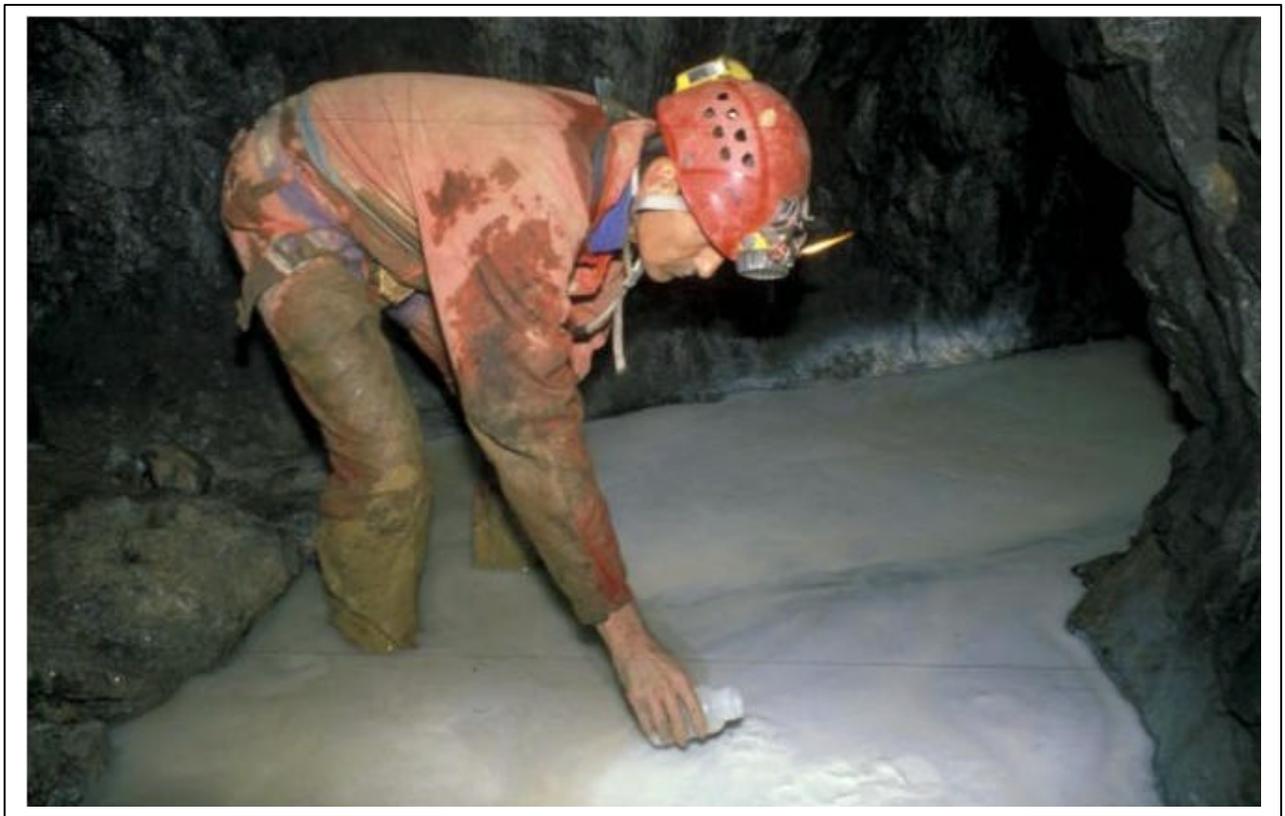


Hallazgo de un río subterráneo de leche de luna (mondmilch) en la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa): descripción de la cavidad y de sus espeleotemas.

Discovery of a moon-milk (mondmilch) subterranean river in Alzola abyss-mine (Gipuzkoa): description of the cave and its speleothems.



Carlos Galán.
Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Diciembre de 2002.

Hallazgo de un río subterráneo de leche de luna (mondmilch) en la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa): descripción de la cavidad y de sus espeleotemas.

Discovery of a moon-milk (mondmilch) subterranean river in Alzola abyss-mine (Gipuzkoa): description of the cave and its speleothems.

Carlos GALAN

Sociedad de Ciencias Aranzadi

Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián (Spain)

E-mail: cegalham@yahoo.es

Enviado para publicar Enero 2003.

Palabras clave: Espeleología, Karst, Geología, Hidrología, Minerales de cuevas, Espeleotemas.

Key words: Speleology, Karst, Geology, Hidrology, Cave-minerals, Speleothems.

RESUMEN

La sima de Alzola es una cavidad natural desarrollada en calizas arrecifales y carbonáceas con capas de lignito interestratificadas. Galerías artificiales de mina fueron perforadas el pasado siglo para explotar los lignitos. Actualmente la cueva y la mina forman una red de galerías que es atravesada por un río subterráneo. La cavidad presenta muy diversas espeleotemas de minerales de hierro, calcita, cuarzo, illita, chamosita, yeso, brushita y compuestos amorfos que permanecen sin identificar. Lo más notable es la presencia de un río subterráneo blanco, de leche de luna líquida, que constituye el primer reporte mundial de esta naturaleza y cuya descripción preliminar se presenta en este trabajo.

ABSTRACT

Alzola abyss is a natural cavity developed in reef and carbonaceous limestones with interstratified lignito beds. Artificial mine galleries for lignito extraction were drilled in the last century. Nowadays the cave and mine galleries form an interconnected network with a subterranean river flowing through. The cavity presents a lot of speleothems of iron minerals, calcite, quartz, illite, chamosite, gypsum, brushite and amorphous compounds which remain without being identified. The most remarkable characteristic is the presence of a white subterranean river formed by moon-milk liquid. This river constitutes the first world report of this nature. Preliminary description of cave and speleothems is present in this work.

INTRODUCCION

Durante una prospección efectuada en 2002 en la parte W del macizo kárstico de Ernio (Gipuzkoa, País Vasco) se descubrió una cavidad natural en el fondo de una profunda depresión. Esta es denominada Sima de Alzola (= Alzolako leizea en lengua vasca).

La región en que se encuentra la cavidad posee calizas arrecifales y carbonáceas del Cretácico temprano con varios estratos de lignito, los cuales fueron explotados durante el siglo 19 y comienzos del 20. Esta minería artesanal llegó a ser importante localmente (más de un centenar de minas) y es el único lugar de Gipuzkoa en el que la extracción de carbón tuvo cierta entidad. El mineral extraído, de escaso poder calorífico, era utilizado para la calcinación de margas calcáreas y obtención de cal hidráulica o cemento natural. La mayoría de las explotaciones fueron abandonadas hace ya más de 60 años.

La sima de Alzola es una cavidad natural que atraviesa la serie caliza carbonácea. Desciende escalonadamente un desnivel de -90 m y presenta varias salas y galerías con un desarrollo de 470 m. Pero adicionalmente, a varios niveles dentro de la sima, fueron excavadas galerías horizontales de mina para explotar las capas de lignito que atraviesa la cavidad. Fueron topografiados 250 m de galerías de mina, existiendo continuaciones que no hemos explorado por el riesgo real que existe de derrumbe. La red interconectada de galerías suma 720 m y es atravesada por un arroyo subterráneo que va engrosando su caudal con filtraciones que convergen en la galería principal de la cueva.

La cavidad presenta una gran variedad de espeleotemas de calcita, algunas con coloraciones poco usuales. Acompañando los cambios de litología se presentan además espeleotemas de extraño aspecto y colores rojizos, amarillentos, ocreos y negros. Algunas de ellas, de brillantes tonos metálicos oscuros y apariencia sólida, resultaron sumamente frágiles y deleznable. Estas espeleotemas se disgregan con facilidad y su interior tiene aspecto esponjoso, con capas arcillosas rojo-amarillentas. Existen

además espeleotemas "blandas" constituidas por materiales amorfos muy hidratados, los cuales llegan a formar recubrimientos estalagmíticos. Adicionalmente existen sedimentos terrosos, producto de la alteración parietal de la caliza y el lignito, los cuales presentan microcristales blancos que destacan entre los fragmentos oscuros. En las galerías artificiales de mina, existen espeleotemas isotubulares y cónicas de calcita, que contrastan con el color negro de la roca caja.

Las espeleotemas "raras" se presentan mayoritariamente en las galerías de mina, pero también en la cavidad natural. Aunque infrecuentes, en otras cuevas de Gipuzkoa se han encontrado espeleotemas de calcita con coloraciones rojizas y negras, atribuyéndose su coloración a la presencia de óxidos de hierro y/o manganeso, pero sin contar con analítica que determine los minerales presentes. En tales casos las espeleotemas eran sólidas y cristalinas. La mayor diferencia con las espeleotemas de Alzola residen en la consistencia blanda de estas últimas y en su estructura interna arcillosa y deleznable. Estas pueden formar estalactitas, estalagmitas, coladas con microgours, recubrimientos de superficies y vetas, en algunos casos con la apariencia de geles y en otros con goteo de soluciones rojizas. Todo ello nos hizo pensar en que además de óxidos o hidróxidos de hierro podían contener minerales secundarios no reportados previamente o complejas asociaciones mineralógicas, por lo que revestía interés su estudio.

Pero el hallazgo más sorprendente se produjo al buscar el origen del río subterráneo que recorre la cueva. La mayor parte del caudal procede de una galería de mina excavada en la cota -42 m. La roca caja es de color negro, con pequeñas estalactitas de calcita blanca y espeleotemas "raras" rojizas y negras. La galería está semi-inundada con 40-60 cm de agua de flujo lento, de un contrastante color blanco, con la extraña apariencia de una masa líquida de yogur o leche de luna (mondmilch), aparentemente formado por micro o nano-partículas en suspensión coloidal. Este río ocupa más de 100 m de galerías.

En la literatura espeleológica ha sido citada muchas veces la leche de luna o mondmilch, y en otras cavidades gipuzkoanas existen ocurrencias de ella. Este término designa una facies típica compuesta por partículas extremadamente finas (micro o criptocristalinas) (GEZE, 1968), la cual en presencia del agua en las cuevas da una suspensión blanca de aspecto lechoso, la cual puede revestir las paredes y el suelo. Este material pastoso, blanquecino, blando y plástico al tacto, está constituido generalmente de carbonatos de calcio y magnesio. A nivel mundial hay reportes de otros minerales y compuestos amorfos, habiendo sido citados cuarzo, dolomita y caolinita. En algunos casos se ha reportado la intervención de microorganismos en la formación del mondmilch. Pero cabe destacar que aunque el contenido de agua en el mondmilch es abundante (URBANI, 1977), su estado físico suele ser sólido o plástico.

El río de agua blanca de Alzolako leizea se asemeja a lo que podría ser un mondmilch o leche de luna en estado extremadamente hidratado, con lo cual sería un caso atípico al compararlo con la mayoría de las descripciones de mondmilch a nivel mundial (HILL & FORTI, 1997). Además de ello, el mondmilch generalmente ocurre en cantidades pequeñas, sobre superficies de unos pocos cm o a lo sumo m². En nuestro caso, el río de leche de luna líquida ocupa más de 100 m de galerías, con flujo lento y caudal medio de 0,05 - 0,1 l/s. En un lugar existe una espeleotema marcadora, que corresponde al nivel de aguas altas, y que posee la consistencia pastosa del mondmilch sólido. El río ingresa a la cueva, donde pasa a un régimen turbulento y aumenta su caudal con el aporte de otras filtraciones y afluentes, perdiendo su característico color blanco. En el punto final de la cavidad, cota -90 m, el caudal es próximo a 2-5 l/s.

Dadas las inusuales características de esta sima-mina, decidimos tomar muestras para analizar los minerales presentes, además de documentar otros aspectos de interés.

MATERIAL Y METODOS

La cavidad se exploró con las técnicas normales en espeleología. Se utilizó jumars para las verticales e instrumental Shunto (brújula y clinómetro) para los levantamientos topográficos. Un estudio faunístico fue emprendido mediante el empleo de cebos, colectándose diversos invertebrados troglobios actualmente en estudio. Documentación fotográfica (diapositivas-color) fue obtenida con una cámara Cannon, flashes y células fotoeléctricas. Las muestras mineralógicas fueron tomadas en bolsitas y botes plásticos de cierre hermético, previamente lavadas.

Los trabajos en la cavidad se efectuaron a lo largo de 2 meses, para facilitar la captura de fauna con cebos y observar el comportamiento del río subterráneo ante variaciones en las precipitaciones.

La exploración y topografía de la cavidad fue efectuada por Jon Laskibar, Natxo del Cura y C.Galán. El trabajo fotográfico estuvo a cargo de Rafael Zubiría, con la colaboración de Marian Nieto y los antes nombrados. Los trabajos de toma de muestras geológicas y recolección de fauna estuvieron a cargo de C.Galán, con la colaboración de los anteriores y de Eric Leroy, todos ellos miembros del Departamento de Espeleología de la S.C.Aranzadi.

Las muestras fueron fraccionadas y separadas en laboratorio. Una muestra del río de leche de luna fue analizada por E.Leroy mediante difracción de rayos X (DRX) en los laboratorios del Donostia Physical Center, revelando un carácter amorfo (ausencia de cristales). Una serie completa de muestras fue enviada con la colaboración de Juan Cruz Vicuña y Juan García Portero, del Ente Vasco de Energía (EVE), a Esteve Cardellach, de la Unidad de Cristalografía y Mineralogía -Departamento de Geología- de la Universidad Autónoma de Barcelona, quien analizó las muestras utilizando difracción de rayos X (DRX) y técnicas complementarias, y cuyos resultados preliminares presentamos en este trabajo.

Otra serie de muestras ha sido enviada para análisis más finos (con espectroscopía Mössbauer y microscopio electrónico de barrido) al Dr. Franco Urbani -especialista internacional en mineralogía de espeleotemas- de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela y Sociedad Venezolana de Espeleología. Como los estudios requerirán cierto

tiempo, y dado el interés del hallazgo, presentamos en este trabajo una descripción preliminar, física y geológica, con los primeros resultados obtenidos sobre los minerales secundarios de la cueva.

DESCRIPCION DEL KARST

El extenso macizo kárstico Ernio - Gazume - Pagoeta posee en su parte W una unidad hidrogeológica independiente, constituida por las cuencas cerradas de Aizarna - Akua.

La estructura de la región corresponde a un sinclinal volcado NW-SE vergente al N. En su núcleo aflora el complejo Supraurgoniano, de edad Cretácico tardío. Este comprende una facies flyschoides con una alternancia monótona de capas duras de arenisca con matriz calcárea y calizas arenosas, alternando con capas deleznable de argilitas arenosas de grano muy fino. El flanco N, entre el arroyo de Lasao y el de Granada erreka, está constituido por materiales Urganianos (Cretácico temprano, Aptiense - Albense). Estos forman una serie calcárea arcillosa, compuesta de calizas recifales que cambian de facies lateralmente a calizas organodetríticas y lutitas. Las calizas recifales se presentan en masas o bancos gruesos, sin estratificación clara, y son compactas, cristalinas a sublitográficas (GALAN, 1988).

La cuenca cerrada de Aizarna se desarrolla sobre calizas y margas Urganianas y forma en el relieve un poljé o depresión cerrada de fondo plano (a 220 m de altitud). Su eje mayor, de orientación NW-SE, tiene 2,5 km de longitud. El monte Ertxin (431 m.snm) separa la cuenca de Aizarna de una depresión menor, situada al S, la cuenca de Akua. Ambas depresiones, y el conjunto de relieves calcáreos que los rodean forman una unidad kárstica de 8 km² de superficie. Las aguas que se infiltran en la región, circulan subterráneamente y emergen en la surgencia de Hamabiturri (cota 45 m.snm), en la proximidad de Zestoa, a orillas del río Urola. La circulación en la unidad ha sido verificada mediante una prueba de trazado con fluoresceína efectuada entre el sumidero de Zabaleko zulota y Hamabiturri. Esta dió un resultado positivo y salva una distancia de 2,7 km y un desnivel de 170 m. El caudal medio en la surgencia es de 224 lt/sg y corresponde a la totalidad de las precipitaciones infiltradas en la unidad (GALAN, 1988).

En la región han sido catalogadas 20 cavidades y sumideros, pero todas de modestas dimensiones (inferiores a 100 m) a excepción de la recientemente descubierta sima de Alzola, la cual pasa a ser la mayor y más profunda cavidad de la unidad.

En distintos lugares las calizas Urganianas gradan lateral y verticalmente a margas y calizas organodetríticas. Las capas calcáreas poseen intercalaciones de calizas carbónceas, con contenidos variables de carbón vegetal o lignito. La minería en la región ha revelado la existencia de cuatro capas principales de lignito (URDANGARIN et al., 2002): la primera tiene un espesor de 0,2 m de lignito de buena calidad. A 5 m se encuentra la segunda, que no tiene condiciones de explotación por estar mezclado. La tercera capa se encuentra a 18 m de la 1ª, con 1,3 m de excelente combustible. Y a los 20 m se encuentra la 4ª capa, de 1 m de espesor de lignito también bueno. Los espesores y calidades del lignito son variables y la dirección preferencial de las capas es NW-SE, con buzamientos de 20° hacia el SSW. Las capas de lignito en la sima son interceptadas en las cotas -31, -42 y -50 m.

DESCRIPCION DE LA CAVIDAD

La cavidad está situada a 1.100 m al NW de Alzola de Aia. Las coordenadas UTM son: E 564.7000, N 4.787.120, alt. 220 m.snm. La boca de la sima se abre en el fondo de una oculta depresión, de 40 m de diámetro y 20 m de desnivel. El punto cero fue establecido en el inicio de la depresión cerrada; la boca de la sima (primera vertical) es la cota -20.

La sima de entrada, de 7 x 3 m, presenta una vertical de -12 m. En la misma caen pequeños hilos del agua que recoge la dolina, así que se trata de una sima-sumidero. Al pie de la vertical, tras un paso estrecho, sigue una galería descendente que intersecta una galería mayor, de 5 m de ancho y 7 m de altura. Tras un escarpe rocoso de 4 m se alcanza otra vertical, de 12 m, la cual comunica con un amplio salón (cota -66). En su parte baja central (cota -70) se alcanza una abertura en el suelo por la que se infiltra gran cantidad de agua proveniente de diversos laterales y goteos.

Del fondo del salón parte una galería activa, de pequeño diámetro, la cual desciende con varios escalones y luego se organiza como galería meandro. Tras una ampliación en la cota -80 se aprecian huellas de inundación periódica (relenos de arcilla, lenares inversos). La galería desciende con menor diámetro y en la cota -90 se torna muy estrecha e impracticable. Este es el punto más bajo de la cavidad.

Al lado de la galería activa se abre una galería superior inactiva, más ancha pero de techo bajo. Su suelo es de cantos rodados, por lo que resulta obvio que se trata del camino que seguían previamente las aguas, hoy abandonado. La galería es más larga que la inferior (de unos 100 m) y de pendiente más suave. Tras una ampliación con un lateral ascendente, la galería se torna un meandro seco y sinuoso. Su fondo es la cota -83.

En el salón central, de 30 m de diámetro y 20 m de altura, se abren otros laterales. En el lado N existe una corta galería, con suelo estalagmítico, por la cual ingresa un pequeño río. Las aguas proceden de una salita de 4-5 m de diámetro que presenta una alta chimenea. Escalando 7 m se llega a una sala superior con una gruesa columna y numerosas espeleotemas de calcita, algunas con tonalidades ocre de óxidos de hierro. La sala asciende hacia el E con gours y coladas y por ella ingresa bastante agua. También se prolonga hacia el S otros 20 m, con pasos estrechos, para comunicar a través de una rampa con el salón central. Lo hasta ahora descrito es una cavidad natural, desarrollada en calizas Urganianas, de 470 m de desarrollo y -90 m de desnivel.

Además, en continuidad con la cavidad, se abren varias galerías de mina, artificiales, que perforan los tramos de caliza

carbonácea con capas de lignito. Todas ellas tienen una sección muy uniforme, de 1.20 a 1.40 m de ancho y 1.80 a 2 m de altura.

En la cota -50 hay una galería de mina, rectilínea, de 42 m de largo, la cual es atravesada en su inicio por el río que recorre la cueva. La galería es llamativa por sus paredes negras con espeleotemas de óxidos de hierro y de calcita, con coloridos ocres, rojizos y blancos, muy contrastantes. Algunas estalactitas ocres de tonos metálicos poseen una superficie sólida, pero se disgregan con facilidad debido a que su interior es una matriz esponjosa, blanda, de textura arcillosa y colores rojo-amarillentos.

En la cota -36 existe una galería descendente por la que se sume el agua de la zona de entrada en dos grietas (cota -43) y, a su lado, la cavidad sigue en mina artificial (cota -42). Un tramo rectilíneo de 24 m y rumbo SE se presenta inundado con 40-60 cm de agua, que drena hacia el sumidero de la cota -43. En este tramo el agua parece leche de luna líquida, es de color blanco, y el fondo del río posee un fino limo arcilloso, que al pisar se remueve dando un color marrón claro. Esta arcilla del fondo se acuña y desaparece a los pocos metros. La galería posee diversas espeleotemas de tonos rojizos y ocres, y también efflorescencias de calcita. En algunos puntos el goteo de las estalactitas de hierro forma manchas de color rojo en la masa líquida blanca como la leche. Es realmente un paisaje subterráneo extraño y sorprendente, ya que las paredes negras contrastan con el río blanco como yogur líquido y con las pequeñas espeleotemas rojizas, ocres y blancas.

Tras este tramo se alcanza una bifurcación en T. La rama izquierda, de 25 m, finaliza en derrumbe, casi bajo la sima de entrada; en este tramo el agua es transparente, el suelo está libre de arcilla, y se observan capas de calcita flotante, que en algunos lugares han precipitado y tapizan el fondo con hojuelas cristalinas. Hacia la derecha otro tramo de 22 m tiene 40 cm de agua color leche y lleva a otra bifurcación o crucero, con 3 continuaciones. Las paredes compactas pasan a ser muy disgregables. En todas direcciones las galerías siguen por más de 20 m, dos de ellas con ríos lácteos y la tercera con fragmentos de caliza carbonácea. Siguiendo por esta última se accede a una rampa de 19 m que lleva a un nivel superior (cota -30), donde hay otra red de galerías de mina secas y con numerosos derrumbes. La galería es muy inestable y permite acceder al pie de la sima de entrada (cota -32). Dejamos la topografía en los puntos alcanzados, ya que existe alto riesgo de derrumbe. Además, la literatura minera reporta la ocurrencia de graves accidentes por explosiones de gas grisú, sobretudo en las galerías laterales menos ventiladas. Topografiamos 250 m de galerías de mina. El desarrollo mixto total suma 720 m. Tanto en la cavidad natural como en la mina se midieron buzamientos SSW con pendientes de 15 a 30°. La temperatura ambiente y del agua en la cavidad es de 12°C y la humedad relativa del 100%.

Las espeleotemas que se observan en la mina, se presentan también, minoritariamente, en las paredes de la cueva, en diversos puntos. Los óxidos de hierro son observados en muchos sitios de la cueva, formando espeleotemas a partir de las calizas carbonáceas y produciendo colores rojizos y ocres en espeleotemas normales de calcita. El río de leche de luna de la cota -42 se mezcla en el sumidero de la cota -43 y reaparece en el salón de la cota -70 todavía con algo de turbidez, mezclándose aquí con volúmenes mayores de agua y perdiendo su coloración característica.

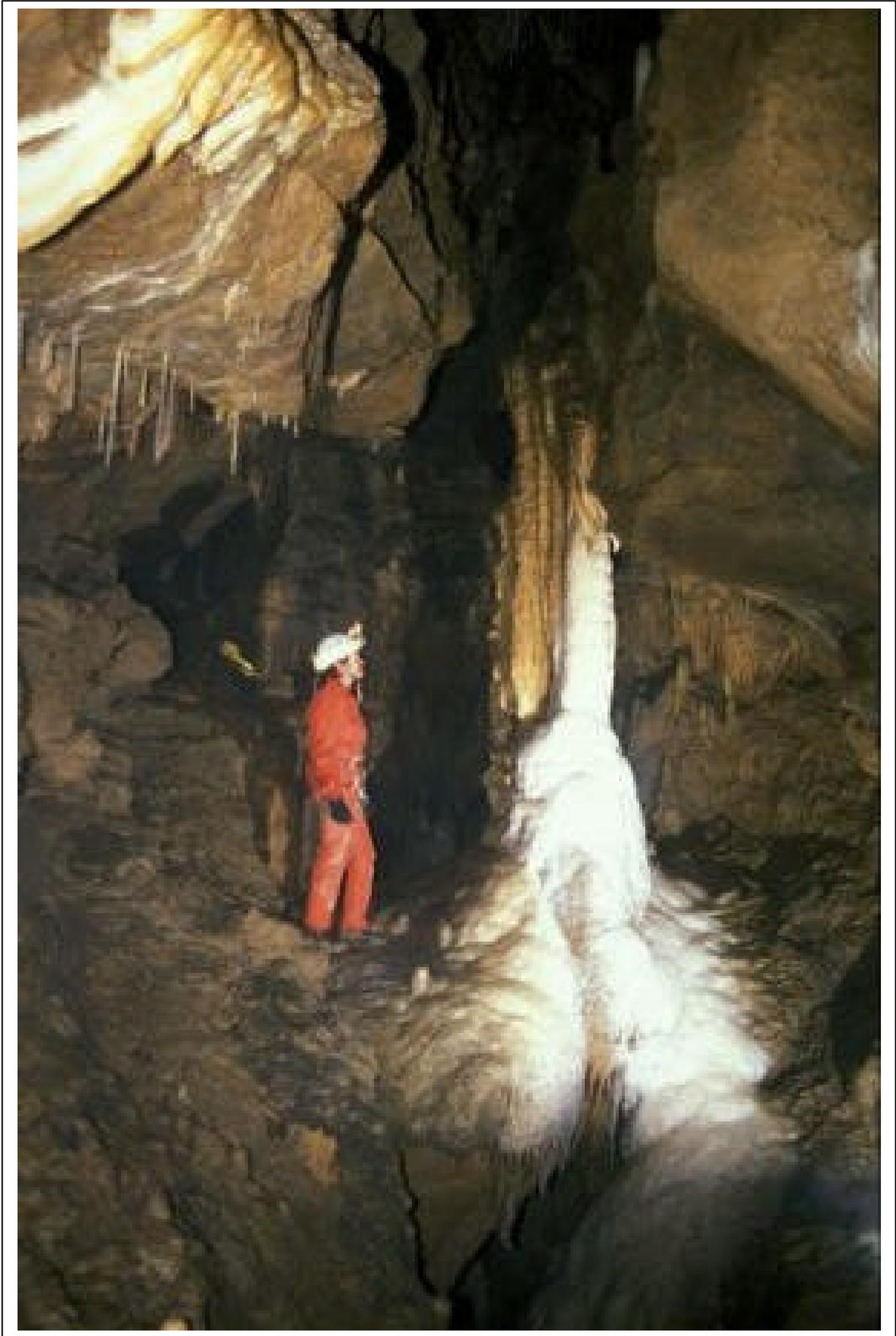
Fueron tomadas muestras geológicas en la galería de mina de la cota -50 y a la entrada de la misma (en la cueva), en la cota -66 del salón y en las galerías de mina de la cota -42. El muestreo fue acompañado en todos los casos de documentación fotográfica. Los resultados son expuestos en el siguiente apartado.

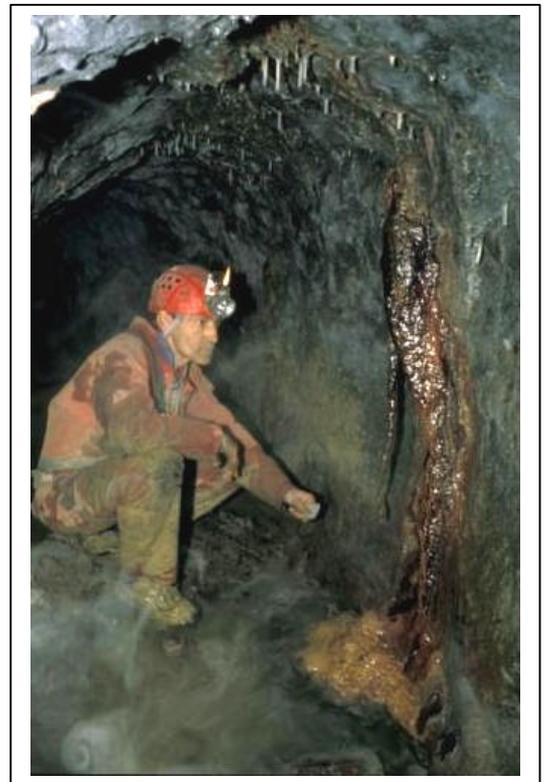
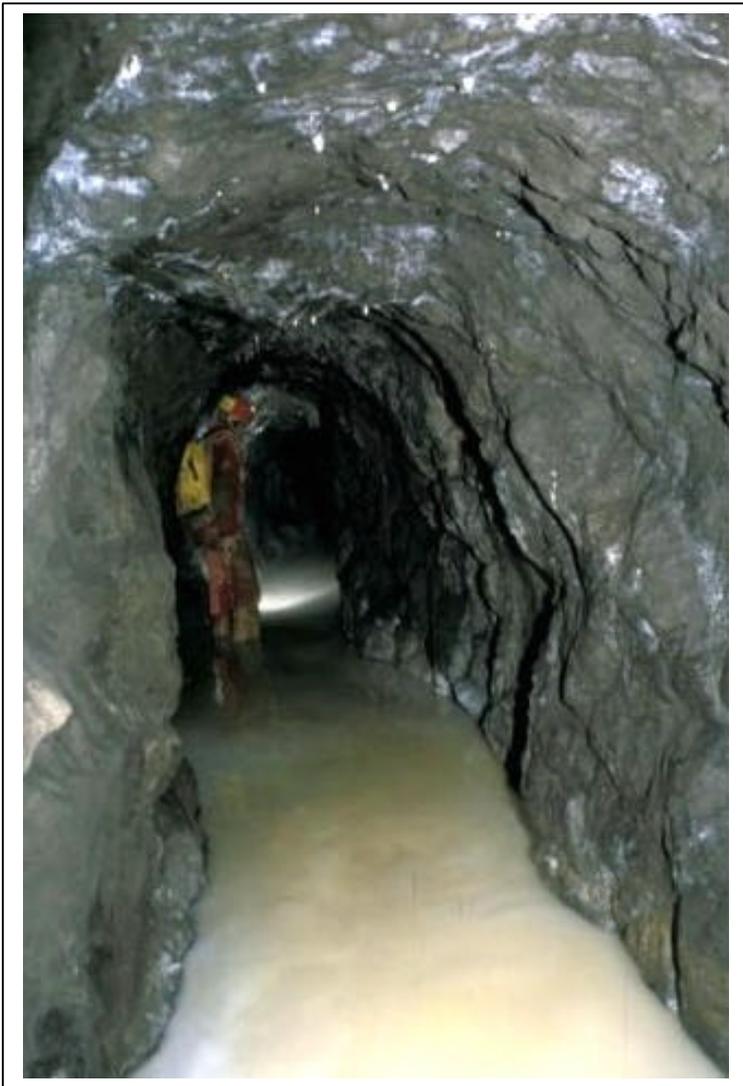
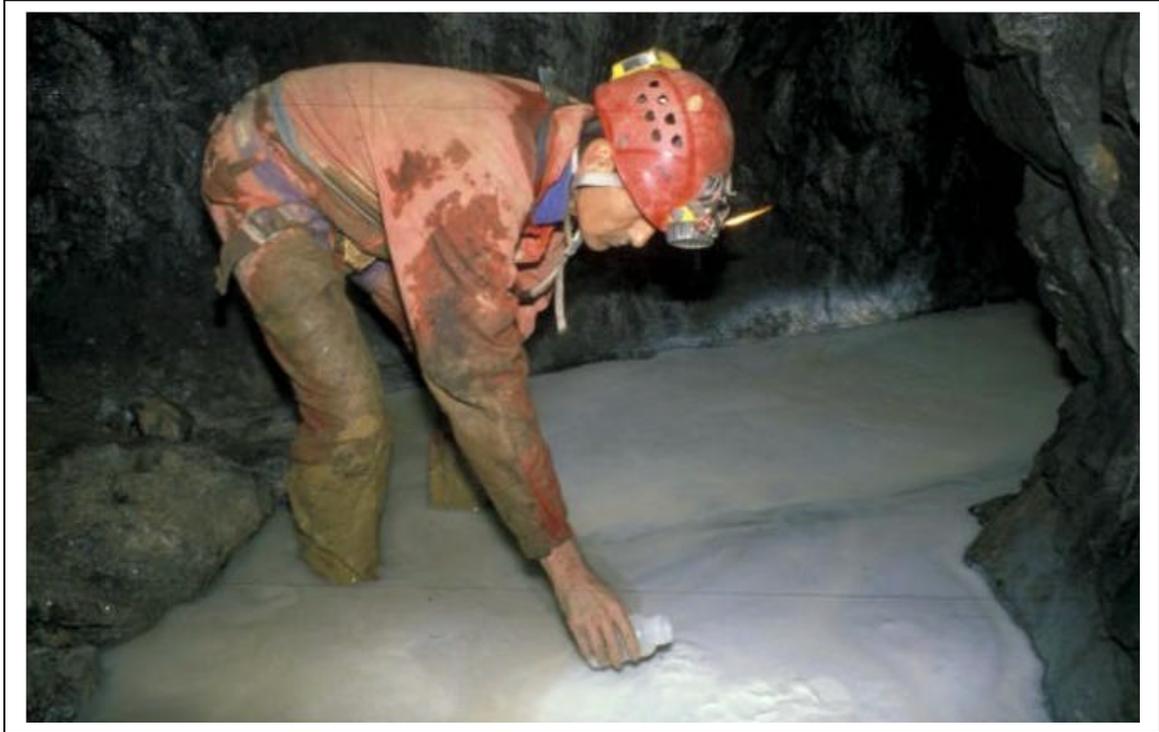
Según informes locales la mina dejó de explotarse hace más de 60 años. Esta y otras explotaciones más importantes en el monte Ertxin y en Aizarna fueron abandonadas porque decayó el precio del mineral en el mercado y su explotación dejó de ser rentable. Según el Registro Minero de Gipuzkoa, la primera concesión minera en la región data de 1844. Entre 1871 y 1924 las concesiones llegaron a 112, muchas de ellas caducadas rápidamente. La producción de las minas de lignito de Aizarna en 1913 fue de 22.286 toneladas (el 94% de las 23.786 que producía Gipuzkoa) y empleaba a unos 60 trabajadores (URDANGARIN et al., 2002). El promedio de mineral extraído oscilaba en torno a 3.000 toneladas por mina y año. El lignito se utilizaba como combustible en la fabricación de cemento natural en fábricas localizadas en las cercanías. El transporte en algunos casos (minas San Pelayo, San Fermín y "Sin Nombre") utilizaba un cable aéreo para bajar el mineral.

Los sistemas de extracción de las minas fueron bastante sencillos, utilizándose herramientas manuales. Según las descripciones de antiguos mineros, las minas consistían en una galería principal que se excavaba en la ladera del monte en dirección perpendicular a las capas de carbón a las que atravesaba y ligeramente ascendente, para facilitar la evacuación de las aguas. Esta galería se apuntalaba y tenía raíles para estrechas vagonetas de madera, que eran empujadas manualmente. En los puntos en los que la galería atravesaba las diferentes capas de lignito, partían de ella galerías laterales menores, que seguían el estrato. El mineral se resquebrajaba usando dinamita y se terminaba de arrancar con pico. Los trozos mayores eran desmenuzados con mazas y los fragmentos se cargaban en cestos que se vaciaban en las vagonetas.

La mina de Alzola parece haber sido más artesanal y, como ha sido descrito, las galerías fueron perforadas a partir de la cavidad natural, efectuándose el drenaje hacia el interior de la sima. En las galerías de la cota -32/-30 se conservan restos de raíles y en la cota -50 una carretilla de madera. En varios puntos se observan pequeñas obras para ampliar pasos estrechos y la vertical de 12 m de la entrada conserva en una de sus paredes restos de un muro de piedra. Probablemente aquí se subía el mineral mediante algún sistema de polea y cable. El mineral era transportado hasta las fábricas cercanas mediante carros tirados por bueyes. La galería principal más profunda parece haber sido la de la mina San Fermín, con 350 m de longitud y que por ello presentaba problemas de ventilación; llegó a producir 5.200 toneladas por año y era explotada para la fábrica de cemento Uriarte Zubimendi y Cia., situada en el fondo del valle (URDANGARIN et al., 2002).

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS Y MINERALES HALLADOS





Se describe la localización y características de las muestras y los resultados preliminares de los minerales identificados mediante difracción de rayos X (DRX).

Muestra 1. Loc.: galería de mina, cota -50, en el fondo de la misma. Descripción: Espeleotema formando estalactita de 10 cm. Superficialmente parece sólida, de color ocre oscuro, brillante, y de tonos metálicos. Internamente es una masa esponjosa, de textura arcillosa en capas concéntricas y color rojizo-amarillento. DRX: mayoritariamente cuarzo con algo de calcita.

Muestra 2. Loc.: galería de mina, cota -50, a 10 m del fondo. Descripción: Espeleotema formando estalactita y recubrimientos más sólidos. Superficialmente de color negro. Internamente de color rojizo. DRX: muy parecida a la anterior y a la muestra 7. Puede que haya algo de yeso o brushita (no es seguro).

Muestra 3. Loc.: galería de mina, cota -50, a 25 m del fondo. Descripción: Espeleotema similar a muestra 1, pero formando costras y coladas. Mucho más blanda y disgregable y con contenido más acuoso (gel). Se desmenuza en masa arcillosa rojiza. DRX: goethita bastante pura con material amorfo.

Muestra 4. Loc.: Intersección galería de mina cota -50, con cueva cota -51. Descripción: Mineral deleznable en pared de caliza carbonácea. En superficie de color negro. Internamente de color rojizo. Toda la veta o estrato es deleznable. DRX: cuarzo, illita y posiblemente chamosita. Hay una fase amorfa también.

Muestra 5. Loc.: Intersección galería de mina cota -50, con cueva cota -51. Descripción: Fragmentos de caliza carbonácea caídos al suelo por desprendimiento. Presentan color negro con pequeños cristales blanco-brillantes. DRX: contiene calcita, yeso, illita y cuarzo.

Muestra 6. Loc.: Intersección galería de mina cota -50, con cueva cota -51. Descripción: Espeleotema formando estalactita de unos 6 cm, creciendo a partir de veta de lignito o caliza carbonácea, de color negro en superficie y rojizo y menos sólido en su interior. Presenta un canal central como las estalactitas normales. DRX: es una mezcla de goethita y calcita.

Muestra 7. Loc.: En inicio galería N del salón de la cueva, en la cota -66. Descripción: Fragmentos deleznales de caliza carbonácea o lignito caídos al suelo. Presentan color negro con costras superficiales blanco-brillantes. DRX: calcita, yeso (o brushita), algo de cuarzo, illita (poca). Quizás hay también un silicato de hierro (chamosita ?).

Muestra 8. Loc.: Fondo galería N de mina cota -42, al lado del derrumbe final. Descripción: Laminillas cristalinas formando un hojaldre en el fondo del agua. En este sector la galería tiene 40 cm de agua transparente (no es un río blanco) y en la parte terminal se observa flotando delgadas películas de lo que creemos es calcita flotante; cuando la superficie es perturbada por goteo o flujo, estas películas precipitan formando el citado sedimento, de laminillas u hojuelas translúcidas. DRX: calcita prácticamente pura.

Muestra 9. Loc.: Galería de mina cota -42, zona central. Descripción: En río blanco, constituye una espeleotema marcadora depositada sobre la pared en el nivel de aguas altas. Forma una pequeña acera blanca, tipo mondmilch, más sólido que el coloide tipo yogur de las aguas del río. Es blanda y, al tomar la muestra, se disgrega en masa acuosa blanca. DRX: es una mezcla de calcita y algo amorfo (imposible de saber con DRX).

Muestra 10. Loc.: Galería de mina cota -42, zona central. Descripción: Es una muestra del contenido líquido que forma el río de leche luna. En superficie hay 2-3 cm de agua transparente seguida de una columna de unos 40 cm de una masa líquida o coloidal de la consistencia del yogur o modmilch líquido. El goteo de pequeñas estalactitas desde la bóveda forma hoyuelos en la superficie de la masa blanca. DRX: posiblemente yeso con una fase amorfa. Existe la posibilidad de que en vez de yeso pudiera ser brushita, un fosfato de calcio hidratado, ya que tiene el mismo espectro que el yeso.

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las muestras tomadas corresponden a espeleotemas o minerales secundarios (no se trata de la roca caja), los cuales se han formado en la cavidad por reacciones químicas a temperatura y presión ambiente. El factor más importante para explicar su diversidad reside en la disponibilidad de los distintos componentes químicos involucrados, algunos de los cuales pueden provenir de la disolución o meteorización química de los minerales mayoritarios de la roca caja (p.ej. carbonatos), otros de constituyentes minoritarios o trazas de la misma roca caja (p.ej. sulfatos, óxidos e hidróxidos de hierro, producto de la oxidación de piritita), algunos del suelo suprayacente o de depósitos arcillosos de la cueva (p.ej. silicatos, fosfatos) (CURTIS, 1977; VELDE, 1977). Cabe también la posibilidad de que las calizas organodetríticas y carbonáceas contengan incluidas vetas o trazas de otros minerales no usuales en las calizas Urganianas, los cuales pueden intervenir en la formación de asociaciones mineralógicas complejas. Los compuestos amorfos y criptocristalinos presentan la dificultad añadida de que sus minerales constituyentes no son detectables en los difractogramas o con analítica normal, y requieren técnicas complementarias más finas (URBANI, 1977; D'ONOFRIO et al., 2000). De modo preliminar en la cueva han sido encontrados siete minerales secundarios, en espeleotemas y en las aguas subterráneas. Comentaremos sus características.

1. Calcita. CaCO_3 . Es el mineral más común en cuevas y da origen a infinidad de espeleotemas, de variadas formas: estalactitas, estalagmitas, coladas, gours, cortinajes, helictitas, formas coraloides, perlas y mondmilch (GALAN, 1991). En la sima de Alzola se encuentran muchos de estos ejemplos, pero adicionalmente aparece asociada a goethita en espeleotemas normales con coloraciones ocreas y en otras "blandas" con matriz de óxidos de hierro. También se encuentra formando cristales aislados, costras y eflorescencias blancas sobre paredes y fragmentos deleznales de caliza carbonácea o lignito caídos al suelo. En el río aparece formando hojuelas de calcita flotante y también -junto a compuestos amorfos- en el mondmilch de la espeleotema

marcadora que forma una acera en el nivel de aguas altas.

2. Goethita. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Este mineral se encuentra entre las principales espeleotemas de hierro presentes en cuevas. Procede habitualmente del hierro de la pirita contenida en la roca caja. Puede formar estalactitas de colores negros y marrones y geles rojizos (URBANI, 1996). En la cueva se presenta tanto en espeleotemas raras, asociada a calcita, y en forma más pura con textura de gel (asociada a compuestos amorfos) formando pequeñas coladas y recubrimientos blandos; también debe ser el mineral responsable de las coloraciones rojizas, ocre y negras de espeleotemas normales de calcita.

3. Cuarzo. SiO_2 . Normalmente, en las cuevas en caliza, es de origen detrítico y su presencia se interpreta como partículas acarreadas por el agua como residuo de la meteorización de la roca caja (URBANI, 1977, 1996). Por difracción de rayos X se lo identifica con facilidad, debido a la alta sensibilidad de esta técnica para la detección del cuarzo; pero su contenido cuantitativo en las espeleotemas puede ser muy bajo. En la cueva aparece en las muestras 1, 4, 5 y 7, asociado a otros minerales. En la muestra 1 parece ser abundante y está asociado a calcita formando una estalactita ocre oscuro en superficie y textura interna arcillosa en capas de color rojizo-amarillento. El difractograma no muestra la presencia de goethita, que, suponemos -por similitud con otras estalactitas parecidas- debe estar presente: en tal caso el alto contenido de cuarzo probablemente se encuentre en parte de la muestra, la cual sería la fracción identificada por DRX.

4. Yeso. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Sulfato de calcio. Es muy frecuente formando flores de yeso, costras y eflorescencias en cuevas en caliza. Generalmente se presenta con formas delicadas y en galerías muy secas, y habitualmente procede la alteración de la pirita (sulfuro de hierro) y combinación con el Ca de la caliza (HILL & FORTI, 1997). Su ocurrencia en la cueva se produce bajo formas inusuales y en ambiente muy húmedo. Aparece en costras y eflorescencias en las muestras 5 y 7, asociado a calcita y otros minerales; probablemente como componente minoritario en la muestra 2; y, lo más destacable, es que puede formar parte esencial del río de mondmlch líquido. Curiosamente en la cueva no se observan espeleotemas "normales" de yeso. Por lo tanto, su ocurrencia -comparativamente- es atípica.

5. Brushita. $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Es un fosfato de Ca hidratado, que cristaliza en el sistema monoclinico. Probablemente proviene del suelo superior. Generalmente en los suelos el P con frecuencia no se encuentra disponible, especialmente cuando existe una alta concentración de CaCO_3 y pH alcalino (GREENLAND & HAYES, 1978). En tales condiciones precipita en forma de brushita y/o variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ha sido reportado en espeleotemas de cuevas en forma de depósitos polvorientos, asociado a veces con yeso; pero generalmente la brushita en cuevas se produce por descomposición de guano de quirópteros (FORTI et al., 1998), lo cual no es el caso en la cueva de Alzola. Es probable su presencia minoritaria en la muestra 2 y tal vez sea un constituyente importante del río de mondmlch líquido.

6. Illita. $\text{KAl}_2 (\text{Si}_3\text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Es un mineral de la arcilla de estructura semejante a la mica (silicato de Al y K, cristaliza en el sistema monoclinico). Resulta común en suelos fertilizados y sedimentos recientes (CURTIS, 1977). En cuevas es frecuente su presencia en vermiculaciones arcillosas (a veces asociado a yeso), en sedimentos arcillosos y formando costras blancas (URBANI, 1996). Su presencia en la cueva de Alzola es explicable por meteorización y desintegración de la roca caja o bien puede proceder del suelo superior. Aparece en las muestras 4, 5 y 7. En la 4 es parte de una espeleotema formada por alteración de una veta en la caliza carbonácea, asociada a cuarzo y posiblemente chamosita. En las muestras 5 y 7 aparece minoritariamente en fragmentos alterados y desprendidos de la roca caja, junto a calcita, yeso y cuarzo.

7. Chamosita. $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5 \text{Al} (\text{Si}_3\text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH}, \text{O})_6$. Es un silicato de hierro, del grupo de las cloritas. Habitualmente se genera en terrenos sedimentarios ferruginosos y depósitos lateríticos arcillosos (VELDE, 1977). Por tanto, puede tener un origen detrítico, como el cuarzo de la cueva, o puede ser producto de la alteración de otros minerales contenidos en la roca caja, como en el caso de la illita. Es probable su presencia en las muestras 4 y 7, pero la identificación no es segura.

Podemos interpretar, de modo preliminar, que la mayoría de los óxidos e hidróxidos de hierro responsables de coloraciones ocre, rojizas y negras (en espeleotemas normales de calcita y en espeleotemas "blandas" con contenido arcilloso), corresponden a la presencia de goethita. En dos muestras aparece asociada a cuarzo y calcita. En la muestra 3, que es casi un gel, ocurre junto a un material amorfo sin identificar. La muestra 6 es una mezcla de goethita y calcita.

En los fragmentos deleznales con costras blancas cristalinas aparecen asociados calcita, yeso, illita y cuarzo, y en dos de las muestras (4 y 7) posiblemente también chamosita.

La muestra 8, de calcita prácticamente pura, corresponde a la precipitación de calcita flotante. Lo cual sugiere un alto contenido de carbonato cálcico en el agua, en las galerías de la cota -42.

La muestra 9, espeleotema marcadora tipo mondmlch, está compuesta de calcita y un material amorfo sin identificar; se desconoce las proporciones cuantitativas de ambos. Esto también sugiere un contenido alto de carbonato cálcico en el agua.

Sin embargo, en la muestra 10 (correspondiente al río de leche de luna) no se ha identificado la calcita y predomina una fase amorfa junto a brushita o yeso. El yeso aparece en otras muestras, asociado a otros minerales y al parecer en forma minoritaria, pero no formando espeleotemas de yeso "normales". Por otro lado, en las aguas de cuevas ricas en sulfatos, generalmente éstos precipitan con facilidad generando espeleotemas de epsomita, yeso o bassanita (GALAN, 1991), lo cual no ocurre en la cueva de Alzola. Por todo ello, nos parece más probable que sea la brushita u otros minerales de la arcilla procedentes del suelo superior (tal vez caolinita, un silicato de Al, muy abundante en la terra rossa), los responsables de la suspensión coloidal blanca que suponemos semejante a un mondmlch líquido.

En todo caso, resulta claro que las partículas que forman el río de leche de luna son extremadamente pequeñas y amorfas. Por ello la técnica DRX resulta insuficiente para la identificación, ya que no hay una facies cristalina detectable.

Físicamente la muestra es muy homogénea. Una submuestra de 100 cc mantenida en un frasco durante 2 meses, no

experimentó cambios a lo largo del tiempo. Mantiene, como en la mina, una columna de 10 cm de la sustancia blanca sobrenadada por una película de 4 mm de agua transparente. Si se agita, se produce una mezcla, pero a los pocos minutos vuelve a separarse el film superficial de agua. Sin embargo, en ningún momento forma precipitados en el fondo o las paredes ni se aprecian otros cambios en su estado físico. Si realmente se trata de un mondmilch, éste es desde luego muy atípico y se aparta de las descripciones reportadas a nivel mundial (URBANI, 1996; HILL & FORTI, 1997).

Esperamos que con el empleo de otras técnicas pueda aclararse en un futuro cercano la enigmática composición de este "mondmilch líquido". De momento presentamos los datos obtenidos y agradecemos a cualquier investigador interesado en el tema las sugerencias que pueda hacernos llegar. El material está disponible para llevar a cabo estudios que pudieran producir mayor información sobre la composición y origen de tal mineral.

CONCLUSIONES

Aunque los datos de este trabajo son de índole preliminar, se ha podido determinar la presencia de 7 minerales en espeleotemas y depósitos secundarios en la cueva de Alzola. Exceptuando la calcita y el yeso, el resto de los minerales son reportados por primera vez para cuevas del País Vasco.

Existen además asociaciones mineralógicas que previamente no han sido descritas. La calcita y el yeso se presentan en la cueva en forma atípica a otras ocurrencias reportadas para estos minerales en otras cuevas del país.

El río de leche de luna líquida se aparta notablemente de todas las descripciones de mondmilch conocidas a nivel mundial (HILL & FORTI, 1997).

También es de señalar que las características de esta cueva-mina y las litologías involucradas son muy infrecuentes. Tanto en Gipuzkoa como en Bizkaia (de donde se conocen más de 4 mil cavidades) existen algunos casos de galerías de mina que interceptan cuevas, bien sea cavidades naturales abiertas o bien cavidades que no tenían comunicación con la superficie. En estos casos generalmente se trata de galerías de mina para la explotación de hierro (p.ej. en la región de Galdames, Bizkaia, o en Andazárrate, Gipuzkoa). Pero no involucran calizas carbonáceas ni lignito. En el País Vasco, en consecuencia, este es el primer reporte de cavidades de este tipo.

Se concluye que reviste gran interés proseguir los estudios acerca de los minerales secundarios presentes en la cavidad.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a todos los integrantes del Departamento de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, quienes participaron en las exploraciones y trabajos en la cavidad. De modo especial queremos agradecer la colaboración de Jon Laskibar, Natxo del Cura, Rafael Zubiría, Marian Nieto y Eric Leroy en los trabajos de campo y de Sandrine Coissard, Beñat Ibaeta e Imanol Goikoetxea en los trabajos generales. Agradecemos a Juan Cruz Vicuña y Juan García Portero, del Ente Vasco de Energía (EVE), por su inestimable orientación y colaboración para analizar las muestras. A Esteve Cardellach, de la Unidad de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Autónoma de Barcelona, por el interés con que se tomó el trabajo analítico con DRX y sus útiles comentarios. Por último, agradezco a Francisco Etxeberria por su ayuda en el escaneado y tratamiento digital de las imágenes.

BIBLIOGRAFIA

- CURTIS, C. 1977. Sedimentary geochemistry: environments and processes dominated by involvement of an aqueous phase. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 286: 353-372.
- D'ONOFRIO, L. et al. 2000. Nanopartículas de ferrohídrita natural en las estalactitas negras de la mina Santa Isabel, Guárico: estudios por espectroscopía Mössbauer, susceptibilidad magnética y microscopía electrónica. *Resúmenes selectos de las V Jornadas Venezol. Espeleol.*, 1999. *Bol. SVE*, 34: 56-57.
- FORTI, P.; F. URBANI & A. ROSSI. 1998. Minerales secundarios de las cuevas Indio y Alfredo Jahn, estado Miranda, Venezuela. *Bol. SVE*, 32: 1-4.
- GALAN, C. 1988. Zonas kársticas de Guipúzcoa: Los grandes sistemas subterráneos. *Munibe (Cienc. Nat.)*, 40: 73-89.
- GALAN, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe (Cienc. Nat.)*, S.C. Aranzadi, 43: 43-72.
- GEZE, B. 1968. *La Espeleología Científica*. Ed. Martínez Roca, España, 192 pp.
- GREENLAND, D. & M. HAYES. 1978. *The chemistry of soil constituents*. Wiley & Sons, Chichester, 306 pp.
- HILL, C. & P. FORTI. 1997. *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, 2da. Ed., USA, 463 pp.
- URBANI, F. 1977. Notas sobre algunas muestras de leche de luna, de cuevas de Venezuela. *Bol. SVE*, 8(16): 109-116.
- URBANI, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. *Bol. SVE*, 30: 1-13.
- VELDE, B. 1977. *Clays and clay minerals in natural and synthetic systems*. Elsevier, Amsterdam, 217 pp.
- URDANGARIN, C.; J. M. IZAGA & K. LIZARRALDE. 2002. Mineros de Aizarna. In: *Oficios Tradicionales. Dip. For. Gipuzkoa*, Donostia, Vol. VI, 213 pp.

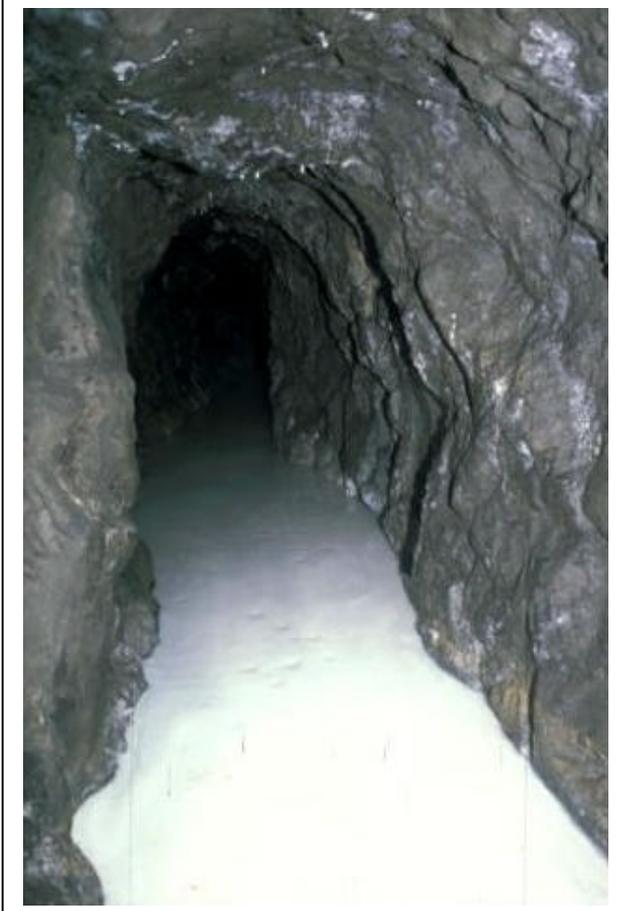
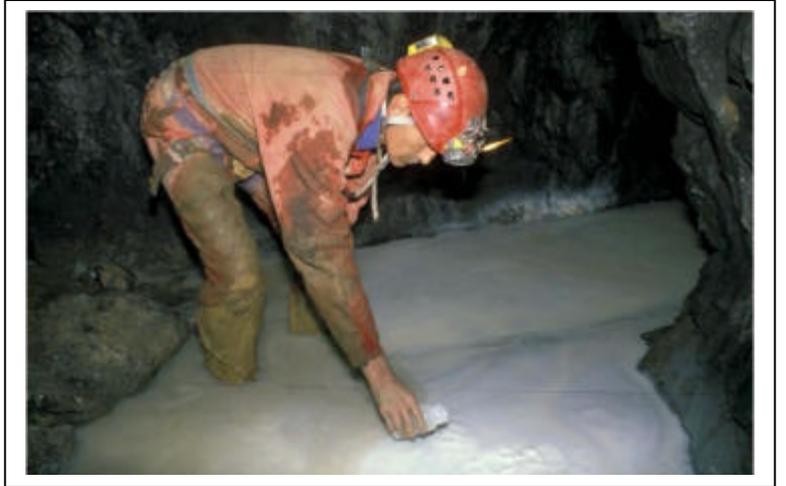
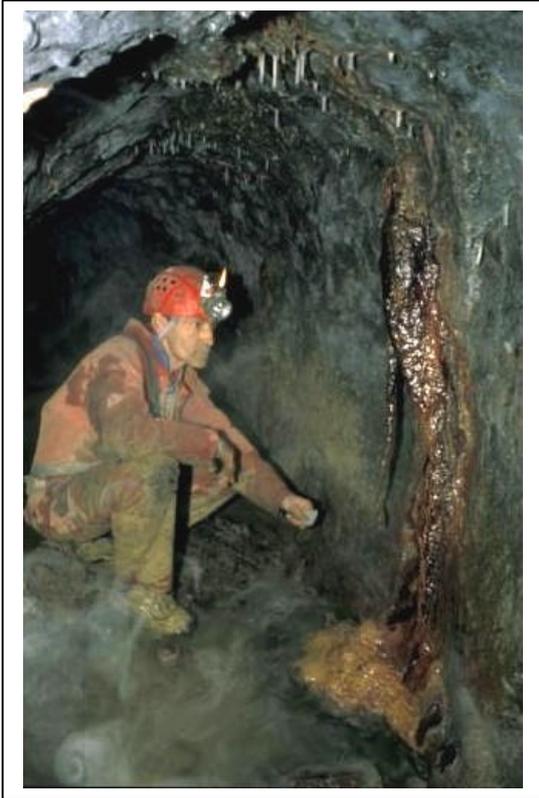
LEYENDA FIGURAS.

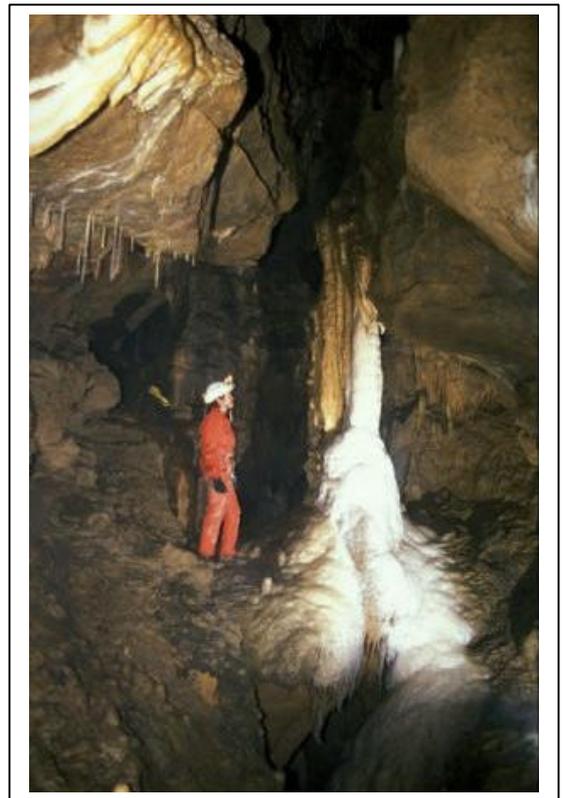
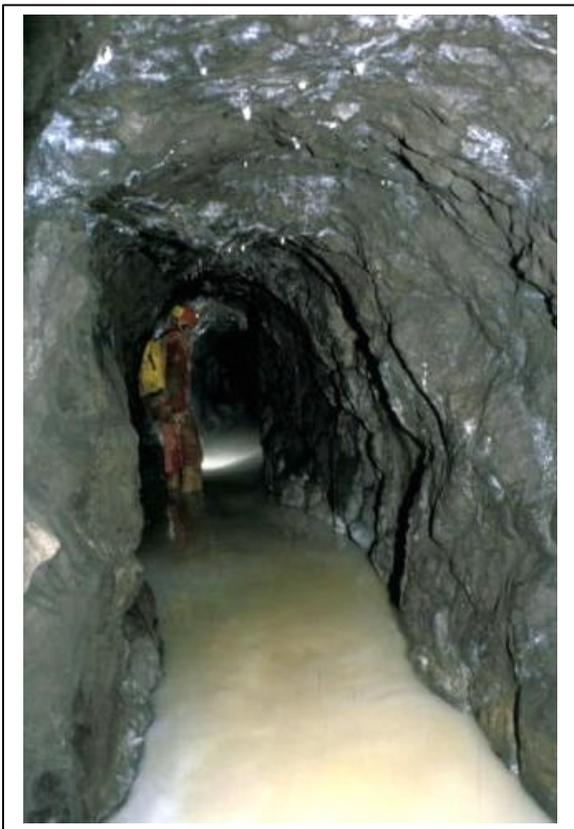
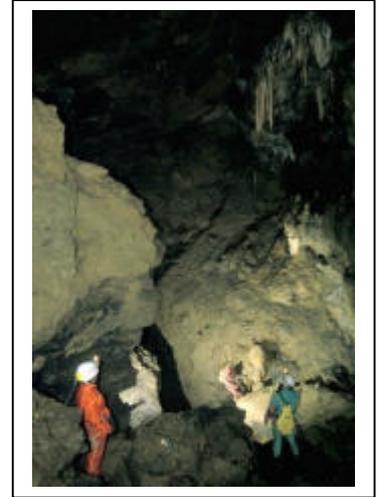
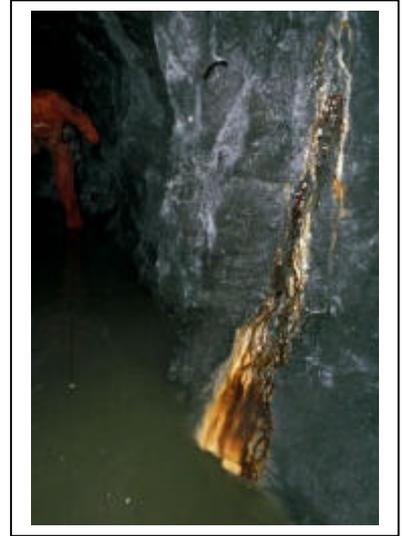
Lámina 1.

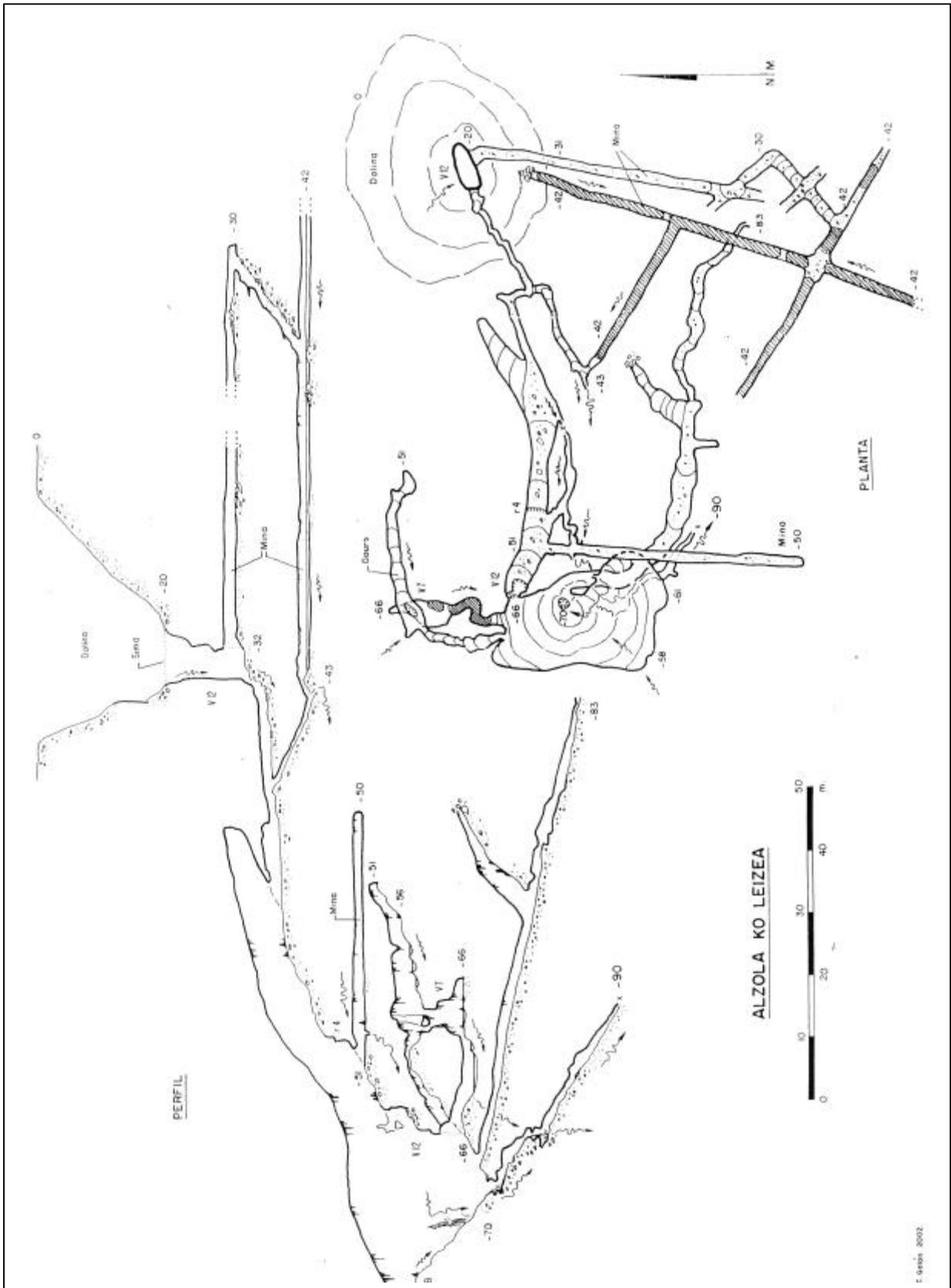
Alzolako leizea. Fila 1. Izquierda: Espeleotema de goethita, calcita y cuarzo de 1.40 m de altura. En la base forma una colada estalagmítica con microgours. Derecha: Tomando una muestra del río de leche de luna (mondmilch) líquido. Se aprecia la heterogeneidad superficial debida a su flujo. Fila 2. Izquierda: Galería de mina de la cota -42 con río de mondmilch líquido. Puede notarse la presencia de hoyuelos en la superficie de la masa coloidal, producto del goteo de pequeñas estalactitas isotubulares de calcita y otros minerales. Derecha: Galería de mina cota -50. La roca caja es caliza carbonácea y presenta eflorescencias y diversas espeleotemas de goethita, calcita, yeso, brushita, cuarzo, mica-illita y chamosita. Fila 3. Derecha: Un lado del salón de la cota -70. En la bóveda hay estalactitas normales de calcita. Sobre la pared derecha y el suelo hay zonas con coladas y pavimentos estalagmíticos de colores ocre, debidos a la presencia de goethita.

Lámina 2.

Alzolako leizea. Fila 1. Izquierda: Un tramo del río subterráneo en la cota -42 con agua normal y láminas de calcita flotante. Sobre la pared derecha un flujo de espeleotemas blandas de variada coloración. Derecha: Detalle de la espeleotema anterior. Fila 2. Izquierda: banderas y flujos de variada coloración, en otro tramo del río. Derecha: Inicio de la sima de 12 m de acceso al salón de la cota -70, con espeleotemas normales de calcita. Fila 3. Izquierda: Inicio de la galería de mina de la cota -42, con río de mondmilch enturbiado por la existencia de una cuña de sedimentos arcillosos en el fondo, removidos por el paso de los espeleólogos. Esta cuña arcillosa desaparece a los pocos metros. Derecha: Galería superior tras la escalada de 7 m en la cota -66. Gruesa columna de calcita de colores blancos y ocre y diversas espeleotemas en bóvedas y paredes. Los colores rojizos y ocre son debidos a la presencia de goethita.







Anexo I. Difractogramas.

