

SIMAS EN YESO Y FRACTURAS DE BORDE EN LOS ACANTILADOS DE FALCES (SUR DE NAVARRA).

Gypsum abysses and edge cracks in the Falces cliffs (South Navarra).



**Carlos GALÁN, Marian NIETO,
Juliane FORSTNER & José M. RIVAS.**
Laboratorio de Bioespeleología.
Sociedad de Ciencias Aranzadi.

SIMAS EN YESO Y FRACTURAS DE BORDE EN LOS ACANTILADOS DE FALCES (SUR DE NAVARRA).

Gypsum abysses and edge cracks in the Falces cliffs (South Navarra).

Carlos GALÁN, Marian NIETO, Juliane FORSTNER & José M. RIVAS.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Diciembre 2019.

RESUMEN

El trabajo describe la exploración y estudio de un conjunto de simas y fracturas localizadas en los bordes acantilados de un relieve tabular de yesos, situado al Sur de Falces (Navarra). Las cavidades se desarrollan en una unidad de evaporitas que ocupa el núcleo del Anticlinal de Falces, compuesto por yesos y lutitas de edad Arvernense superior - Ageniense inferior (Oligoceno), con alto contenido en sales. El afloramiento está muy deformado por pliegues cabalgantes subparalelos al eje anticlinal.

Los acantilados sobre el río Arga tienen paredes de 50 m de desnivel y taludes que descienden otro tanto hasta el río. Los colapsos y deslizamientos gravitacionales han dado lugar a largas fracturas de borde, algunas abiertas a las paredes externas, pero otras constituyendo depresiones cerradas, con simas internas. El terreno es muy inestable mecánicamente, por lo que sólo se exploraron los tramos más estables. Además, hay simas de menores diámetros, con galerías subterráneas que profundizan en la serie yesífera, obstruidas por colapsos y rellenos detríticos. El trabajo describe el sector y doce cavidades, ilustrando con fotografía digital sus rasgos más destacables.

Palabras clave: Karst en yeso, Espeleología Física, Geomorfología, Hidrogeología, Espeleotemas, Biología subterránea.

ABSTRACT

The work describes the exploration and study of a set of abysses and fractures located on the cliff edges of a tabular gypsum relief, located South of Falces (Navarra). The cavities are developed in an evaporite unit that occupies the core of the Falces Anticline and is made up of gypsum and shales of the upper Arvernian - Ageniense (Oligocene) age, with a high salt content.

The outcrop is very deformed by gentle folds subparallel to the anticline axis. The cliffs above the Arga river have walls of 50 m of unevenness and slopes that descend the same to the river. Collapse and gravitational landslides have resulted in long edge fractures, some open to the outer walls, but others constituting closed depressions, with internal chasms. The terrain is very unstable mechanically, so only the most stable sections were explored. In addition, there are abysses of smaller diameters, with underground galleries that deepen the gypsum series, blocked by collapses and detritic fillings. The work describes the sector and twelve cavities, illustrating with digital photography its most outstanding features.

Keywords: Karst in gypsum, Physical Speleology, Geomorphology, Hydrogeology, Speleothems, Subterranean Biology.

INTRODUCCION

En la zona Sur de Navarra existen afloramientos de evaporitas (yesos y sales) que experimentaron procesos de karstificación y espeleogénesis, con el consiguiente desarrollo de simas y cuevas. Previamente habíamos explorado algunos afloramientos de yesos y margas salinas en relieves próximos a las localidades de Caparrosa, Mendavia, Cárcar y Lerín, en los cuales encontramos interesantes sistemas de simas y cuevas (Galán, 2018, Galán et al, 2019 a, b, c).

En esta ocasión nuestras prospecciones se dirigieron a la localidad de Falces, a orillas del río Arga, donde el Anticlinal de Falces presenta un núcleo muy deformado, por migración halocinética de sales, y donde aflora un extenso y potente conjunto yesífero de edad Oligoceno (Terciario). El relieve estructural es cortado oblicuamente por el río y el afloramiento presenta escarpes con desniveles de 100 m hasta el río. Sobre el borde de los acantilados se han generado extensas fracturas mecánicas, paralelas al borde, acompañadas de procesos de deslizamiento gravitacional, subsidencia y colapsos. Algunas de estas fracturas constituyen depresiones cerradas, con simas internas. Y hay además simas de menores diámetros, con galerías subterráneas que profundizan en la serie yesífera. Las exploraciones abordaron el estudio de un conjunto de 12 simas.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección y exploración de cavidades se utilizaron cascocs con frontales Leds, técnicas verticales de cuerda estática y jumars, e instrumental topográfico Suunto. Se tomaron algunas muestras de roca y espeleotemas, las cuales fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Se tomaron fotos a color para ilustrar los principales rasgos de las cavidades.

RESULTADOS

La elección del área de estudio se basó en la revisión de foto aérea, cartografía geológica y observaciones de campo. El afloramiento de yesos, que ocupa el núcleo del Anticlinal de Falces, es recortado de N a S por el cauce del río Arga, el cual posee sobre su margen derecha una larga sucesión de escarpes verticales de extensión kilométrica. El desnivel entre la parte superior de los relieves tabulares del lado W y el talweg del río supera los 100 m, con flancos coronados en su parte alta por acantilados de 50 m de desnivel. En la zona de borde de los acantilados, sobre una extensión de 1 km al S de la localidad de Falces, el área presenta una gran profusión de fracturas de borde, afectadas por procesos de deslizamiento gravitacional y desprendimiento de bloques, existiendo también algunas dolinas y fracturas deprimidas que sugerían la probable ocurrencia de simas y cuevas. La revisión del sector mostró la ocurrencia de al menos 12 cavidades distintas, que describimos en esta nota.

Las cavidades se desarrollan en una unidad de evaporitas que ocupan el núcleo del Anticlinal de Falces, compuesto por yesos y margas ricos en sales (anhidrita, halita), de edad Arvernense superior - Ageniense inferior (Oligoceno). Estos materiales ocupan la base de la subcuenca endorreica Terciaria Navarro-Riojana del Ebro.

El afloramiento estudiado queda incluido en la unidad litológica 312 (Yesos de Falces), el cual posee algunas intercalaciones de lutitas rojizas y violáceas en forma de cuñas terrígenas (unidad 314), las cuales han sido detalladamente descritas por Faci Paricio et al (2001) y SITNA Navarra. Resumimos a continuación sus principales rasgos.

El Anticlinal de Falces, de orientación NW-SE, constituye un conjunto yesífero intensamente replegado. Fotogeológicamente se aprecia, en el interior de la estructura, varios pliegues menores de dirección subparalela que registran distintas vergencias, evidenciando la actividad halocinética y la posible generación de retrocabalgamientos (Figuras 01 y 02).

La información de subsuelo confirma la vergencia S de la estructura a favor de un despegue principal enraizado en un horizonte próximo al muro de la Formación Falces. Por debajo la serie terciaria presenta una marcada disposición tabular. Las líneas sísmicas ponen de manifiesto también la presencia de despegues internos desarrollados generalmente a partir del contacto entre intervalos anhidríticos, asimilables a grupos de reflectores de gran continuidad, y tramos de deficiente definición, probablemente más halíticos. La migración de material salino hacia el eje del anticlinal es patente en las líneas sísmicas y está respaldada por la gran potencia de la formación evaporítica (más de 3000 m, registrados en el sondeo Marcilla-1). Bajo la Formación Falces se corta una serie detrítica rojiza que responde a la denominación litoestratigráfica de Formación Detrítica basal Oligocena. Sobre la Formación Falces se disponen las Formaciones Marcilla y Lerín, constituyendo series monoclinales a ambos flancos del pliegue (Faci Paricio et al, 2001).

En definitiva el Anticlinal de Falces constituye un pliegue de crecimiento originado a partir del Mioceno inferior que se relaciona con un cabalgamiento ciego enraizado a muro de la Formación Yesos de Falces, por lo que no involucra el basamento, ni la cobertera mesozoica, ni la parte inferior de la serie terciaria.

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, 2001).

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.

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.

Dentro de los yesos de Falces, en la parte central del núcleo anticlinal, aparecen intercalaciones lutíticas rojizas, a modo de cuñas terrígenas (unidad litoestratigráfica 314), con espesores de 10 a 30 m. Litológicamente predominan lutitas rojas y violáceas, con intercalaciones areniscosas de potencia decimétrica (5-50 cm), de grano fino, y con una variada gama de estructuras tractivas, características de flujos laminares diluidos. Pueden también intercalar niveles evaporíticos delgados de margas y yesos, con horizontes dolomíticos subordinados de morfología irregular que pueden desarrollar laminaciones de origen algal o presentar un carácter carniolar. Sedimentológicamente la unidad 314 constituye cuñas terrígenas originadas por propagaciones eventuales de las orlas distales de los sistemas aluviales, que confluyeron con los márgenes evaporíticos de la zona lacustre salina central.

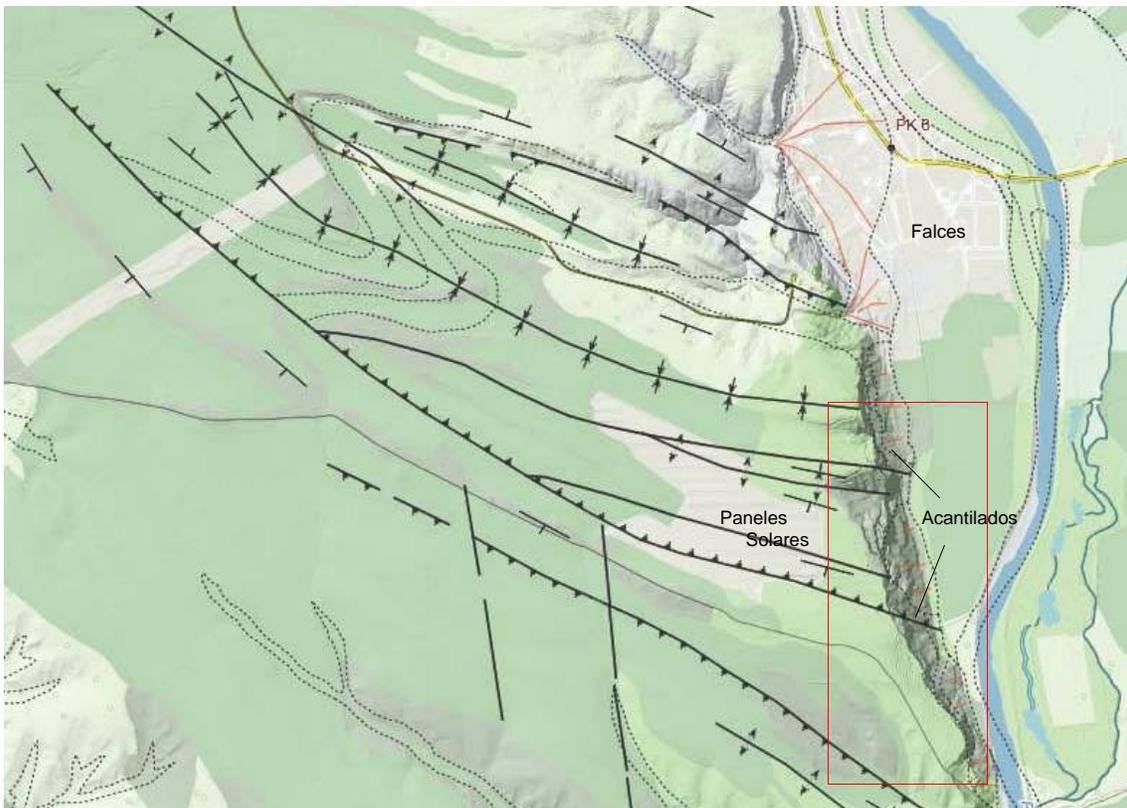
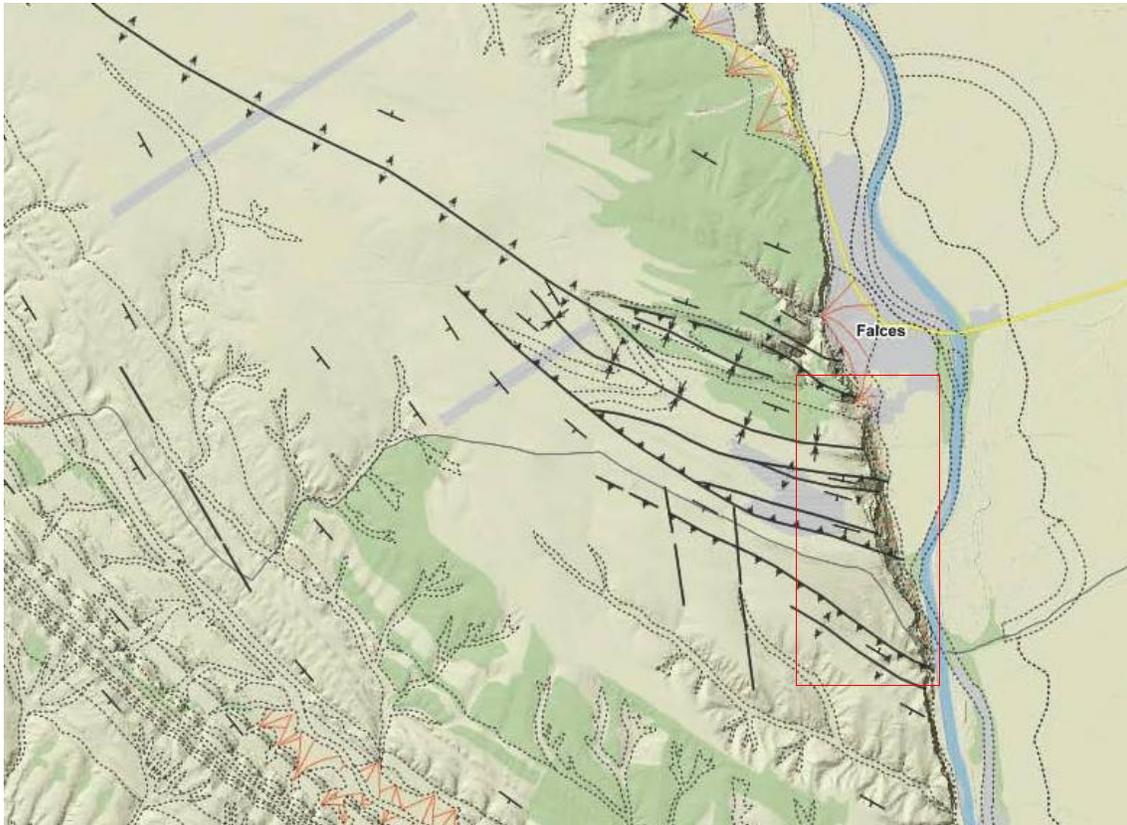


Figura 01. Trazo del Anticlinal de Falces con los acantilados a orillas del río Arga. El área de estudio en rojo.
 Fuente: Mapa Geológico de Navarra - SITNA. El núcleo del pliegue está formado por los Yesos de Falces, intensamente replegados. Fotogeológicamente se distingue, en el interior de la estructura, varios pliegues menores de dirección subparalela que registran distintas vergencias, evidenciando actividad halocinética.

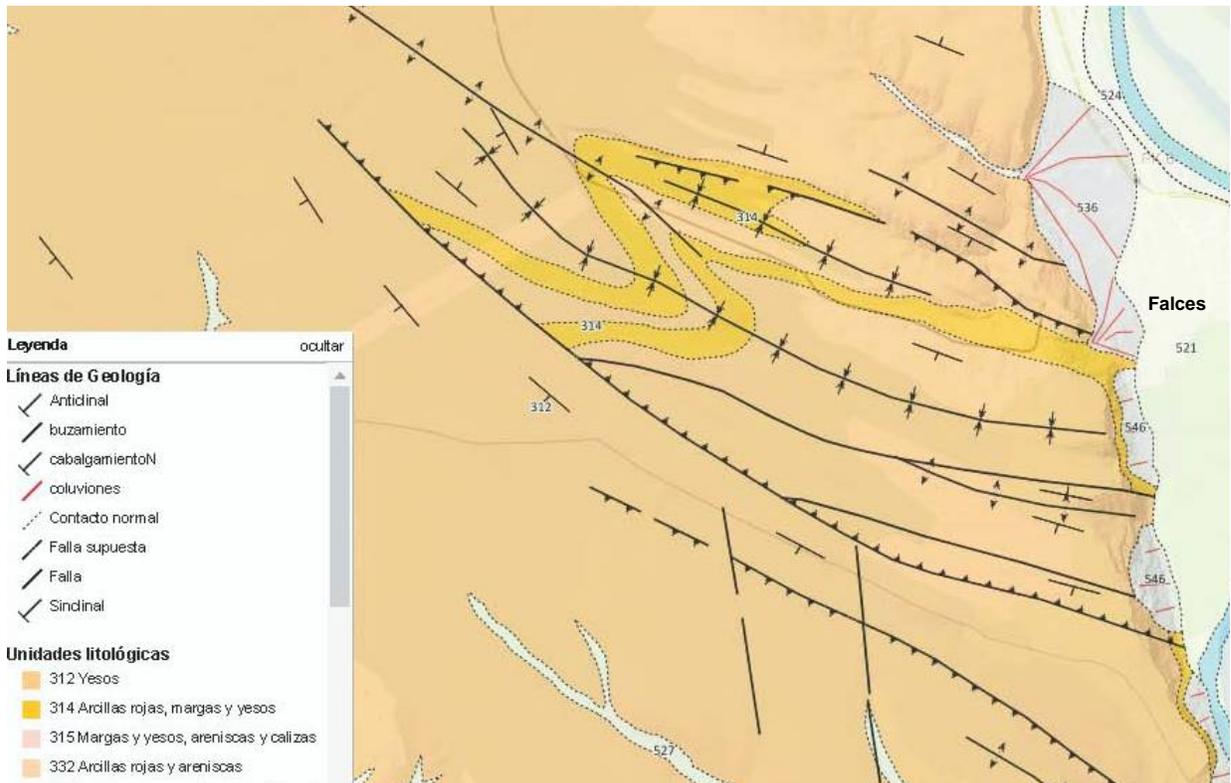


Figura 02. Mapa geológico del área de estudio (la unidad 312 son los Yesos de Falces). Fuente: Cartografía Geológica de Navarra - SITNA (arriba). Imagen de Google Earth, con las distintas zonas de los acantilados de Falces (letras A - E) y localización aproximada de las 12 cavidades exploradas (puntos rojos y números blancos) (debajo).



Figura 03. Escarpes verticales y taludes basales en el sector B de los Acantilados de Falces. Puede apreciarse una pequeña boca circular colgada en la pared y cárcavas en el talud.



Figura 04. Pliegues deformados de los Yesos de Falces (unidad litoestratigráfica 312) y arcillas rojas (unidad 314) en la base de los acantilados, con pequeños abrigos estructurales.

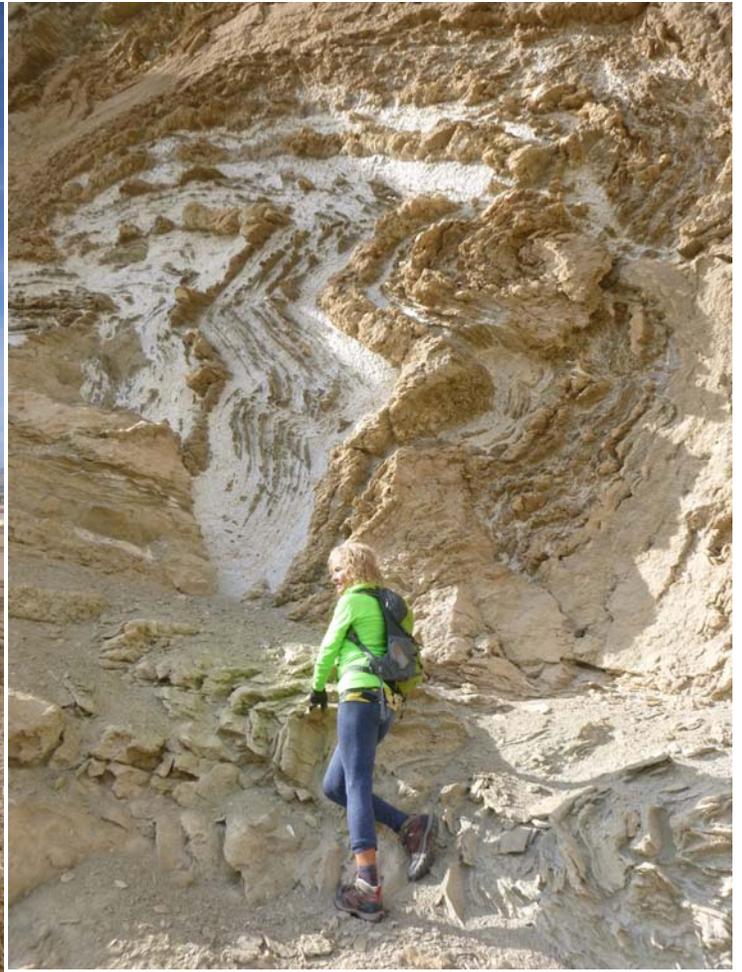


Figura 05. Pliegues enterolíticos y fluidales en los yesos del núcleo del Anticlinal de Falces.



Figura 06. Detalles de pliegues muy deformados por migración halocinética de sales hacia el núcleo anticlinal, con efflorescencias salinas en la superficie de las paredes del acantilado.

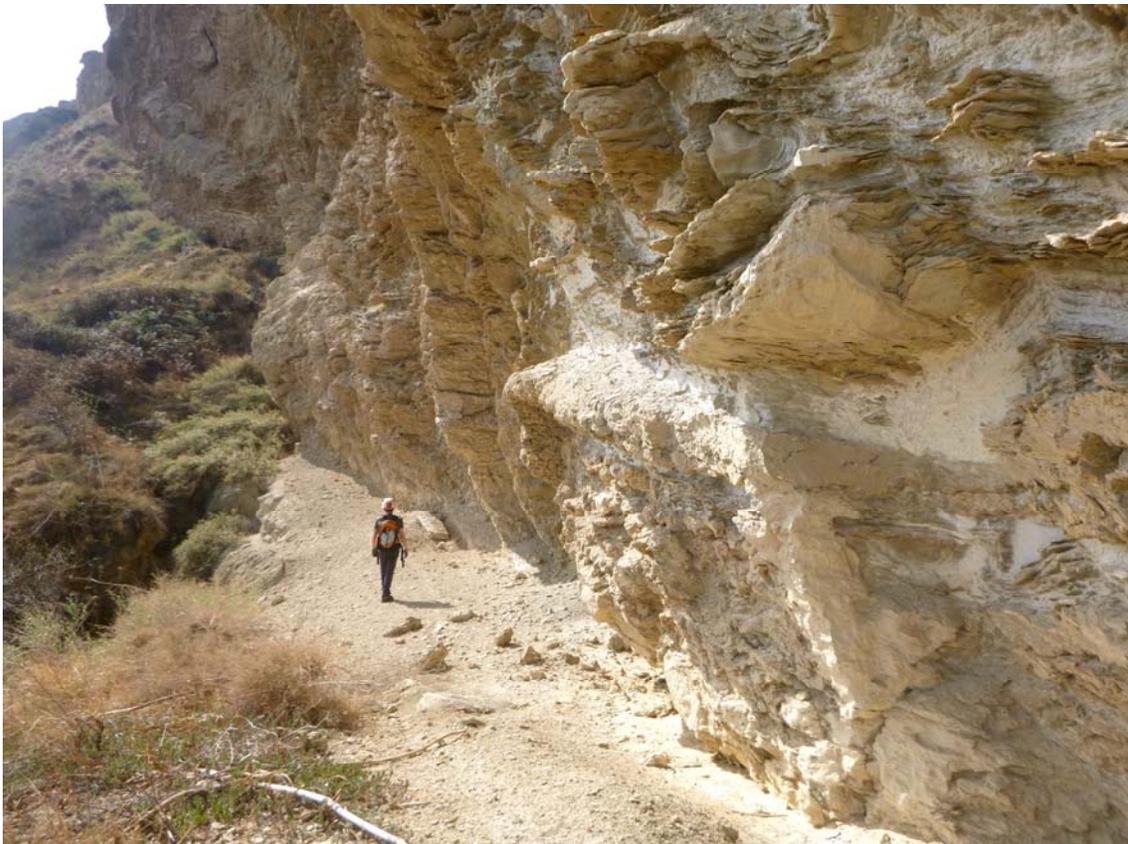


Figura 07. Conjunto yesífero intensamente replegado en los acantilados que recortan el núcleo del anticlinal de Falces, con paredes extraplomadas, eflorescencias salinas y bloques y clastos desprendidos de los estratos.



Figura 08. Pequeña cavidad, de boca circular, colgada en la pared del escarpe, de difícil acceso.



Figura 09. Detalles de la estructura fuertemente replegada de los yesos en el núcleo anticlinal, con abrigos basales.



Figura 10. Detalle de pliegues enterolíticos y eflorescencias salinas en los yesos de los acantilados de Falces.



Figura 11. Parte alta de la meseta, con el espolón A, cerca del borde acantilado, y vista hacia las grandes fracturas y bloques basculados por deslizamiento en el espolón B, al fondo (arriba). Boca de la sima Falces 01 (debajo).



Figura 12. Boca de la sima 01, de -7 m de desnivel, y vista vertical hacia su interior.



Figura 13. Fracturas abiertas y bloques basculados en el espelón B (arriba) y parte N de la sima 02, con la localidad de Falces al fondo a la derecha (debajo).

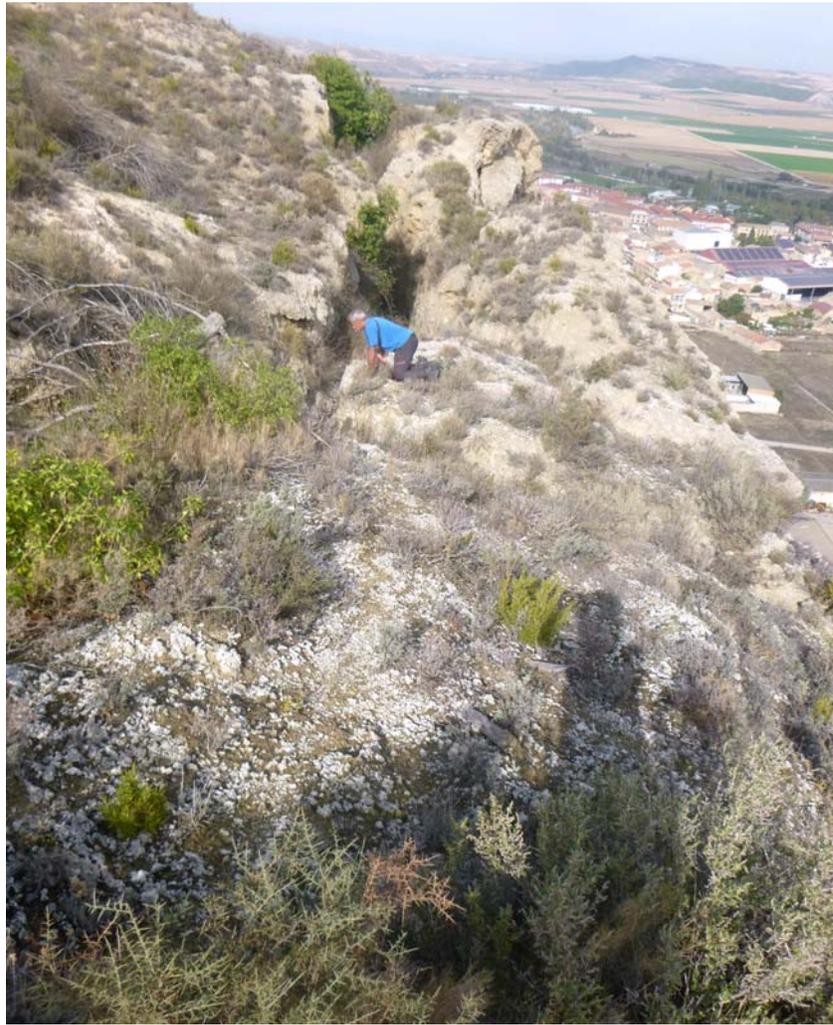


Figura 04. Parte central de la larga fractura-sima 02, sólo separada por un delgado tabique de la pared del acantilado (Falces al fondo) (arriba). Vista vertical hacia la parte baja de la sima (debajo).



Figura 15. Sima Falces 02. Vista de la larga fractura hacia el extremo N (arriba) y hacia el extremo Sur, bajo el cual hay varias galerías techadas por bloques, con el espolón B al fondo (debajo).

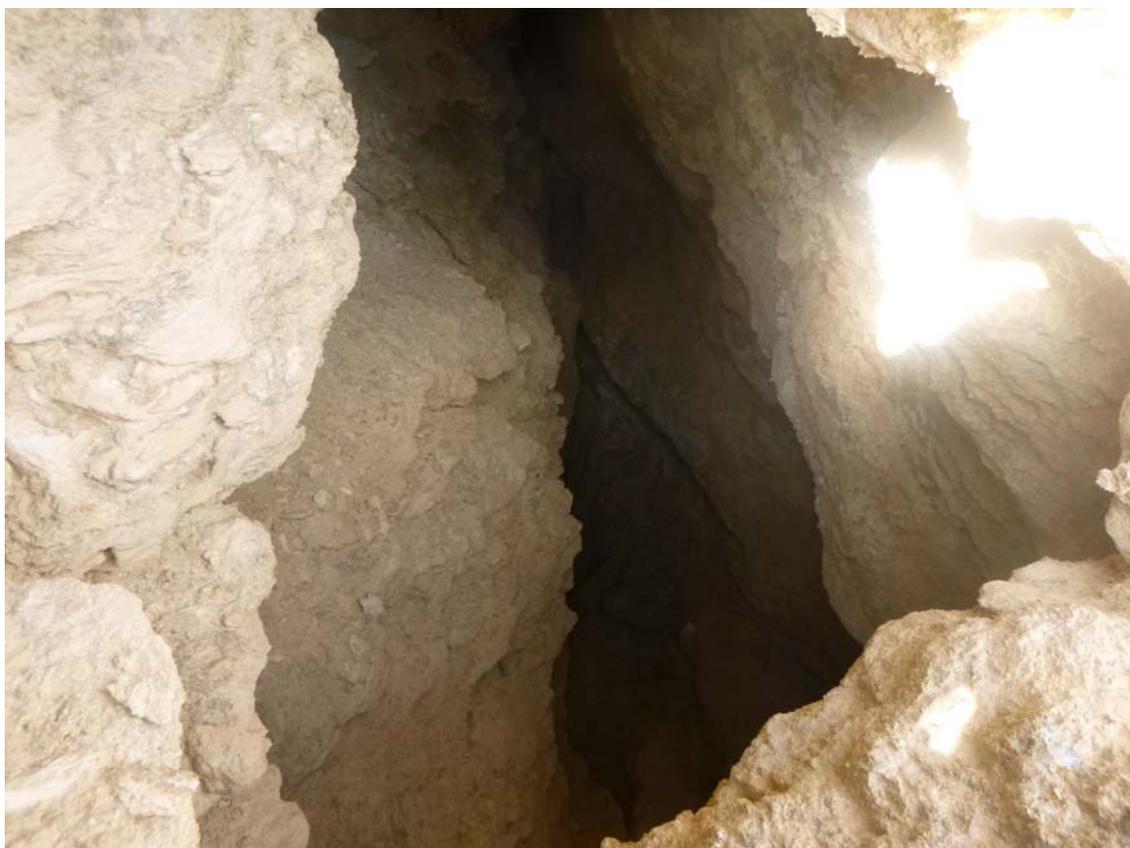


Figura 16. Zona techada por bloques de colapso en la sima 02, con galerías superpuestas y verticales entre ellas.



Figura 17. Sima 02. Varias bocas pequeñas sobre el borde externo comunican con las galerías de la zona techada.



Figura 18. Sima 02. Una de las galerías de la zona techada y vista hacia su boca de acceso sobre el borde externo.



Figura 19. Sector C de la meseta, con la larga fractura-sima 03 (de 107 m de extensión), la cual constituye una depresión cerrada (arriba). Punto de descenso a la sima 03 en la zona del codo (debajo).



Figura 20. Detalles del descenso a la sima 03 en la zona del codo, con plataforma intermedia sobre un gran bloque de colapso.

En la base y paredes de los acantilados son perfectamente apreciables los rasgos descritos, destacando la apretada distorsión de los pliegues subparalelos al eje anticlinal por esfuerzos compresivos, migración halocinética de sales, y disolución de los yesos en el sustrato subyacente (Figuras 03 á 10). Los taludes en la base de las paredes presentan a su vez un conjunto caótico de bloques de yesos y lutitas, generados por procesos gravitacionales de deslizamiento y desprendimientos, de edad Holoceno, que siguen activos en la actualidad.

En la base de las paredes exploramos varios sectores sin encontrar cavidades, salvo pequeños abrigos y solapas rocosas, formadas bajo control estructural, y una boca circular colgada en la pared, bajo extraplomos, que conforma una pequeña cueva. No obstante, resultó muy ilustrativo observar la ocurrencia de muy diversas geoformas esculpidas por la erosión diferencial en la serie de yesos y margas.

Sobre el casco urbano de Falces y en su proximidad inmediata, se encuentra la ermita o Basílica del Salvador. Preguntando a varios agricultores del lugar, nos dijeron que en torno a la ermita existieron en el pasado varias simas, pero que actualmente estaban colapsadas por derrumbes y el terreno había sido objeto de obras de refuerzo para evitar los deslizamientos de ladera y desprendimientos de bloques. Por lo que nuestras exploraciones se dirigieron al borde de la meseta, situada al E y S de una instalación de grandes paneles solares, donde exploramos una extensión de 1 km hacia el S. En esta área de estudio distinguimos distintos sectores (A á E), donde localizamos y exploramos 12 simas (Ver plano de localización en Figura 02).

El sector A comprende un espolón prominente de yesos localizado a 300 m al S de la ermita del Salvador; aquí exploramos una sima de boca pequeña, en un escalón del terreno, a 25 m de distancia al borde, y una amplia fractura que constituye una depresión cerrada, con simas internas, paralelas y a corta distancia del borde (simas 01 y 02). El siguiente espolón, a 200 m al S del anterior, presenta varias grandes fracturas abiertas, con bloques que han basculado y amenazan desprendimiento (B); bajo la pared del escarpe se encuentra la zona con la cueva colgada de boca circular y diversas geoformas. Algo más al S (al E de los paneles solares), se encuentra el sector C, de extensas fracturas y escalones de borde verticales. La extensa fractura del lado W constituye la sima 03, ya que aunque en superficie comunica con el vacío de la pared externa, su interior es más profundo. Al S de ésta se encuentran las dolinas-simas 04 y 05. Tras pasar una vaguada, al S del campo de paneles, se localiza otro espolón (sector D), donde se abre otra fractura-sima y una pequeña y curiosa cavidad en margas blancas (simas 06 y 07). Prosiguiendo hacia el S en suave descenso se encuentra el sector E, con pequeñas dolinas alargadas y cinco simas, situadas más alejadas del borde, sobre pequeñas terrazas escalonadas en la ladera superior. A continuación, una descripción de las cavidades.

DESCRIPCIÓN DE LAS CAVIDADES

Sima Falces 01.

Situación: En el espolón A del acantilado, a 20 m al W de la fractura-sima 02, a +120 m sobre el nivel del cauce del río Arga.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.842; E 599.120; Altitud 412 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -7 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figuras 11 y 12. Plano en Figura 42.

Descripción: La boca de la sima es paralela al borde, de 1 m de largo x 0,3 m de ancho, ampliándose en su interior. Su base tiene un suelo en declive hacia el S, de 4 m de largo, finalizado en la cota -7 m en una estrecha gatera, prácticamente colmatada de rellenos detríticos. El drenaje local parece dirigirse hacia la vaguada situada al Sur, entre los espolones A y B.

Sima Falces 02.

Situación: En el espolón A del acantilado, prácticamente en el borde, del cual sólo un delgado tabique la separa del acantilado.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.858; E 599.133; Altitud 402 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -15/-20 m; Desarrollo espacial: 80 m. Figuras 13 á 18. Plano en Figura 42.

Descripción: La boca de la cavidad es una fractura sinuosa de 50 m de largo x 2-4 m de ancho, con el borde W más elevado. Sólo un delgado tabique, de 4 m espesor, separa su fondo de la pared del acantilado. Su apertura, en superficie, muestra una zona central deprimida, la cual asciende algo hacia el N y mucho más hacia su extremo S, donde distintos bloques desprendidos forman un falso techo. Otros bloques dividen la galería en dos tramos superpuestos. Adicionalmente, sobre el borde externo, se abren dos bocas de cueva que descienden y enlazan con el tramo techado. En la parte media hay dos fracturas menores entre la sima y la pared acantilada, pero estas se limitan a la zona superficial, quedando el fondo deprimido sin apertura hacia el exterior. Dada la topografía del enclave, el desnivel de la sima en la parte central es de -15 m, pero desde las zonas techadas del lado Sur alcanza los -20 m, estando el borde superior a +5 m sobre la cota de estas entradas.

Desde el extremo N, tras un desnivel de -5 m, el suelo desciende en declive hacia la cota baja central, pero su recorrido se ve obstaculizado por bloques caídos y rellenos detríticos muy inestables, cubiertos por vegetación. El desarrollo espacial es de 80 m.

Tras cruzar una vaguada, con trazas de subsidencia escalonada del terreno, se alcanza el espolón B, el cual está recortado por varias largas fracturas, abiertas al borde de la pared del escarpe, pero sin formar depresiones cerradas. Cruzando hacia el S otra vaguada del mismo tipo se llega al espolón C, con escalones volcados hacia el vacío y largas fracturas, con tres simas (03 á 05).

Sima Falces 03.

Situación: En el espolón C del acantilado, a 400 m al S de la fractura-sima 02. Es una sima-depresión cerrada.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.453; E 599.172; Altitud 410 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -28 m; Desarrollo espacial: 140 m. Figuras 19 á 21. Plano en Figura 43.

Descripción: La fractura que consideramos depresión-sima tiene 107 m de extensión en planta. Los primeros 85 m siguen una dirección S, para luego doblar hacia el SE por espacio de 22 m, presentando una escotadura en superficie que intercepta y comunica con la pared del escarpe, pero cegada en su fondo. Posee un estrechamiento que conforma un arco de roca en el tramo superior, cercano al punto donde dobla en ángulo. Su forma recuerda a un estrecho cañón que desciende en declive hacia el borde, pero cegado en su fondo. El desnivel de las paredes internas es de -10 m en su extremo N, pero alcanza -20 m en su parte central bajo el arco y -18 m en el tramo inferior, de grandes bloques. La diferencia de cotas de la boca entre sus extremos S y N es de +10 m, por lo que cabría considerar un desnivel máximo entre el borde superior y el punto más bajo de la depresión de -28 m. Todo el fondo de este cañón-sima en declive posee numerosos bloques de colapso, muchos de ellos inestables, por lo que no es factible recorrerlo en su totalidad. Nosotros efectuamos observaciones desde superficie y descendimos directamente donde dobla en ángulo, revisando el tramo más profundo, de unos 50 m de extensión. La peculiar geometría de la cavidad puede apreciarse en las fotos. Su principal rasgo es el de constituir una fractura de descompresión mecánica, que ha sido ampliada por procesos kársticos y gravitacionales, para conformar una sima-depresión cerrada, obstruida en su fondo por bloques.

Sima Falces 04.

Situación: En el sector C del acantilado, a 30 m al S de la sima 03.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.422; E 599.161; Altitud 415 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -8 m; Desarrollo espacial: 14 m. Figuras 22 á 23. Plano en Figura 44.

Descripción: Se trata de una dolina-sima alargada sobre una fractura menor. La boca de la sima se abre en el fondo de una pequeña dolina y tiene 1,5 m de diámetro. Tras descender 4 m en rampa pronunciada la cavidad se amplía en una salita de 6 m de largo, que prosigue horizontal y finaliza en un conducto impracticable por estrecho. La sala presenta espeleotemas blancas de yeso (en pequeñas costras) que contrastan con el color ocre de la roca-caja. Esto también prueba que existe disolución en los materiales yesíferos en que están excavadas las cavidades, con precipitación posterior de minerales secundarios.

Sima Falces 05.

Situación: En el sector C del acantilado, a 50 m al S de la sima 04.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.375; E 599.200; Altitud 405 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -6 m; Desarrollo espacial: 12 m. Figura 24. Plano en Figura 44.

Descripción: La boca se abre en el fondo de una dolina alargada, sobre otra fractura poco marcada, de 8 m de largo. Una vertical estrecha, de -3 m, da paso a una galería inferior, más larga pero estrecha, finalizando colmatada por rellenos detríticos.

En el borde externo de este sector C hay varios escalones subsidentes, separados por fracturas, pero sin formar cavidades. Tras cruzar una vaguada más marcada se alcanza el sector D, el cual presenta una punta prominente, con fracturas de borde y escalones. La fractura más interna (situada más al W) constituye una depresión cerrada (sima 06) que intercepta oblicuamente la pared, teniendo una pequeña escotadura superior. Se describe a continuación.

Sima Falces 06.

Situación: En el sector D del acantilado, a 150 m al S de la sima 05. Es una sima en el interior de una grieta abierta al borde.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.230; E 599.252; Altitud 395 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -20 m; Desarrollo espacial: 70 m. Figuras 25 á 27. Plano en Figura 44.

Descripción: La grieta tiene 28 m de largo en planta y -20 m de desnivel en su punto más bajo. En su pared S hay una fractura en paralelo que comunica con la principal bajo un puente de roca. Una escotadura más baja en su extremo S está abierta al borde del acantilado, pero su parte inferior es ciega. La cavidad totaliza un desarrollo espacial de 70 m.

Sima Falces 07.

Situación: En el sector D del acantilado, a 15 m al S de la fractura-sima 06.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.215; E 599.259; Altitud 394 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -4 m; Desarrollo espacial: 8 m. Figura 28.

Descripción: Situada a escasa distancia al S de la cavidad anterior, en el interior de un pequeño escarpe de margas blancas que forma una leve depresión en su lado W. En la base de dicho escarpe se abren dos pequeñas bocas ovaladas que prosiguen en pequeños conductos obstruidos por colapso de bloques.

Llama la atención la presencia de numerosos pequeños agujeritos tubulares (de 5-6 mm de diámetro y 1,5-2 cm de profundidad) excavados por avispas minadoras (Sphecidae) para depositar sus huevos junto a presas (arañas y/o insectos) dejadas para alimento de las larvas cuando eclosionen los huevos. Estos "nidos" estaban vacíos en el momento de la visita (ya eclosionados).



Figura 21. Sima Falces 03. Descenso hacia la parte más baja de la sima (cota -28 m) y detalles de la zona inferior (recuadros intermedios) y del ascenso en jumars (recuadros inferiores).



Figura 22. Sima Falces 04. Su boca se abre en el fondo de una pequeña dolina alargada.



Figura 23. Base de la sima 04 y galería inferior, con espeleotemas de yeso.



Figura 24. Depresión-sima 05 y borde de los acantilados en el sector D, con el río Argá debajo.



Figura 25. Fracturas abiertas y escalones subsidentes en el borde del sector D (arriba) e inicio superior de la fractura-sima 06 (debajo).



Figura 26. Sima Falces 06. Vista vertical hacia el fondo de la sima, con la fractura paralela y el arco de roca.



Figura 27. Sima 06. Escotadura superior abierta al borde acantilado (arriba) y vista de N a S de la larga fractura-sima (debajo).



Figura 28. Sima Falces 07. Pequeñas galerías en margas blancas y agujeritos perforados por avispas minadoras Sphecidae para la puesta de huevos.

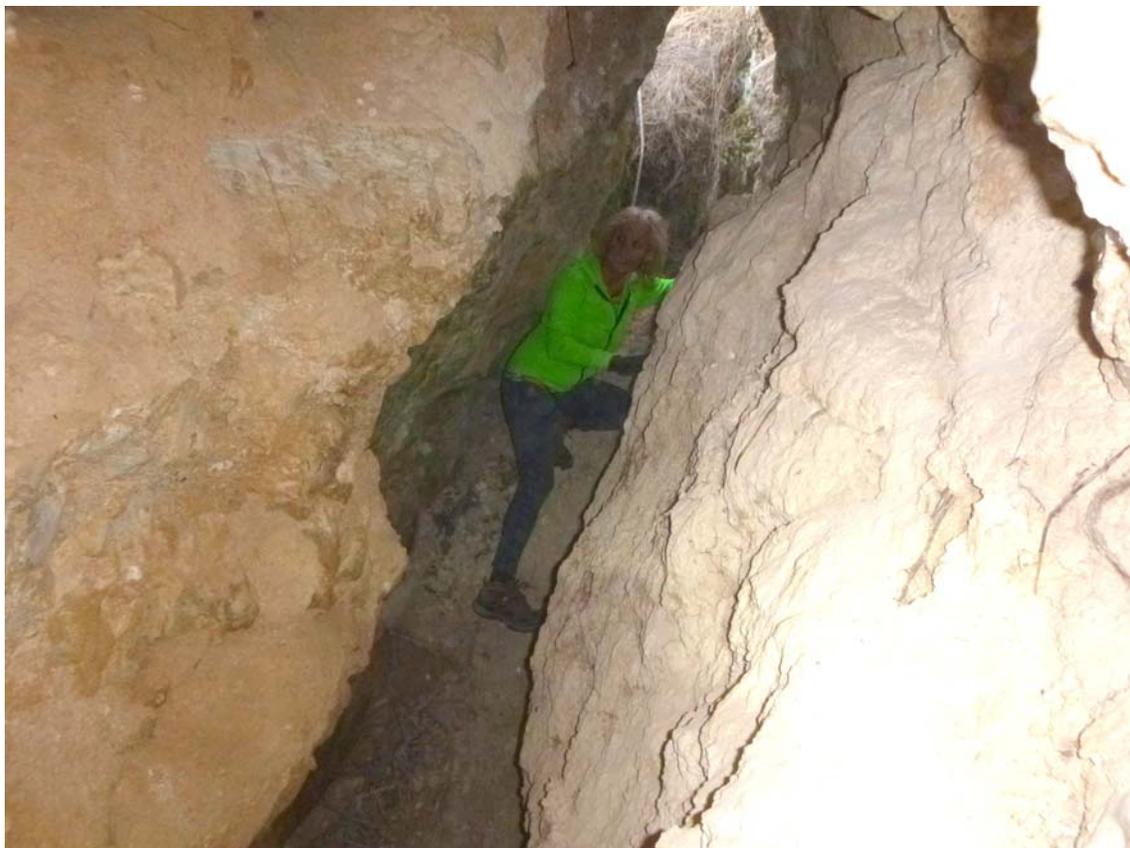


Figura 29. Sima Falces 08. Base de la vertical de acceso y galería horizontal en el primer nivel.



Figura 30. Descenso en oposición hacia el segundo nivel de la sima 08.



Figura 31. Galerías superior e inferior de la sima Falces 08, con continuaciones horizontales.



Figura 32. Detalles de la morfología de la serie yesífera en las galerías internas de la sima 08. La flecha roja señala a un ejemplar de araneido troglófilo, en la zona profunda. Probablemente se alimenta de dípteros observados en el interior de la cavidad y/u otros artrópodos de hábitos cavernícolas.



Figura 33. Nicho con raíces y arcillas con eflorescencias de yeso, en la cota -10 m de la sima 08 (arriba) y detalle de la pequeña boca de acceso, en el interior de una dolina (debajo).

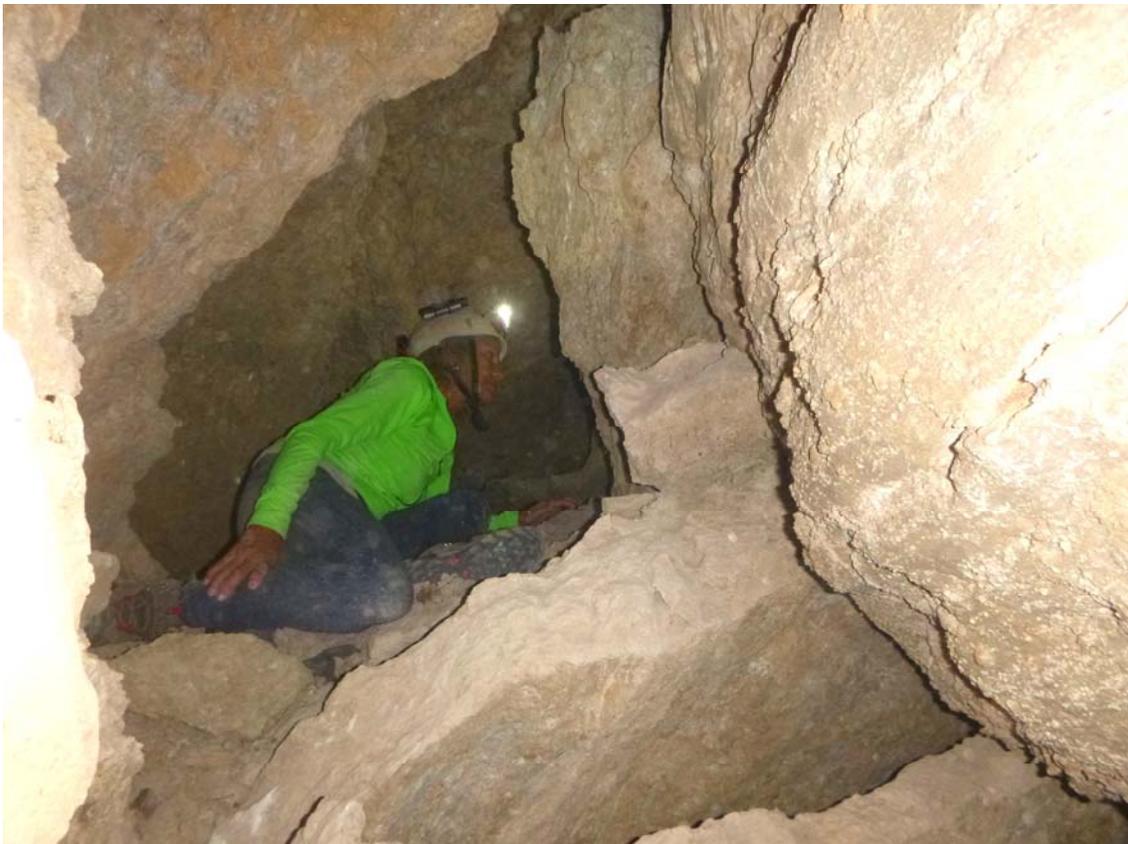


Figura 34. Depresión alargada donde se abre la sima 09, en el sector E. Se puede ver parte de los acantilados situados más al N, con Falces al fondo.



Figura 35. Detalle de las paredes de la sima 09 y paso estrecho de acceso a la galería inferior.

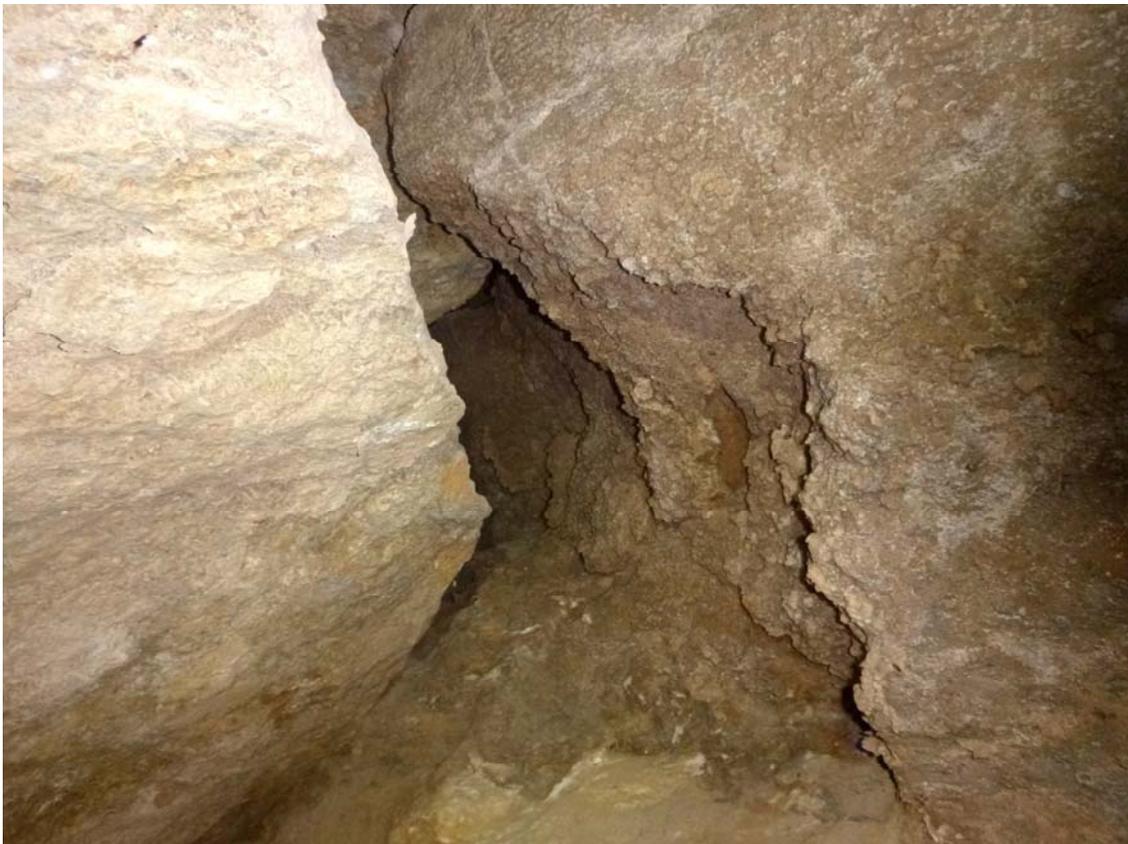


Figura 36. Espeleotemas de yeso formando recubrimientos cristalinos blancos y pasos estrechos en la galería arrastradero inferior de la sima 09.



Figura 37. Paso bajo estrato a medio desprender y ascenso entre bloques hacia la boca de la sima 09.



Figura 38. La pequeña boca de la sima Falces 10, con vertical de -8 m, conduce a una corta galería inferior.

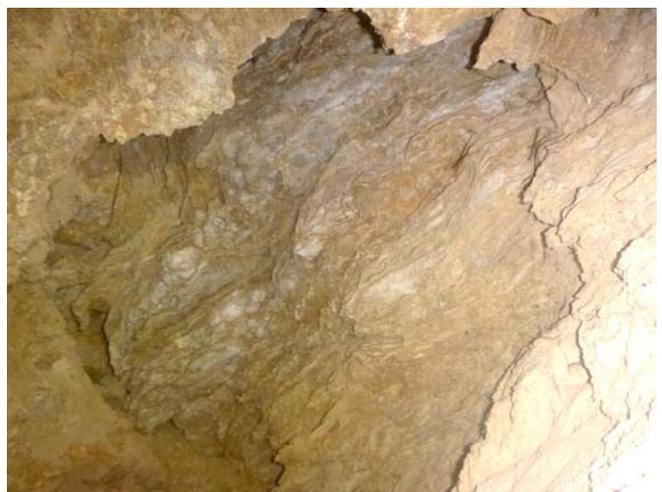
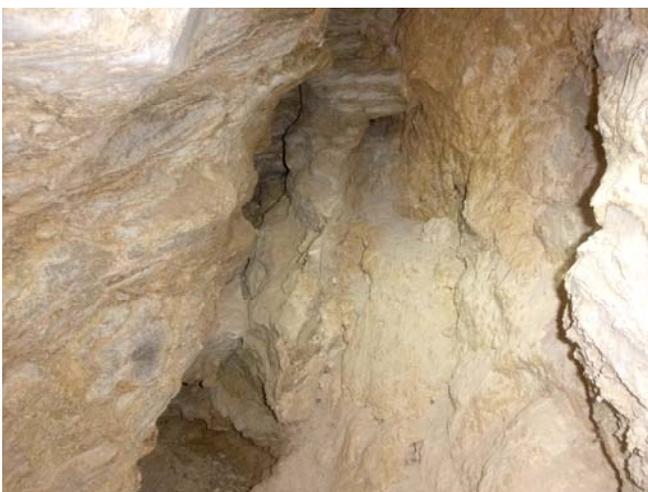


Figura 39. Instalando la cuerda (con amarre a pequeños arbustos) para descender la sima Falces 11 y galería inferior, con detalles de su morfología interna y pequeños recubrimientos de espeleotemas de yeso.



Figura 40. Sima Falces 12. Detalles de la galería principal en zigzag, boca, tramo del laminador, y pequeñas espeleotemas.



Figura 41. Retornando desde el sector E, por la parte alta de la meseta, hacia la parte N, donde iniciamos las exploraciones. La franja estudiada en el Anticlinal de Falces abarca 1 km de extensión en sentido N-S.

Figura 42. Plano de las simas Falces 01 y 02.

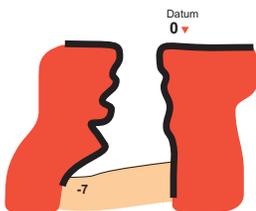
Sima Falces 01



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.692.842; E 599.120. Altitud: 412 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -7 m. Desarrollo espacial: 12 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



PLANTA

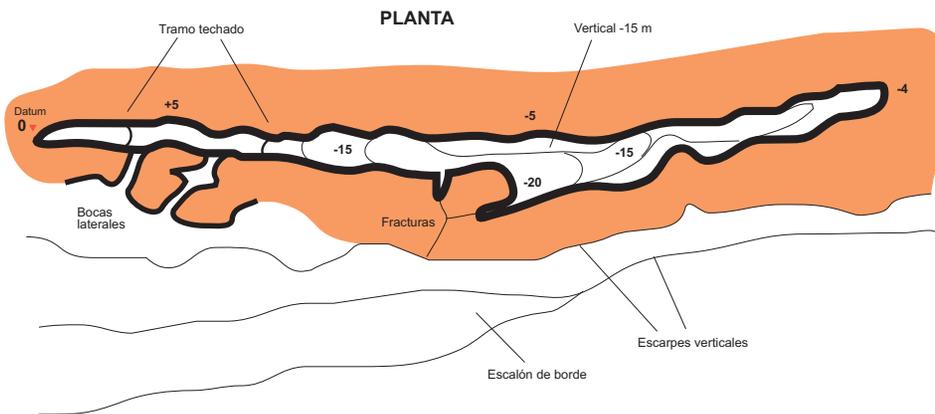


PERFIL

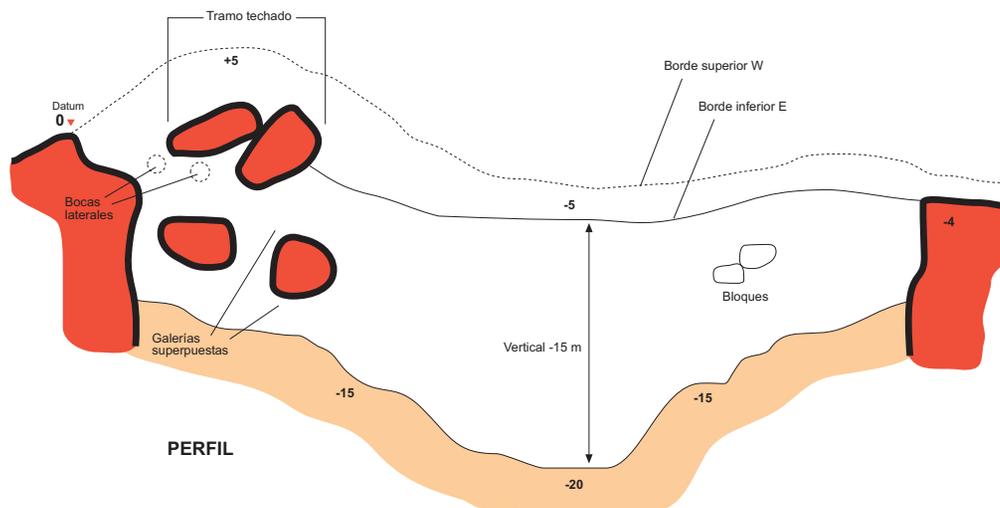
Sima Falces 02



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.692.858; E 599.133. Altitud: 402 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -15/-20 m. Desarrollo espacial: 80 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

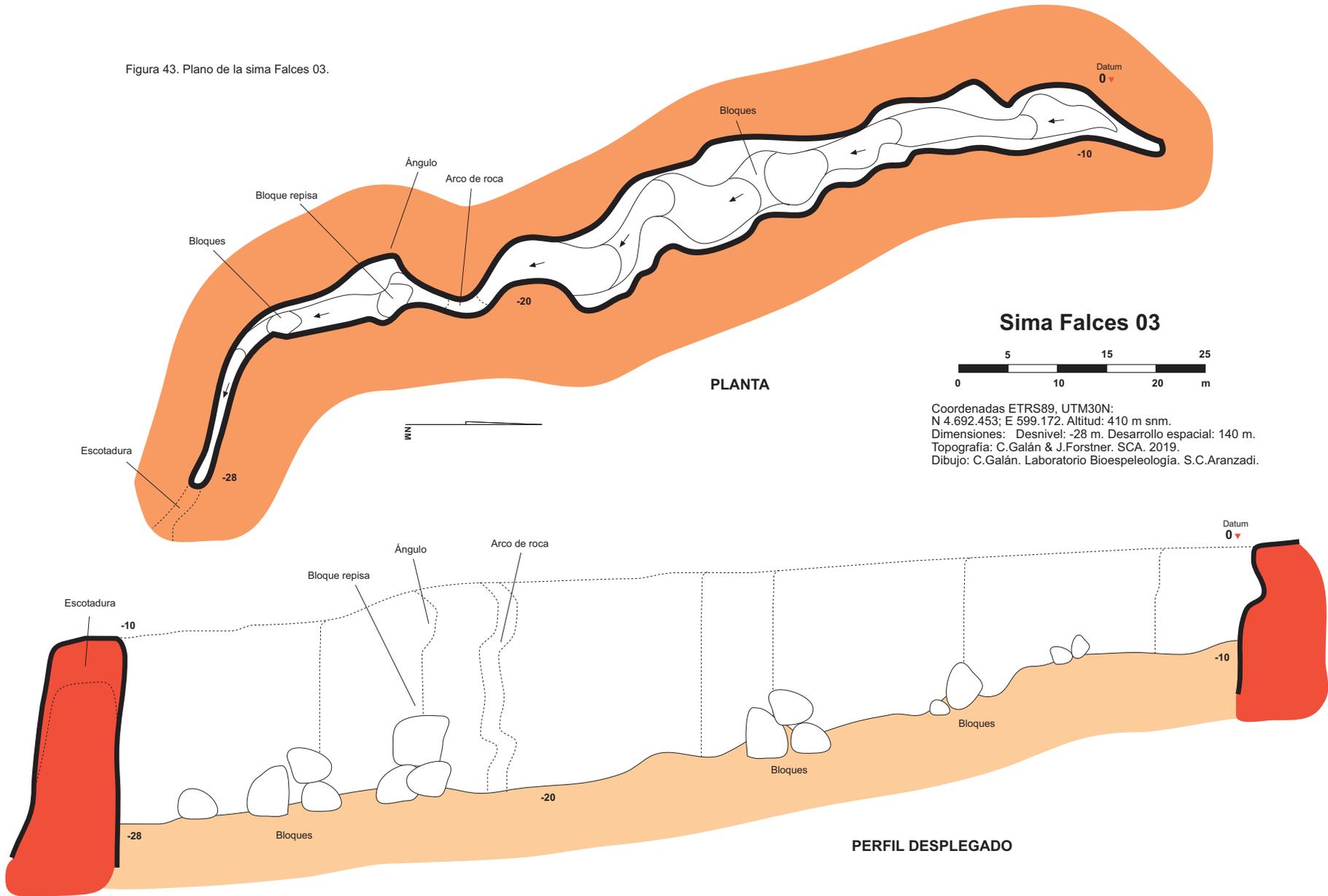


PLANTA



PERFIL

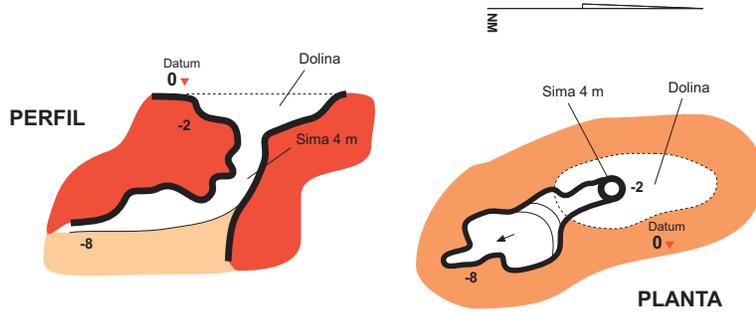
Figura 43. Plano de la sima Falces 03.



Sima Falces 04



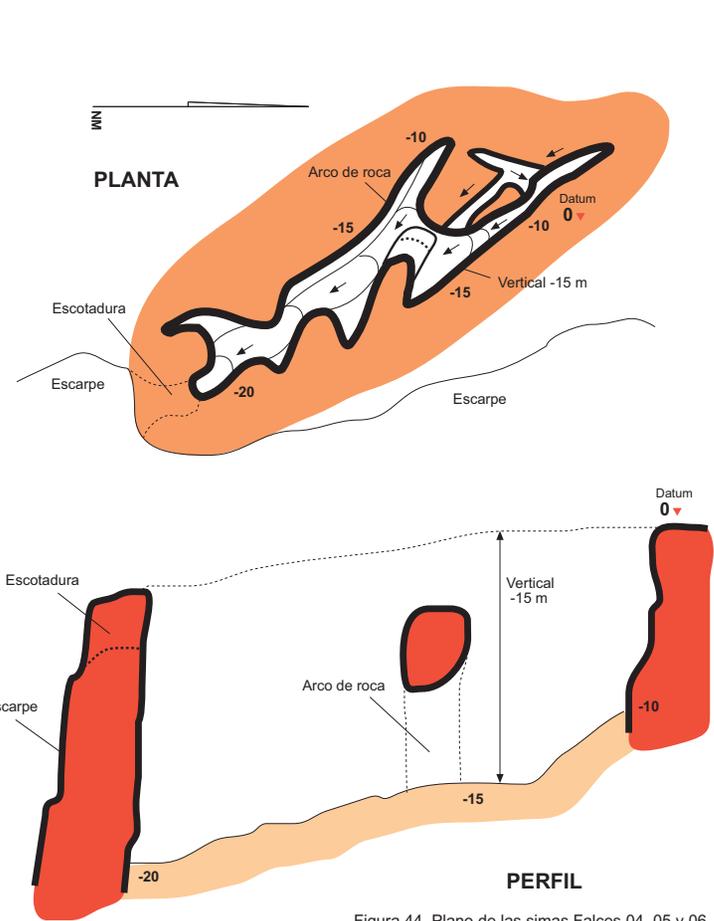
Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.692.422; E 599.161. Altitud: 415 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -8 m. Desarrollo espacial: 14 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Sima Falces 06



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.692.230; E 599.252. Altitud: 395 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -20 m. Desarrollo espacial: 70 m.
 Topografía: C.Galán & J.Forstner. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Sima Falces 05



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
 N 4.692.375; E 599.200. Altitud: 405 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -6 m. Desarrollo espacial: 12 m.
 Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

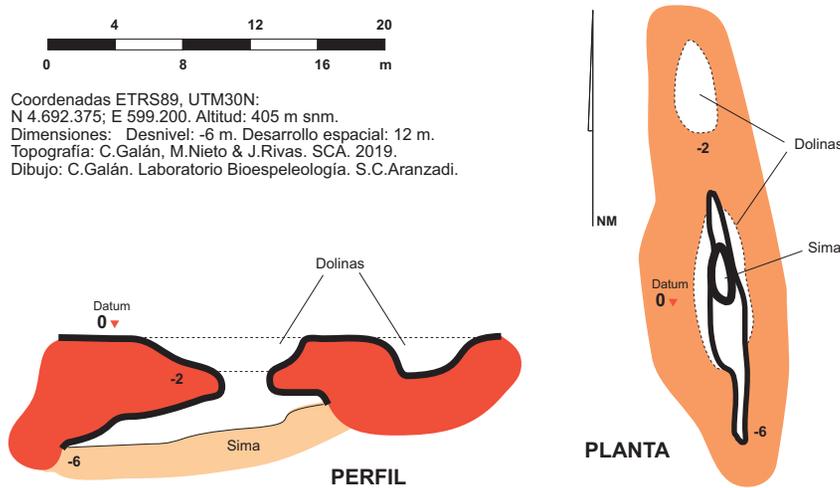


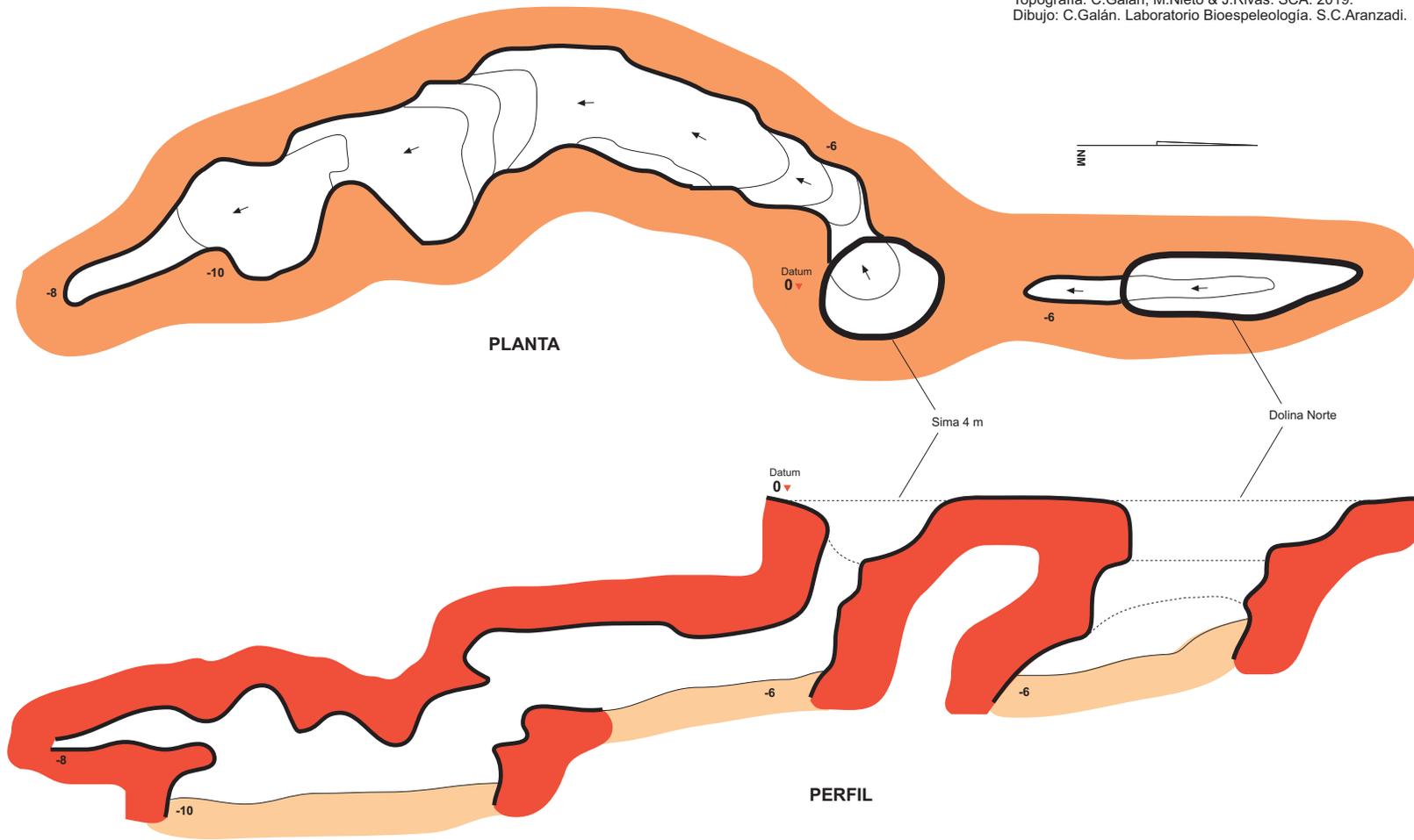
Figura 44. Plano de las simas Falces 04, 05 y 06.

Figura 45. Plano de la sima Falces 08.

Sima Falces 08



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.692.159; E 599.277. Altitud: 388 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -10 m. Desarrollo espacial: 28 m.
Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Sima Falces 09



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.691.980; E 599.382. Altitud: 372 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -10 m. Desarrollo espacial: 25 m.
Topografía: C.Galán, M.Nieto & J.Rivas. SCA. 2019.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

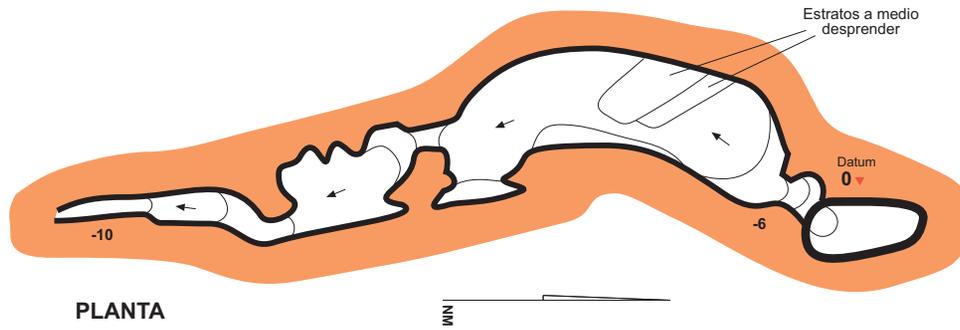
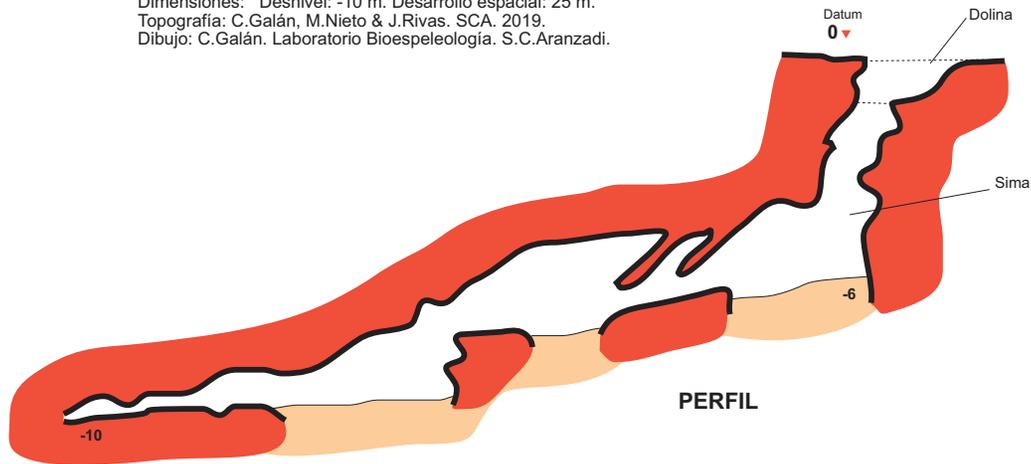


Figura 46. Plano de las simas Falces 09 y 10.

Sima Falces 10



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.691.965; E 599.370. Altitud: 376 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -12 m. Desarrollo espacial: 18 m.
Topografía: C.Galán & J.Forstner. SCA. 2019.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

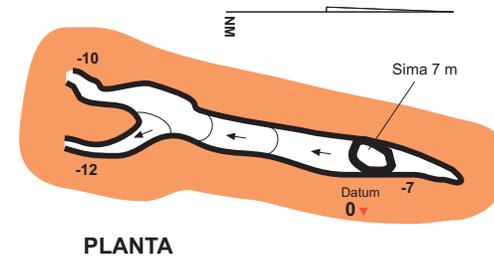
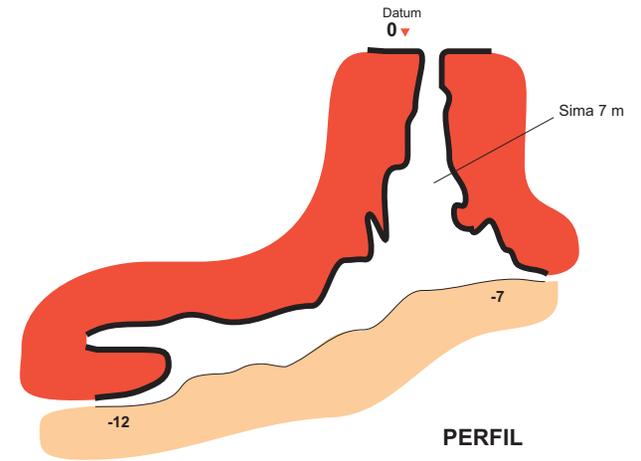
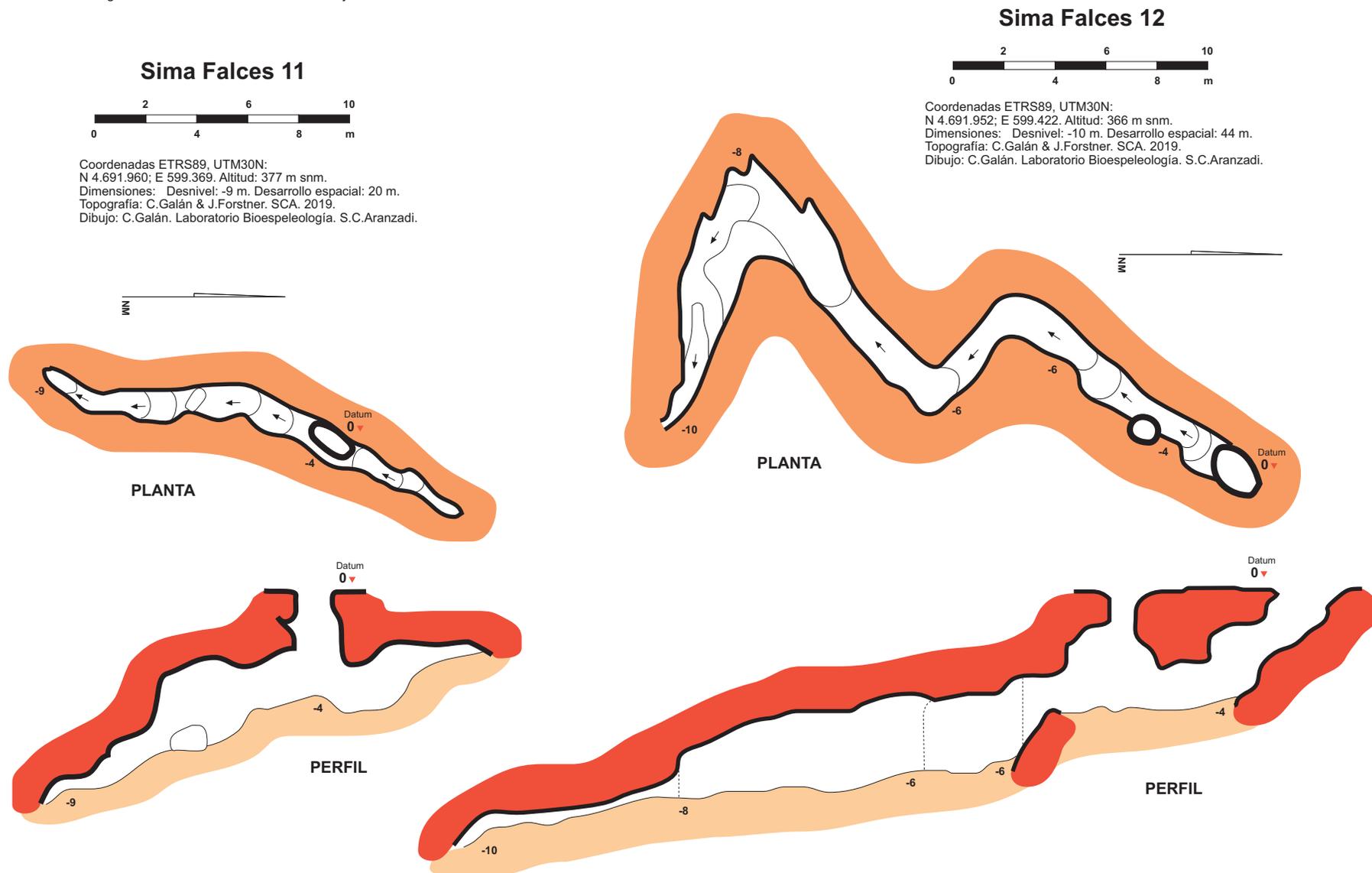


Figura 47. Plano de las simas Falces 11 y 12.



Sima Falces 08.

Situación: En el sector E del acantilado, a 60 m al S de la sima 07.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.692.159; E 599.277; Altitud 388 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 28 m. Figuras 29 á 33. Plano en Figura 45.

Descripción: Esta y las siguientes cavidades se encuentran en la continuación S de la ladera, más alejadas del borde, sobre pequeñas terrazas escalonadas. La sima 08 consta de dos pequeñas dolinas adyacentes, alineadas sobre una grieta vertical, con pequeñas simas internas. La situada más al S consta de una sima en rampa que requiere cuerda y que se amplía en un primer nivel horizontal. Tras otro tramo que se desciende en oposición se alcanza un segundo nivel horizontal (cota -10 m) con suelo colmatado de sedimentos. En su extremo una gatera conduce a un nicho con raíces y recubrimientos de arcillas con eflorescencias de yeso, el cual prosigue a través de una galería arrastradero horizontal 8 m, hasta tornarse impracticable por estrecho. El desarrollo total es de 28 m. La galería inferior presenta diversas geoformas en los yesos, y está habitada por especies troglófilas de arañas.

La dolina N posee una sima de -6 m de desnivel con una pequeña galería inferior, alineada sobre la misma fractura.

Sima Falces 09.

Situación: En el sector E del acantilado, en una terraza, a 180 m al S de la sima 08.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.691.980; E 599.382; Altitud 372 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 25 m. Figuras 34 á 37. Plano en Figura 46.

Descripción: La boca de la cavidad se abre en interior de una pequeña dolina. La sima es una rampa de bloques, que se puede descender en oposición, y se amplía en una galería desarrollada a expensas del buzamiento. Tras pasar bajo un estrato a medio desprender se alcanza un paso estrecho que conduce a una galería inferior, de 2 m de diámetro. Este tramo presenta espeleotemas de yeso en forma de costras cristalinas blancas y diversas geoformas. Prosigue en galería-arrastradero ligeramente descendente, que, tras varios pasos estrechos, se torna impracticable, totalizando 25 m de desarrollo.

Sima Falces 10.

Situación: En el sector E del acantilado, a 30 m al SW de la sima 09.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.691.966; E 599.370; Altitud 376 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -12 m; Desarrollo espacial: 18 m. Figura 38. Plano en Figura 46.

Descripción: Situada más al S, sobre el flanco de la meseta y alejada del borde. La boca de la sima es un agujero poligonal de 60 cm de diámetro, que cae en vertical muy estrecha de -7 m sobre una galería inferior algo más amplia, la cual se prolonga en planta 12 m más, con continuaciones impracticables por su estrechez.

Sima Falces 11.

Situación: En el sector E del acantilado, a 5 m al S de la sima 10.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.691.960; E 599.369; Altitud 377 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -9 m; Desarrollo espacial: 20 m. Figura 39. Plano en Figura 47.

Descripción: Al lado de la sima 10. Su boca, de 0,8 m de diámetro, presenta una vertical de -4 m, en cuya base se prolonga en ambas direcciones. La rama S desciende hasta la cota -9. Posee pequeños recubrimientos de espeleotemas de yeso.

Sima Falces 12.

Situación: En el sector E del acantilado, a 50 m al E de la sima 09, cerca del borde.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.691.952; E 599.422; Altitud 366 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -10 m; Desarrollo espacial: 44 m. Figuras 40 á 41. Plano en Figura 47.

Descripción: Es la cavidad situada más al S. La boca de la sima es una entrada en rampa escalonada, de 1,5 m de diámetro, que se puede descender sin cuerda. En su base (cota -4) se amplía y prosigue en galería subhorizontal, de 2,5 m de alto, con un trazado en zigzag. Tras un codo pronunciado pasa a ser una galería ancha de 4 m pero de techo muy bajo (0,3 m), constituyendo un laminador. Tras un paso más estrecho se vuelve a ampliar, para finalizar en una gatera en roca fragmentada muy inestable (que amenaza colapsar), donde detuvimos la exploración (punto más bajo, cota -10 m). Totaliza 44 m de desarrollo.

La cavidad presenta suelos pulverulentos de materiales arcillosos, y pequeños clastos, producidos por desagregación y colapso de la roca-caja. Posee espeleotemas aciculares y algodonosas de yeso secundario.

En la zona próxima a las simas 10 á 12 (parte Sur del sector E) hay numerosas pequeñas bocas de sima, de muy escaso diámetro (5 á 20 cm), orientadas sobre un sistema de diaclasas verticales, que profundizan en el sustrato, pero sin apertura suficiente para resultar explorables. Es muy probable que existan interconexiones entre unas y otras, a través de conductos menores. Aparentemente se trata de una zona de distensión y subsidencia gravitacional escalonada, asociada a la mecánica del borde del escarpe. La karstificación local ha conseguido ampliar algunos conductos hasta formar galerías, pero la serie yesífera, con intercalaciones de arcillas y margas, se desagrega con facilidad en clastos y gránulos que obstruyen las continuaciones.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las 12 cavidades catalogadas suman 471 m de desarrollo espacial. Tres de las cavidades corresponden a extensas fracturas de descompresión mecánica, en zona de borde, que constituyen depresiones cerradas y profundizan como simas. Las otras nueve cavidades son simas de pequeño desarrollo formadas a expensas de diaclasas verticales y fracturas menores; varias de ellas se localizan en el interior de dolinas alargadas.

Pero existe un conjunto mucho mayor de fracturas abiertas y de continuaciones a través de conductos de escaso diámetro y mesocavernas. Las cuevas se han formado por procesos de disolución de los materiales yesíferos aprovechando la fracturación en la zona de borde del acantilado, afectado por procesos clásticos de descompresión mecánica y subsidencia del terreno. En algunas de ellas hay pequeños ejemplos de espeleotemas (que prueban la ocurrencia de procesos de disolución y precipitación) (Hill & Forti, 1997; Galán, 2015; Galán et al, 2019 c), pero en general se trata de cavidades bajo control estructural, asociado al complejo dispositivo de pliegues retrocabalgantes y a la dinámica de borde de los acantilados que recortan el núcleo anticlinal.

Las simas de los acantilados de Falces presentan un conjunto de rasgos geomorfológicos peculiares, debidos a la ocurrencia de sales en el subsuelo, a la existencia de karstificación local en los yesos, y, sobre todo, a los procesos de descompresión mecánica de la roca-caja en la zona de borde de los escarpes. El frente de acantilados sobre el valle del río Arga está sometido a procesos gravitacionales de deslizamiento, subsidencia de escalones de borde, basculamiento y desprendimientos de bloques, los cuales están plenamente activos en la actualidad.

Hidrogeológicamente el área explorada sólo recibe las precipitaciones dispersas en su superficie. Por tratarse de una zona de clima continental seco, la cuantía de las precipitaciones es escasa, del orden de 450 mm/a, con una temperatura media de 14°C. La infiltración dispersa no se organiza en una red hidrológica subterránea jerarquizada, sino que profundiza de modo disperso hacia el nivel de base local impuesto por el cauce del río Arga, con probables surgencias difusas entre los coluviones y rellenos de bloques Holocenos de los taludes basales y el aluvial del valle.

Se trata en consecuencia de un tipo de cavidades atípicas, desarrolladas en un conjunto yesífero de litología, estructura y relieve también peculiares. Unos rasgos novedosos entre las cavidades del karst de Navarra en distintas litologías, que nos ha parecido de interés describir y dar a conocer.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores que nos acompañaron en prospecciones anteriores efectuadas en la región Sur de Navarra, y a Laura Núñez para este trabajo. A tres árbitros de Biosphere Consultancies (United Kingdom) y Sociedad de Ciencias Aranzadi, por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Faci Paricio, E.; A. Olivé Davó; J. Huerta & J.I. Ramírez Merino. 2001. Memoria de la Hoja 206-III. Peralta. Mapa Geológico de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 122 pp.
- Galán, C. 2015. Espeleotemas de yeso, illita, calcita y ópalo CT en cuevas en arcilla (Bardena Negra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 35 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.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz & A. Miner. 2019 a. Sima en yeso con niveles dolomíticos de edad Oligoceno en el Barranco Salado (Mendavia, Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz & A. Miner. 2019 b. Cuevas de Cárcar: Cavidades en yeso laminado con margas en la base de un acantilado en los márgenes del río Ega (Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 18 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2019 c. Descubrimiento de espeleotemas, snowballs y frostworks de yeso, anhidrita, bassanita y thenardita en cavidades de Sierra Perra (Sur de Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.
- Hill, C. & P. Forti. 1997. Cave mineral of the World. Second. Ed. Nat. Speleol. Soc., Huntsville, 464 p.
- 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.