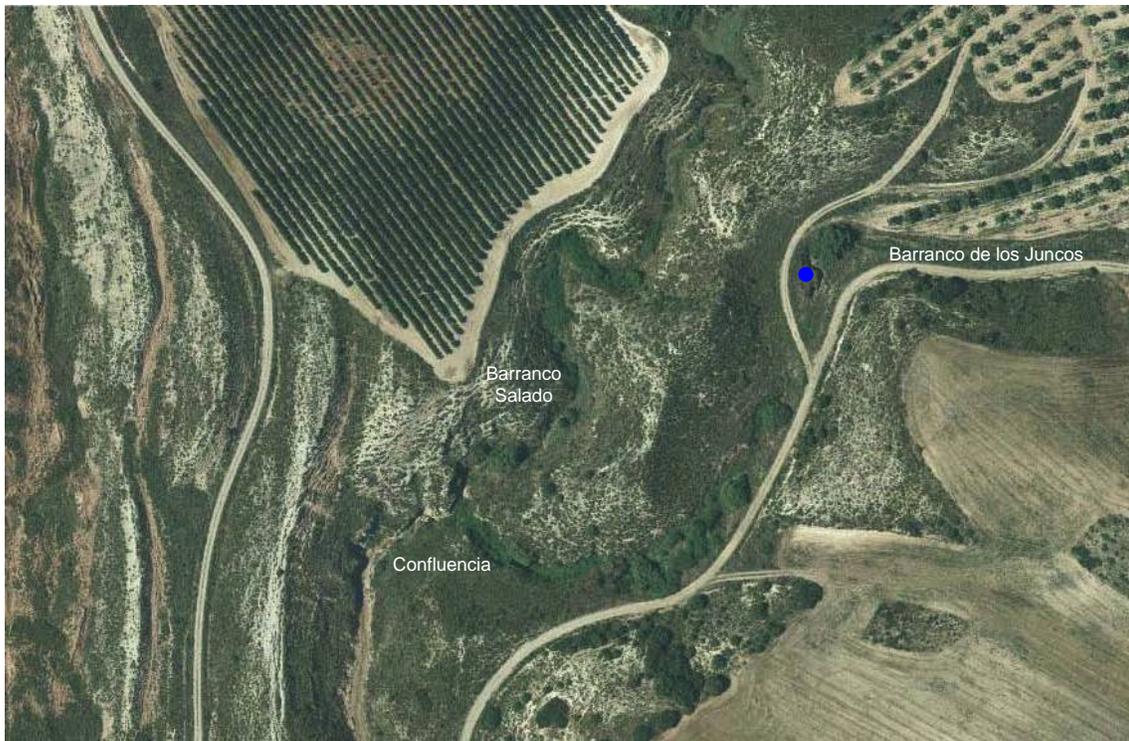
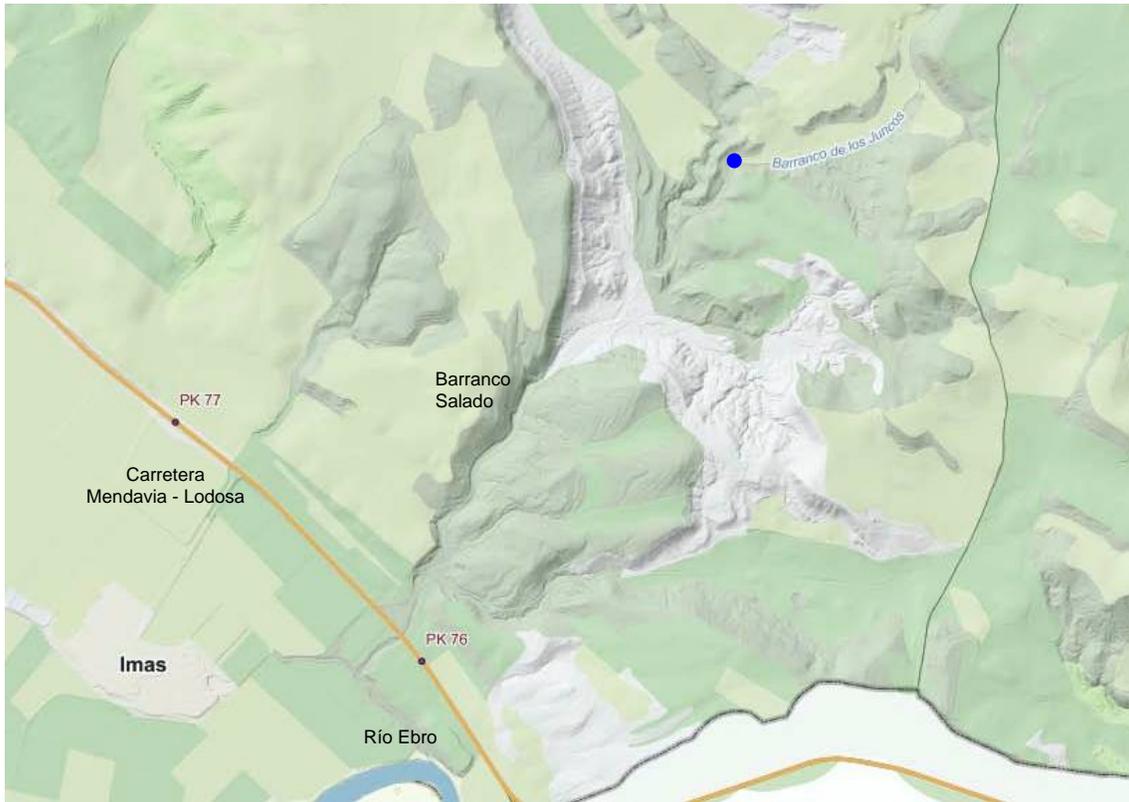


Figura 01. Localización de la Sima del Barranco Salado (punto azul) en mapa de relieve (arriba) y ortofoto (debajo).
Fuente mapas: Cartografía Geológica de Navarra - SITNA.

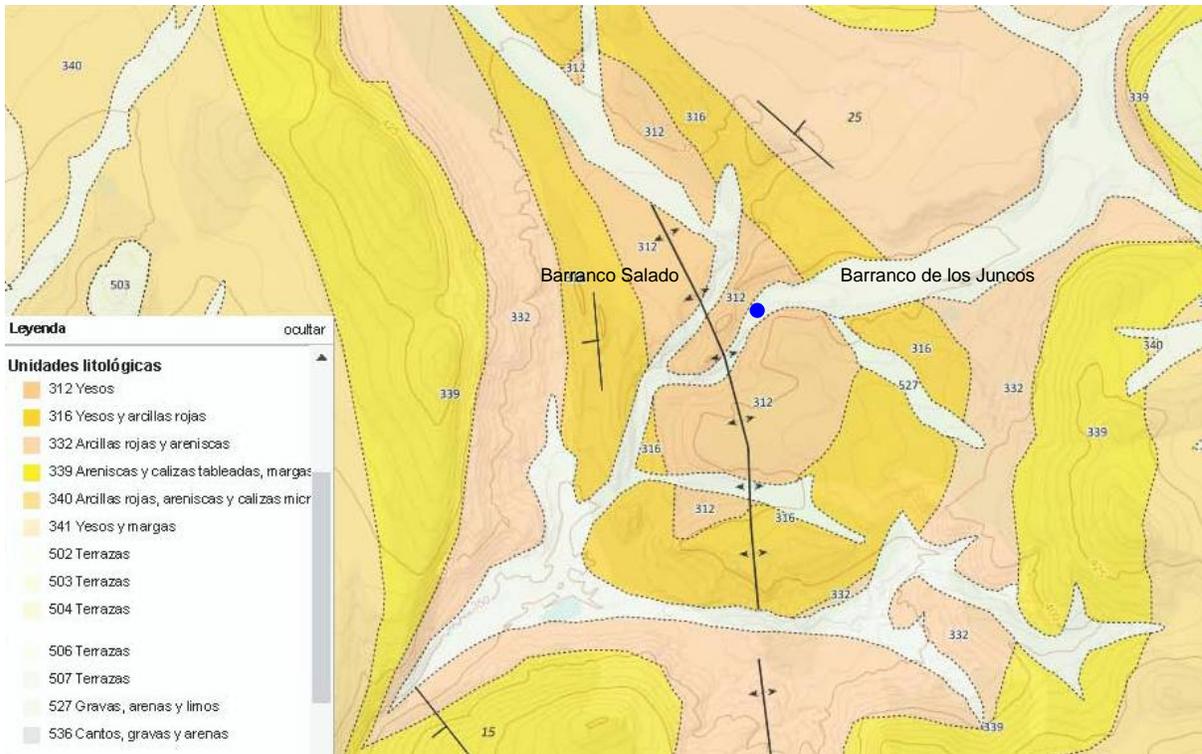


Figura 02. Relieve topográfico del sector y mapa geológico. El punto azul es la Sima del Barranco Salado. En ambos mapas aparece la traza del Anticinal de Imaz y el buzamiento de sus flancos. Los fondos de valle aparecen cubiertos de sedimentos Holocenos (unidad 356, gris claro). Fuente mapas: Cartografía Geológica de Navarra. SITNA.



Figura 03. El Barranco Salado, con eflorescencias de sales sobre arcillas rojas y vegetación halófila en sus orillas.



Figura 04. El Barranco Salado en época de aguas bajas, con el Barranco de los Juncos al fondo (flecha roja).



Figura 05. Primera confluencia y remontando el cerro hacia el Barranco de los Juncos.

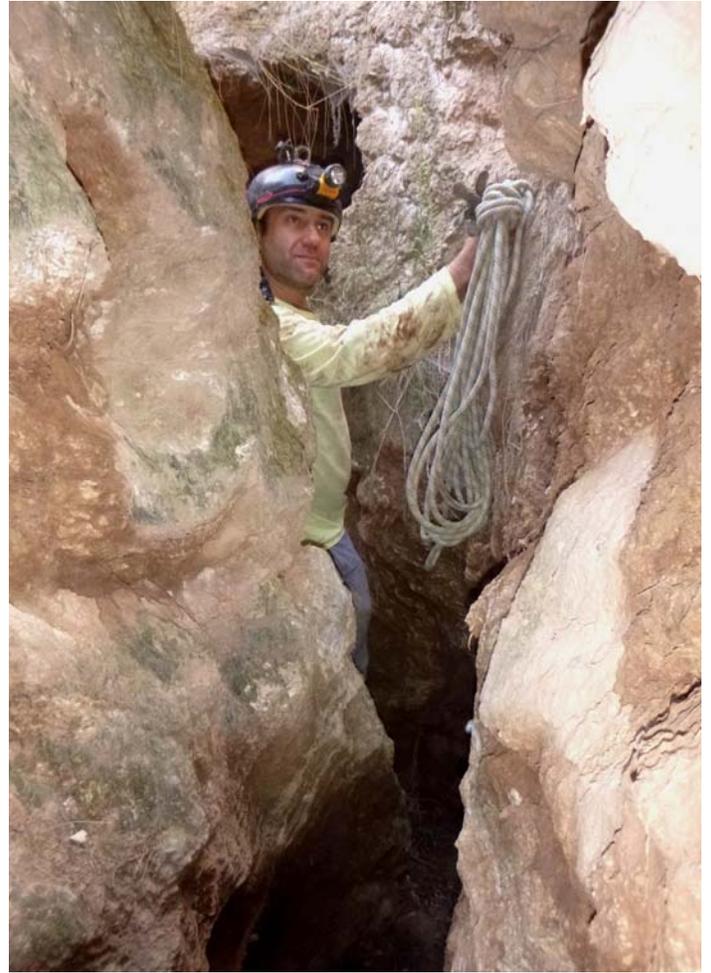


Figura 06. Sima del Barranco Salado: depresión-sima superior y meandro entallado.



Figura 07. Recorriendo el meandro entallado inferior, con pasos estrechos.



Figura 08. La galería en zona oscura de la sima se inicia con una sala descendente. En la imagen inferior, detalles de la morfología de sus paredes, donde se aprecia la roca-caja, de margas dolomíticas y yesos.



Figura 09. Fondo de la primera sala e inicio de la galería inferior, con un tramo de techo bajo.

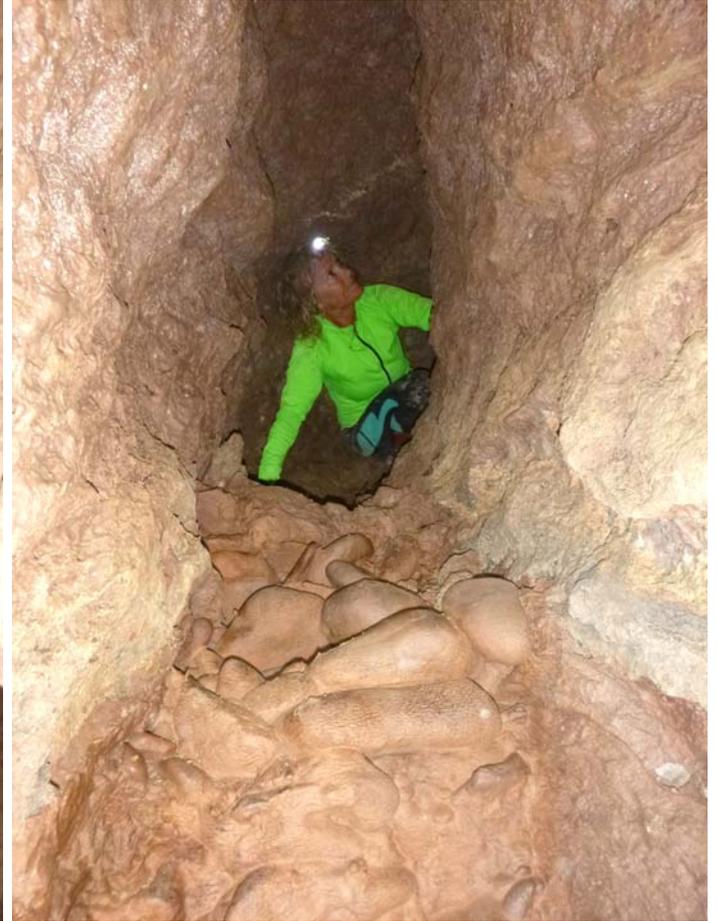
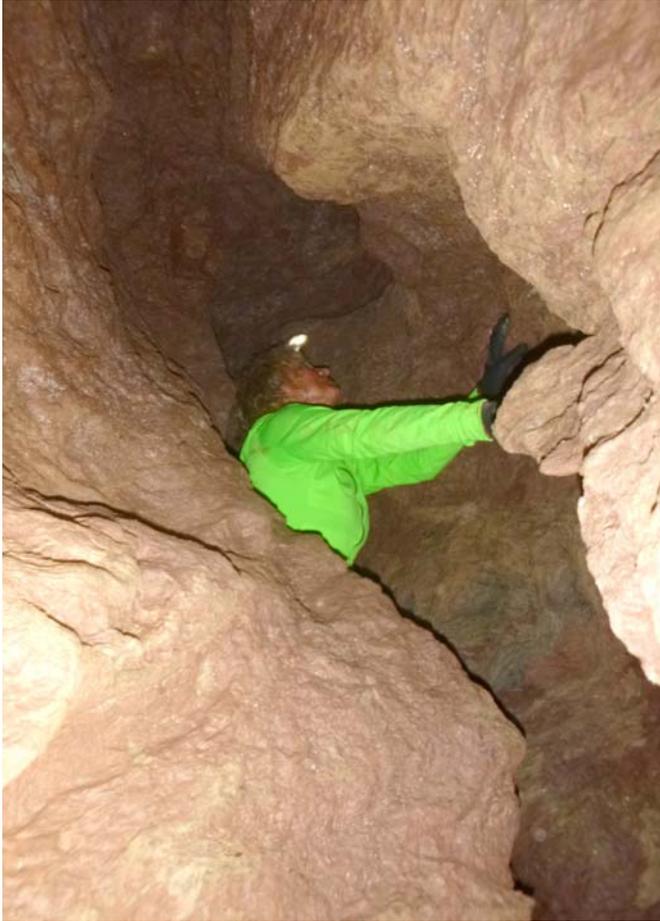


Figura 10. Tras el tramo de techo bajo, la galería toma altura y sigue descendiendo, con suelo de cantos rodados cubiertos de finas películas de arcilla.



Figura 11. El fondo de la cavidad es un estrecho conducto cegado por sedimentos. Imágenes del ascenso desde el fondo hasta la sala y depresión-sima superior.

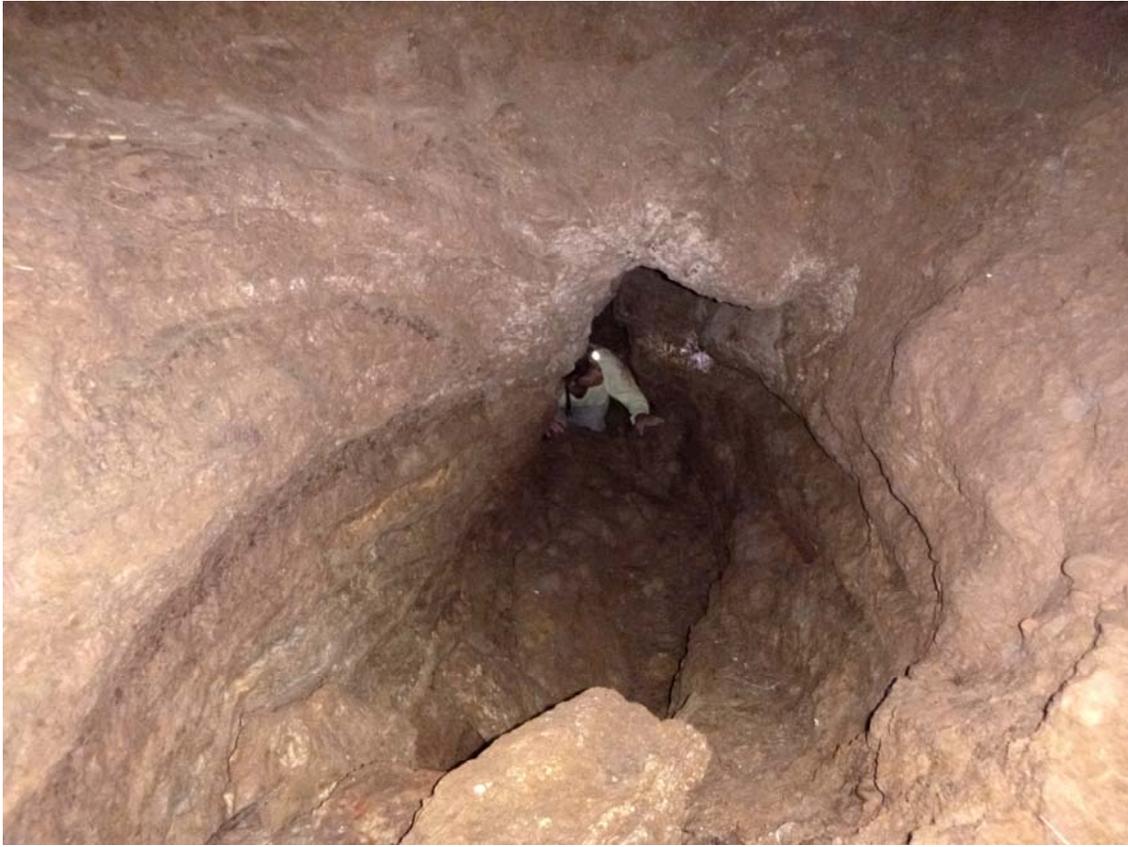


Figura 12. Galería inferior en el fondo de la primera sala, cotas -9 m y -10m.



Figura 13. Meandro entallado en la parte inferior de la depresión-sima. Se aprecia un relleno superior de sedimentos Holocenos sobre las margas de la Formación Falces (Oligoceno) donde se distinguen algunos micropliegues fluidales.



Figura 14. Remontando la depresión-sima de acceso en su parte media, donde el desnivel es menor.



Figura 15. Depresión-sima superior: la línea amarilla indica la cota 0 de la depresión cerrada (arriba). A 40 m al Sur de dicha boca se localiza un escarpe de -4 m que forma una depresión, abierta en su parte baja, la cual constituye la continuación inferior del cauce del Barranco de los Juncos (debajo).



Figura 16. Base del escarpe de la figura 15, de -4 m de desnivel, con paredes de margas y yesos, y fondo con pequeños conductos sumideros, colmatado por materiales arcillosos. En aguas altas podrían funcionar también como conductos emisivos.

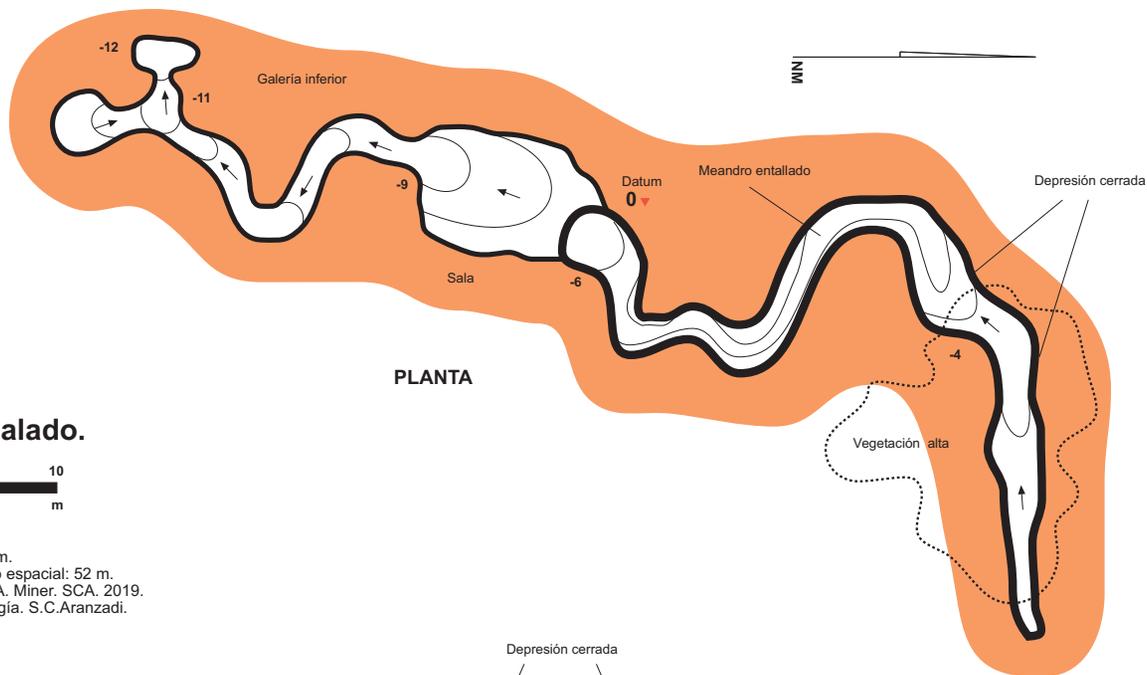


Figura 17. Plano de la sima.

Sima del Barranco Salado.



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.698.410; E 570.784. Altitud: 367 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -12 m. Desarrollo espacial: 52 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto, I.Herraiz & A. Miner. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

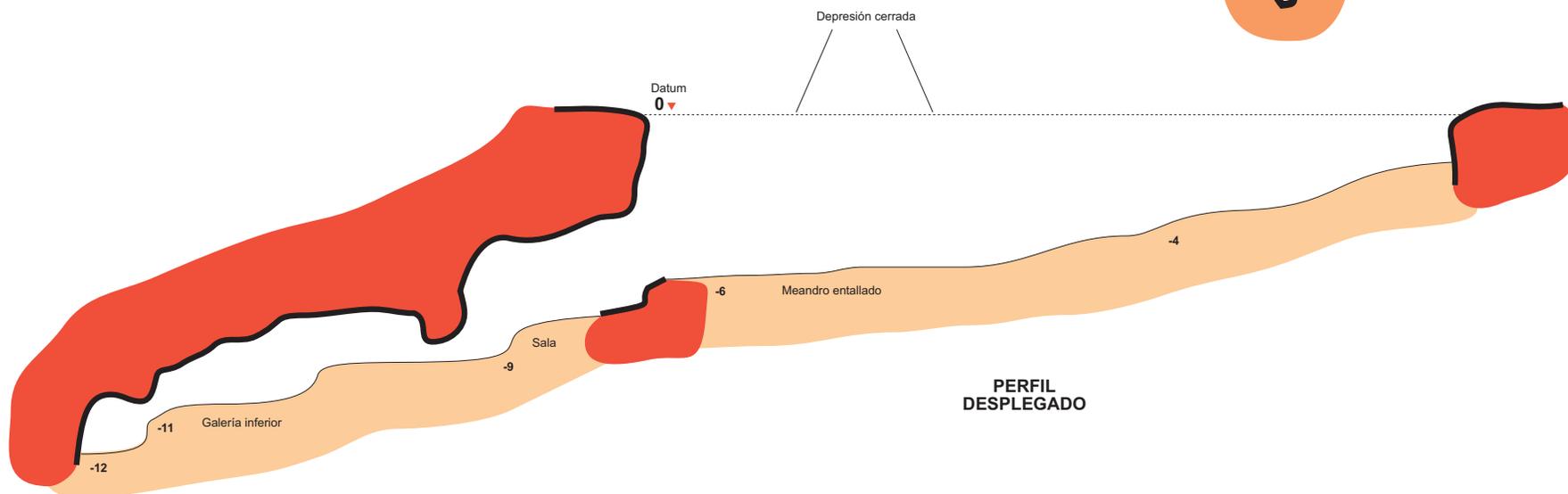




Figura 18. Roquedos con pequeños abrigos en afloramientos de yesos y detalles de los mismos.



Figura 19. Laderas y fondo del Barranco Salado, con vistas hacia la confluencia donde está la zona de surgencia.



Figura 20. Parte baja del cauce del Barranco Salado cerca de la confluencia con el de los Juncos. Detalles de los afloramientos de yesos y de arcillas rojas al fondo.



Figura 21. Prospecciones descendiendo del tramo seco superior del Barranco Salado, hacia la confluencia.



Figura 22. Cauce del Barranco Salado en zona de arcillas rojas y yesos, donde existe una pequeña surgencia y transmisión de aguas subterráneas a través del aluvial del fondo de valle.



Figura 23. Zona de la confluencia con el Barranco de los Juncos, con numerosos ejemplares de hirudineos nadando en las aguas y zonas con masas de algas verdes y vegetación halófila en las orillas.



Figura 24. Curso bajo del arroyo del Barranco Salado, con vegetación halófila sobre sedimentos rojos en el cauce.



Figura 25. El curso bajo del Barranco Salado se desarrolla sobre arcillas yesíferas rojas (Arcillas de Mendavia), con eflorescencias salinas sobre el cauce.

En ambos barrancos y en las laderas de los cerros que los limitan encontramos roquedos de yeso, con pequeños abrigos, y zonas con margas blancas y grises con pequeños conductos de piping. Descontando la evapotranspiración real (ETR), hemos estimado para la cuenca captada por la sima una infiltración eficaz de 2,57 l/s.km², con un caudal medio anual de 7,2 l/s. Lo que da lugar a un pequeño acuífero kárstico, con surgencia en el talweg del barranco inferior, que actúa como nivel de base local.

Obviamente, gran parte de los ingresos de agua a la sima ocurren en régimen torrencial, intermitente, repartidos en unos pocos días al año de ingresos concentrados (eventos de crecida tras las lluvias), quedando la mayor parte del año con una escasa a nula actividad hídrica.

El curso bajo del Barranco Salado se desarrolla sobre arcillas yesíferas rojas (Arcillas de Mendavia, unidad litológica 332), coronadas en la parte alta de los flancos (y en el área meridional del barranco) por otra unidad de areniscas, calizas tableadas, margas y yesos (unidad 339), ambas de edad Ageniense (Oligoceno tardío). En este tramo hay también paredes y roquedos de yeso con diversos ejemplos de abrigos y cárcavas.

Aunque lo más significativo del curso bajo del Barranco Salado son sus cauces rojizos, con eflorescencias de sales blancas, y sus aguas salinas transparentes, con masas de algas flotantes verdes, y diversas especies de vegetación halófila de tonalidades rojizas y violeta en sus orillas. Llamó también nuestra atención la ocurrencia en las aguas de numerosos ejemplares de sanguijuelas acuáticas coloridas *Hirudo medicinalis* (L.) (Hirudíneos Arrhyncobdellida: Hirudinidae), de pequeña talla (2-3 cm), nadando activa y elegantemente entre las aguas cristalinas del arroyo, de alto contenido salino.

CONCLUSIONES

El Barranco Salado presenta un conjunto de rasgos fisiográficos y ecológicos estéticamente llamativos. Destaca la ocurrencia de sal en el subsuelo y la existencia de procesos de karstificación en los yesos.

El trabajo progresivo de disolución de los yesos con niveles dolomíticos en la parte media del barranco (cortado por la traza del eje del Anticlinal de Imaz) ha generado un proceso de captura de todo el caudal de la cuenca superior del Barranco de los Juncos, a través de la sima descrita en este trabajo, que actúa como sumidero concentrado de las aguas epígeas.

No obstante, las intercalaciones de lutitas y margas, de menor permeabilidad, dificultan la infiltración y la espeleogénesis. Las colmataciones en el endokarst tornan tortuosa la circulación de las aguas subterráneas y restringen el desarrollo de cavidades mayores.

La Sima del Barranco Salado presenta un conjunto de rasgos geomorfológicos e hidrológicos singulares y de interés científico para comprender la variable ocurrencia de procesos de karstificación en los materiales yesíferos de la Formación Falces, que juzgamos pertinente describir y darlos a conocer a través de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET. 2012. Ficha climática de la estación meteorológica de Lodosa, período 1945-2012. Meteo Navarra.
- Faci Paricio, E.; F. López Olmedo; J. Solé; A. Díaz; A. García, P. Hernaiz; A. Martínez & J. Salvany. 2000. Memoria de la Hoja 205-I. Lodosa. Mapa Geológico de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 97 pp.
- Galán, C. 2015. Sistemas de cuevas en arcilla de 880 m de desarrollo explorado (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 55 pp.
- Galán, C. 2018. Hallazgo de una interesante cavidad en la Formación Yesos de Falces (Caparroso, Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- López Olmedo, F; J. Solé; E.; Faci Paricio & M.J. Larrañaga. 2010. Mapa Geológico de Navarra, escala 1:25.000. Hoja 205-I. Lodosa. Gobierno de Navarra.
- Salvany, J. 1989. Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 397 pp.