

**HALLAZGO DE UNA INTERESANTE CAVIDAD EN LA FORMACIÓN YESOS DE FALCES
(CAPARROSO, NAVARRA).**

Discovery of an interesting cavity in the Formation Gypsum of Falces (Caparroso, Navarra).



Carlos GALÁN. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Julio 2018.

HALLAZGO DE UNA INTERESANTE CAVIDAD EN LA FORMACIÓN YESOS DE FALCES (CAPARROSO, NAVARRA).

Discovery of an interesting cavity in the Formation Gypsum of Falces (Caparroso, Navarra).

Carlos GALÁN.

Con la colaboración de: Marian Nieto, José M. Rivas, Laura Núñez & Ainhoa Miner.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Julio 2018.

RESUMEN

El trabajo describe el hallazgo y exploración de una sima formada en una litología poco habitual, constituida por un conjunto de yesos con intercalaciones lutíticas de edad Oligoceno. Los yesos presentan litofacies laminado-nodulares, de aspecto alabastrino, con frecuentes brechificaciones. La formación presenta niveles dolomíticos, laminados y carniolares, en el seno de los intervalos yesíferos. La cavidad es una sima-sumidero de 200 m de desarrollo y -22 m de desnivel, abierta en la parte alta de una meseta y que drena hacia la base de un escarpe vertical que la limita por el lado Norte. La cavidad posee una galería subterránea inundada, con cauce de sedimentos arcillosos finos y materia orgánica vegetal, cuya descomposición genera H₂S y otros gases tóxicos. La cavidad posee diversas geoformas. En adición, la historia de la cavidad es curiosa, ya que resultó conocida por estar asociada al crimen de un taxista ocurrido en la localidad. Estos aspectos son descritos en la presente nota.

Palabras clave: Cuevas en yeso, Karst en yeso, Espeleología física, Hidrogeología, Geomicrobiología.

ABSTRACT

The work describes the discovery and exploration of an abyss formed in an unusual lithology, constituted by a set of gypsum with lutitic intercalations of Oligocene age. Gypsums have laminate-nodular lithofacies, with an alabaster appearance, with frequent breccias. The formation presents dolomitic, laminated and carniolar levels, within the gypsum intervals. The cavity is a sink-hole of 200 m of development and -22 m of unevenness, open on the upper part of a plateau and draining towards the base of a vertical escarpment that limits it on the north side. The cavity has a flooded underground gallery, with a bed of fine clay sediments and organic plant matter, whose decomposition generates H₂S and other toxic gases. The cavity has diverse geoforms. In addition, the history of the cavity is curious, as it was known to be associated with the crime of a taxi driver happened in the locality. These aspects are described in the present note.

Keywords: Caves in gypsum, Karst in gypsum, Physical Speleology, Hydrogeology, Geomicrobiology.

INTRODUCCION

La región de Caparroso está situada al Norte de los relieves subdesérticos de las Bardenas, en el Sur de Navarra, y presenta también climas áridos y una estructura litológica conformada por depósitos evaporíticos de arcillas, margas y yesos, relativamente solubles. El río Aragón ha formado a su paso extensas vegas fluviales limitadas por relieves tabulares y crestas, con estructuras originales debidas al hundimiento y deformación de los materiales por procesos de subsidencia sinsedimentaria por karstificación. El elemento fundamental de la tectónica de toda la zona lo constituyen los yesos y las sales que han originado, por halocinesis, los grandes anticlinales de Andosilla, Falces y Tafalla.

La cavidad estudiada se localiza al SW de Caparroso, sobre un relieve tabular con pequeños valles secos orientados de NW a SE. La erosión modeló este relieve, que culmina a 447 m snm en el vértice Masadas, a expensas de un anticlinal de núcleo yesífero y carácter halocinético. La meseta está cortada al N por escarpes verticales sobre el río Aragón que alcanzan 40 m de desnivel.

Durante la exploración de cavidades en arcillas y lutitas en la región de las Bardenas (Galán, 2015; Galán et al, 2017, 2018) muchas veces hacíamos un alto (a la ida o de regreso) en Caparroso, cuyo paisaje llama la atención por estar el pueblo enclavado al pie de pequeños cerros con cortados rocosos. Indagando sobre la presencia de cuevas en la parte N de las Bardenas y en los cerros cercanos, nos enteramos de la existencia de una sima en el paraje de Yerbavaca, a 4 km de la localidad.

Aparte de "cuevas" artificiales, excavadas en las barrancas del río, los agricultores versados de la región no conocían cavidades naturales, ni existían reportes en el Catálogo Espeleológico de Navarra. La única referencia de cavidades que obtuvimos era la de la citada sima, que trascendió y tuvo difusión por un hecho delictivo: el crimen de un taxista de Pamplona en 1985, cuyo cuerpo fue arrojado a la sima, al parecer una hondonada de -5 m, a la cual bajaron los agresores para ocultar el cuerpo tapándolo con ramas. Pero se desconocía si la cavidad tenía alguna continuidad.

En 2017 tuvimos la suerte de contactar con un agricultor que conocía muy bien el paraje. La sima es el sumidero temporal de un cauce seco, y según el baquiano prosigue en cueva en oscuridad, pero no sabía cuánto. Nos explico que el agua que desaparece en la sima cuando llueve emerge en una surgencia temporal al lado del río Aragón, al pie de los escarpes verticales. Localizamos la cavidad sobre la cartografía y apreciamos que había al menos 200 m de distancia hasta la zona de surgencia. Por lo tanto, nos pareció de potencial interés efectuar una exploración detallada del paraje y la cavidad. Esta nota presenta los resultados obtenidos.

MATERIAL Y METODOS

Los métodos de exploración utilizados son los habituales en espeleología, con técnica de cuerda estática y jumars para verticales y levantamientos topográficos con instrumental de precisión Suunto (brújula y clinómetro). El trabajo es apoyado en cartografía y ortofotos del sector, complementando la descripción con fotografía digital. El plano de la cavidad ha sido dibujado en programa Freehand. Algunas muestras de roca fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon, con analítica complementaria.

RESULTADOS

La cavidad descubierta se localiza a 3,5 km de distancia en planta al WSW de la localidad de Caparroso (Navarra), en el paraje de Yerbavaca. Los materiales aflorantes corresponden a yesos con intercalaciones margosas de la Formación Yesos de Falces (de edad Sueviense, Oligoceno), que ocupan el eje y flanco N del anticlinal de Falces, donde se localiza la cavidad, en la proximidad del cortado o escarpe N sobre el río Aragón.

Fuera del área de estudio, sobre el flanco S del anticlinal y en la ladera E de la meseta, sobre Caparroso, aflora parte de la secuencia suprayacente de la Formación Arcillas de Marcilla, constituida por arcillas ocreas con intercalaciones de areniscas y calizas micríticas, de edad Ageniense temprano (en el tránsito Oligoceno - Mioceno).

Así, mientras las cavidades estudiadas previamente en de la región de las Bardenas se desarrollan en arcillas y lutitas de la Formación Tudela (de edad Mioceno) (Galán 2015; Galán et al, 2017, 2018), la correspondiente a este trabajo se sitúa en la Formación Yesos de Falces (de edad Oligoceno), por debajo estratigráficamente de los materiales arcillosos de las Bardenas.

Durante el Oligoceno la subsidencia fue importante, llegando a acumularse más de 4000 m de sedimentos detríticos y lacustres. La paleogeografía de la cuenca sufrió sucesivos cambios, siendo el rasgo más relevante la deriva de los sistemas lacustres del centro de cuenca hacia el Sur. Durante el Mioceno la subsidencia fue mucho menor (algunos centenares de metros) y la paleogeografía cambió marcadamente como consecuencia del plegamiento de la cuenca ocurrido durante el inicio de este periodo. Los sistemas lacustres se desplazaron hacia el E (Aragón) y la sedimentación fue entonces predominantemente detrítica en Navarra, con desarrollo de sistemas aluviales en los márgenes de cuenca y fluviales o fluvio-lacustres en su zona central.

Los Yesos de Falces en la zona se componen de un conjunto yesífero deformado con intercalaciones lutíticas subordinadas. Constituyen la unidad litoestratigráfica 312, que ha sido detalladamente descrita por Faci Paricio et al (2003) y SITNA Navarra. En lo que sigue incluimos extractos de dichos autores para describir los principales rasgos de esta unidad.

La Formación Yesos de Falces constituye un conjunto yesífero con intercalaciones lutíticas. 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. Los niveles nodulares y masivos suelen adoptar tonos claros blanquecinos mientras que los términos laminados muestran coloraciones más grisáceas y oscuras, e incluyen horizontes yesoareníticos.

De forma bastante característica hay que hacer notar el desarrollo de niveles dolomíticos, laminados y carnolares, en el seno de los intervalos yesíferos, que se reconocen por su tono beige-amarillento.

Los términos lutíticos tienden a adquirir un mayor desarrollo hacia el techo de la unidad, si bien aparecen a distintas alturas de la serie. 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 deposicional de la Fm. Falces se cifra, a partir de los datos disponibles de subsuelo, en unos 1000 m, no obstante se pueden alcanzar espesores mucho mayores por migración halocinética hacia núcleos anticlinales, como ocurre en el sondeo Marcilla 1, donde se atravesaron cerca de 3000 m de evaporitas. La unidad se encuentra intensamente plegada, lo que dificulta el cálculo del espesor visible, que debe superar no obstante los 300 m.

En el subsuelo la Fm. Falces está representada por anhidrita y halita con intercalaciones lutíticas esporádicas. 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. La halita, no obstante, puede formar tramos bastante masivos, de varias decenas de metros, mientras que la anhidrita suele presentar un aspecto más laminado. Por otra parte Salvany (1989) constata la presencia de capas de glauberita entre los términos anhidríticos y halíticos.

La glauberita es un sulfato de sodio y calcio, de fórmula química $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$. Es un mineral incoloro o de color claro que cristaliza en el sistema monoclinico. Muestra fractura irregular o concoidea y tiene un sabor ligeramente salino. Se altera con bastante facilidad en condiciones superficiales, perdiendo el sulfato sódico y quedando el de calcio, menos soluble, en forma de yeso. Es un componente común en depósitos evaporíticos, frecuentemente asociado a yeso, halita, polihalita, anhidrita y thenardita.

Las características de los depósitos evaporíticos de la Fm. Falces indican que su deposición se efectuó en condiciones esencialmente subacuáticas por concentración de salmueras sulfatado-cloruradas en una zona interna de un sistema lacustre salino estable, extensamente desarrollado en el sector central de la cuenca (Faci Paricio et al, 2003).

Constituyendo el tránsito entre las formaciones Falces y Marcilla se presenta localmente un tramo superior constituido por una serie alternante de facies arcillosas margosas grises y niveles de yesos (unidad litoestratigráfica 315, de edad Ageniense inferior).

La Fm. Arcillas de Marcilla fue definida por Castiella et al (1978) como un potente conjunto arcilloso de tonos ocre, desarrollado en la zona central de la cuenca Navarro-Riojana, que se dispone sobre la Fm. Falces. Su potencia se cifra en unos 250 m en el anticlinal de Falces, siendo menor en el anticlinal de Arguedas, con un progresivo adelgazamiento hacia el SE.

La Fm. Marcilla evidencia una etapa de expansión generalizada de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica en la cuenca Navarro-Riojana. La gran proporción de términos lutíticos indica un medio de frente aluvial muy distal probablemente en situación perilacustre, con desarrollo episódico de depósitos de charcas carbonatadas y eventuales niveles evaporíticos yesíferos.

El relieve tabular de la zona de Yerbavaca forma una planicie en suave declive NNW hacia los cortados del Estajado y Soto de la Cueva, que forman escarpes verticales sobre el río Aragón y su vega, el cual discurre de E a W. Las cotas más altas se encuentran en el vértice Masadas (447 m snm) y descienden hasta cotas de 380 a 340 m en el borde N de los escarpes, que llegan a alcanzar desniveles de 40 á 80 m sobre el río, el cual discurre a una cota de 295 m snm en este sector. Sobre la meseta se forman pequeños valles o vaguadas, muy poco marcados, que discurren en paralelo desde el SE hacia el NW. El eje del anticlinal de Falces sigue esta misma dirección y corta el río Aragón en el Soto de la Cueva, a escasos 600 m al W de la cavidad.

De entre estos valles poco marcados de la parte alta, destaca el valle del Sabinar, que se extiende por cerca de 4 km desde el alto de Masadas hacia los cortados, siguiendo una dirección SE-NW, para doblar bruscamente y seguir 1,5 km hacia el W, formando una incisión en los escarpes del Estajado. Este valle del Sabinar tiene un cauce de régimen hídrico temporal que se encaja progresivamente en su parte NW, discurriendo en paralelo al borde, a escasa distancia del mismo (150 á 200 m). En su parte final W, 500 m antes de desembocar en el escarpe, el cauce se encaja en una depresión alargada donde se localiza la sima de Yerbavaca (cota 317 m snm), la cual constituye el sumidero del torrente. La cuenca epígea captada es en consecuencia importante, del orden de 8 km². Con una precipitación media de 450 mm/a, puede comprenderse que el caudal que circula subterráneamente a través de la cavidad, en épocas de lluvia, puede ser substancial. Con capacidad para disolver y erosionar los niveles de yesos, sales e intercalaciones margo-arcillosas de la Fm. Falces (Figuras 01 á 04).

En superficie predominan áreas de cultivo y algunas zonas con cárcavas, de aspecto similar a las que posee las Bardenas. Hidrogeológicamente estos terrenos de yesos con intercalaciones de arcillas y margas (unidad 312) afloran en el núcleo del Anticlinal de Falces y están fuertemente replegados. Presentan un buzamiento medio de 20-25° NE en la zona de Yerbavaca donde se localiza la cavidad. En profundidad incluyen abundantes niveles de halita alternando con anhidrita, lutitas y dolomías. Es una formación salina de muy baja permeabilidad (<10-8 m/s) que puede sin embargo permitir cierta circulación de agua en los niveles superficiales por karstificación, aunque muy superficialmente. A continuación, la descripción de la cavidad propiamente dicha.

Sima de Yerbavaca.

Situación: A 3,5 km al WSW de la localidad de Caparroso.

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4. 687.150; E 623. 408; Altitud 317 m snm.

Dimensiones: Desnivel: -22 m; Desarrollo espacial: >200 m. Figuras 05 á 19. Plano en Figura 20.

Descripción: La cavidad se localiza en la zona N de un relieve tabular surcado por el valle del Sabinar. Este es un amplio valle poco marcado que se inicia en el alto de Masadas y discurre hacia los escarpes del lado N de la meseta para, en su último km, discurrir en paralelo al borde. En este tramo el cauce se entalla en una depresión alargada, de 94 m de longitud, cuyos últimos 24 m forman una sima embudiforme de -12 m de desnivel desde superficie (cota 317 m snm).



Figura 01. Formación Yesos de Falces. Cárcavas sobre relieves yesíferos (arriba) y evaporitas yesíferas karstificadas y deformadas por procesos de disolución y de subsidencia sinsedimentaria (debajo), en la región de Caparros. (Fuente: Gobierno de Navarra y MN Consultores).



Figura 02. Relieve de cárcavas en el flanco Este de la meseta de Yerbavaca, en la vecindad de Caparroso, desarrolladas en la Formación Arcillas de Marcilla, suprayacente a la Formación Yesos de Falces.



Figura 03. Evaporitas de la Formación Yesos de Falces en los cortados del Norte de la meseta de Yerbavaca. Los yesos laminados y nodulares, con intercalaciones de sales y margas, se presentan muy deformados y exhiben pliegues enterolíticos y fluidales, puestos en relieve por disolución kárstica superficial.



Figura 04. Aspecto típico del afloramiento de yesos en la superficie de la meseta (arriba) y detalle de cantos rodados y gravas en el cauce seco del valle del Sabinar (debajo), con un toque de color.



Figura 05. El amplio valle poco marcado del Sabinar poco antes de alcanzar la sima de Yerbavaca (arriba) y boca principal de la misma, de amplio diámetro (debajo). Se aprecia el reborde de la cascada en la cota -5 (flecha roja) y el inicio de la galería descendente en la cota -12 m (flecha naranja).



Figura 06. Sima de Yerbavaca. Geoformas en la serie yesífera y depósitos de madera y restos vegetales aportados por las crecidas (arriba). Grandes arbustos-bola del género *Salsola* en el inicio de la galería descendente (debajo).



Figura 07. La galería descendente sigue el buzamiento NE de las capas de yeso y presenta en las paredes pliegues y deformaciones con geoformas a escala métrica (arriba). El resalto de -2 m antes de alcanzar el río subterráneo en la cota -22 m (debajo), con arbustos-bola.



Figura 08. Inicio del río subterráneo en la cota -22 m, con sedimentos arcillosos finos ricos en materia orgánica.



Figura 09. Diversos aspectos de la galería inundada, con emisiones de gases y motas de condensación.



Figura 10. Detalles de la exploración de la galería inundada, en la cota -22 m.

La terminación W del cauce entallado forma una cascada en extraplomo de -7 m. El largo tramo E (de 70 m de largo), tras un resalte de -2 m, desciende de NE a SW en un surco de 5 m de ancho (limitado entre paredes subverticales) para alcanzar el borde en cascada en la cota -5 m. Consideramos esta larga depresión parte de la cavidad, ya que todo el conjunto constituye una depresión cerrada por debajo de la cota 317 m.

El valle del Sabinar prosigue tras la sima hacia el SW 440 m, para unirse a otra vaguada, y gira al NW para descender en sus últimos 300 m hasta la vega del río Aragón, en el paraje de Soto de la Cueva, recortando los escarpes del borde N de la meseta.

La sima embudiforme alcanza 24 m de diámetro y posee en su interior en su lado S otra dolina-sima en la cota -5, de 6 m de diámetro interno y cegada por colapso de bloques. La sima principal, en embudo, alcanza 17 m de diámetro en la cota -12. Se puede descender con cuerda por distintos puntos, quedando en extraplomo sólo la pared bajo la cascada. Pero también puede alcanzarse esta cota sin usar cuerda siguiendo la zona de menor pendiente hasta el collado entre las dos simas y luego por el flanco de la depresión mayor, en delicado descenso en escalada libre.

Desde este punto, situado bajo la cascada, la sima prosigue en galería amplia de menor pendiente, hasta un paso estrecho con un resalte de -2 m que se puede también descender en escalada. Así se alcanza una galería inferior, horizontal, en la cota -22 m. A lo largo de las paredes de la galería descendente pueden apreciarse numerosos micropliegues y geoformas en los estratos yesíferos generados por procesos de disolución y subsidencia sinsedimentaria de las evaporitas. En repisas de las paredes y sobre el suelo de bloques se aprecian acumulaciones de madera y restos vegetales secos, obviamente depositados por las crecidas, y especialmente grandes arbustos-bola (= estepicursos o plantas rodadoras), propios de áreas esteparias de terrenos salinos. Estas bolas vegetales llegan casi a obstruir el paso en el estrechamiento previo al resalte de -2 m.

Tras el mismo se alcanza una amplia galería inferior, horizontal e inundada. Esta tiene 4-5 m de ancho por 2 m de alto por encima del nivel del agua. La profundidad del agua alcanza 1 m pero el suelo del cauce es un material arcilloso muy fino, que posee en sus partes bajas espesos recubrimientos negros de materia orgánica vegetal en proceso de descomposición. Buena parte de este material consiste en los restos de arbustos-bola (una quenopodiácea del género *Salsola*) y otras plantas importadas durante las crecidas, así como fragmentos pequeños de madera.

La galería inundada, al momento de su exploración, no presentaba corriente (estaba estancada como en una piscina). La galería toma un rumbo NE para girar enseguida hacia el NW, en un tramo inundado de 40 m de largo. Tras un paso de techo más bajo se alcanza una ampliación circular, con algunos bloques que sobresalen del agua, la cual aparentemente se filtra a través de un sifón prácticamente obstruido por los sedimentos. La galería posee algunas pequeñas espeleotemas de yeso, pero en su mayor parte las paredes tienen pátinas de arcilla que indican su inundación periódica. El nivel del agua puede subir en estos casos 2-3 m de altura, alcanzando la bóveda y sifonando casi toda la galería.

El avance por esta galería es complicado porque el explorador se hunde en el fango hasta las rodillas, teniendo al final que andar de rodillas o medio nadar para no quedar atascado en el barro. Pero más curioso aún resulta que al avanzar y remover el sedimento del fondo se desprenden gases, con olor a alcantarilla, producto de la degradación bacteriana anaerobia de los restos vegetales, y que probablemente incluyen sulfuro de hidrógeno H_2S , CO_2 , y tal vez algo de amoníaco y metano. La atmósfera de la galería, inicialmente limpia de gases tóxicos, se va así cargando de una mezcla de gases, aumentando su concentración (especialmente el H_2S , que es más denso que el aire) en la cercanía de la superficie del agua estancada, y disminuyendo el contenido en oxígeno, por lo que entraña un grave riesgo permanecer en esta atmósfera.

A un costado de la poza final del tramo inundado, a +1 m sobre el nivel del agua, se abre una galería seca, horizontal, que tras un giro toma una dirección NW, y prosigue 20 m (con sección de 1-1,5 m de ancho x 2-3 m de alto), hasta otro codo, donde detuvimos la exploración al empezar a notar síntomas de mareo y falta de oxígeno. La galería prosigue, con paredes claras de yeso y vetas de halita con intercalaciones de margas, pero se necesitaría usar equipos autónomos de respiración (o material de buceo) para intentar proseguir la exploración. Empezamos el regreso con velocidad notando mayor contenido en gases y olor fuerte a alcantarillado, que se propagó prácticamente hasta la zona amplia de la base de la sima.

Computamos un desarrollo de 60 m para la galería inferior, 46 m más para la galería descendente de la sima y segunda dolina, 24 m de diámetro del embudo superior de la sima y 70 m del cauce encajado en la depresión sobre la cascada. Lo que da un total de 200 m de desarrollo y -22 m de desnivel, para el conjunto de la cavidad. Cabe señalar que el nivel del agua en la galería de la cota -22 corresponde al nivel piezométrico y al nivel del curso del río Aragón en este sector (que es de 295 m snm).

Posterior a la exploración de la cavidad, revisamos la base de los escarpes del lado N de la meseta, en busca de otras potenciales galerías y/o probables puntos de surgencia, sin encontrar otra cosa que oquedades menores y numerosos taludes basales con rellenos de material de colapso de las paredes. Es posible que el agua subterránea que emerge del afloramiento de yesos sea transmitida al aluvial de la vega del río o al propio cauce del mismo, sin puntos de surgencia apreciables.

Por el trazado de las galerías y su posición topográfica sobre el relieve local, interpretamos que la cavidad se ha formado ha expensas de fracturas de distensión paralelas al borde del escarpe N y por disolución kárstica de los yesos y sales contenidos en la roca encajante. Las intercalaciones arcillosas no obstante dificultan la espeleogénesis, aunque los procesos de piping pueden también intervenir y facilitar la desagregación intergranular de los materiales y su remoción en aguas altas (Dunne, 1990; Parker & Higgins, 1990).

La relativa baja dureza de la deformada serie rocosa de la Formación Falces, propicia los colapsos de los conductos y vacíos formados por disolución. Así que la presencia de esta cavidad sugiere un caso muy localizado de karstificación y no un proceso generalizado en el afloramiento de materiales yesíferos.

La sima de Yerbavaca constituye de este modo una cavidad curiosa y un fenómeno hidrogeológico peculiar. De no mediar la presencia de gases potencialmente peligrosos, producto de la actividad bacteriana en las aguas subterráneas, tal vez pudiera extenderse el conocimiento a un conjunto mayor de galerías, que bien pueden existir en el subsuelo, incluso en zona inundada, por debajo del nivel piezométrico.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El domingo 24 de Noviembre de 1985, Isidoro Echeverría y Constantino Aldave se trasladaron a Pamplona con el objetivo de robar un coche para cometer un atraco en una entidad bancaria de la ciudad. Como quiera que no lograron apoderarse de vehículo alguno, optaron por solicitar los servicios del taxista Juan Gastaminza (de 63 años) en la céntrica plaza del Castillo, manifestando al conductor que los llevara hasta la fábrica de Potasas de Navarra, situada a 10 km de la capital. Cuando llegaron a dicho punto los clientes amenazaron al taxista con una pistola de calibre 9 mm y le conminaron a que se dirigiera a un pinar existente en la carretera que conduce de Caparroso a Mérida. En este lugar ya de noche los delincuentes amordazaron a la víctima y la ataron a un pino para, seguidamente, huir con el taxi y dirigirse a Caparroso, una vez que hubieron quitado al coche los distintivos de taxi.

Llegados a este pueblo, los maleantes pensaron que el taxista podría reconocerles, por lo que pidieron a una amiga (María Pilar Cristóbal) para que en otro coche les llevara nuevamente al pinar, donde recogerían al taxista para conducirlo al cercano paraje de Yerbavaca, que uno de ellos conocía, donde existía una hondonada de unos siete metros de profundidad. Allí bajaron al desamparado taxista y uno de ellos, sin previo aviso, le descerrajó un tiro en la nuca, cayendo el hombre aún atado al interior de la sima. Como el cuerpo inerte se veía desde superficie, los delincuentes bajaron a la hondonada para tapar el cuerpo con ramas. Luego se dirigieron a Caparroso, para deshacerse del taxi arrojándolo al río Aragón.

Tres días después, tras cometer un atraco en Pamplona, los delincuentes fueron capturados por la Guardia Civil tras una accidentada persecución, en el transcurso de la cual arrojaron por la ventanilla del coche una pistola Astra con la que habían cometido el asesinato. Se les intervino también algunas drogas. El taxi fue localizado en el río gracias a la información de un vecino que en la madrugada del día de los hechos había observado maniobras extrañas de un automóvil junto al río. Tras interrogar a los sospechosos y rastrear intensivamente la zona con ayuda de perros y un helicóptero se encontró finalmente la sima y el cuerpo atado y amordazado de Juan Gastaminza, que presentaba un tiro en la nuca. Igualmente se encontró el casquillo de la bala de 9 milímetros largo utilizado en el crimen y la documentación del taxista. Los autores fueron juzgados y condenados, con diferentes penas. (Fuente de información: Diario de Navarra, ABC y El País).

El luctuoso suceso y las pesquisas desarrolladas conmocionaron a la población de Navarra y tuvieron gran difusión en esos días. Especialmente por la innecesaria crueldad utilizada por los asesinos. Pero con el paso del tiempo el suceso fue siendo objeto de olvido, salvo entre los familiares y amigos de Juan Gastaminza, un hombre trabajador, sin enemigos conocidos. Mucho se habló del hecho delictivo, pero a la vez eran pocos, incluso en Caparroso, los que conocían algo de ese paraje o de la hondonada, sima o pozo en que fue arrojado el taxista.

Como ha sido dicho en la introducción, indagando sobre la ocurrencia de cuevas o simas en los montes cercanos a Caparroso, obtuvimos de un agricultor la información sobre la existencia de esta cavidad natural y el prometedor dato de que constituía una sima-sumidero que proseguía en galería descendente en oscuridad. Y con esa descripción, localizamos sobre la cartografía su probable ubicación. En base a los relatos publicados en la prensa, nuestra impresión es que el taxista cayó a la dolina-sima que existe en el lado Sur del interior de la depresión, o tal vez a algún punto del tramo encañonado E situado sobre la cascada seca. Esa concatenación de circunstancias es la que condujo al hallazgo de la cavidad y a nuestra exploración, que ha puesto de relieve la existencia de una interesante sima en yesos, de características singulares y de indudable interés científico.

Las rocas karstificables, donde se forman sistemas hidrológicos subterráneos y gran número de simas y cuevas, son principalmente rocas sedimentarias carbonáticas (calizas y dolomías) y evaporitas (yeso y halita). En la península Ibérica están muy bien representados ambos tipos, constituyendo los afloramientos yesíferos cerca del 30% de su superficie.

El karst en yeso está muy bien representado en Sorbas (Almería), donde se conocen más de 1000 cavidades en una zona de tan sólo 12 km² de superficie, con cavidades individuales, como la Cueva del Agua, que alcanza 8,5 km de desarrollo de galerías (Calaforra, 1998). En general las evaporitas en la península Ibérica se localizan en la mitad Este, pero cuando existe una cobertera suficiente la karstificación se produce en profundidad, mientras que en superficie apenas existen cuevas y sus efectos se aprecian sólo de manera puntual, en forma de dolinas de hundimiento y subsidencias del terreno. Esto es debido a que los procesos de disolución y pérdida de masa producen colapsos al ser débil la capacidad portante de las bóvedas de los conductos. Estos fenómenos son característicos en las formaciones yesíferas Terciarias de la Depresión del Ebro, que incluyen la zona árida que nos ocupa. En estos casos el paisaje característico y predominante es la estepa yesífera, propiciada por las pendientes acusadas en los sectores cercanos a los cauces de los ríos, donde tienen lugar procesos de disolución-erosión remontante muy activos.



Figura 11. Recogiendo equipos en la cota -12 m tras la exploración de la galería inferior y detalles de geofomas en los estratos yesíferos de la Formación Falces.



Figura 12. Reborde de la cascada de 7 m en la cota -5 m y el tramo encañonado E de la depresión de acceso. Dentro de la sima hay una segunda dolina-sima en el lado Sur (flecha roja). La línea de puntos delimita aproximadamente el borde superficial de la cavidad (cota 0).



Figura 13. Vegetación halófila en la vaguada que prosigue al W de la cavidad (incluye arbustos *Tamarix*) (arriba). Y base de los escarpes con deformaciones sinsedimentarias de las evaporitas yesíferas de la Fm. Falces (debajo).



Figura 14. Colapsos bajo el cortado N de la meseta, al N de la cavidad, donde se localiza la zona de surgencia. Los procesos de descompresión mecánica de la roca crean múltiples fracturas, que facilitan la infiltración. La cavidad se ha formado por disolución, pero aprovechando una zona de debilidad de este tipo.



Figura 15. Escarpes verticales de 40 m de desnivel en el borde N de la meseta, con numerosos colapsos.



Figura 16. Revisando la base de las paredes del cortado N en busca de puntos de surgencia. No encontramos galerías pero sí numerosas oquedades excavadas por disolución y erosión de las paredes yesíferas.



Figura 17. Detalle de yesos con litofacies laminado-nodulares e intercalaciones salinas, que exhiben frecuentes pliegues enterolíticos y fluidales. En los cortados del borde N de la meseta de Yerbavaca.



Figura 18. Escarpes sobre el Soto de la Cueva, con intercalaciones de lutitas rojizas en la serie yesífera. La densa vegetación y los colapsos dificultan la prospección en la zona de surgencia de las aguas subterráneas.



Figura 19. Relleno aluvial en la base de los escarpes del lado N de la meseta (arriba) y cantos rodados en el cauce del valle del Sabinar en la parte alta de la meseta, poco antes de que este describa un giro hacia el W (debajo). La cuenca del valle del Sabinar cubre una superficie de 8 km² y es drenada a través de la sima.

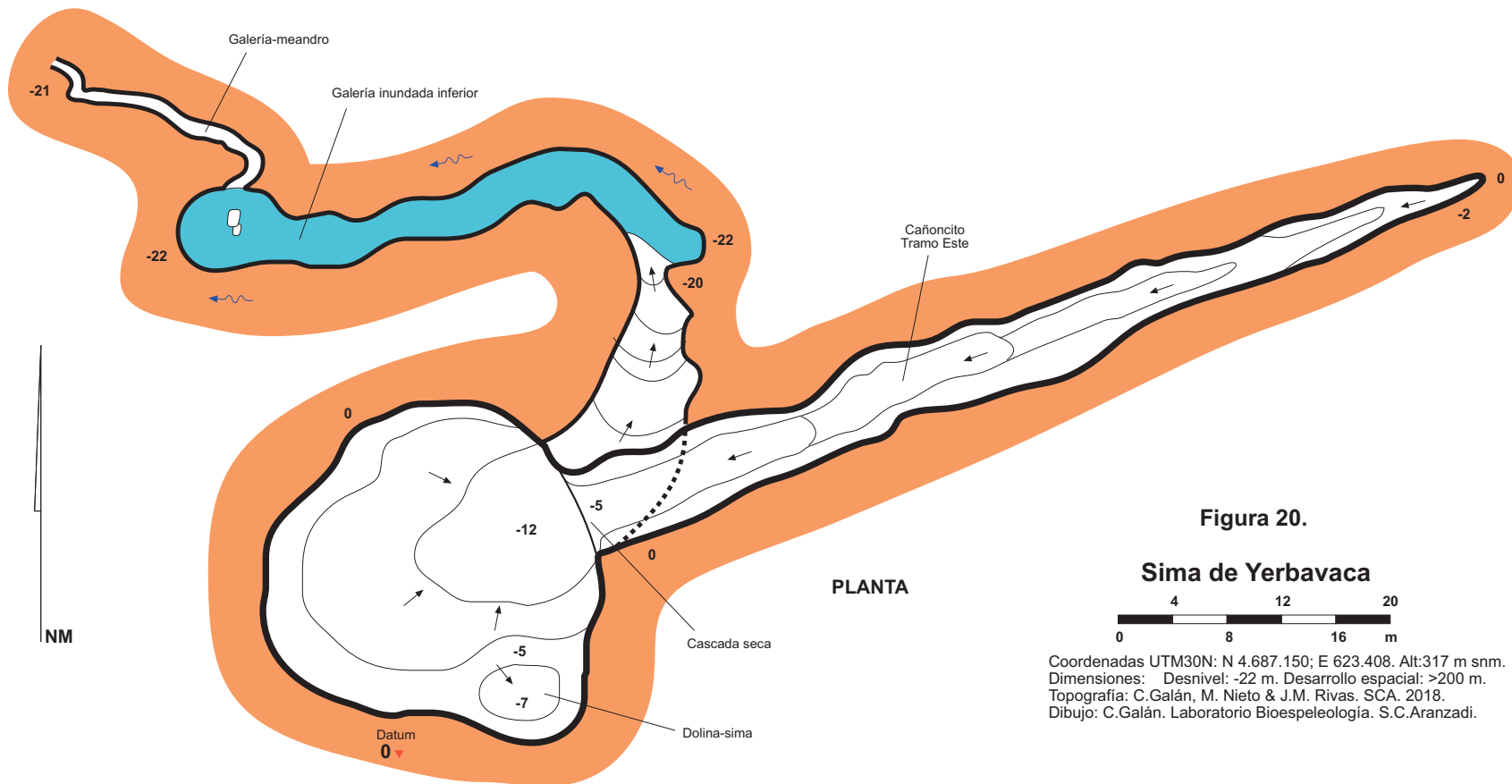
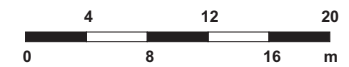
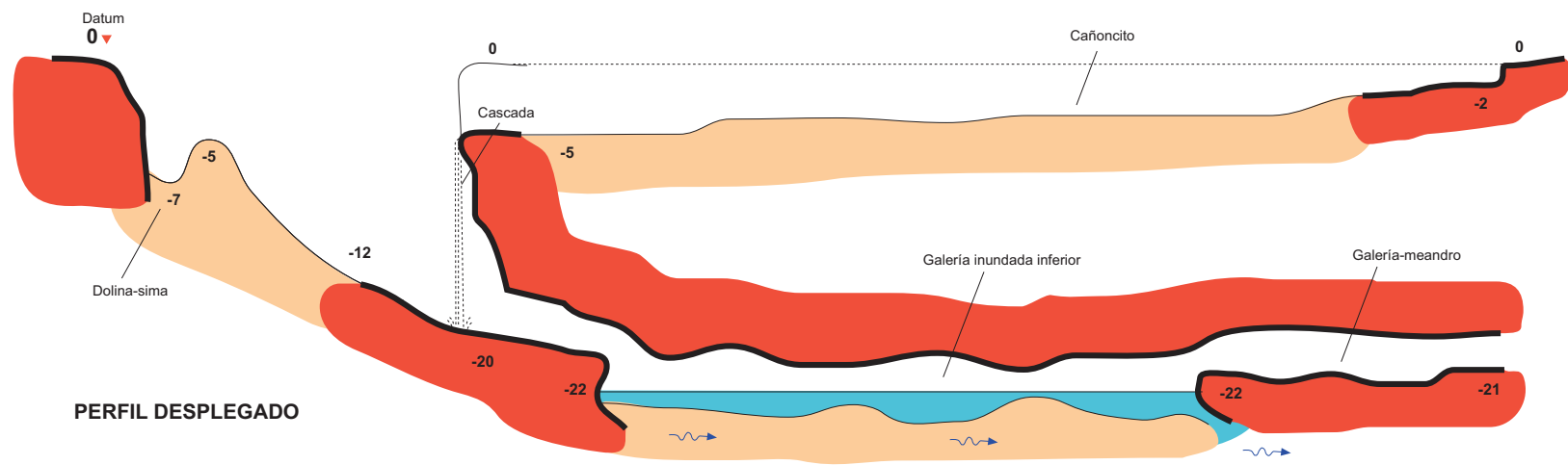


Figura 20.

Sima de Yerbavaca



Coordenadas UTM30N: N 4.687.150; E 623.408. Alt: 317 m snm.
 Dimensiones: Desnivel: -22 m. Desarrollo espacial: >200 m.
 Topografía: C.Galán, M. Nieto & J.M. Rivas. SCA. 2018.
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



Las características para la karstificación del yeso son diferentes a las de la caliza. Las formaciones de yeso se han depositado principalmente por precipitación química de salmueras. Después suelen experimentar un ciclo de transformación yeso-anhidrita-yeso. Donde se han formado las cuevas suele ser en el yeso del final de ciclo, es decir, yeso retransformado de anhidrita. Antes del ensanchamiento de las fisuras por flujos de agua, la permeabilidad del yeso suele ser baja.

La solubilidad del yeso en agua pura a 20°C es de 2,53 g/l, lo que es entre 10 y 30 veces mayor que la solubilidad de la calcita. Esta solubilidad del yeso no es constante sino que depende de un conjunto de factores, como la temperatura del agua, la presencia de otras sales, la porosidad y el tamaño de grano de la roca-caja. Así, la solubilidad del yeso en presencia de halita varía entre 2 g/l y 7 g/l (Calaforra, 1998). Debido a esta diferencia, la disolución del yeso se realiza mucho más rápido que la de la calcita, y la velocidad de desarrollo de los fenómenos kársticos en terrenos yesíferos será por tanto mayor en la proporción citada.

Los procesos de disolución-erosión en el karst en yeso, aunque simples, pueden experimentar múltiples variaciones, en función de variables climáticas, hidrológicas y litológicas. Atendiendo a los experimentos con tabletas realizados por Calaforra en el karst de yesos de Sorbas, y teniendo en cuenta sus peculiaridades climáticas (sobre todo lo escaso e irregular de las precipitaciones), se puede considerar una erosión en superficie del terreno del orden de 0,3 mm/año, estos resultados se corresponden con una tasa de disolución en superficie de 64 g/cm².año, cuando en el interior de las cavidades apenas se llega a 0,03 mm/año (es decir, 10 veces menor). Los métodos químicos contrastados ofrecen una notable convergencia de resultados. Las mediciones realizadas en climas semiáridos dan valores de disolución variables entre épocas de estiaje (del orden de 15-20 m³/km².año) y de crecidas (50-60 m³/km².año). La comparación con la erosión química en climas templados húmedos (superior a 350 m³/km².año) permite observar que el progreso de las cavidades en climas áridos es más lento que en climas húmedos. También es preciso resaltar la diferencia entre las tasas de erosión profunda y en superficie, siendo esta última mucho mayor.

En la región vasco-navarra existen muchos afloramientos yesíferos, sin embargo son extraordinariamente escasas las cuevas conocidas en yeso, predominando los fenómenos de subsidencia. Esto ocurre en dos litologías: diapiros del Trías y formaciones evaporíticas Terciarias.

En el diapiro de Orduña, la karstificación de las evaporitas infrayacentes ha ocasionado un fenómeno de subsidencia en la depresión que actualmente es ocupado por un relleno cuaternario de 80 m de espesor. En el entorno cercano a estos diapiros es frecuente la aparición de dolinas de subsidencia, como ocurre en Orduña, o de hundimiento en Salinas de Oro (Navarra). En el diapiro de Estella (Navarra), existen algunas cuevas en yesos del Trías, como la Cueva Los Longinos, de 50 m de desarrollo (Eraso, 1959), además de dolinas de colapso y de surgencias con elevados caudales de aguas clorurado sódicas (100 l/s).

En las cuencas Terciarias de la depresión del Ebro, las formaciones evaporíticas se pueden encontrar cubiertas por depósitos aluviales de espesor variable, rellenando amplias cubetas que fueron generadas por fenómenos de subsidencia sinsedimentaria y presencia de deformaciones gravitacionales (paleodolinas, generadas por hundimiento del sustrato yesífero por flexión de los estratos cuaternarios superpuestos). En la actualidad, la generación de dolinas es el fenómeno característico de subsidencia kárstica. Es por lo tanto digno de destacar la falta de cavernas (simas y cuevas propiamente dichas) en estos terrenos evaporíticos Terciarios. La Sima de Yerbavaca constituye así la primera cavidad reportada para la Formación Yesos de Falces, y la cavidad en yesos de mayor desarrollo en Navarra, a pesar de sus modestas dimensiones.

En cuanto a la génesis de la cavidad, nuestros datos y observaciones de campo soportan la siguiente interpretación. Al alcanzar el valle del Sabinar la proximidad del escarpado Norte de la meseta, su caudal temporal se fue infiltrando, de modo difuso, a expensas de fracturas de distensión mecánica paralelas al borde del escarpe. Las aguas infiltradas fueron disolviendo la serie de yesos y sales, formando conductos subterráneos multicapa, y produciendo el hundimiento y entallamiento del cauce epígeo, el cual se desplaza hacia el NW, terminando por concentrarse en una dolina-sima que deriva el flujo verticalmente hasta alcanzar el nivel piezométrico. Las intercalaciones arcillosas menos permeables resultan removidas por piping, a la vez que progresa la disolución de los yesos, concentrándose la infiltración en un colector de mayor envergadura, correspondiente a la galería inferior de la cueva.

Dado el clima árido de la región, y la irregularidad de las precipitaciones, las crecidas en aguas altas llegan a capturar casi todo el caudal de la cuenca del valle, concentrando la disolución y remoción de materiales hasta formar la cavidad actual.

Las oscilaciones del nivel piezométrico, condicionadas por el nivel de las aguas en la zona de surgencia (en relación a su vez con los niveles de crecida y estiaje del río Aragón), pueden permitir el desarrollo de otros conductos inferiores en zona inundada, de los que poco o nada sabemos, ya que no están al alcance de la exploración directa. Los rellenos detríticos en los conductos inundados obstaculizan el flujo y obstruyen conductos, pero resulta bastante obvio que el agua subterránea consigue atravesarlos en algunos puntos. Este localizado proceso de karstificación es activo en la actualidad y la sima-sumidero actual captura durante las crecidas hidrológicas un caudal considerable, que comprende buena parte de las precipitaciones caídas en su cuenca. La disolución en superficie y la apertura mecánica de fracturas en el borde de los escarpes, promueve desprendimientos y colapsos en masa que ocultan los puntos de salida del agua en la zona de surgencia.

La sima de Yerbavaca constituye un ejemplo hidrogeológico singular y la mayor cueva en yesos de Navarra. Es posible que futuras exploraciones con equipos autónomos de buceo (para evitar gases tóxicos), permitan ampliar la red subterránea conocida, tanto en zona vadosa como inundada. Los datos obtenidos ilustran el interés científico que posee esta curiosa cavidad.

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

- Calaforra, J.M. 1998. Karstología de Yesos. Universidad de Almería. Col. Monografías Ciencia y Tecnología. Nº 3, 384 pp.
- Castiella, J.; J. Solé & J. del Valle. 1978. Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Diputación Foral de Navarra.
- 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.
- Eraso, A. 1959. Karst en yeso del diapiro de Estella. *Munibe (Supl. Cienc. Nat.) Gr. Cienc. Nat. Aranzadi*. 9 (4): 1-31.
- Faci Paricio, E.; G. Galán Pérez; A. García de Domingo; P. Cabra Gil; J. González Lastra & G. Díaz Pinto. 2003. Memoria de la Hoja 244-I, Marcilla. Cartografía Geológica de Navarra, escala 1: 25.000. Gobierno de Navarra. 123 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; I. Herraiz; D. Arrieta & J. Forstner. 2017. 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.; I. Herraiz; M. Nieto & A. Miner. 2018. El Sistema de la Cueva del Gato - cuenca alta del Barranco del Gato (Bardena Blanca). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 47 pp.
- Parker, G. & C. Higgins. 1990. Piping and pseudokarst in drylands. In: Higgins, C.G. & D.R. Coates, Eds. 1990. Groundwater geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252.
- 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, pp 231-241.