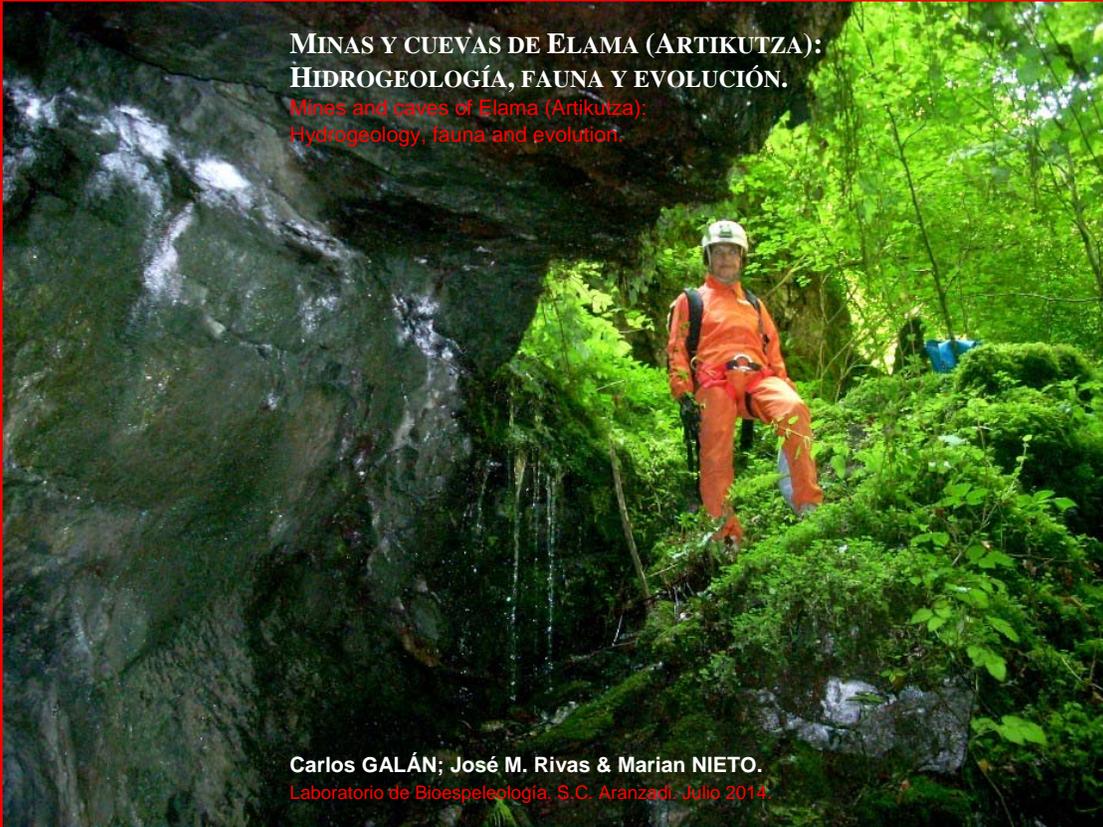


**MINAS Y CUEVAS DE ELAMA (ARTIKUTZA):  
HIDROGEOLOGÍA, FAUNA Y EVOLUCIÓN.**

Mines and caves of Elama (Artikutza):  
Hydrogeology, fauna and evolution.



**Carlos GALÁN; José M. Rivas & Marian NIETO.**  
Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi. Julio 2014.

# MINAS Y CUEVAS DE ELAMA (ARTIKUTZA): HIDROGEOLOGÍA, FAUNA Y EVOLUCIÓN.

Mines and caves of Elama (Artikutza): Hydrogeology, fauna and evolution.

Carlos GALÁN; José M. Rivas & Marian NIETO.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Julio 2014.

## RESUMEN

La cuenca de Artikutza (NW de Navarra) comprende geológicamente esquistos y lutitas de edad Paleozoico, de la aureola metamórfica del macizo de Cinco Villas - La Rhune. Esta serie incluye algunos niveles delgados de calizas marmóreas y numerosos filones metalíferos, principalmente de minerales de hierro, los cuales han sido explotados desde tiempos antiguos (2.000 años AP). La región fue sede de una importante actividad minera pasada, que cesó hacia 1906, hace ahora algo más de 100 años.

Dentro de la extensa cuenca, existieron importantes minas y ferrerías en el valle de Elama, en su extremo Sur. En esta zona exploramos una fila montañosa que conserva los restos de varias minas. La mineralización es filoniana. El relleno filoniano está constituido por siderita (carbonato de hierro), con blenda, pirita y calcopirita accesorias en las cotas inferiores y óxidos de hierro (hematita y limonita) en las más superficiales. Los esquistos contiguos presentan a su vez algunos niveles delgados de caliza.

Tras el cese de la actividad minera y con el paso del tiempo se ha ido produciendo la infiltración de las aguas hacia las galerías subterráneas, reworking and erosionando el terreno, con formación de dolinas, colapsos, circulaciones hídricas subterráneas y espeleotemas. Esto, unido al crecimiento vegetal en superficie, hace que estos parajes presenten una morfología y unos ambientes similares a los de cuevas naturales en caliza. Las cavidades han sido colonizadas por una fauna variablemente cavernícola. En este trabajo describiremos las cavidades exploradas y sus principales rasgos geo-biológicos.

Es de destacar que la variedad de rocas y minerales involucrados ha dado lugar a la formación de espeleotemas inusuales, muy diversas, así como a biocenosis peculiares. Se discute la evolución experimentada por estas antiguas minas.

*Palabras clave:* Espeleología, Biología subterránea, Hidrogeología, espeleotemas, cuevas, minas, fauna hipógea, Evolución.

## ABSTRACT

The Artikutza basin (North-western Navarra) geologically comprises schists and shales of Palaeozoic age, of the metamorphic aureole of Cinco Villas - La Rhune massif. This series includes some thin limestone marble levels and numerous metalliferous veins, mainly of iron minerals, which have been exploited since ancient times (2.000 years BP). The region was the site of an earlier important mining activity ceased around 1906, just over 100 years ago.

Within the extensive basin, there were major mines and forges in the valley of Elama at its southern end. In this area we explored a mountainous row that contains the remains of several mines. Mineralization is in veins. The philonian filler is constituted by siderite (iron carbonate) with sphalerite, pyrite and accessory chalcopyrite in the lower levels and iron oxides (hematite and limonite) in the most superficial. The adjacent schists have turned some thin limestone levels.

After the cessation of mining and with the passage of time has been producing the infiltration of water into the underground galleries, reworking and eroding the land with formation of sinkholes, collapse, underground water circulation and speleothems. This, together with plant growth in surface makes these sites present a morphology similar to those of natural caves in limestone environments. The cavities have been colonized by a variably cave fauna. In this paper we describe the explored cavities and the main geo-biological traits.

It is noteworthy that the variety of rocks and minerals involved has led to the formation of unusual speleothems, very diverse, as well as peculiar biocenosis. The evolution experienced by these old mines is discussed.

*Key words:* Speleology, Underground Biology, Hydrogeology, speleothems, caves, mines, hypogean fauna, Evolution.

## INTRODUCCION

El medio hipógeo comprende cavernas y sistemas de vacíos subterráneos en distintas litologías, no sólo el karst clásico en caliza. Las cavidades artificiales pueden también estar en comunicación con mesocavernas y vacíos menores. Este es el caso de muchas galerías de minas. Una vez cesada la actividad extractiva, el paso del tiempo y la infiltración de las aguas van remodelando los espacios subterráneos, siendo susceptibles de ser colonizados por distintas formas de vida.

Se puede decir que las galerías abandonadas comparten con las cuevas naturales un conjunto de características: su oscuridad total, alta humedad relativa, ausencia de plantas verdes, circulaciones hídricas subterráneas, formación de espeleotemas y rellenos sedimentarios, y cierto contenido de materiales orgánicos, constituyendo de este modo un nuevo habitat, de reciente creación, susceptible de ser colonizado por microorganismos y animales cavernícolas.

En forma paralela a otros habitats de reciente formación, bien sea por procesos naturales (como en el caso de nuevas islas producto de erupciones volcánicas) o artificiales (creación de arrecifes artificiales a partir de pecios en el mar o el caso de túneles y minas en tierra), las nuevas superficies creadas van siendo pobladas por seres vivos, en sucesiones que se inician a partir de la colonización desde ecosistemas próximos o limítrofes. Porque la capacidad de vida en el planeta es una sola, múltiple y cambiante.

La propia actividad metabólica de los microorganismos (principalmente bacterias) puede dar lugar a procesos de destrucción y meteorización de la roca y a la formación de nuevos minerales secundarios o espeleotemas. Ello se suma a la acción principal del agua sobre la roca, ya que en la medida en que se perforan nuevas galerías en su interior, se incrementa la infiltración, se amplían las fisuras de roca y se produce la captura y formación de sistemas de drenaje subterráneo, que desaguan hacia las galerías de mina. De este modo se crea un sistema subterráneo en roca inicialmente compacta, que, aunque en su origen es artificial, progresivamente va adquiriendo características que lo asemejan a cavidades naturales, en variable grado.

Las minas que nos ocupan en este trabajo reúnen rasgos de este tipo y han dispuesto de un lapso de 100 o más años (en algunos casos de varios cientos de años) para alcanzar sus rasgos actuales, los cuales recuerdan el ambiente propio de cuevas naturales, con el aditivo de que en estas litologías hay intercalaciones de caliza que ya contenían cuevas y mesocavernas.

Este tipo de antiguas minas es objeto de exploración y estudio por parte de lo que se ha dado en llamar "Espeleología minera". Es interesante porque permite comparar la acción de procesos similares en distintas litologías y de sus resultados geomorfológicos e hidrológicos. Particularmente resulta notable la diversidad de espeleotemas que pueden encontrarse, porque la diversidad de rocas y minerales fuente es considerable. Su profusión y desarrollo es muy variable, dependiendo de las condiciones locales, pero generalmente involucra films y espeleotemas de desarrollos milimétricos, aunque pueden cubrir amplias superficies. El escaso tiempo dispuesto para su formación se manifiesta también a nivel faunístico, con predominio de especies troglóxenas y cavernícolas poco especializados, en proceso de colonización y adaptación a los nuevos ambientes subterráneos.

En el presente trabajo describiremos las cavidades encontradas en Elama y sus rasgos más destacables o sobresalientes, los cuales, a nuestro modo de ver, las hace comparables al caso de cavidades naturales. Motivo por el cual nos inclinamos a efectuar su estudio y presentar una nota que juzgamos resultará de interés para el campo de la Espeleología científica.

## **MATERIAL Y METODOS**

La prospección espeleológica de la región se remonta a hace 12 años, con estudios sobre el MSS y fauna de cuevas en caliza y paraconglomerados cuarzosos (Galán, 2001, 2003a, 2003b). Durante esos trabajos se obtuvo referencias sobre la presencia de minas con galerías de cierto desarrollo y potencial interés en el valle de Elama, las cuales fueron exploradas en 2014.

En la exploración de las cavidades se emplearon técnicas de escalada y espeleología vertical (cuerda estática y jumars). Las cavidades fueron topografiadas con instrumental de precisión Suunto (brújula, clinómetro) y cinta métrica, debidamente calibrados. Los planos de las cuevas fueron dibujados en formato digital en programa Freehand. Los datos descriptivos han sido completados con fotografía digital de las distintas cavidades y formas de superficie, a fin de ilustrar sus principales características.

Algunas muestras de roca y espeleotemas fueron objeto de observación microscópica, caracterización de propiedades físicas y análisis mineralógico por difracción de rayos x (DRX) y espectrometría por dispersión de energía (EDS). Las muestras de fauna fueron colectadas con las técnicas habituales, se conservaron en alcohol etílico 75° y se estudiaron en laboratorio bajo microscopio binocular. La información bibliográfica disponible ha sido contrastada con observaciones y datos de campo. Fueron consultadas referencias históricas sobre minas y ferrerías en la región. El trabajo representa un estudio de espeleología, hidrogeología, mineralogía de espeleotemas y biología subterránea, de un conjunto de cavidades de un sector del valle de Elama.

## **RESULTADOS**

### **LA ZONA DE ESTUDIO**

El valle de Elama se localiza en el enclave o finca de Artikutza, en el término municipal de Goizueta (NW de Navarra), lindante con el término guipuzcoano de Oiartzun. La cuenca tiene 37 km<sup>2</sup> y está rodeada por una serie de cumbres de 800 a 1.000 m de altitud. En 1919 el ayuntamiento de San Sebastián compró el enclave, para garantizar la calidad en el suministro de agua potable a la ciudad. Las actividades agrícolas, forestales y mineras anteriores cesaron, quedando Artikutza como una reserva natural.

En el centro de la cuenca se construyó un embalse en los años 1950, pero las previsiones fallaron y la presa resultó insuficiente para dar respuesta a las crecientes necesidades de agua. El embalse de Añarbe, situado aguas abajo y hacia el cual tributa el embalse y río de Artikutza, pasó a cumplir esta función de abastecimiento para la capital de Gipuzkoa y Artikutza se convirtió en una reserva natural y de agua. El río Elama es un afluente situado dentro de la finca pero aguas abajo del embalse de Artikutza.

La región de Artikutza fue sede desde antiguo de actividades agro-ganaderas, madereras, de carboneo y de minería de hierro. Durante mucho tiempo existió actividad minera a pequeña escala, con numerosas ferrerías, y en tiempos más recientes explotaciones mineras más importantes, con laboreo subterráneo y excavación de galerías. El mineral era transportado a través de un ferrocarril de vía estrecha con elevadores desde Artikutza hasta Rentería. La actividad minera cesó hacia 1906, al trascender el proyecto de adquisición de la finca por el ayuntamiento de San Sebastián para el abastecimiento de agua. Las explotaciones cesaron y se recuperó una frondosa vegetación (principalmente de hayedos y otras frondosas) que cubre actualmente la mayor parte del enclave. El acceso a Artikutza se realiza por una carretera que parte de Oiarzun, construida en 1936.

Nuestra zona de estudio se extiende por el valle de Elama (cuya confluencia con el de Artikutza forma el río Añarbe), en la parte Sur de la finca, y más concretamente sobre la fila montañosa de Aku-Beltzuntza-Aloña, que separa los valles de Elama al W y Urdallue al E (ambos aguas abajo y al Sur del embalse). La zona de estudio ocupa la parte central de la ladera de la citada cresta montañosa que da al valle de Elama. Las minas principales se localizan a cotas de entre 450 y 500 m snm, a 100 m por encima del fondo del valle (Figuras 1 a 3).

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Los terrenos aflorantes son parte de la serie Paleozoica del macizo de Cinco Villas - La Rhune y han sido detalladamente descritos por Campos (1979). La sucesión de esquistos Paleozoicos es eminentemente detrítica, y alterna de forma irregular lutitas pizarrosas y areniscas laminadas, con intercalaciones de paraconglomerados cuarzosos y calizas de poca continuidad lateral; las lutitas constituyen la litología dominante; el color de los materiales es oscuro, gris a negro. La potencia total de la serie puede sobrepasar los 2.000 m de espesor.

Las areniscas se presentan como intercalaciones irregulares entre los niveles lutíticos, en lechos que raramente sobrepasan los 50 cm de espesor; son de colores grises claros y, en detalle, los lechos dejan ver una alternancia de delgados niveles claros y oscuros, de espesor milimétrico; el cambio de tonalidad corresponde a composiciones alternativamente más cuarzosas o micáceas. La matriz es lutítica y está formada por cuarzo de tamaño limo y minerales micáceos y arcillosos, entre los que predominan la mica blanca y la clorita, con considerables cantidades de materia carbonácea y óxidos de hierro. Las calizas son de color gris azulado, estratificadas en lechos delgados; están muy recristalizadas y sus contactos con los esquistos no son netos sino que gradan a calizas arenosas y lutitas. Sus afloramientos son frecuentemente poco espesos y en varios niveles, de poca continuidad lateral, por lo que no pueden ser representados en la cartografía, en la mayor parte de los casos.

La edad de los materiales ha sido atribuida a un Paleozoico alto, posiblemente Carbonífero (Westfaliense), sin desechar la posibilidad de que también esté incluido el Devónico terminal (Campos, 1979). Estas rocas han experimentado un metamorfismo de grado moderado (Campos, 1979) y son frecuentes en ellas mineralizaciones de tipo filoniano, con importantes contenidos en hierro y óxidos metálicos.

La asociación litológica observada en la zona de minas de Elama corresponde a esquistos limosos micáceos, carbonosos, de colores grises a negros. Sobre la zona de minas se presentan también algunos niveles delgados de paraconglomerados cuarzosos, de calizas marmóreas gris-azuladas, e inclusiones de marcasita y fluorita que aparecen diseminadas en gangas blancas de cuarzo, en pequeñas vetas.

Las minas en sí se desarrollan siguiendo un filón de siderita a lo largo de unos 400 m de extensión, en sentido WSW-ENE. El relleno filoniano está constituido básicamente por siderita (carbonato de hierro), con blenda (= esfalerita,  $SZn$ ), pirita ( $SFe$ ) y calcopirita ( $CuFeS_2$ ) accesorias en las cotas inferiores y óxidos de hierro (hematita y limonita) en las más superficiales.

La siderita incluye pequeños porcentajes de calcio-siderita y mangano-siderita entre sus componentes, estando por tanto disponibles elementos como el Ca y el Mn, además del Fe, para la formación de espeleotemas, así como muchos otros elementos-traza. La marcasita es muy parecida a la pirita pero mucho más inestable y se descompone con facilidad en presencia de agua (alta humedad) desprendiendo ácido sulfúrico y contribuyendo de este modo a la reactividad química en el acuífero, a la alteración de la roca-caja de las galerías y a la génesis de otros minerales secundarios formadores de espeleotemas.

## LA MINERÍA EN LA REGIÓN

La minería de hierro en Navarra se remonta a la época Romana. Aunque los yacimientos explotados eran mucho menos importantes que en otras regiones de Hispania, existen en Navarra muchos indicios de una minería que se orientó sobre todo al cobre, al plomo (argentífero), y al hierro, incluyendo la región que nos ocupa.

A partir de los siglos XII y XIII, en los cuales se produce un crecimiento demográfico y de intercambios comerciales en Europa, se va produciendo un incremento de la minería de hierro, impulsada por la expansión del fenómeno de las ferrerías y de las crecientes necesidades de mineral. La actividad siderúrgica se convirtió en la principal actividad económica en los pequeños valles de Navarra. La localización de los yacimientos condicionó la ubicación de las ferrerías (Trapote Redondo et al, 2010). Presentamos a continuación un extracto de los mismos autores sobre el desarrollo de las explotaciones de hierro en el N de Navarra.



Figura 1. El alto valle del río Elama y el paisaje en la zona de minas, con vegetación de hayedo.



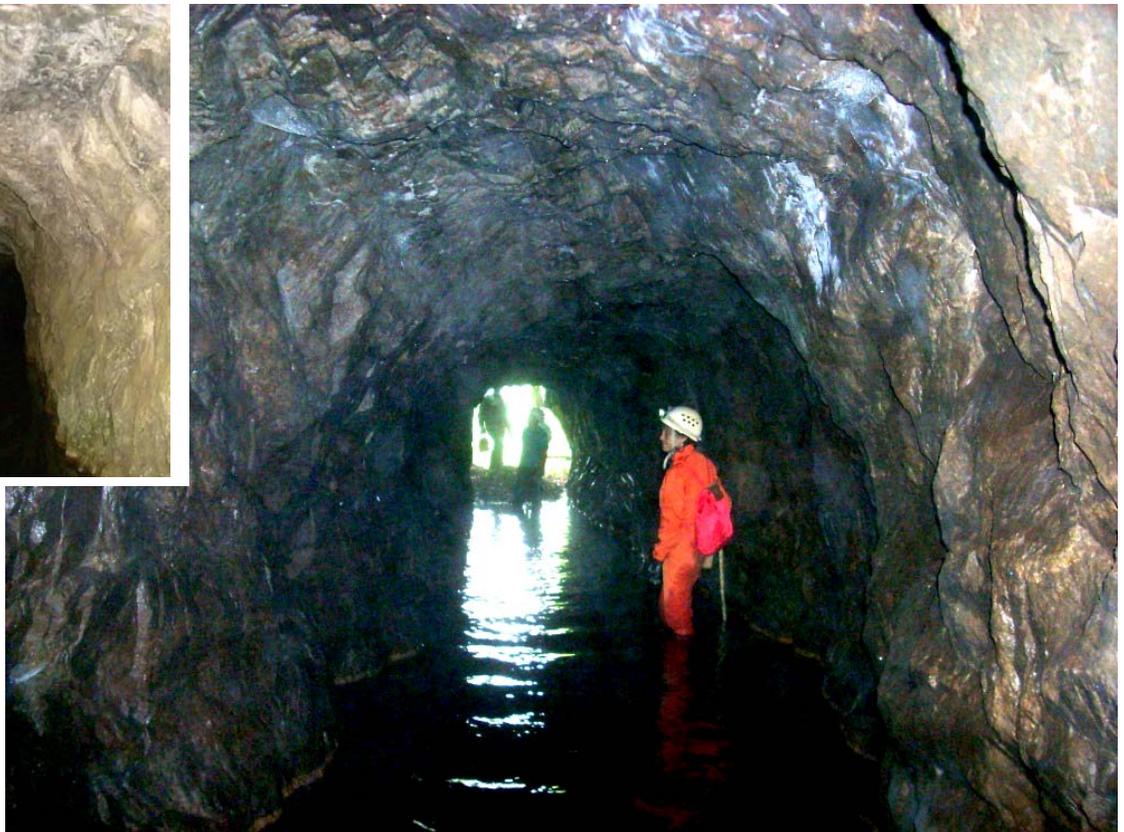
Figura 2. Borde NE del gran socavón de mina 2 y vista en picado hacia el fondo, a -44 m de desnivel.



**Figura 3.** El socavón de Mina 2, visto desde el W, con su espectacular puente de roca.



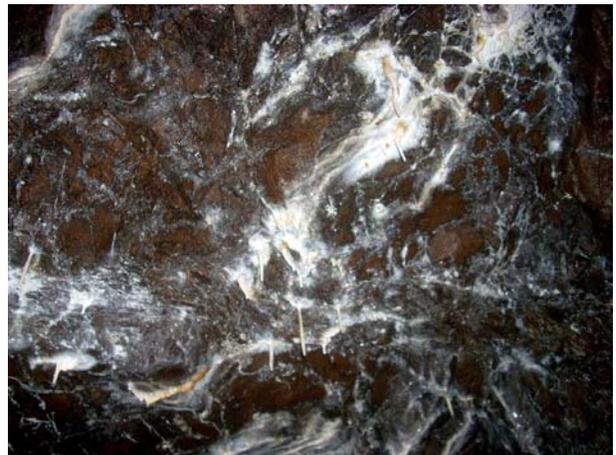
**Figura 4.** Boca superior de la mina Elama 1 (sima-claraboya de -40 m).



**Figura 5.** Boca inferior de la mina Elama 1 y galería inundada de acceso.



**Figura 6.** Galería inundada de acceso a la mina Elama 1.



**Figura 7.** Mina Elama 1. Gran sala, vista hacia la boca superior (sima-claraboya) y diversidad de espeleotemas. Principalmente de calcita, ópalo y óxidos de hierro.



**Figura 8.** Espeleotemas de calcita (isotubulares, cónicas y pequeñas banderas) en las galerías de la mina Elama 1.



**Figura 9.** Detalle de extensas coladas de calcita sobre las paredes de las galerías de la Mina Elama 1.



**Figura 10.** Detalle de vermiculaciones de moonmilk de calcita (con diseños en piel de leopardo) y flujos rojizos de hematita e hidróxidos de hierro coloreando recubrimientos de calcita. Mina Elama 1.

En una primera época se desarrollaron las ferrerías de montaña o de viento, en las que las únicas necesidades eran la existencia de recursos de hierro próximos y la existencia de bosques que suministraran la madera para la fabricación del carbón vegetal (carboneros). La producción de hierro a partir de mineral de hierro se hacía en hornos bajos, en los que se introducían lechos intercalados de mineral y de carbón vegetal, favoreciéndose la combustión del carbón y la consiguiente reducción del mineral oxidado con la inyección de aire, que se realizaba con fuelles manuales. El hierro, que no llegaba a fundirse, y que aparecía como una masa esponjosa incandescente, se martilleaba para conseguir una masa fundida.

La necesidad de mayores producciones y los avances técnicos llevaron, hacia el siglo XIII, a la instalación de las ferrerías junto a cursos de agua que reunieran condiciones mínimas de caudal y de regularidad (ferrerías o fraguas hidráulicas), en zonas boscosas que aseguraran la producción de carbón vegetal, y en relativa cercanía a minas que produjeran minerales de hierro oxidado. El soplado de los hornos era realizado por fuelles movidos por la energía hidráulica. Estas ferrerías tenían en su mayoría una pequeña factoría en la que se realizaba el pudelado o martilleo de la esponja de hierro con martinetes o martillos pilones de acción hidráulica. A partir del hierro así elaborado se fabricaban productos diversos como herramientas, hachas, cuchillos, armas, anclas, etc. Las ferrerías más importantes llegaron a convertirse en pequeños conjuntos industriales en los que se obtenía hierro y se fabricaban objetos de este metal.

El mineral de hierro utilizado se extraía de mineralizaciones locales, generalmente filonianas, de naturaleza oxidada (hematites rojas u oligisto, y hematites pardas o limonitas-goethitas). Los filones con hierro de los valles del N y NW de Navarra tienen, en general, como mineral principal de hierro, a la siderita (carbonato de hierro). Por ello, se extraía únicamente el mineral de la parte superficial de los filones de siderita, que por oxidación e hidratación natural se transformaba en óxidos. Las labores mineras eran a cielo abierto, en grandes calicatas y zanjones.

En épocas más tardías, a partir de 1800, empezaron a utilizarse minerales de siderita de zonas más profundas de los filones, aunque para ello fue necesaria la construcción de hornos de calcinación, ya fuera en las propias ferrerías o en las minas.

El periodo de esplendor de las ferrerías navarras tuvo lugar en el siglo XVI, entrando ya en decadencia en los siglos XVII y XVIII. En el siglo XVI, la zona vasco-navarra era la principal productora de hierro de Europa occidental.

La decadencia, a partir del siglo XVIII, se debió a la competencia del hierro producido en los altos hornos europeos o los que se empezaban a construir en España (La Constancia, en Málaga, en 1831 y ya en el País Vasco, en 1841).

Aunque la explotación metalúrgica de la montaña navarra no fue tan importante como la del País Vasco, sí que existió durante un largo periodo de tiempo un considerable comercio de hierro entre el norte de Navarra y Francia. En los momentos de mayor esplendor existían más de 300 ferrerías en la zona vasco-navarra. (Extractos y referencias de: Trapote Redondo et al, 2010).

El impulso de la minería en la segunda mitad del s.XIX se manifestó en Navarra, sobre todo en los sectores N y NW, con la explotación de los numerosos filones de Fe, Pb, Zn, Cu y F que aparecen en la zona periférica del granito de Peñas de Aya y, en menor número, en zonas más alejadas del Macizo de Cinco Villas. Las mineralizaciones filonianas existentes en el Macizo de Cinco Villas tienen una asociación mineral general del tipo Fe-Pb-Zn-Cu-F, variando mucho la importancia relativa de estos componentes de unos a otros. En lo referente al Cu, existen algunos filones (en general del subtipo Pb-Zn-F) en los cuales los minerales de cobre (calcopirita) han podido ser recuperados. En algunos de los filones más ferríferos (siderita-pirita) existen a veces zonas con enriquecimientos que han dado lugar a recuperaciones temporales de concentrados de calcopirita (piritas cobrizas). En términos generales, la asociación de Cu a la siderita, en mineralizaciones filonianas es conocida y frecuente.

Puede decirse que, en un principio, la minería del siglo XIX significó el desarrollo y crecimiento de la minería de la época anterior, y que tuvo como objetivo, al menos en el entorno de Leiza, Lesaca y Vera, el crecimiento de las producciones de mineral de hierro, pero partiendo de la continuidad y tecnificación de algunas explotaciones antiguas. Además, se pusieron en marcha nuevas explotaciones que no habían sido consideradas de interés anteriormente por la naturaleza carbonatada de los minerales. En las minas que ya habían sido explotadas se pasó, en general, de los métodos de explotación superficiales (zanjas o cortas a cielo abierto) a los métodos de minería subterránea para atacar las partes más profundas de los filones, que contenían siderita, y no habían sido de interés para los mineros antiguos. Ello supuso la necesidad de calcinar los minerales y la construcción de numerosos hornos de calcinación.

El principal problema de la minería Navarra de la época de finales del siglo XIX, como en otras regiones mineras de España, aunque incrementado por la fuerte orografía y la escasa población de las comarcas mineras del N, fue la ausencia de vías de comunicación que permitieran una salida y un comercio fácil de los minerales hacia los centros de transformación que se encontraban generalmente fuera de Navarra (País Vasco, Francia). El transporte de los minerales debía efectuarse en la mayoría de los casos en carros de bueyes. La incidencia de los costes de transporte en los costes generales de explotación era muy alta y este hecho llegó a inhibir o a hacer fracasar algunos proyectos de explotación por hacerlos no económicos.

La toma de conciencia de este problema en un momento favorable para el sector minero y la entrada de algunos capitales foráneos (País Vasco, Francia, Inglaterra) fomentaron en los años del tránsito del s.XIX al XX, dos procesos fundamentales, la construcción de vías de comunicación y, en concreto de ferrocarriles mineros y, en forma más limitada, la instalación de algunos centros de transformación cercanos a los centros de producción (fundiciones en Vera y Arrieta). En este periodo de ambiente emprendedor se construyeron varias líneas de ferrocarriles mineros que, posteriormente, fueron de utilidad general para las comunicaciones, entre ellos el tren minero de Artikutza. La empresa francesa que explotaba las minas de Artikutza (Goizueta, Navarra) fue la que realizó e inauguró, en 1898, la línea de F.C de vía estrecha que unía la zona minera con la estación de los Ferrocarriles del Norte en Rentería. El tendido tenía 18 km de longitud y estuvo en funcionamiento hasta 1916.

Como ha sido dicho, las mineralizaciones de hierro y, sobre todo, las explotaciones de este metal se concentraron en Navarra en los macizos paleozoicos del Norte. Los yacimientos filonianos tuvieron tonelajes pequeños y sus partes no superficiales poseen mineral carbonatado, lo que implicó la necesidad de una calcinación para su uso siderúrgico. Su laboreo, teniendo en cuenta su disposición subvertical en la mayoría de los casos, planteó mayores dificultades y mayores costes. Las minas de Elama han sido consideradas como una más entre varias de las explotaciones más importantes de hierro en Navarra (Trapote Redondo et al, 2010).

El denominado Coto minero de Elama incluía fundamentalmente la mina *Enriqueta* y alguna otra explotación menor. Su mineralización es filoniana. El relleno filoniano está constituido por siderita, con esfalerita, pirita y calcopirita accesorias en las cotas inferiores y óxidos de hierro (hematites parda) en las más superficiales.

Estas minas se explotaron durante varios años hacia 1906, en laboreo subterráneo y siguiendo el sistema de huecos y pilares, extrayéndose el mineral por tres galerías principales de arranque, desde las cuales era conducido a cuatro hornos de calcinación. El producto calcinado era conducido a través de varios tramos de vía y de ferrocarril hasta Rentería. Restos aún visibles de la antigua explotación son las rampas de arrastre de mineral hacia el N y W y las ruinas de algunos de los hornos de calcinación y construcciones asociadas (quedan restos de ellos en las ferrerías de Goizarin y Elama, en el fondo del valle). Las escombreras están muy enmascaradas o han sido arrastradas hacia el río Elama.

Esta explotación moderna, de comienzos del siglo XX, fue precedida de explotaciones menores en los 700 años anteriores, existiendo restos dispersos de zanjones y cataminas de los cuales resulta difícil precisar su antigüedad, ya que no existe documentación al respecto. De las cavidades conservadas, exploradas en este trabajo, las tres minas principales (con cierta extensión de galerías subterráneas) parecen corresponder a la descripción existente del complejo de la Mina Enriqueta y sus tres galerías principales de arranque, aunque parte de los grandes socavones y galerías colgadas menores pueden corresponder a una actividad anterior a la explotación de principios de 1900. En todo caso, y dado que no es posible discriminar con mayor detalle, nos limitamos a describir el conjunto de cavidades subterráneas localizadas, tal como se conservan en este paraje en la actualidad.

Las cavidades están distribuidas a lo largo de una franja que se extiende de WSW a ENE sobre la parte media y lado N de un estribo W-E que se desprende de la fila montañosa Aku-Beltzuntze, con una disposición perpendicular al valle del río Elama.

## DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES

### Mina Elama 1.

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.150; E 597.870; Alt.: 495 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 185 m. Desnivel -40 m.

La cavidad (Figuras 4 a 14) consta de dos bocas: una galería horizontal y una sima-claraboya de 40 m de desnivel.

El acceso más simple es por la galería horizontal inferior (cota -40). Esta galería está semi-inundada (con 1 m de agua) y tiene 48 m de largo, con una sección constante, en forma de U invertida, de 2,5 m de alto x 1,8 m de ancho. La galería desemboca en una gran sala, de 30 m de diámetro, subdividida en dos cámaras con bóvedas de más de 20 m de altura. Por la cámara Norte entra la luz a través de una claraboya de 5 m de diámetro y que forma parte de la sima de 40 m abierta a la superficie como una amplia depresión.

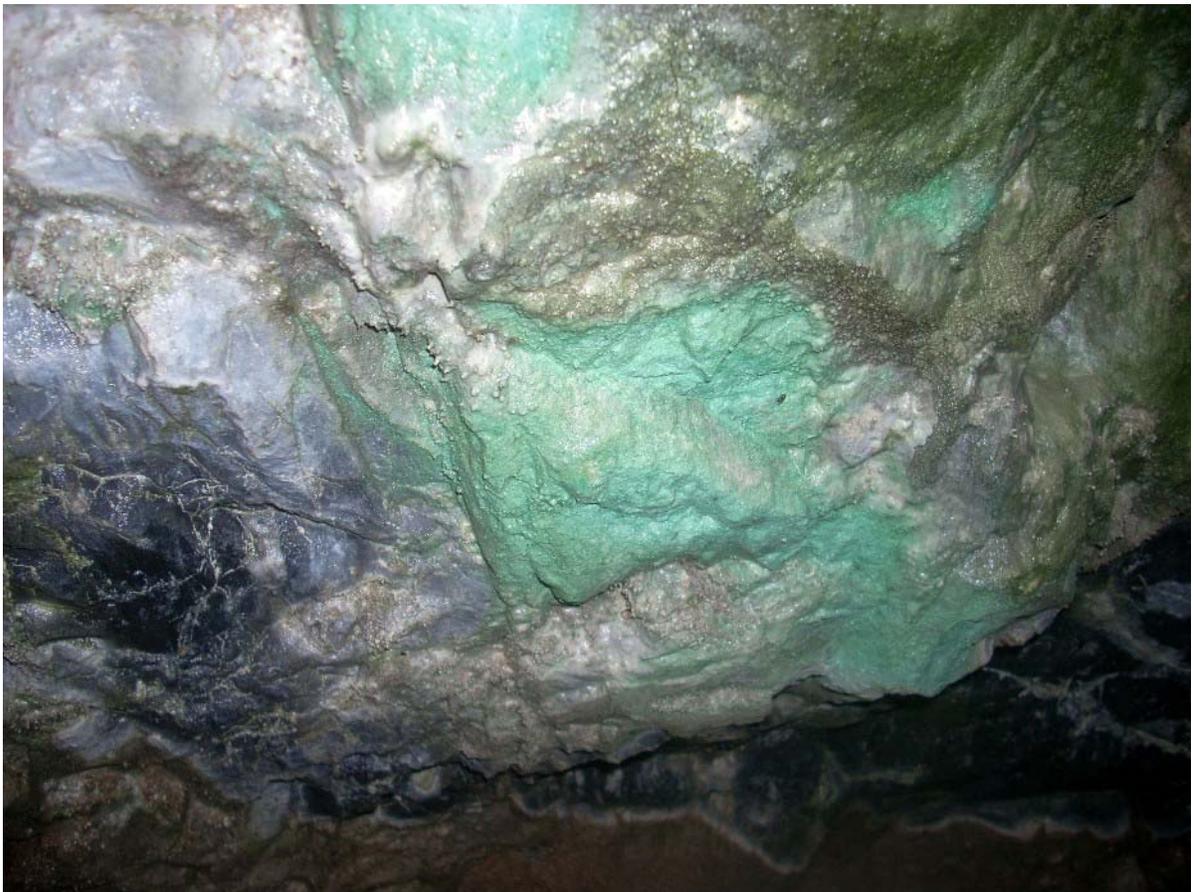
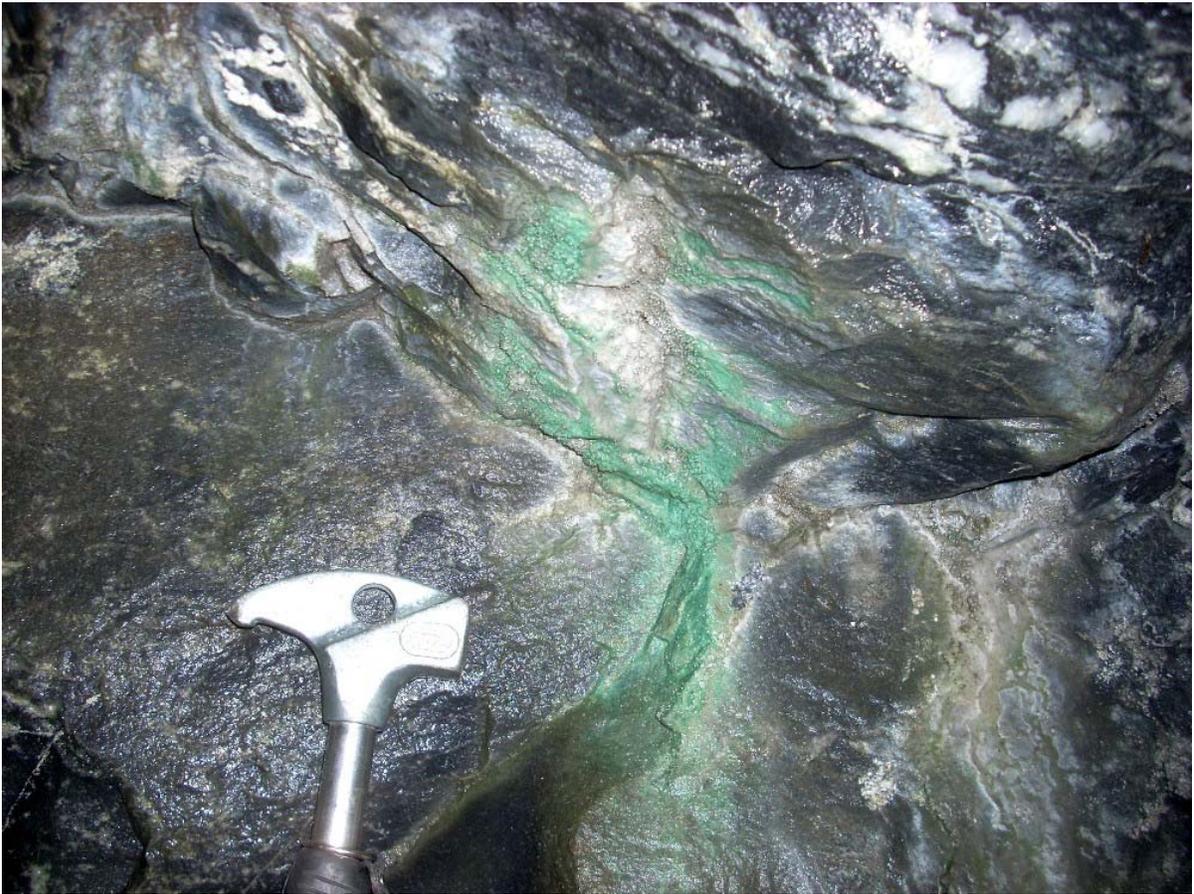
La sala se prolonga en tres galerías adicionales. Una amplia, que vuelve a enlazar la cámara Sur con la galería inundada (sólo separada de ésta por un gran pilar de roca). Otra galería que profundiza hacia el interior, de 12 m de largo (y 2 m de diámetro). Y una tercera galería, en rampa ascendente de fuerte inclinación, que asciende describiendo una curva hacia el N. En esta galería habitan quirópteros *Eptesicus serotinus* (familia Vespertilionidae).

Al lado de la depresión (de 15 m de largo) que inicia la sima hay otra depresión cegada por derrumbe, que probablemente comunicaba con la parte alta de la galería ascendente (hoy el paso está obstruido). Existe además un laminador que comunica la parte baja de esta depresión con la pared lateral de la depresión de la sima (por simplificar, no ha sido representada esta parte en el plano de la mina).

En las galerías inundadas y charcas formadas por goteos, el agua está estancada, sin flujo. Pero diversos detalles sugieren que cuando aumenta el nivel del agua en época de lluvias, el agua fluye para salir por la boca inferior, parcialmente represada por rellenos arcillosos y de hojarasca en el zanjón de entrada.

Nosotros ubicamos el *Datum* (de las coordenadas UTM y cota 0) en el borde de acceso más bajo de la depresión que prosigue en sima (de -40 m de desnivel), pero el lado opuesto de este borde es más alto (+7 m) y prosigue en un cañón o zanjón a cielo abierto, limitado entre paredes verticales de 10 m de altura. Por lo que, desde el borde topográfico más alto, el desnivel total de la cavidad asciende a 57 m.

La cavidad presenta diversas espeleotemas, siendo predominantes las espeleotemas blancas de calcita, las cuales pueden formar recubrimientos milimétricos (que contrastan con las paredes oscuras), estalactitas isotubulares y cónicas (de hasta 10 cm de largo), extensas coladas estalagmíticas (sobre las paredes de la gran sala, hasta gran altura) y largas banderas sinuosas (de varios metros de largo). Existen además espeleotemas y fragmentos detríticos, de tonos amarillentos, ocreos y negros, de óxi-hidróxidos de hierro (hematita, limonita, goethita), así como flujos coloidales negros y rojizos, de similar composición. En la galería final hay curiosos ejemplos de moonmilk en forma de vermiculaciones moteadas o en "piel de leopardo" (probablemente debidas a la acción



**Figura 11.** Detalle de espeleotemas verdes de malaquita, junto a otras blancas de calcita. Mina Elama 1.



**Figura 12.** Galería lateral ascendente en la Mina Elama 1, con largas banderas (más de 5 m de longitud) de calcita y detalles de suelos con fragmentos detríticos de calcopirita y marcasita, bloques recubiertos de calcita y vermiculaciones de moonmilk en las paredes. Se observan también algunos recubrimientos de hematita y oxi-hidróxidos de hierro.



**Figura 13.** La galería central de mina 1, con diversas espeleotemas y niebla de condensación.



Figura 14. Detalles de trabajos de topografía en la mina Elama 1.



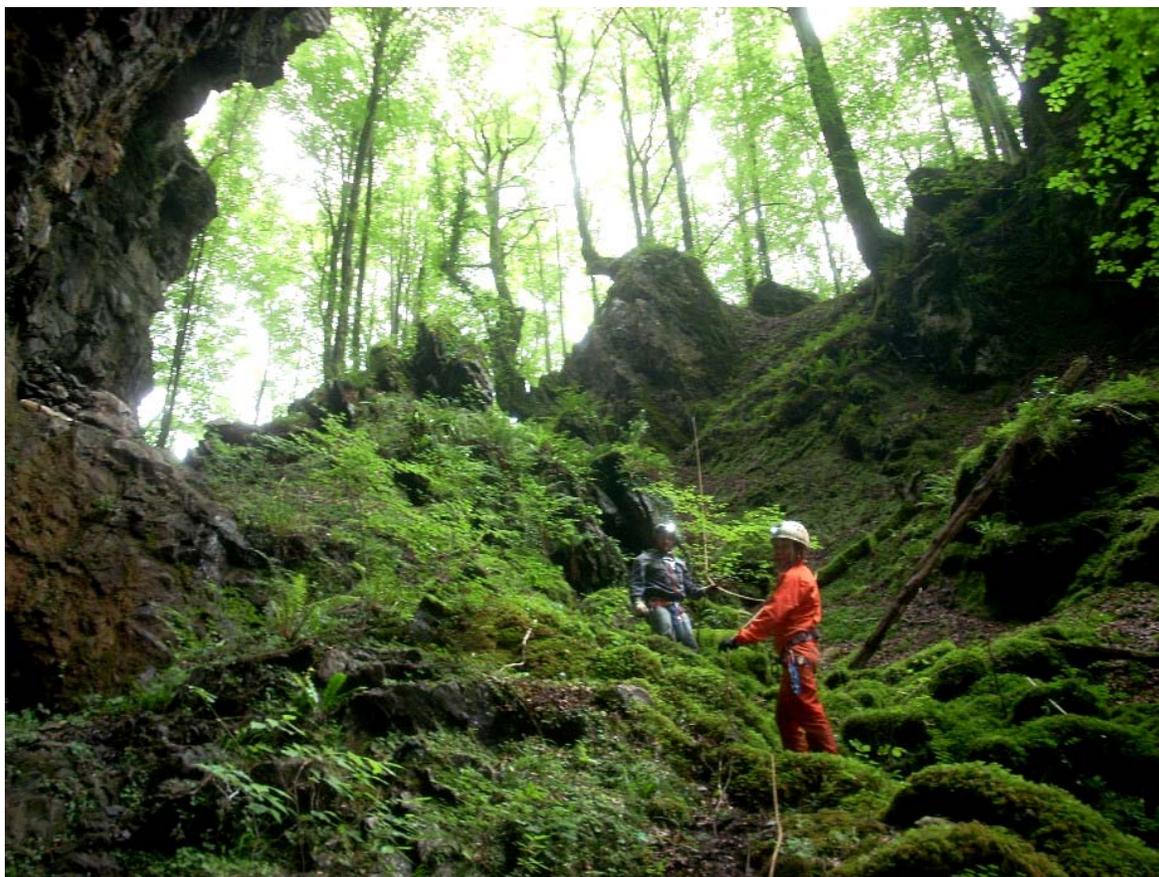
**Figura 15.** El cañón (zanjón a cielo abierto) que enlaza en superficie la boca superior de mina 1 con el socavón de mina 2.



**Figura 16.** Detalles del descenso y ascenso del gran socavón de mina 2 (de -44 m de desnivel desde el suelo del cañón, en el borde W), con su espectacular puente o arco de roca. Nótese la mayor altura de la pared que cierra el perímetro Sur.



**Figura 17.** Detalles de la boca de la mina Elama 2: gran socavón, de 80 m de largo y -44 m de desnivel.



**Figura 18.** Detalles del descenso a la zona inferior de mina 2, con una laguna o zona inundada bajo el arco de roca. Se observa la boca de la galería lateral que se abre contra la pared Sur, y que enlaza con una depresión superior.



**Figura 19.** Fondo a -44 m del socavón de mina 2, con espeleotemas de calcita, ópalo y óxidos de hierro.



Figura 20. Detalles de lago terminal y galería inundada del fondo de mina 2, con 1.5 m de profundidad del agua.

de microorganismos). Existen por último, en varios puntos de la cavidad, espeleotemas de malaquita, de tonos verde-claro, y otros de colores verdes más oscuros, que pudieran contener trazas de algún mineral de Cu.

La temperatura ambiente en la parte interna, oscura, de las galerías (de ésta y demás minas visitadas) es de 12°C. La temperatura del agua es algo inferior (10°C). Ambos datos son para días cálidos de fin de primavera, siendo probablemente algo más baja la temperatura del agua en invierno, ya que esta procede de las filtraciones locales. La humedad relativa alcanza valores de saturación, formándose con facilidad nieblas por condensación.

### **Mina Elama 2.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.180; E 597.920; Alt.: 500 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 220 m. Desnivel -44 m.

Esta cavidad está situada a continuación del cañón o zanjón superior que prolonga la cota +7 de la mina anterior (Figuras 15 a 22). A unos 50 m al ENE de la Mina Elama 1, dicho cañón desemboca en un gigantesco socavón, de 80 m de largo, 15 m de ancho promedio, y 44 m de desnivel desde su borde en el suelo del cañón, donde colocamos el *Datum* (cota 0 de nuestra topografía). Pero además esta gigantesca depresión (cuyo borde desciende levemente de W a E) está limitada por la prolongación de las paredes del cañón, las cuales alcanzan cerca de +10 m en su borde o perímetro N y cierran el perímetro Sur con una alta pared extraplomada, algo más de 20 m más alta, por lo que desde algunos puntos el desnivel puede alcanzar los -70 m.

Más de la mitad oriental del socavón tiene paredes verticales a extraplomadas (al igual que toda la pared Sur) prolongándose por tanto en planta más allá de la proyección de la abertura superior. Desde el W, en cambio, desciende en rampa escalonada, de fuerte inclinación (40°). Si el día está seco es posible bajar sin cuerda, pero en condiciones húmedas normales conviene utilizarla para no exponerse a una caída. En la parte inferior puede seguirse por una rampa lateral Sur de menor inclinación, hasta alcanzar la orilla de una laguna. Sobre ella destaca un espectacular pilar o puente de roca que atraviesa la sima a unos 15 m sobre su fondo.

Otro pilar, vertical, separa el sector del fondo en dos galerías que conducen en el lado N a una sala o cámara anexa, de bóveda alta y 15 m de diámetro, con un lago profundo en su base. Existe otro lago adicional contra la pared E que se prolonga en corta galería. En todo el perímetro extraplomado de este sector son abundantes las espeleotemas en forma de coladas estalagmíticas y pequeñas estalactitas, de calcita, ópalo y óxidos de hierro.

Desde este sector del fondo parten dos galerías inundadas (en oscuridad total) en direcciones opuestas, de 2,5 m de diámetro. El agua alcanza hasta la altura del pecho (1,5 m de profundidad del agua) y para avanzar por ellas es necesario mojarse completamente, estando el agua bastante fría (8 a 10°C en verano). La galería Sur finaliza en cul de sac al cabo de 20 m. La galería Norte es más larga, de 35 m, y en su parte final presenta una orilla en la que, curiosamente, habita una población de salamandras (*Salamandra salamandra*), de vivos colores amarillos y negros. En las aguas observamos larvas acuáticas de las mismas, cuya morfología las asemeja a tritones. Es curiosa la ubicación de esta colonia en el fondo de la galería, ya que se trata de una especie de hábitos más terrestres que acuáticos y en el fondo de la sima dispone de otros biotopos habitables.

A medio descenso, en la cota -20, se abre otra galería, inicialmente horizontal y con espeleotemas, que describe una curva y asciende hasta otra boca en el fondo de una depresión menor, la cual se abre contra la pared Sur dentro del gran socavón. Casi frente a ella, en una repisa de la pared Norte, se abre otra galería de prospección de 10 m de longitud, a la que se accede por una cornisa. Adicionalmente la cavidad se prolonga en depresiones menores a lo largo de la parte más cercana del cañón.

En el extremo opuesto (NE) el borde bajo de la sima prosigue en una zona de depresiones y dolinas muy accidentada, limitada por una serie de peñascos que prolongan las paredes de la depresión. El desarrollo total de galerías de la mina 2 alcanza 220 m. Todo el sector se encuentra cubierto de hayedos, con vegetación higrófila, hiedra y criptógamas, lo que otorga al enclave del enorme socavón un aspecto natural espectacular, de gran belleza, presidido por la sima con su puente de roca. En la alta pared Sur, extraplomada, nidifican cuervos y otras aves, y se observan algunas oquedades adicionales, inaccesibles.

### **Mina Elama 3.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.870; E 597.860; Alt.: 465 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 12 m. Desnivel -0.5 m.

Se trata de una pequeña galería de mina situada a unos 40 m de distancia de la boca inferior de Mina 1 y ligeramente más alta, en el flanco Sur del estribo montañoso. La boca se abre en una plataforma de la ladera y tiene una sección de 2,5 m de alto x 1,6 m de ancho. La galería tiene 12 m de largo y se prolonga en superficie en una zanja sin techar de 7,5 m de longitud.

Posee en sus paredes internas llamativas espeleotemas anaranjadas y ocre de hematita parda o limonita, junto a otras blancas de calcita, formando coladas parietales, algunos flujos coloidales (que involucran otros oxi-hidróxidos de hierro, y tal vez de zinc y manganeso) y pequeñas estalactitas.

En la cavidad encontramos hibernando un ejemplar del murciélago pequeño de herradura (*Rhinolophus hipposiderus*; familia Rhinolophidae), en abril de 2014, época que este año resultó todavía fría y lluviosa. En el suelo de hojarasca y sobre las paredes de roca habitan otros invertebrados troglóxicos, aspecto que será comentado en el apartado de Fauna hipógea.

Así, a pesar de sus modestas dimensiones, estas galerías de prospección poseen rasgos geo-biológicos de interés, destacando la belleza y colorido de sus espeleotemas (Figuras 23 y 24).

#### **Mina Elama 4.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.280; E 598.000; Alt.: 475 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 10 m. Desnivel -3 m.

Esta y las cavidades siguientes se localizan en una accidentada zona de peñascos y depresiones sobre la continuación NE del socavón de Mina 2. La mina 4 se abre en el fondo de una dolina, a 50 m al NE del extremo E de Mina 2 (Figura 25).

Se trata de una galería descendente en ángulo, de 10 m de desarrollo y -3 m de desnivel. Su sección tiene 2 m de diámetro y en la entrada, bajo una especie de laja plana, hay acumulados pequeños bloques formando una especie de pared o relleno de soporte. Posee también algunas (pocas) estalactitas, principalmente de calcita y óxidos de hierro, así como fauna troglóxena.

Frente a esta cavidad, colgada en un peñasco, hay lo que la parece otra boca, pero se trata de un abrigo que no profundiza.

#### **Cueva Elama 5.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.250; E 598.000; Alt.: 480 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 17 m. Desnivel -5 m.

Se localiza a 30 m al S de Mina 4. Se trata de una cueva de recubrimiento, que se desarrolla bajo grandes bloques de colapso. Consta de dos partes. Una de ellas forma un pequeño túnel entre dos depresiones y la otra es una cavidad descendente que profundiza bajo el mismo relleno, con grietas en el lado opuesto del peñasco. Junto a ella existen otras depresiones, caóticas y cubiertas de vegetación criptogámica, con pequeñas oquedades que profundizan en grietas hasta tornarse impracticables (Figura 26). A pesar de su modesto desarrollo posee diversas espeleotemas de calcita, una de ellas, en el tramo túnel, presenta un ingreso de agua que forma una colada con pequeños gours. Igualmente hay pequeñas estalactitas de bóveda.

#### **Cueva Elama 6.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.240; E 598.010; Alt.: 485 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 15 m. Desnivel +7 m.

Se localiza sobre la pared principal que prolonga Mina 2, al SW de Cueva 5, en un entrante topográfico de la pared. Consta en realidad de dos cavidades naturales independientes, pero que agrupamos por su cercanía. La primera se abre en la base de la pared y su boca es de sección triangular. Tiene un desarrollo ascendente, siguiendo un sistema de fracturas, que sobre la pared exterior muestra otras oquedades y bloques a medio desprender. Al lado de esta galería, colgada a +4 m sobre el piso, hay una repisa (del mismo sistema del frente fracturado) donde se abre una segunda boca, de 5 m de ancho x 1,5 m de alto, que se prolonga hacia el interior, bajando la altura del techo hasta forman un laminador. Sobre la misma pared, a escasos metros al Este, hay otras pequeñas bocas, de similar morfología, pero se cierran en grietas sin continuidad (Figura 26).

La litología en este sector parece ser más carbonática, con diversos ejemplos en superficie y sobre las paredes de formas de disolución de tipo lapiaz.

#### **Mina Elama 7.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.310; E 597.960; Alt.: 460 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 10 m. Desnivel 0 m.

Se localiza a 50 m al NW de Mina 4, más cerca del collado de la senda de acceso, al Norte de la terminación oriental del gran socavón de Mina 2. Se trata de una galería simple, horizontal, de 10 m de longitud y sección de 2,2 m de alto x 1,6 m de ancho. Posee algunas espeleotemas de calcita (Figura 27).

#### **Mina Elama 8.**

Coordenadas UTM 30N: N 4.782.330; E 598.040; Alt.: 460 m snm.

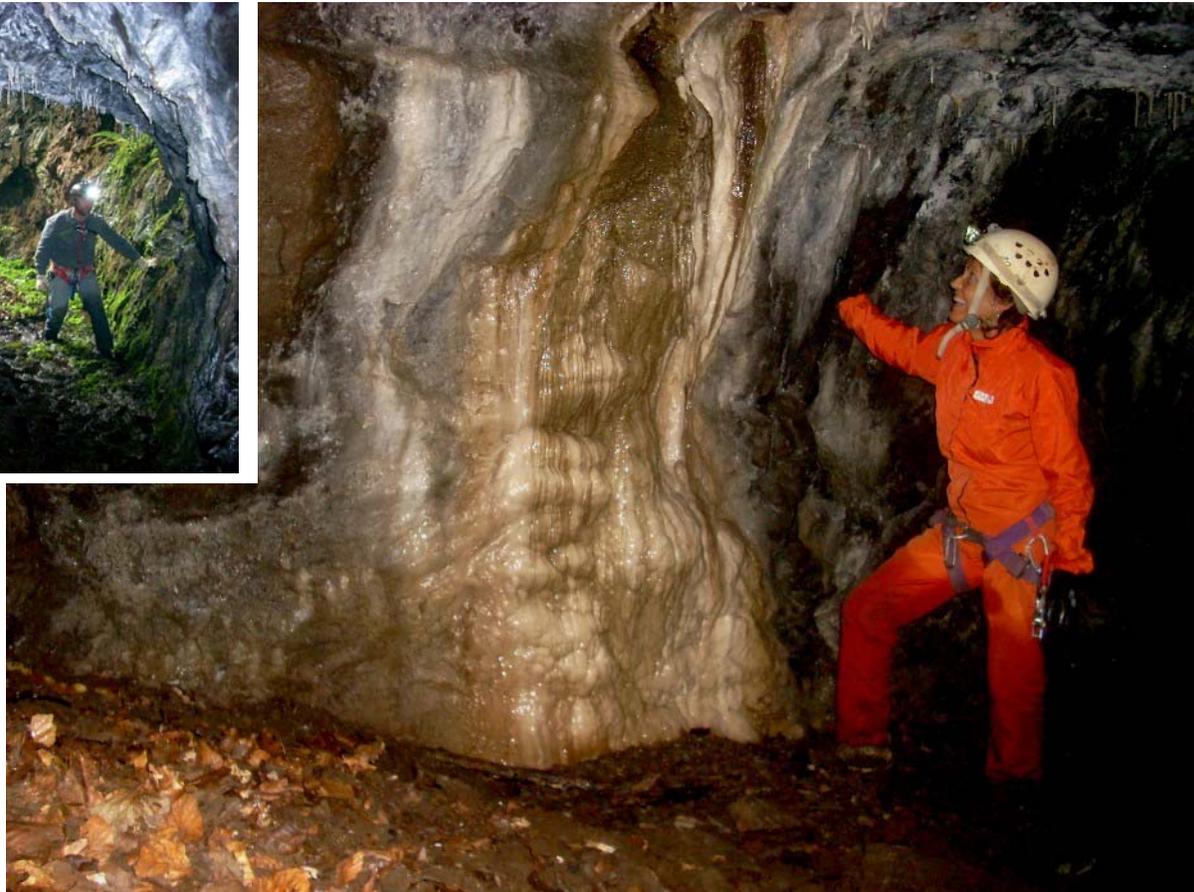
Dimensiones: Desarrollo 305 m. Desnivel -25 m.

Se localiza a 60 m al NE de Mina 4, a menor altitud, en el fondo de una profunda dolina (Figuras 28 á 42). Consta de dos bocas de acceso, que enseguida se unen. La situada al Sur es un zanjón, de 10 m de largo y -4 m de desnivel, que se abre lateralmente en el flanco de la dolina. El zanjón prosigue en galería, que interrumpe una sima de -10 m de desnivel, por la que cae agua.

En el fondo de la dolina se abre otra boca, de 3 m de diámetro, que sigue en galería paralela a la anterior, con azimut ENE. Presenta un lateral perpendicular que enlaza con la sima de la primera galería, interrumpiéndose el paso por la verticalidad del pozo, que ocupa toda su anchura. La continuación hacia el interior vuelve a enlazar ambas galerías en una amplia sala en sima. Una especie de ampliación lateral forma una cornisa (de roca inestable) que permite el paso hacia una galería interior, por la que viene un río subterráneo. La sala-sima, en su lado interno, desciende en rampa de pequeños bloques y guijarros, y por ella cae en cascada el agua del río, quedando colgadas las dos galerías de acceso. La parta baja de la sala (tras descender -14 m de desnivel) forma una galería inferior, la cual se extiende por debajo de la sima de la primera galería de acceso.



**Figura 21.** Levantamiento topográfico en mina 2. Se aprecia la galería colgada en la repisa de la pared N, sobre el arco.



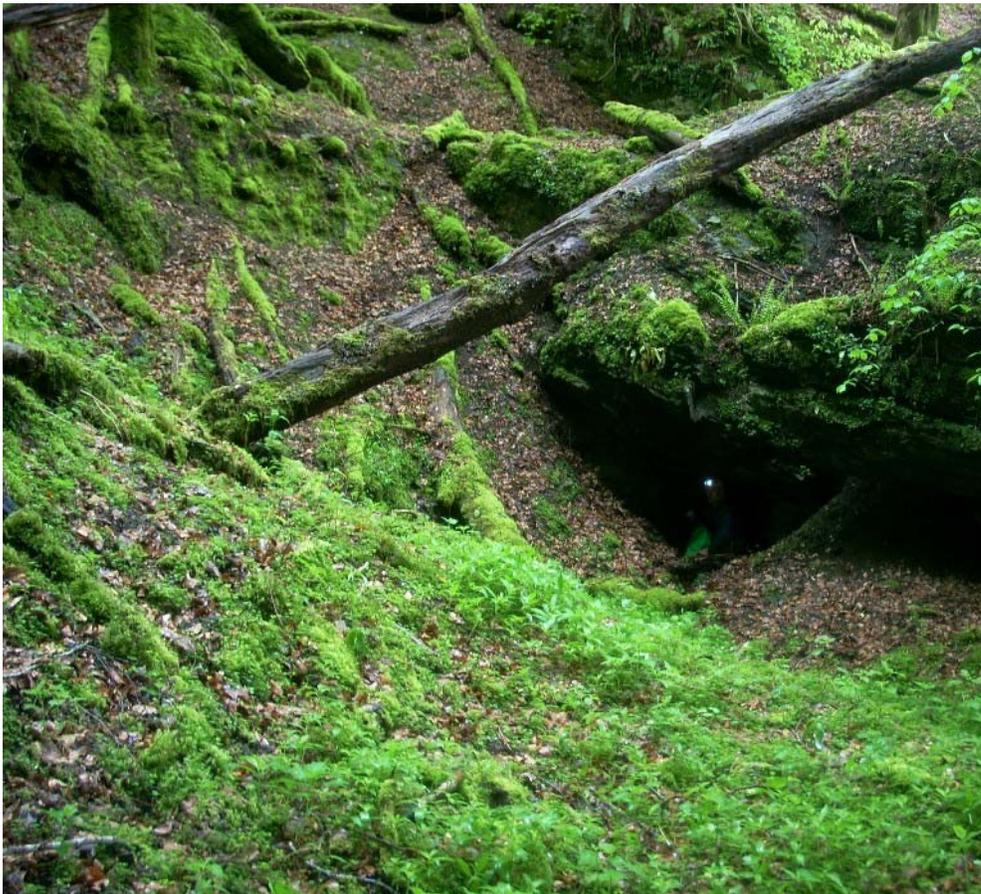
**Figura 22.** Espeleotemas isotubulares y coladas bandeadas de calcita (con trazas de otros minerales) en la galería de la cota -20 de mina 2. Hay ejemplos con ocurrencia de ópalo, hidrocincita y goethita.



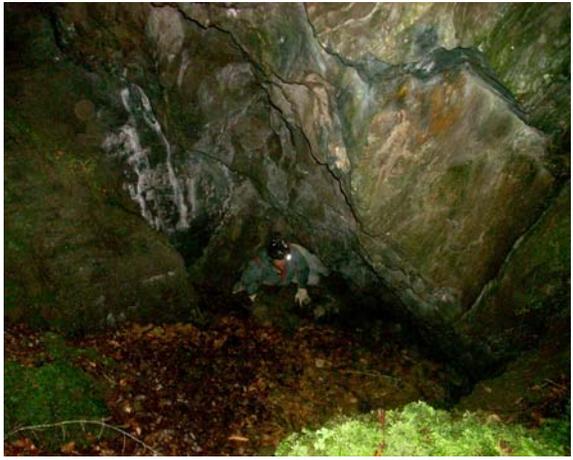
**Figura 23.** Impactantes diseños de espeleotemas de calcita y limonita-goethita en la pequeña mina Elama 3.



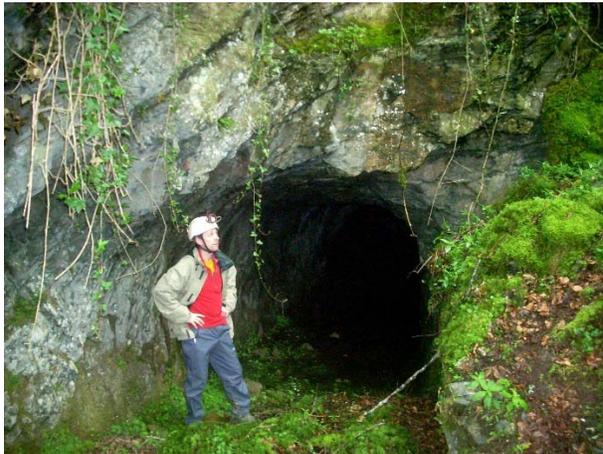
**Figura 24.** Espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro y de calcita en mina 3. En el centro de la imagen inferior, un ejemplar invernante de *Rhinolophus hipposideros*.



**Figura 25.** Mina 4 se abre en el fondo de una dolina. Aspectos de su boca y galería interna, con algunas espeleotemas.



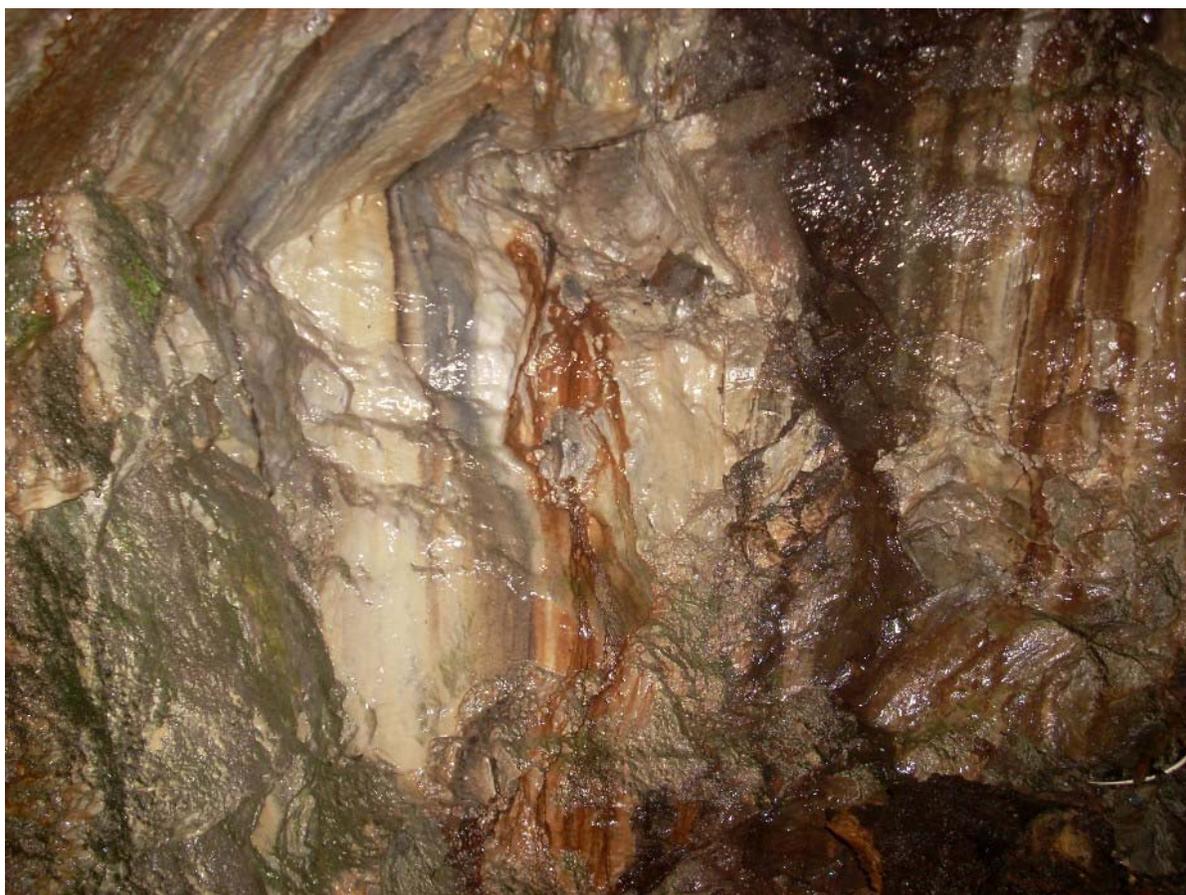
**Figura 26.** Diversos aspectos de cueva 5 (imagen superior y detalles) y cueva 6 (imagen inferior).



**Figura 27.** Detalles del interior y boca de mina 7, con diversas espeleotemas de calcita. En la zona de depresiones hay un conjunto de pequeñas cuevas, abrigos y oquedades de tipo lapiaz, pero sin continuidad (imágenes inferiores),



**Figura 28.** Mina 8. Sus dos bocas se abren en el lateral y el fondo de una dolina profunda, con diversos goteos.



**Figura 29.** Zona de entrada y galería principal de la mina Elama 8, con diversidad de espeleotemas (pequeñas estalactitas de caudal y coladas estalagmíticas con bandeados teñidos por trazas de varios minerales y óxidos de Fe y Zn).



**Figura 30.** Mina 8. La cornisa de acceso a la Galería del Río, en el borde de la sala-sima de -14 m.

En todo este sector inicial son abundantes las espeleotemas, formando coladas de calcita con bandeados de vivos colores, donde contrasta el blanco de la calcita con bandas ocre y rojizas de hematita y grises de smithsonita (carbonato de zinc) y/o hidrocincita (hidroxicarbonato de zinc), con lustres vítreos, perlados o bien translúcidos. Hay además vetas de cuarzo blancas, salpicadas de espeleotemas de óxidos de hierro (hematita, magnetita, goethita, de colores ocre a negros), así como otras blancas a grises de probable hemimorfita (hidroxisilicato de zinc hidratado) y ópalo. La gama de colores y combinación de minerales es muy diversa, existiendo incluso espeleotemas de tonos morados, verdes y azulados, probablemente teñidas por trazas y ultratazas de distintos elementos, como Zn, Cu y Mn.

La galería que prosigue hacia el interior es amplia, con anchuras variables, de 4-5 m al inicio y 2m en la parte final. Las bóvedas alcanzan 2,5 a 4 m de altura. La galería es sinuosa pero bastante rectilínea en largos tramos y se extiende a lo largo de 80 m, presentando algunos nichos y tres pequeñas galerías laterales. Casi desde el fondo es recorrida por un río subterráneo que circula sobre un lecho plano de gravas y pequeños cantos rodados. El agua procede de numerosos goteos y filtraciones de bóvedas y paredes, existiendo a mitad de su recorrido un ingreso lateral más importante a través de dos pequeñas cascadas que manan de grietas. Sólo los últimos 10 m del fondo son secos, con suelos arcillosos. El caudal, de unos 10 l/s, se dirige desde el interior hacia la boca de acceso, así que se avanza remontando el río aguas arriba, aunque la pendiente es mínima, casi horizontal. El caudal del río se precipita en la rampa de la sala-sima para proseguir por la galería inferior.

Los laterales tienen 5, 6 y 12 m. Dos de ellos, en el lado N, se extienden en T sobre una fractura de descompresión paralela a la pared, por la que se puede avanzar unos metros. Pero el terreno es inestable y amenaza desprendimientos.

A lo largo de su recorrido, la amplia galería del río presenta muy diversas espeleotemas, predominando pequeñas estalactitas y recubrimientos blancos de calcita, junto a otros oscuros de oxi-hidróxidos de hierro. En algunos puntos hay grandes coladas parietales amarillentas, anaranjadas y rojizas de limonita y hematita, junto a recubrimientos negros de goethita y tal vez otros minerales teñidos por trazas de manganeso, así como bandeados y flujos coloidales grises de probable smithsonita. Más raramente, en algunos puntos se presentan en la bóveda espeleotemas rosadas de rodocrosita (carbonato de manganeso) y recubrimientos con irisaciones tornasoladas (con todos los colores del arco-iris) de ópalo (sílice amorfa, SiO<sub>2</sub>). Algunas coladas estalagmíticas, particularmente brillantes, de calcita blanca, se combinan con flujos coloidales y cristalinos tanto grises, de smithsonita, como ocre, amarillentos y rojizos, de hematita y otros óxidos metálicos, con diseños estéticamente impactantes. Encontramos también ejemplos de coladas que combinan ópalo y calcita, así como crecimientos milimétricos de estalagmitas botroidales y arborescentes de ópalo. En la parte seca terminal y algunas repisas pueden encontrarse fragmentos detríticos amarillo-miel y amarillo-latón de calcopirita y marcasita (un dimorfo de la pirita). En adición, en la zona de entrada de la mina hay muy diversos tapices bacteriales, así como biofilms, con algas verdes, algas rojas y musgos, en zona de penumbra.

La fauna de invertebrados observada en esta galería es muy escasa y esencialmente troglóxena (con unas pocas especies troglófilas o tal vez troglobios poco modificados) y será descrita en el apartado de Fauna hipógea.

Si ahora retornamos a la sala-sima próxima a la entrada, lo más práctico para descender es seguir la rampa por su parte de menor inclinación, pegada a la pared Sur, ya que el relleno es más seco y está parcialmente recementado por espeleotemas, por lo que resulta más estable que la inconsistente zona N por donde circula el mayor caudal. No obstante toda la rampa recibe fuertes goteos. Nosotros instalamos un clavo de expansión en la pared Sur, cerca del borde de la rampa, y descendimos siguiendo el borde recementado para, al final, pasar al inestable cauce por donde cae el agua. La rampa, de 24 m de largo, deja la sala para seguir en galería amplia pasando bajo el fuerte goteo del caudal que ingresa por la sima de 10 m. Esta galería, también muy decorada por espeleotemas, pierde inclinación y se alcanza una bifurcación. La galería principal sigue unos metros más hasta formar un lago en cuyo lado opuesto se cierra en cul de sac (de roca compacta). La mayor parte del caudal sigue por una galería lateral, de menor diámetro, que a los 10 m alcanza una zona inundada (cota -25 m).

En este sector inundado inferior la morfología cambia, con espesos rellenos de barro y sin flujo de agua. Todo indica que el nivel fluctúa, estando incluso las paredes parcialmente cubiertas por películas de arcilla. En algunos puntos las paredes presentan desprendimientos. La mitad de la altura de la galería es un relleno de barro espeso, recubierto por el agua, de manera que uno se hunde en este relleno pantanoso siendo difícil avanzar. A los 10 m se alcanza una orilla más sólida, con bloques recubiertos de barro, donde la galería se bifurca en otras dos galerías inundadas, de sección algo menor y similares características (su mitad inferior inundada pero con la mayor parte de la columna ocupada por barro). Una de ellas, con azimut ENE, se prolonga en paralelo a la galería del río, y por ella es posible avanzar 30 m. La otra sigue una dirección opuesta, de azimut W, con una longitud de 50 m. En ambos casos detuvimos su exploración por la dificultad que presenta avanzar en el barro y el riesgo de hundirse y quedar atrapado en el mismo, ya que no es posible andar ni tampoco nadar, teniendo que recurrir a avanzar semi-reptando en el barro. En todo caso no parece que estas galerías puedan tener mayor continuidad ni presentar otros rasgos de interés, porque ocupan el sector inundado más bajo del sistema, cuyo drenaje estancado seguramente se filtra por percolación del terreno.

Nuestra impresión es que la galería inundada que se dirige al W se extiende bajo la zona de dolinas y puede capturar las aguas que filtran desde este sector y desde mina 2. La galería inundada ENE discurre paralela a la galería principal y tal vez bajo la fractura de descompresión de su lado N. Diversas evidencias en superficie (puntos donde mana agua y cauces temporales encajados) sugieren que el drenaje de la zona inundada de mina 8 deriva hacia esta ladera, donde percola y emerge a superficie de modo disperso, alimentando un arroyo cercano, afluente del río Elama.

## HIDROGEOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA DE CONJUNTO

Las cavidades descritas forman un conjunto interrelacionado que se extiende en sentido WSW-ENE a lo largo de una banda de 500 m de longitud, cortando el estribo montañoso y prosiguiendo sobre su flanco N. Las tres minas principales (Elama 1, 2 y 8) siguen el filón principal de siderita, de disposición subvertical. La posición relativa de las galerías de minas y cuevas es dada en Coordenadas UTM en las descripciones y en los planos (adjuntos) de las distintas cavidades.

La zona de depresiones y dolinas entre las minas 2 y 8, aunque tiene ahora un aspecto natural, también puede prolongar socavones y zanjones a cielo abierto que fueran parte de una actividad minera previa. La ocurrencia de colapsos de las paredes de roca, por descompresión mecánica, pudo producir los caos de bloques y el relieve caótico que se observa en la actualidad. Parece mucho menos probable que este relieve sea el resultado de hundimiento por aplastamiento del terreno sobre galerías inferiores. De hecho, prácticamente todas las galerías de mina terminan en cul de sac, al cesar su excavación, y no están obstruidas por colapso.

La galería inferior de Mina 1 se sitúa a aproximadamente el mismo nivel topográfico que las galerías inundadas inferiores de Mina 2. Mientras que la galería inferior de Mina 8 está a una altitud ligeramente más baja. Diversos indicios sugieren que hubo varios períodos de excavación minera, siendo parte de los niveles superiores del socavón de Mina 2 y el cañón que lo prosigue, más antiguos que los niveles inferiores y galerías de pequeño diámetro. La profusión de espeleotemas pudiera ser un indicador de la edad de las galerías, aunque también esto puede obedecer a factores locales, como mayor o menor fracturación de la roca, que facilite la infiltración, disolución y posterior precipitación de minerales secundarios.

El drenaje en las distintas cavidades parece ser independiente. Aunque las galerías inundadas de Mina 2 pudieran drenar hacia Mina 8. La única mina con actividad hídrica importante y de cierto caudal, es el río subterráneo de Mina 8. El ingreso concentrado de las aguas en algunos puntos de la galería del río sugiere que se está produciendo la captura e infiltración de aguas superficiales, en esa parte de la ladera Norte, donde la galería pasa por debajo del talweg de un arroyo epígeo. De hecho, la zona de descompresión de la pared N de mina 8 dista sólo una decena de metros de un cauce superficial.

El importante caudal subterráneo de conjunto no emerge en ninguna surgencia conocida. Existen por el contrario diversos puntos por donde mana agua de percolación de modo disperso, sobre el flanco N y ligeramente por debajo del nivel de la zona inundada.

## FAUNA HIPÓGEA

La fauna de invertebrados encontrada en estas galerías de mina no difiere mucho de la fauna hemiedáfica y lapidícola de biotopos crípticos de superficie, conteniendo ejemplos de diversos grupos taxonómicos (moluscos, arácnidos, isópodos, diplópodos y diversos órdenes de insectos), comparables a los que se pueden encontrar en la litera de hojarasca de enclaves sombreados y húmedos de superficie o en el MSS y grietas de lapiaz.

Las galerías en oscuridad total a simple vista contienen una fauna poco diversa. El material identificado incluye a moluscos gasterópodos *Oxychillus* (Zonitidae), araneidos (Argiopidae y Agelenidae), dípteros (Phoridae, Mycetophilidae y Culicidae), algunos raros diplópodos Iulidae, opiliones Leiobunidae y colémbolos edáficos Isotomidae.

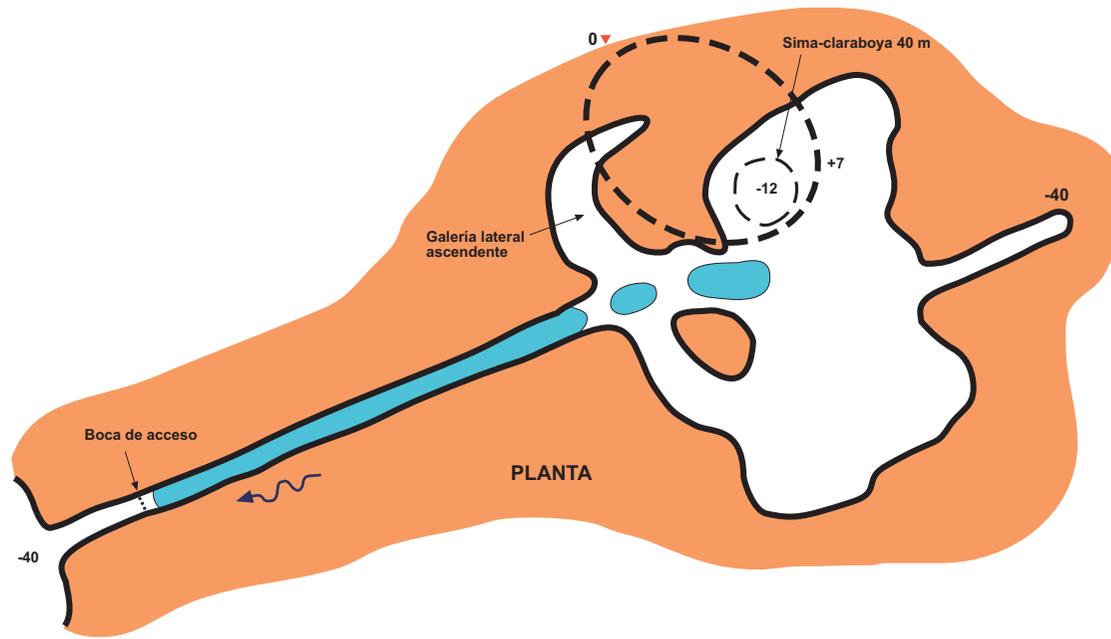
A los cebos colocados en la zona profunda (en Mina 8), acudieron colémbolos depigmentados de las familias Isotomidae y Onychiuridae, algunos isópodos blancos Trichoniscidae (psb. *Trichoniscoides* sp.) y pequeños coleópteros anoftalmos *Bathysciola schiodtei* (Cholevidae Leptodirinae (= Bathysciinae)), de cuerpo ovoide, apéndices cortos y poco troglomorfo. Así que se trata de formas cavernícolas poco especializadas, que también pueden encontrarse en el MSS o en el medio hemiedáfico de superficie. Probablemente, los restos de madera en esta zona (restos de las traviesas de una vía estrecha para vagonetas), cubiertos de micelios de hongos, sirven de alimento (junto a otros materiales orgánicos) a los isópodos detritívoros y otros taxa.

No obstante, estas galerías brindan refugio y protección, estacional o permanente, a varias especies de vertebrados. Entre ellas han sido halladas dos especies de quirópteros, de dos familias distintas: *Rhinolophus hipposideros* (Rhinolophidae) y *Eptesicus serotinus* (Vespertilionidae).

En los estanques de agua y ríos subterráneos, aunque debe haber una interesante microfauna, sólo ha resultado inusual el hallazgo de una población de salamandras (*S. salamandra*; Urodelos: Salamandridae) en el fondo de una galería inundada en la cota -44 de Mina 2, así como de sus larvas acuáticas en los cuerpos de agua tanto en zona oscura como en penumbra. Esta inusual localización sugiere que la especie utiliza este biotopo como lugar de descanso y reproducción. Su alimentación está asegurada por los importantes ingresos de materia orgánica e invertebrados desde el bosque superior al interior del socavón. Y el lugar constituye un excelente refugio ante predadores, además de su constancia climática a lo largo del ciclo anual.

La fauna hallada con cierto grado de troglomorfismo (depigmentación y/o anoftalmia) fue colectada con empleo de cebos atrayentes (constituidos por queso aromático) en la zona más profunda de Mina 8. El material, en proceso de estudio, incluye las citadas especies de colémbolos, isópodos terrestres y coleópteros Leptodirinae. Probablemente, el bajo pH de las aguas (aguas ácidas) y su alto contenido en óxidos metálicos son factores limitantes para la vida de fauna acuática en la zona profunda.

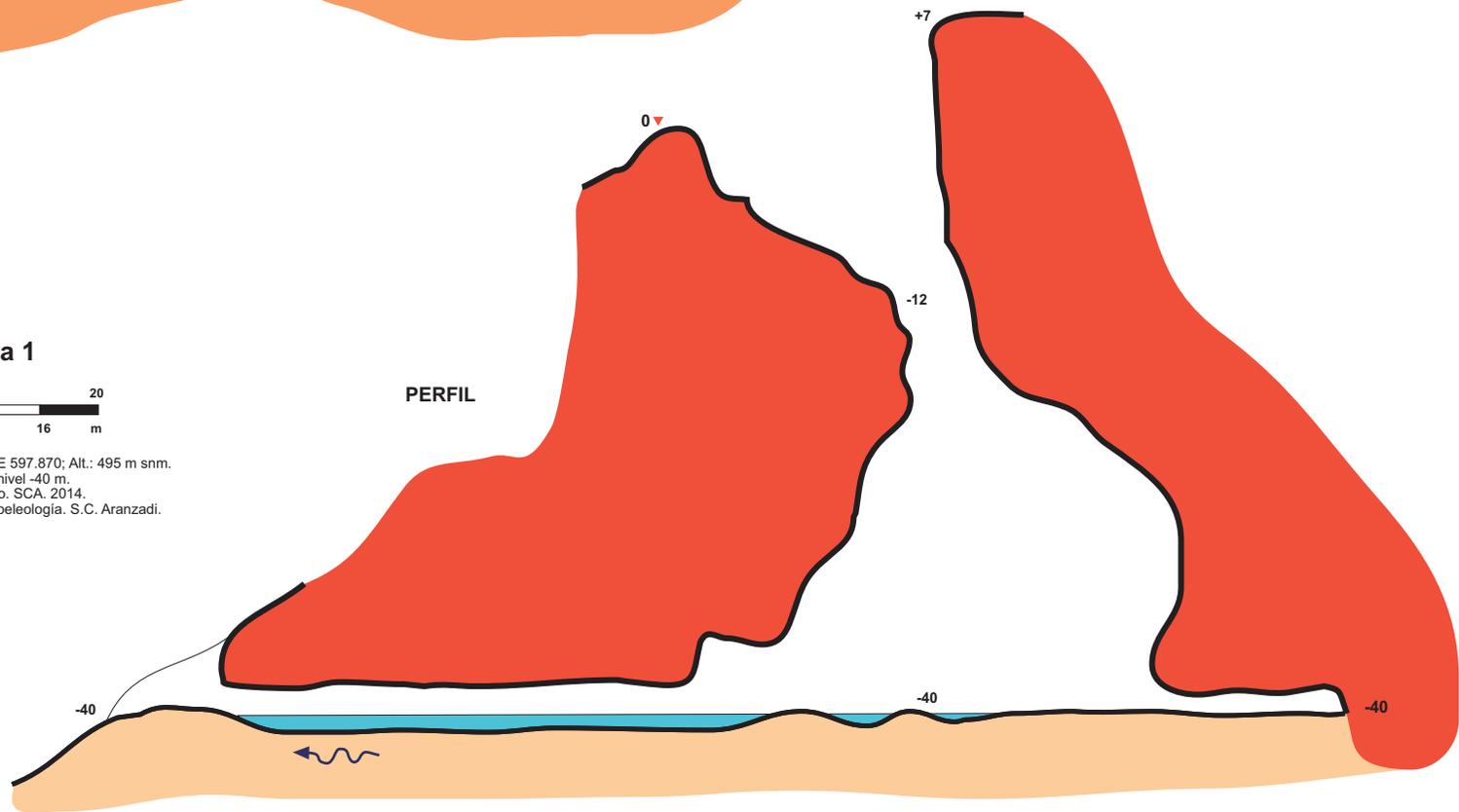
No obstante, con un esfuerzo de muestreo mayor seguramente aparecerían otros taxa, y tal vez ejemplos de formas troglobias más especializadas y de mayor antigüedad filética. Nuestros muestreos a estos efectos sólo pueden considerarse una prospección de naturaleza preliminar.

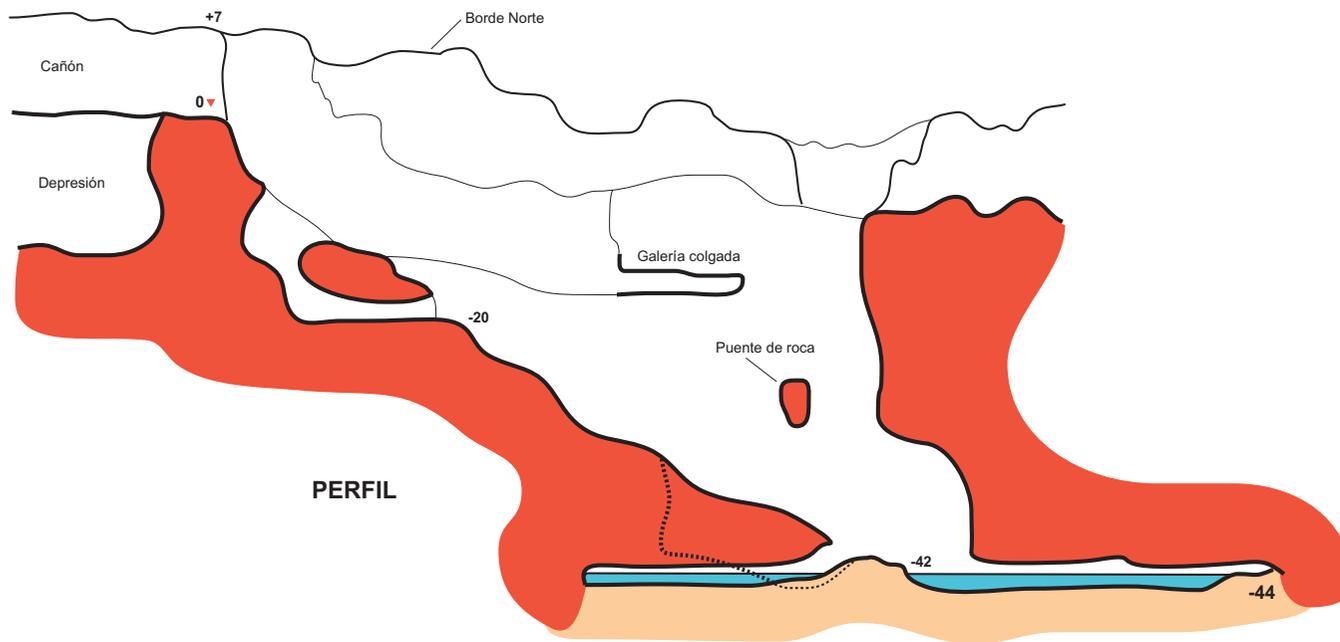


**Mina Elama 1**

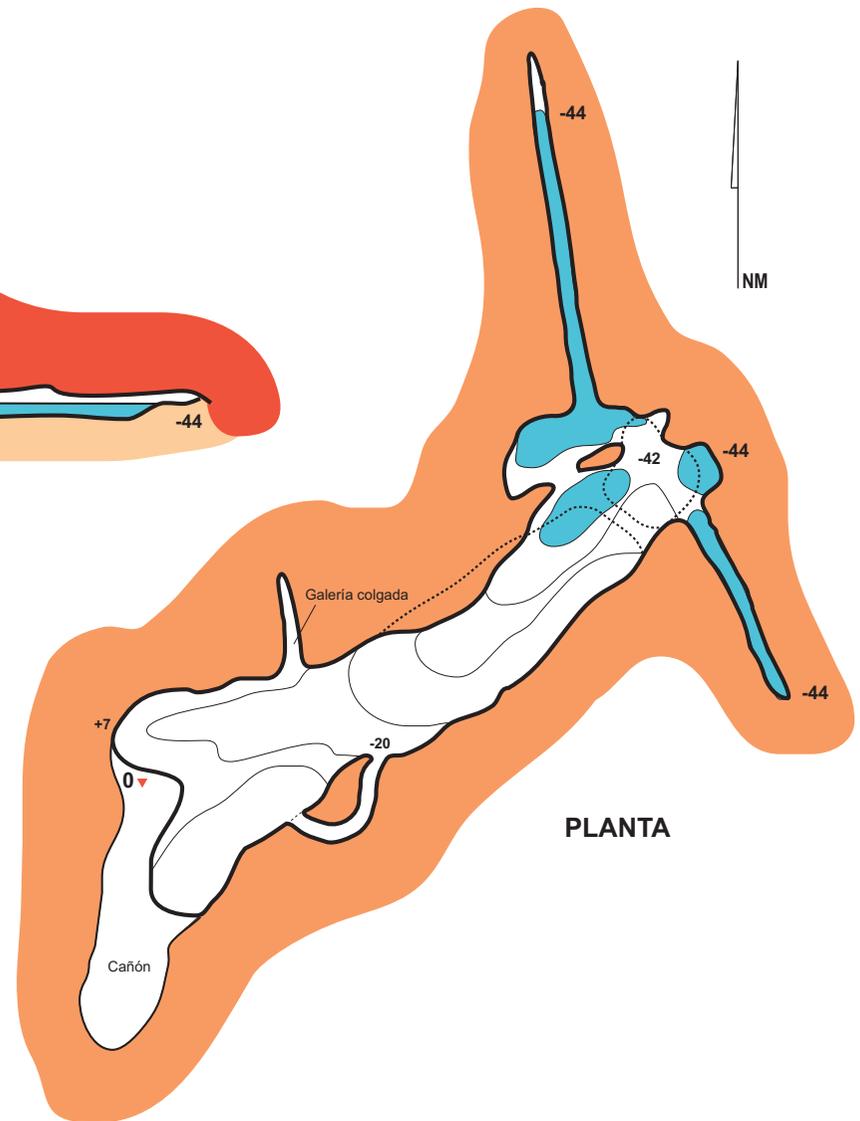


Coordenadas UTM 30N: N 4.782.150; E 597.870; Alt.: 495 m snm.  
 Dimensiones: Desarrollo 185 m. Desnivel -40 m.  
 Topografía: C.Galán; J.Rivas & M. Nieto. SCA. 2014.  
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.





PERFIL

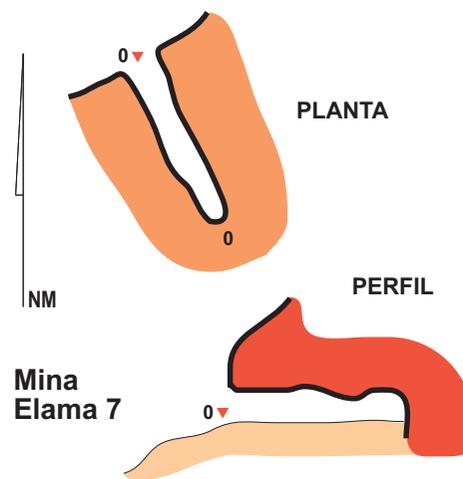
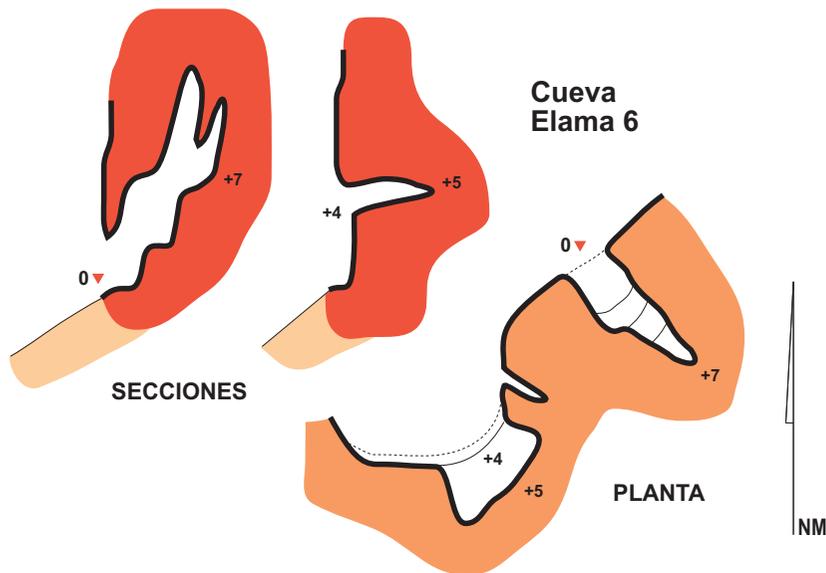
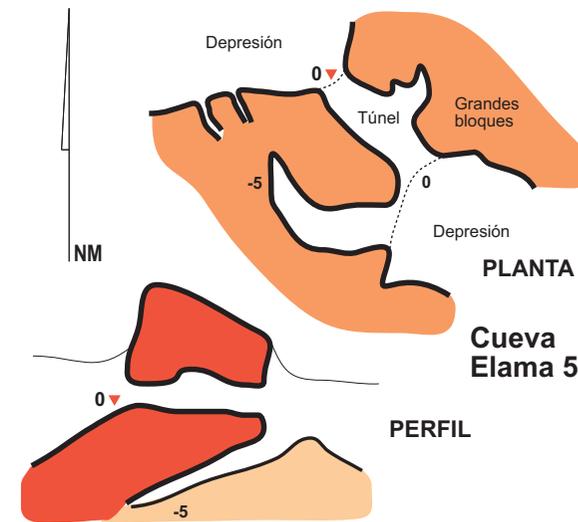
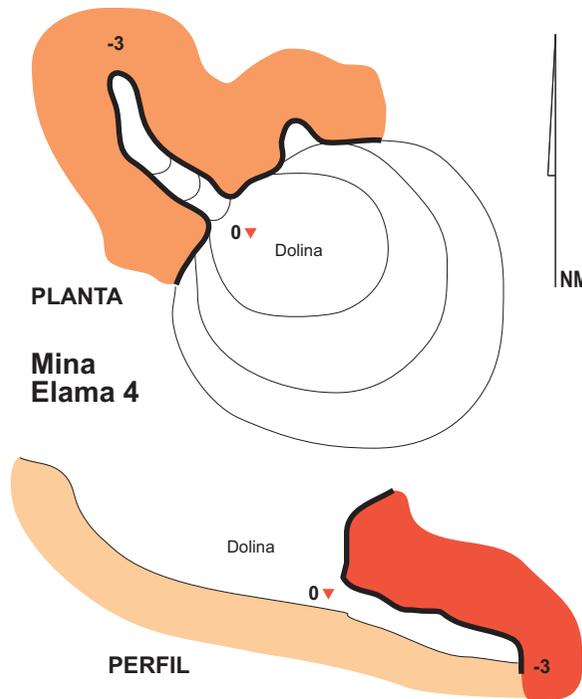
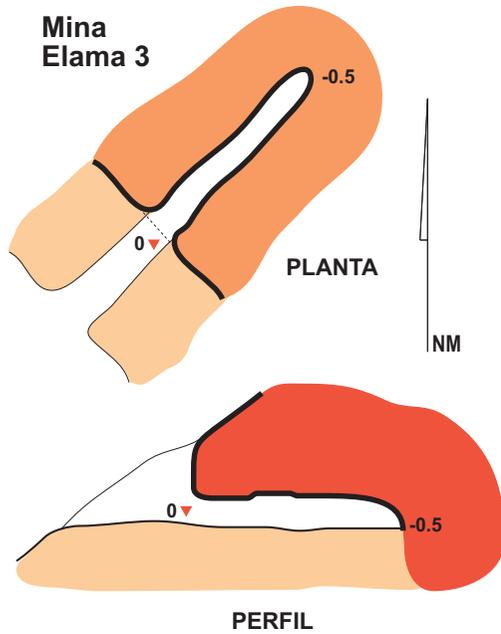


PLANTA

**Mina Elama 2**



Coordenadas UTM 30N: N 4.782.180; E 597.920; Alt.: 500 m snm.  
 Dimensiones: Desarrollo 220 m. Desnivel -44 m.  
 Topografía: C.Galán; J.Rivas & M. Nieto. SCA. 2014.  
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.



### Cavidades Elama 3 á 7



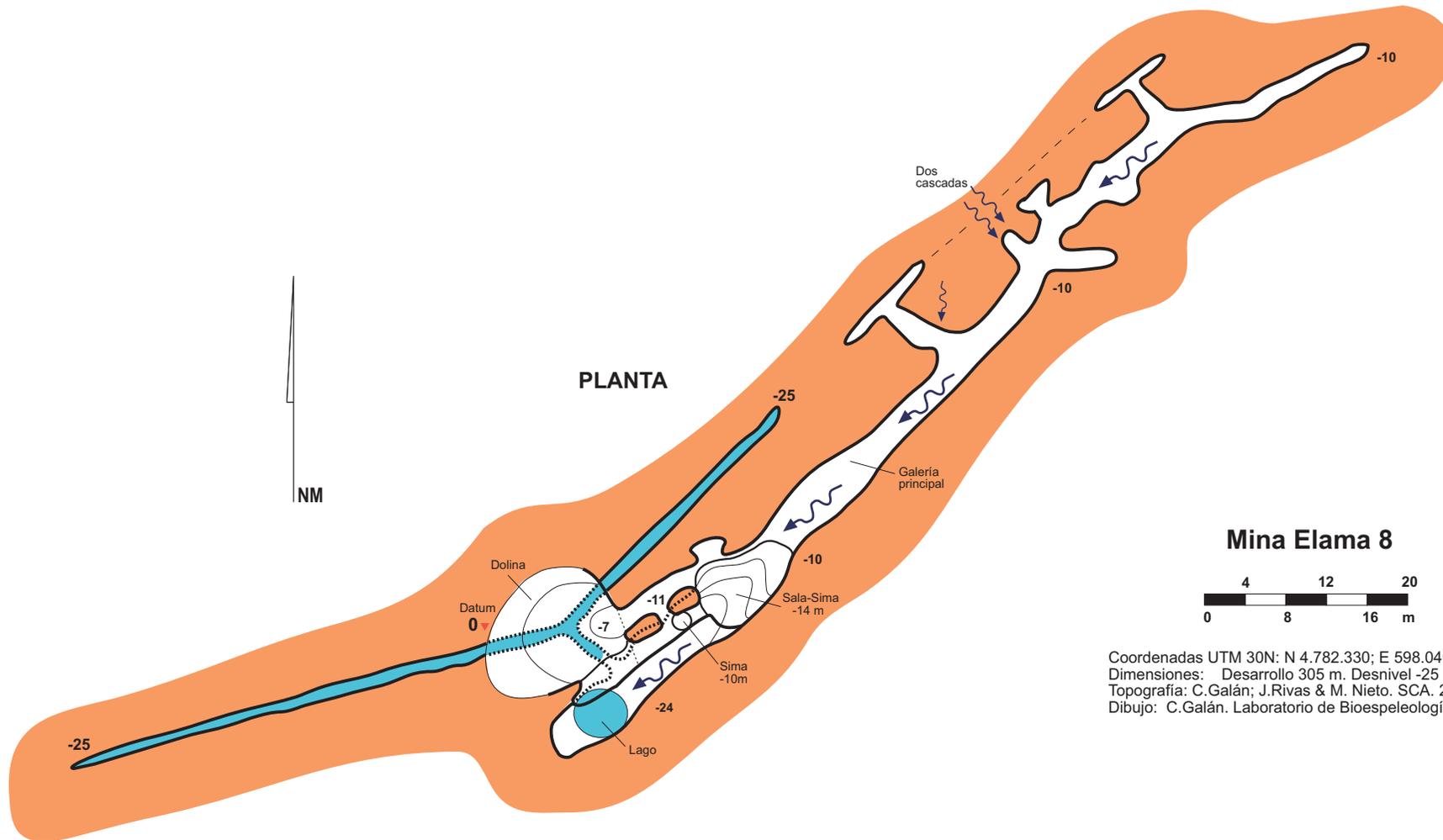
#### Coordenadas UTM 30N:

Mina 3:	N 4.782.870;	E 579.860;	Alt.: 465 m snm.
Mina 4:	N 4.782.280;	E 598.000;	Alt.: 475 m snm.
Cueva 5:	N 4.782.250;	E 598.000;	Alt.: 480 m snm.
Cueva 6:	N 4.782.240;	E 598.010;	Alt.: 485 m snm.
Mina 7:	N 4.782.310;	E 597.960;	Alt.: 460 m snm.

#### Dimensiones:

Mina 3:	Desarrollo 12 m.	Desnivel -0.5 m.
Mina 4:	Desarrollo 10 m.	Desnivel -3 m.
Cueva 5:	Desarrollo 17 m.	Desnivel -5 m.
Cueva 6:	Desarrollo 15 m.	Desnivel +7 m.
Mina 7:	Desarrollo 10 m.	Desnivel -0 m.

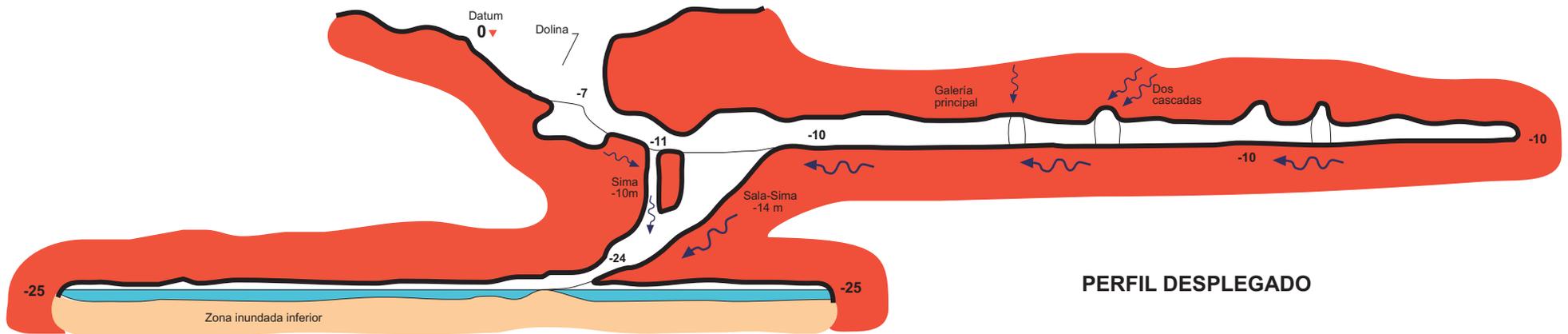
**Topografía:** C.Galán; J.Rivas & M. Nieto. SCA. 2014.  
**Dibujo:** C.Galán. Lab.Bioespeleología. S.C.Aranzadi.

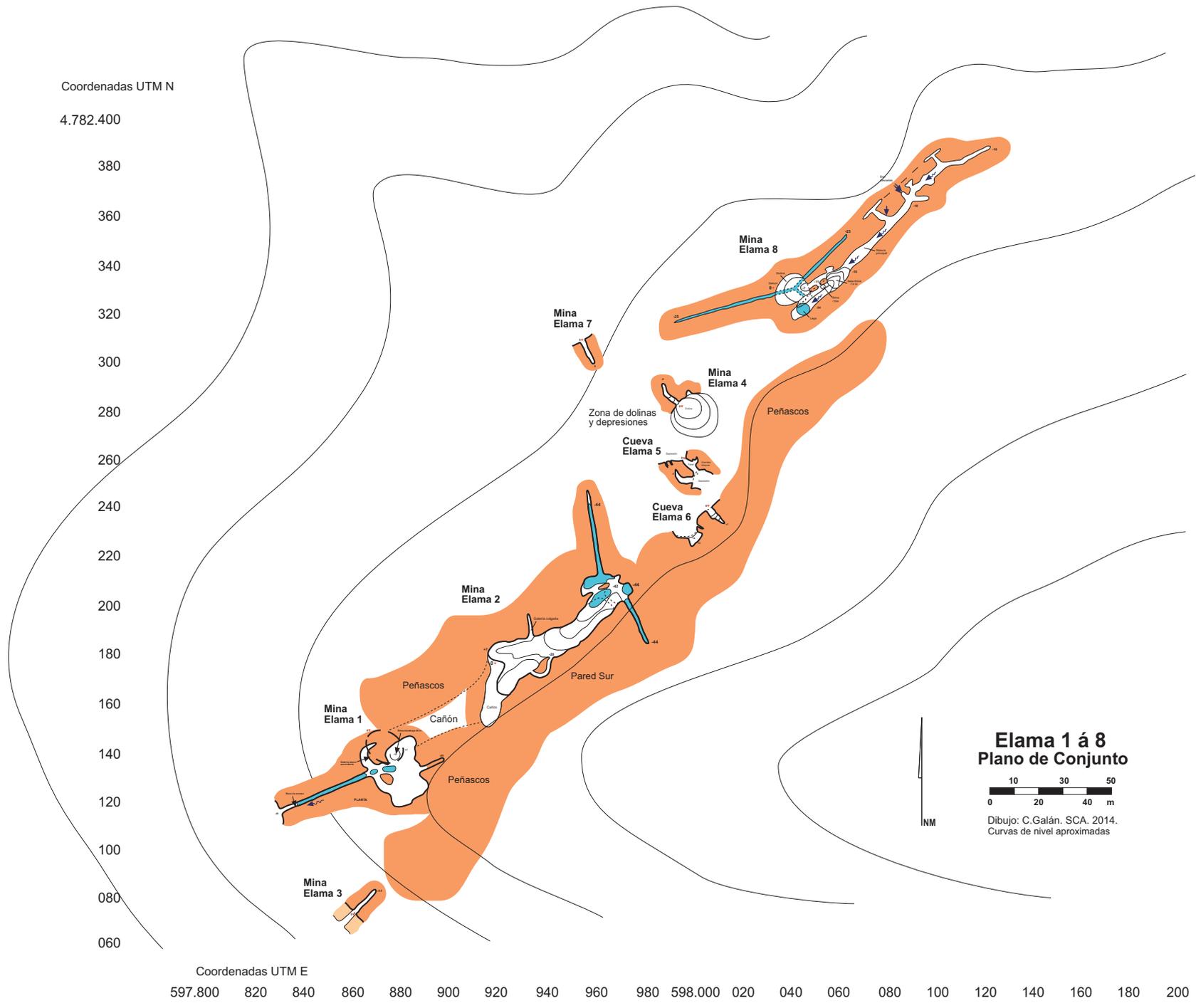


**Mina Elama 8**



Coordenadas UTM 30N: N 4.782.330; E 598.040; Alt.: 460 m snm.  
 Dimensiones: Desarrollo 305 m. Desnivel -25 m.  
 Topografía: C.Galán; J.Rivas & M. Nieto. SCA. 2014.  
 Dibujo: C.Galán. Laboratorio de Bioespeleología. S.C. Aranzadi.





## MINERALOGÍA DE ESPELEOTEMAS

La mayoría de las espeleotemas halladas resultan inusuales o raras para cuevas del karst clásico en caliza, aunque pueden ser más frecuentes en minas de hierro o en cavidades en otras litologías. Como en el caso de la fauna, podríamos decir que nuestra prospección y estudio es sólo preliminar.

Un aspecto a resaltar es que nuestras identificaciones y caracterizaciones son válidas para las muestras analizadas, que han sido pocas. Por analogía, atribuimos igual composición a espeleotemas parecidas (como muchas de las mostradas en las fotos que acompañan a este texto), pero esto encierra mayor incertidumbre y en algunos casos resulta difícil precisar, porque varios minerales distintos pueden tener aspectos parecidos o presentarse combinados, así como también, una única especie mineral puede presentar diversos colores y formas de ocurrencia. Este el caso por ejemplo del ópalo, que puede formar delgadas películas casi inapreciables, puede estar asociado (y de hecho lo está) a calcita (en varias muestras), y puede estar teñido por trazas y ultratrazas de otros minerales. Lo mismo cabría decir para la smithsonita e hidrocincita, a menudo combinadas. E incluso para la calcita, como se expone en el apartado de Discusión y Conclusiones.

Sin duda existen muchas más fases minerales y minerales secundarios distintos (formando espeleotemas) que los reportados, pero sería necesario un esfuerzo analítico mayor, sobre un mayor número de muestras, para caracterizar sus composiciones. En este apartado nos centraremos en describir la mineralogía de las espeleotemas estudiadas, sus principales características y probable origen. Son reportados 15 tipos distintos, que ordenamos en 5 grupos.

### 1. Carbonatos.

- Calcita  $\text{CaCO}_3$ . Carbonato de calcio. Son las espeleotemas más comunes en este grupo de cavidades. Adoptan muchas formas distintas: recubrimientos cristalinos, pequeñas estalactitas isotubulares y cónicas, coladas estalagmíticas, banderas, y pequeños gours o rimstone dams (en Cueva 5). De colores blanco-cristalinos. En ocasiones se presentan coladas veteadas por óxidos y trazas de otros elementos, con coloraciones diversas. Las coladas sobre las paredes pueden cubrir grandes superficies, pero de pocos milímetros de espesor. Otras veces apenas se trata de cristallitos sobre la roca-caja, como tenues nubes de puntos. Los carbonatos obviamente son abundantes en esta litología y la fuente de Ca puede proceder de cierto porcentaje de calcio-siderita  $(\text{Fe,Ca})\text{CO}_3$ , del propio filón de siderita o bien de nivelitos de caliza marmórea incluidos en los esquistos contiguos y/o suprayacentes.

- Rodocrosita  $\text{MnCO}_3$ . Carbonato de manganeso (II). Estas espeleotemas son de color rosa y forman pequeños recubrimientos y eflorescencias en Mina 8. Por lo común la rodocrosita se encuentra en filones metalíferos hidrotermales, asociado con sulfuros de cobre, plata y plomo, y también junto a otros minerales de manganeso. Su ocurrencia como espeleotema es muy rara (a nivel mundial).

- Malaquita  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ . Dihidróxido de carbonato de cobre (II). Forma espeleotemas de color verde claro, en forma de finos recubrimientos cristalinos, en Mina 1. En la misma cavidad hay otras espeleotemas de color verde más oscuro, probablemente del mismo mineral o de calcita coloreada por trazas de cobre. El cobre puede proceder de la calcopirita incluida en la roca-caja en pequeñas cantidades. Su efecto estético es muy llamativo.

- Smithsonita  $\text{ZnCO}_3$ . Carbonato de zinc. Forma pequeñas coladas y flujos coloidales grises, a veces asociada a las coladas de calcita, donde forma bandeados verticales. Cristaliza en el sistema romboédrico. Químicamente pertenece al grupo de la calcita, formando una serie de solución sólida con la siderita, sustituyendo gradualmente el zinc por hierro. La fuente de Zn puede ser la esfalerita o blenda (SZn, sulfuro de Zn) contenida en la roca-caja. Se lo suele encontrar como mineral secundario en zonas de oxidación de los depósitos mineros de zinc. Su ocurrencia como espeleotema probablemente proceda como un producto de alteración directa de la blenda. Suele encontrarse asociada a otros minerales de Cu, Zn y otros metales (entre ellos: azurita, malaquita, hidrocincita, hemimorfita). Puede presentar numerosas variedades, de muy diversos colores.

- Hidrocincita  $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ . Hidroxicarbonato de zinc. Forma pequeños recubrimientos y coladas de un color blanco nacarado a blanco grisáceo, hialino o translúcido. Aunque como mineral lo normal es encontrarlo como masas terrosas o costras, no formando cristales. Como en el caso anterior, puede formarse por oxidación de la blenda. Es frecuente su asociación a la smithsonita, como mineral secundario en la zona de oxidación de depósitos de minerales de Zn, pero su ocurrencia como espeleotema es rara, existiendo escasos reportes a nivel mundial.

### 2. Óxidos e hidróxidos.

- Hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Óxido férrico. Forma espeleotemas rojizas, principalmente en forma de coladas. Tiene un color que varía de rojizo a pardusco y negro, y un color de raya roja, que mancha la piel al tocarla. Con frecuencia contiene trazas de manganeso, aluminio y titanio. Es un polimorfo con la magnetita. La hematita parda es una mezcla de hematita y arcilla, diversamente hidratada.

- Limonita  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Oxi-hidróxidos de hierro. No es un verdadero mineral, sino una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro, que carece de cristales visibles y tiene color y raya pardo-amarilla. La limonita normalmente está compuesta de goethita, pero puede consistir también en proporciones variables de magnetita, hematita, goethita, lepidocrocita, etc. En estas minas se puede encontrar como material detrítico, terroso, pero también forma espeleotemas de colores amarillentos, anaranjados y ocres, en forma de coladas de consistencia blanda. Se origina por la descomposición de minerales de hierro, especialmente pirita.

- Goethita.  $\alpha$ -FeO(OH). Oxi-hidróxido de hierro (III). Cristaliza en el sistema ortorrómbico pero su morfología puede ser muy variada. Puede contener hasta un 5% de manganeso. Su color también puede variar desde amarillento a rojizo, ocre y negro. En las cavidades estudiadas en este trabajo forma coladas estalagmíticas, pequeñas estalactitas y flujos coloidales negros. Seguramente está presente en la composición de otras espeleotemas de hematita y limonita.

- Magnetita.  $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ . Óxido ferroso-diférrico. De color y raya negras y brillo metálico, presenta fuerte magnetismo. Como mineral, junto con la hematita, es una de las más importantes menas, al contener hasta un 72% de hierro. Forma espeleotemas negros en forma de estalactitas y recubrimientos cristalinos con cristalititos octahédricos.

- Manganeso oxi-hidróxidos amorfos.  $\text{MnO}(\text{OH})$ . Oxihidróxido de manganeso. Forma flujos coloidales de colores grises acerados a negros. Las fases coloidales de óxidos de Mn pueden contener diversos minerales. Dado que los óxidos de Mn presentan dos estados de valencia (3+, 4+) la variedad de especies oxidadas es mayor que la de los óxidos de hierro, que sólo presentan el estado +3. Pueden presentarse como fases hidratadas (p.ej. birnessita, todorokita), como oxi-hidróxidos (p.ej. manganita), así como óxidos en sentido estricto (p.ej. pirolusita). El Mn, al igual que para las espeleotemas de rodocrosita, puede proceder de manganosiderita contenida en la roca-caja.

### 3. Silicatos.

- Hemimorfita.  $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Hidroxisilicato de zinc hidratado. Forma pequeñas estalactitas y costras radiadas blancas. También ha sido llamado calamina, pero este término usado por los mineros en realidad designa a la mezcla que aparecía con frecuencia de hemimorfita, smithsonita e hidrocincita, en la parte alta de las minas de zinc. En España ha sido frecuente encontrar hemimorfita en la cuenca minera de Zn de Asturias y Cantabria. Su ocurrencia como espeleotema es rara y probablemente se forme a partir de sulfuros de Zn y vetas de cuarzo contenidos en la roca caja.

- Ópalo.  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  Sílice amorfa o sílice hidratada. Hasta 2012 fue considerada una especie mineral válida, pero actualmente se lo considera un mineraloide. Está compuesto de dióxido de silicio (sílice), lo mismo que el cuarzo. Pero está constituido por diminutas lepisferas formadas por capas sucesivas de tridimita y/o cristobalita (de igual composición pero distinta estructura cristalina) más sílice amorfa. Debido a su empaquetamiento estructural puede reflejar los rayos de luz y formar irisaciones, con todos los colores del arco iris. En Mina 8 encontramos espeleotemas de ópalo formando delgados recubrimientos con bellas irisaciones tornasoladas, que parecen corresponder a este mineral. También coladas estalagmíticas bandeadas, de calcita blanca y ópalo gris, hialino a ligeramente ceroso, con aspecto de porcelana. Existen además finos recubrimientos botroidales (cuya base es gris) a partir de los cuales crecen espeleotemas arborescentes blancas de ópalo, muy duras y de tamaños milimétricos. Las formas de ocurrencia del ópalo son por tanto muy variables y puede estar presente en más espeleotemas que las analizadas. La sílice puede proceder de vetas de cuarzo y/u otros silicatos contenidos en la roca-caja y en los esquistos adyacentes.

### 4. Sulfuros restos detríticos.

- Calcopirita.  $\text{CuFeS}_2$ . Disulfuro de hierro y cobre metalizado. Forma parte de los componentes minoritarios de la roca-caja de siderita. En las minas 1 y 8 se encuentran en el suelo fragmentos detríticos de colores amarillo-miel y amarillo-latón de este mineral.

- Marcasita.  $\text{FeS}_2$ . Sulfuro de hierro. Es un dimorfo de la pirita. Lo encontramos como inclusiones asociadas a vetas de cuarzo en la roca-caja y en fragmentos detríticos de colores blanco-estaño a amarillo-latón en las zonas más secas de Mina 8. Sus cristales tienen hábito prismático y a menudo están maclados y reunidos en curiosos agregados de color amarillo-latón claro y brillo metálico. La marcasita es muy parecida a la pirita pero mucho más inestable y se descompone con facilidad en presencia de agua, desprendiendo ácido sulfúrico y contribuyendo a la alteración de la roca-caja y a la génesis de otras espeleotemas. Los fragmentos detríticos en el suelo están muy alterados, y dan origen a masas pulverulentas grises de cristales rotos y fragmentados.

### 5. Vermiculaciones de moonmilk y recubrimientos orgánicos.

- En la galería final de Mina 1 hay curiosos ejemplos de eflorescencias blancas de calcita sobre las paredes y bloques del suelo. Algunas de ellas, sobre las paredes, son de tipo moonmilk (o "leche de luna") y forman vermiculaciones moteadas en "piel de leopardo", sobre amplias superficies. Su aspecto es muy similar al de las vermiculaciones de moonmilk de calcita encontradas en el sistema de la cueva de Igitegi (una cavidad en caliza, del macizo de Aizkorri), donde se encontraban asociadas a recubrimientos de plasmoidios blanco-brillantes de protozoos Mycetozoa (Galán & Nieto, 2010). Ello sugiere que la génesis de estas vermiculaciones de moonmilk puede deberse a la acción de microorganismos (bacterias y/o mycetozoos).

- En otras galerías de mina en zona oscura hay también ejemplos de distinto tipo de tapices bacteriales y biofilms. En adición, en la zona de entrada cercana a las bocas hay muy diversos recubrimientos orgánicos, de bacterias, algas y musgos. En una de las bocas de Mina 8 resultan llamativa, en zona de penumbra, la ocurrencia de tapices de algas rojas.

La presencia de microorganismos, a menudo poco tenida en cuenta, es un factor más, que también puede influir en la génesis de algunas de las espeleotemas y fases minerales (Northrup & Lavoie, 2001; Northrup et al, 1997) encontradas en estas minas. Tal vez no generando pero sí contribuyendo a la reactividad química y precipitación de minerales secundarios. Téngase en cuenta que muchas bacterias producen p.ej. ácidos, y que subproductos de su metabolismo pueden con frecuencia cambiar el pH de las soluciones o producir compuestos quelantes y complejantes. En fin, una suma de posibilidades de interacción geomicrobiológica a la que crecientemente se está otorgando mayor importancia (Northrup & Lavoie, 2001).



**Figura 31.** Galería del Río, en Mina 8. La roca, de colores oscuros, presenta numerosos recubrimientos de espeleotemas.



**Figura 32.** Mina 8. Vetas de cuarzo y coladas de calcita en la Galería del río, combinadas o teñidas por otros minerales, entre ellos: hematita, hidrocincita, smithsonita, ópalo, goethita y oxi-hidróxidos de manganeso.



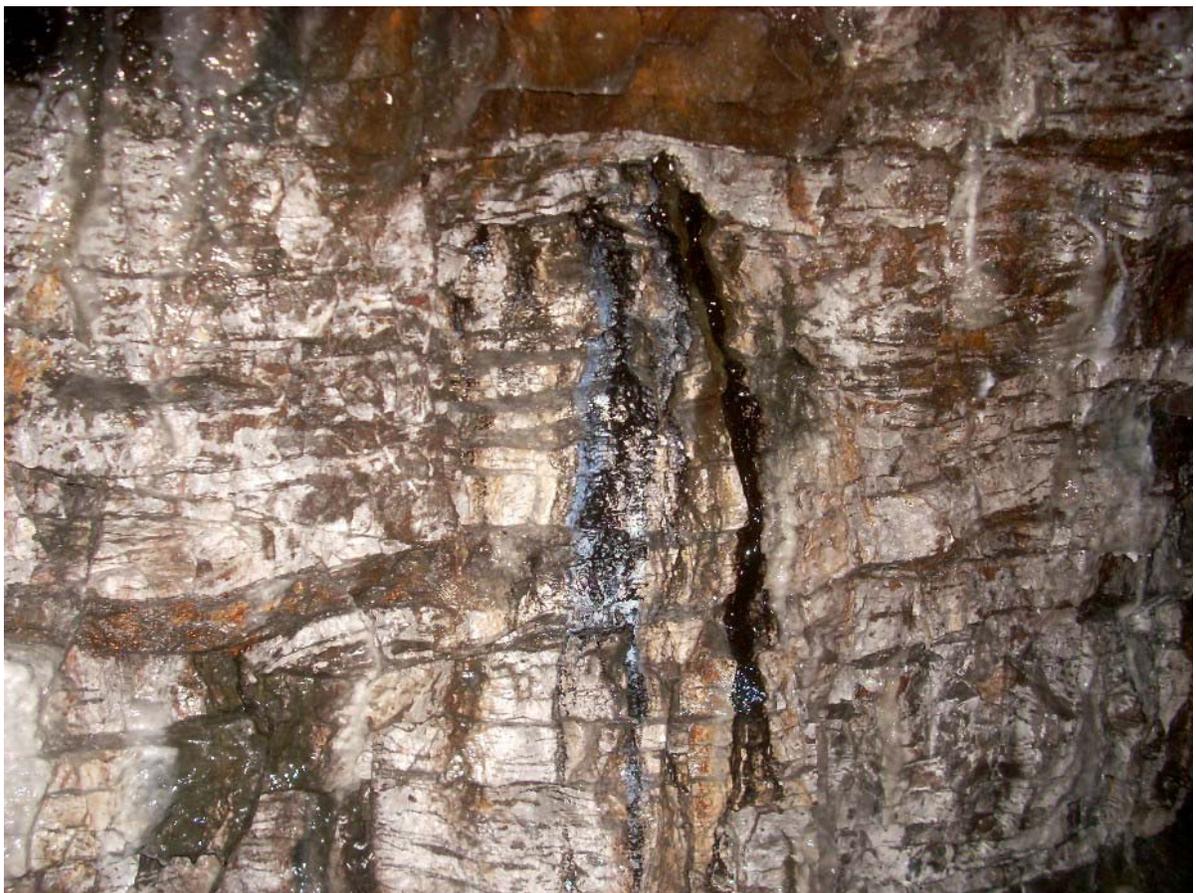
**Figura 33.** El nicho con las dos cascadas por las que ingresa el mayor caudal a la Galería del Río, en Mina 8.



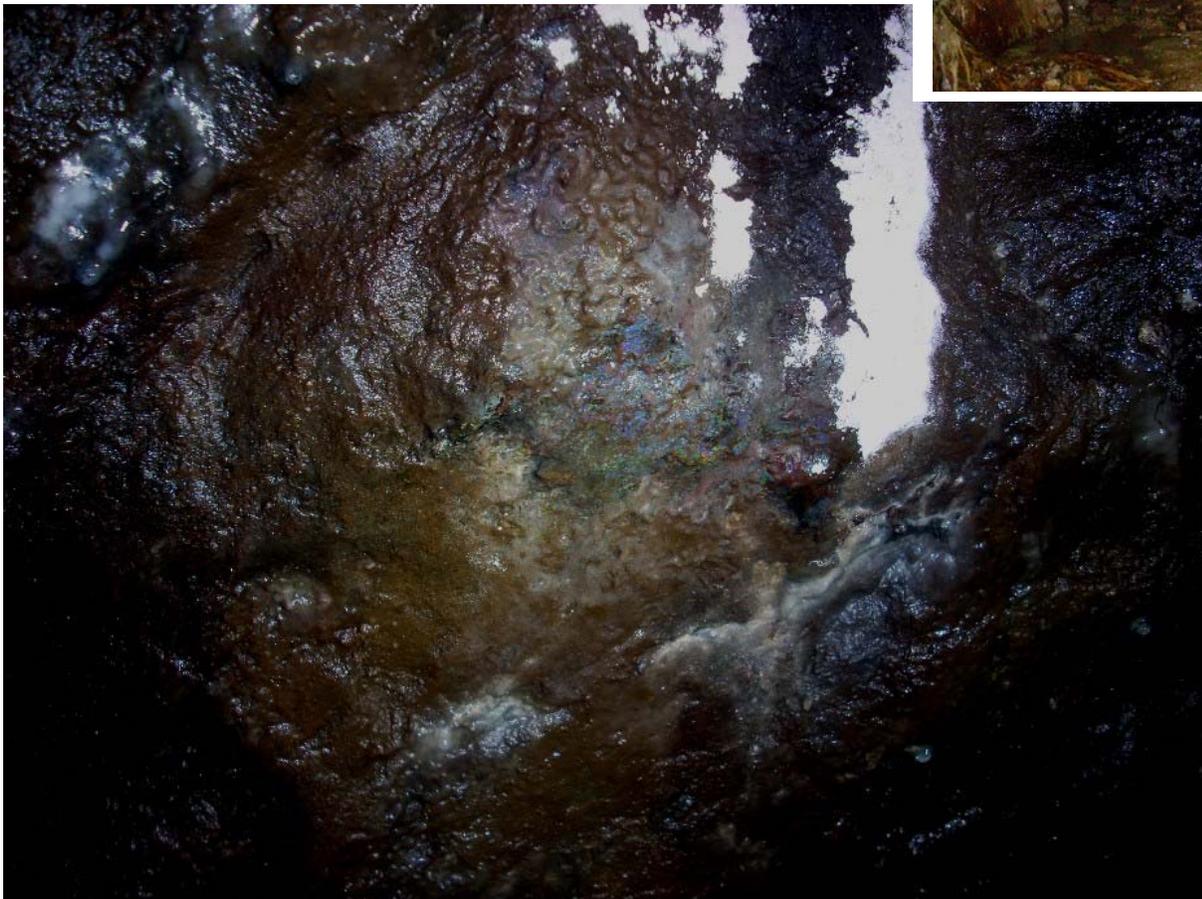
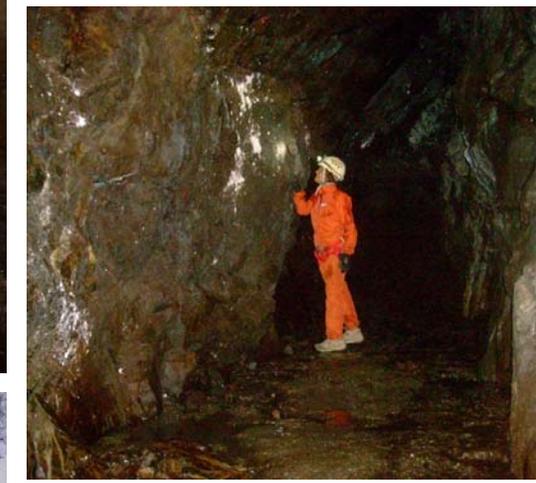
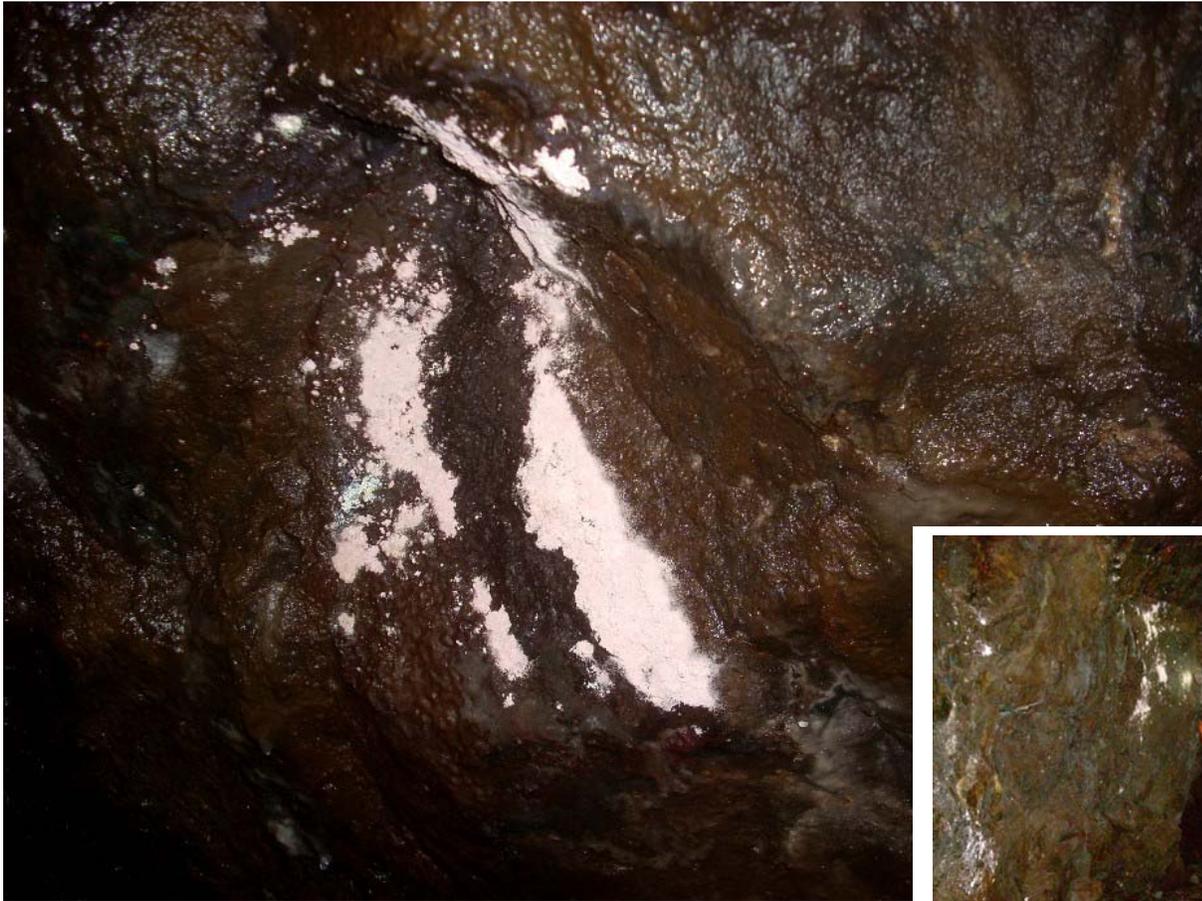
**Figura 34.** Fuertes goteos en otro lateral de Mina 8. En este sector hay espeleotemas negros de magnetita y coladas de calcita y ópalo, con algunos flujos bandeados verdes teñidos por malaquita y/o trazas de otros minerales de cobre.



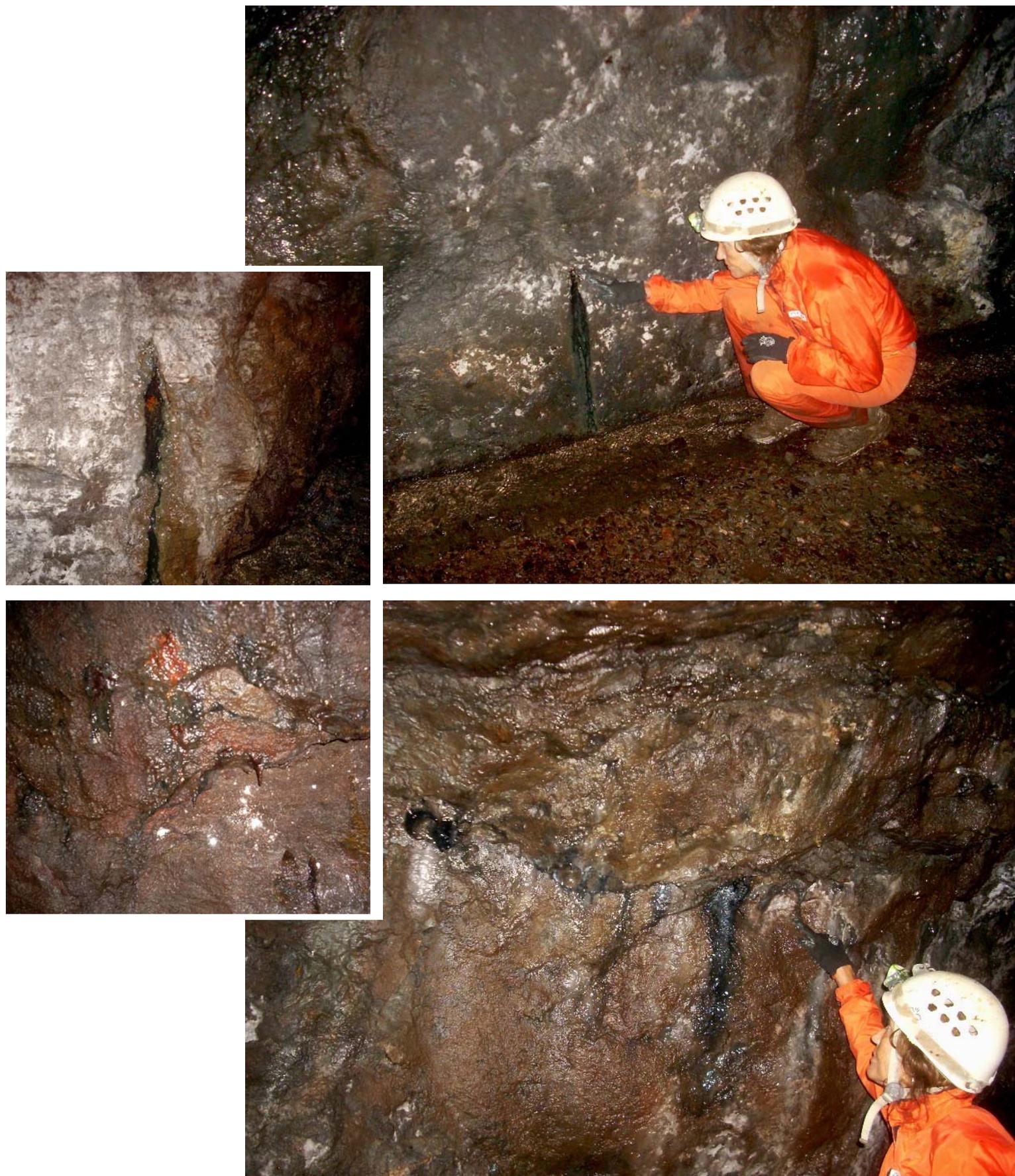
**Figura 35.** Sector del fondo de la Galería del Río de Mina 8, con espeleotemas blancas de calcita y de hemimorfita.



**Figura 36.** Junto a espeleotemas blancas de calcita y negras de goethita, encontramos algunos flujos de color morado (en las imágenes se ven azulados, por efecto del flash) de probable smithsonita y/o hidrocincita. Mina 8, galería del río.



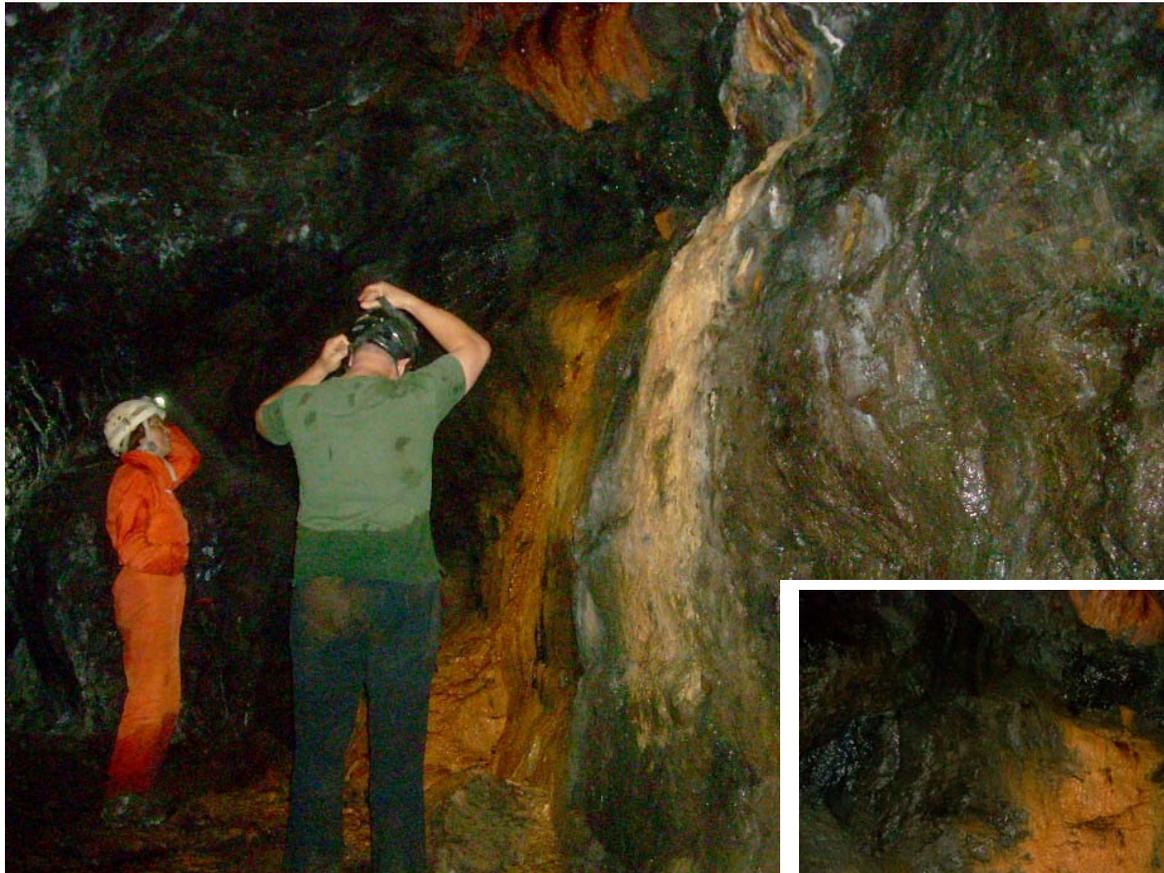
**Figura 37.** En distintos puntos de la galería hay espeleotemas de color rosa de rodocrosita (que en las fotos se ven más blancas, por efecto del flash) junto a delgados recubrimientos hialinos o casi transparentes de ópalo, con llamativas irisaciones, con todos los colores del arco-iris (desafortunadamente, las fotos con flash ofrecen sólo una pálida imagen).



**Figura 38.** Detalle de diversos flujos coloidales que forman espeleotemas de goethita e hidrocincita.



**Figura 39.** Mina 8. Detalle de pequeñas coladas grises de probable smithsonita, junto a otras de calcita y óxidos de hierro (imagen superior). Repisas con fragmentos detríticos de calcopirita (imagen inferior).



**Figura 40.** Mina 8. En algunos puntos de la galería del río hay grandes coladas parietales blandas, de colores ocre, amarillentos y rojizos, de hematita parda y limonita, junto a recubrimientos negros de goethita y tal vez otros minerales teñidos por trazas de manganeso.



Figura 41. Detalles del descenso de la sima en rampa de -14 m, hacia los niveles inundados inferiores en la cota -25.



**Figura 42.** Las espeleotemas de distintos minerales de hierro resultan predominantes en las Minas de Elama, junto a las de calcita. Pero la diversidad de sus modos de ocurrencia, formas y colores, resulta llamativa.

## EVOLUCIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Este conjunto de minas y cuevas tal como se presenta en la actualidad es el resultado de la actividad minera y de la acción de agentes naturales, habiendo experimentado una evolución y cambios a lo largo del tiempo. Dado que las explotaciones modernas partieron y están en continuidad con explotaciones antiguas, la fase inicial de formación de cavidades puede remontarse al menos hasta 700 años antes del presente.

Las explotaciones mineras antiguas se desarrollaban en general a cielo abierto, como zanjonos y calicatas, extrayéndose el mineral de hierro de la hematita de la parte superficial de los filones, que por oxidación e hidratación se transformaba en óxidos. Con los avances técnicos se pasó en el siglo XIX a los métodos de minería subterránea, atacando las partes más profundas de los filones, que contenían siderita, y no habían sido de interés para los mineros antiguos. El hierro pasó a extraerse por calcinación de la siderita en hornos.

Diversos indicios sugieren que en la zona de estudio las partes más superficiales del gran socavón de mina 2, del cañón superficial que enlaza con las depresiones de mina 1, y la zona caótica de dolinas y depresiones que se extiende desde mina 2 hacia mina 8, pudieron haber sido excavadas en épocas antiguas. Mientras que las zonas inferiores y la mayor parte de las galerías subterráneas pueden corresponder a las fases más tardías. Y desde el cese de cada explotación, la erosión de superficie y subterránea han ido retrabajando y remodelando el relieve.

En las zonas excavadas se facilita, por descompresión mecánica de la roca, la apertura de fisuras y los procesos clásticos que producen el colapso de bloques. Igualmente se facilita la infiltración hacia los niveles inferiores de las galerías subterráneas. La meteorización de las rocas desprendidas y de las paredes de las galerías excavadas van a su vez cambiando ligeramente la topografía subterránea, principalmente por la acción erosiva de las circulaciones de aguas subterráneas. En esta evolución las minas artificiales pueden también entrar en continuidad con cavidades naturales existentes en los niveles de caliza intercalados en los esquistos contiguos. A la vez que se van formando espeleotemas a partir de los componentes (mayoritarios y minoritarios) contenidos en las litologías que atraviesan las aguas de infiltración. Ello otorga a las cavidades, en su conjunto, unos rasgos que las asemejan (en variable grado) a cuevas naturales.

La infiltración de agua, incrementada con el paso del tiempo, tiende a inundar las zonas bajas de las galerías. Pero también da origen a nuevos rasgos subterráneos. Así p.ej. el río subterráneo de mina 8 parece ser producto de la captura reciente del caudal de un arroyo de superficie. De hecho, en la parte central N de esta galería hay un tramo, cercano a las dos cascadas que aportan el mayor caudal, donde existen vacíos paralelos a la galería e indicios de que esta pared está en proceso de descompresión y colapso. Este sector coincide con la zona donde la galería de mina está más próxima (en espesor vertical) al fondo de un valle que cruza sobre ella en superficie. Probablemente, con el paso del tiempo, pueda llegar a colapsar y formarse una nueva boca o un derrumbe que obstruya la galería. Procesos similares pueden haber ocurrido en el pasado, en otras partes del sistema. Y quedar hoy ocultos los rasgos que los determinaron. Por lo que los vacíos y galerías que hoy vemos son sólo la parte que queda en la actualidad de la evolución experimentada por el sistema.

También, en función del tiempo, el habitat subterráneo ha ido creándose y experimentando modificaciones. Los organismos que han colonizado el medio hipógeo lo han hecho acompañando estos cambios. En general, la escasa antigüedad del habitat es un factor que limita la adaptación a la vida cavernícola de los organismos colonizadores (Juberthie, 1983). Y ello explica el carácter troglóxico y el escaso troglomorfo que presentan las especies encontradas. En otros casos de minas en continuidad con cuevas y mesocavernas, ha sido frecuente el hallazgo de anfípodos e isópodos troglobios (incluso de antiguos linajes) que colonizaron las galerías de mina a partir de las aguas subterráneas procedentes de las cavidades naturales (Galán, 1993; Galán & Herrera, 1998; Galán & Nieto, 2010; Galán et al, 2004). Esto no ha sido encontrado hasta ahora en este sistema (aunque no se descarta). Probablemente el alto contenido en las aguas de óxidos y metales pesados pueda ser un factor que dificulte su ocurrencia.

En todo caso, la suma de características que presenta este sistema, incluyendo su fauna hipógea y su notable diversidad de espeleotemas, hace que pueda ser considerado un sistema natural mixto, de minas-cuevas, aunque su origen sea artificial.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tal vez el tema que puede ser objeto de mayor controversia es precisamente en qué medida estas minas (cavidades artificiales) puedan ser consideradas o presentar rasgos naturales. No es un tópico menor, ya que para muchos autores los depósitos de minerales secundarios en cavidades artificiales no constituyen verdaderas espeleotemas. Para Hill & Forti (1997), generalmente las formaciones en cavidades artificiales son mucho menos frecuentes y mucho más pequeñas que las espeleotemas presentes en cuevas naturales. Esto es debido principalmente al hecho de que han dispuesto de sólo unas pocas decenas a cientos de años para formarse, mientras que las espeleotemas en cuevas pueden representar un período de crecimiento de cientos de miles de años. En algunos casos, estas formaciones en cavidades artificiales pueden crecer lo suficiente para enmascarar completamente la forma de las paredes y bóvedas (Hill & Forti, 1997). Otros autores, como p.ej. Urbani (1996), prefieren referirse a minerales en cavidades artificiales. No obstante, los tres citados autores, utilizan en sus descripciones las tipologías morfológicas de estalactita, estalagmita, colada, gours, etc. (teniendo en cuenta en todos los casos que se trata de depósitos de minerales secundarios formados en las cavidades). Por lo que éste aspecto puede ser una simple cuestión de preferencia de léxico.

No obstante, las espeleotemas en cavidades artificiales pueden ser mucho más variadas mineralógicamente que las halladas en cuevas naturales, debido a las diferentes clases de rocas involucradas en su génesis. En galerías de minas se pueden formar fácilmente espeleotemas con minerales que raramente ocurren en cuevas (p.ej. smithsonita, hidrocincita, melanterita) o incluso minerales que son extraordinariamente raros a nivel mundial (p.ej. gaspeita, copiapita, etc.). Esta es una importante diferencia a considerar. Es suficiente decir que el estudio de tales minerales puede ayudar a la comprensión de los modos de formación de otras espeleotemas en cuevas, las cuales se forman en el mismo tipo de ambiente subterráneo.

La ocurrencia de ópalo en cuevas es relativamente común, aunque frecuentemente queda enmascarada y no se reporta. Su ocurrencia va de mayor a menor en tubos de lava, cuevas con rocas plutónicas y metamórficas, y cuevas en caliza. En el sistema de Elama notamos su ocurrencia en algunos puntos, lo que nos hace sospechar que puede estar presente en muchos otros más. Normalmente el ópalo pasa desapercibido porque ocurre en capas alternas intercaladas con la calcita, en coladas y mantos estalagmíticos. El ópalo frecuentemente forma bandas alternas con la calcita en estalactitas y estalagmitas normales (Mills, 1965). Las bandas de ópalo suelen gradar lateralmente dentro del material carbonatado o pueden superponerse en capas alternas. En cada capa las puntas de ópalo pueden llenar los espacios entre los cristales de calcita.

El proceso es debido a que el agua rica en sílice típicamente mantiene grandes cantidades de bicarbonato en solución. La pérdida de dióxido de carbono de las soluciones, cuando el agua subterránea entra a las galerías, causa una subida del pH. Dado que la solubilidad de la sílice está controlada por el pH, este incremento causa que la sílice se disuelva y precipite el ión carbonato, decreciendo el pH tras la deposición, y precipitando entonces la sílice. Así, la sílice frecuentemente se deposita como una capa sobre la calcita previamente precipitada o rellenando los intersticios entre los cristales de calcita. En cada ciclo sucesivo de afluencia de las soluciones se repite la secuencia bandeada calcita-ópalo.

Las espeleotemas de ópalo pueden formar recubrimientos, costras, coladas, estalactitas, etc. Las espeleotemas de ópalo son generalmente blancas, pero las partículas de polvo pueden teñirlas de gris y otras sustancias pueden teñirlas de tonos amarillentos a ocreos. Muchas costras y coladas se presentan bandeadas y muchas tienen un brillo vítreo. También las estalactitas y estalagmitas de ópalo suelen ser de colores blancos hasta gris-pálido y amarillo suave, generalmente con superficies botroidales y ligeramente porosas. Debido a ello a menudo pueden no ser reconocidas como ópalo y suelen pasar desapercibidas cuando están asociadas a espeleotemas de calcita.

Nosotros nos fijamos en la presencia de ópalo en las cavidades de Elama, al prestar atención a indicios diversos, tales como: la ocurrencia de vetas de cuarzo y el tipo de flujos bajo ellas; la presencia de irisaciones en recubrimientos tenues; y la observación de coladas bandeadas de calcita y ópalo, de tonos blancos a grises, hialinos a ligeramente cerosos. Todo ello nos hace pensar en la posibilidad de que muchas otras espeleotemas blancas que atribuimos a simple vista a la calcita, puedan en realidad contener otras ocurrencias de ópalo, aspectos que habría que discriminar con analítica de más muestras.

Un aspecto adicional a señalar es que las minas en general resultan un medio mucho más inestable que las cuevas naturales (cuyas galerías normalmente ya han alcanzado sus perfiles de equilibrio), y son frecuentes en minas los desprendimientos de bloques y colapsos. Por ello, aunque las minas de Elama poseen rasgos y espeleotemas llamativos y de indudable belleza estética, no es un paraje adecuado para propiciar visitas de inexpertos o el turismo de masas. Nuestra recomendación es dejarlas como están y por la misma razón omitimos publicar mapas de localización detallados.

Nuestra principal conclusión es que este sistema de cavidades presenta múltiples rasgos de interés científico, tanto por su morfología (en superficie y en sus galerías subterráneas), sus características hidrogeológicas, su gran diversidad de espeleotemas inusuales, su fauna hipógea, y su peculiar evolución histórica. Seguramente la realización de estudios más detallados podría aportar muchas otras novedades de interés, o permitiría confirmar aspectos que ofrecen dudas y caracterizar e identificar con mayor precisión otros aspectos, como la química de las aguas o la fauna de invertebrados, incluyendo la microfauna.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los compañeros y colaboradores del Laboratorio de Bioespeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi que nos acompañaron en los trabajos de campo, en especial a David Arrieta Etxabe e Iñigo Herraiz. A los guardas forestales de Artikutza, en especial a Iñaki Uranga y Aitor Goitia, por su valiosa cooperación y ayuda. Por último, a las recomendaciones de otros colegas que revisaron desinteresadamente el contenido de la presente nota.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 31(1-2): 3-139.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe* (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.
- Galán, C. & F. Herrera. 1998. Fauna cavernícola: ambiente, especiación y evolución (Cave fauna: environment, speciation and evolution). *Bol. Soc. Venezol. Espeleol.*, 32: 13-43.

- Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe Cienc.Nat.*, 51: 67-78.
- Galán, C. 2003 a. Ecología de la cueva de Guardetxe y del MSS circundante: un estudio comparado de ecosistemas subterráneos en materiales del Cretácico tardío del Arco Plegado Vasco. Página web SCA. Archivo PDF: 20 pp.
- Galán, C. 2003 b. Fauna cavernícola, hidrogeología y mineralogía de espeleotemas en una mina-cueva de Leiza, Navarra. Trabajo realizado para Gobierno de Navarra, Dpto. Obras Públicas, Transporte y Comunicaciones, Servicio de Proyectos, Tecnología y Obras Hidráulicas, Pamplona, 14 pp + 12 lám. fotograf. + Pág. Web SCA., 26 pp.
- Galán, C.; D. Peña & M. Nieto. 2004. Las minas de Anoeta y su fauna cavernícola asociada (macizo de Ernio, País Vasco). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 14 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2010. Mycetozoa: curiosas formas de vida en cuevas de Gipuzkoa. Nuevos hallazgos en caliza Urgoniana en los karsts de Aizkorri (Igitegi), Izarraitz (Aixa), y Udalaiz (Montxon koba). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 33 pp.
- Hill, C.A. & Forti, P. 1997. Cave minerals of the world. 2nd ed. Huntsville, Ala., National Speleological Society, 463 p.
- Juberthie, C. 1983. Le Milieu souterrain: étendue et composition. *Mémoires de Biospéologie*, Tome X : 17-66. Biogeographie de la faune souterraine. Colloque de la Société de Biospéologie, Béziers, 1982. Communications Libres.
- Mills, J. P. 1965. Petrography of selected speleothems of carbonate caverns. Unpubl. M.S. Thesis, Univ. Kansas, Lawrence, 44 p.
- Northup, D. E. & K. H. Lavoie. 2001. Geomicrobiology of caves: a review. *Geomicrobiology Journal*, 18(3): 199-222.
- Northup, D. E.; Reysenbach, A. L. & N. R. Pace. 1997. Microorganisms and speleothems. In: Hill & Forti, eds., *Cave Minerals of the World*, 2nd ed, National Speleological Society, Huntsville, p. 261-266.
- Trapote Redondo, M.; C. Marchán; J. Gómez de las Heras; M.T. López; J.C. Arranza; B. Martínez; J. Locutura; J. Rubio; E. Alberruche & C. Avilés. 2010. Minería en Navarra. D.G. Industria y Comercio; IGME Dir. Recursos Minerales y Geoambiente & EUI Técnica Minera y OP (UPV) Colaboración. Navarra, 211 p.
- Urbani, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. *Bol. Soc. Venezol. Espeleol.*, 30: 1-10.