

Prospecciones en la región de la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa), con notas sobre la génesis del río de mondmilch de gibsita y otros espeleotemas sólidos y coloidales.

Prospections in Alzola abyss-mine region (Gipuzkoa), with notes about the origin of the gibbsite moonmilk river
and other solid and colloid speleothems.



Carlos GALAN.

Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián, Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es

Febrero de 2006.

Prospecciones en la región de la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa), con notas sobre la génesis del río de mondmilch de gibsita y otros espeleotemas sólidos y coloidales.

Prospections in Alzola abyss-mine region (Gipuzkoa), with notes about the origin of the gibbsite moonmilk river and other solid and colloid speleothems.

Carlos GALAN.

Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián, Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Febrero de 2006.

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos de prospecciones en cuevas y minas de la región de Alzola. Las muestras tomadas fueron analizadas por difracción de rayos X. Se encontraron vetas de calcita y capas de materiales ferruginosos en la roca caja caliza, y espeleotemas y coloides de yeso, goethita y calcita en las cavidades. Se propone una hipótesis explicativa sobre el origen del río subterráneo de mondmilch de gibsita de la sima de Alzola, un caso único a nivel mundial por el estado físico líquido del mondmilch y su composición.

Palabras clave: Espeleología, Karst, Hidrogeología, Minerales de cuevas, Espeleotemas.

ABSTRACT

We present the results obtained from prospectings in caves and mines of the Alzola region. The collected samples have been analyzed by x-rays diffraction technique. Calcite veins and layers of ferruginous materials have been found in the limestone parental rocks. Speleothems and colloids of gypsum, goethite and calcite have been found in the cavities. We propose an explanatory hypothesis about the origin of the underground river of gibbsite moonmilk from Alzola abyss, unique in the world due to its liquid physic state and its composition.

Key words: Speleology, Karst, Hydrogeology, Cave-minerals, Speleothems.

INTRODUCCION.

Entre 2002 y 2004 se exploró y estudió la sima-mina de Alzola, de gran interés por poseer un río subterráneo de "leche de luna" (= mondmilch) en estado líquido. La cueva posee además una gran variedad de espeleotemas, inusuales para cuevas en calizas, de variadas formas y coloraciones. Los trabajos efectuados dieron lugar a varias publicaciones en las que se describió la cavidad y sus espeleotemas y se presentaron los resultados de los análisis de muestras obtenidos mediante técnicas de difracción de rayos X (DRX) y microscopio electrónico de barrido (MEB) complementado con un microanalizador por dispersión de energía EDX (GALAN, 2003a; GALAN & LEROY, 2003, 2005a, 2005b).

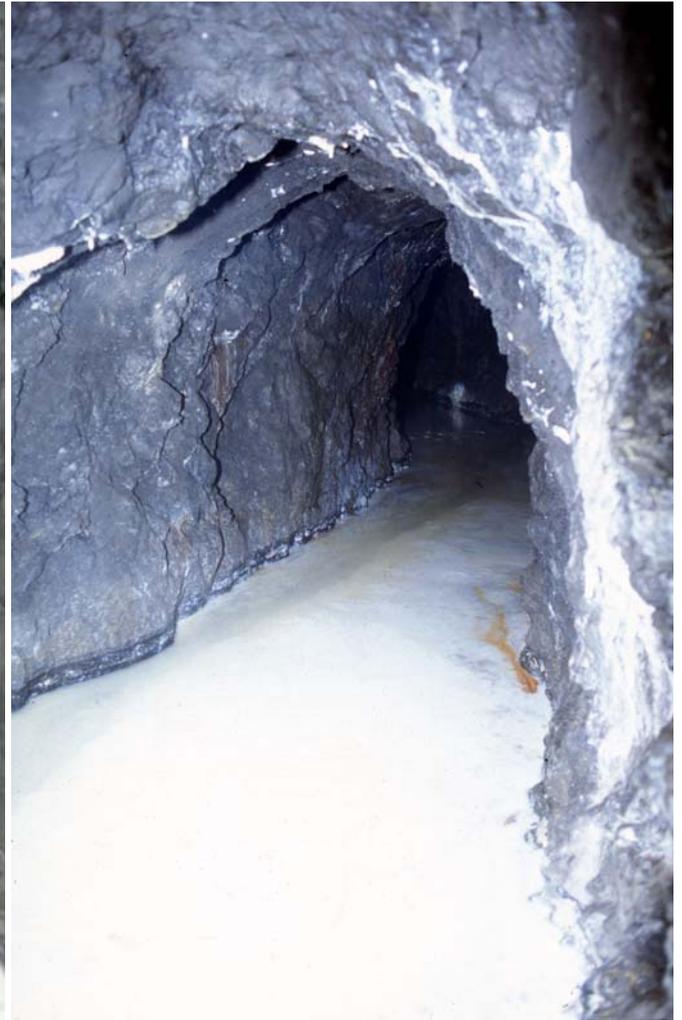
Entre los espeleotemas (sólidos, blandos en capas concéntricas de distinta dureza, sustancias plásticas y geles) se encontraron combinaciones minerales novedosas, habiéndose identificado hasta siete minerales secundarios: calcita, goethita, cuarzo, yeso, brushita, illita y chamosita. En un afluente del río de mondmilch se identificó la presencia de agua con películas de calcita flotante, la cual también precipita formando en el fondo un sedimento de hojuelas de calcita.

Pero obviamente el hallazgo más espectacular fue el del río de mondmilch en estado líquido (los mondmilchs previamente conocidos están en estado sólido), de un contraste color blanco brillante (con tonalidades nacaradas), y estéticamente muy llamativo. El río de "leche de luna" se extiende sobre más de 300 m de galerías. Los análisis con MEB revelaron que dicho mondmilch está formado por una dispersión de gibsita criptocristalina en agua. La gibsita (= b-kliachita o clausenita) es un hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ que cristaliza en el sistema monoclinico (2/m). Las imágenes de MEB mostraron un aspecto floculento, con partículas de un tamaño inferior a 100 nm (1 nm = 1 mil millonésima de m). El tamaño extraordinariamente pequeño de las partículas de gibsita (nanopartículas) explica su estado físico, aunque no así su origen.

Debido a que los espeleotemas han sido formados en la cavidad por reacciones naturales (a temperatura y presión ambiente), el factor más importante para explicar su diversidad reside en la disponibilidad de los distintos componentes químicos involucrados. Estos pueden proceder de la disolución o meteorización química de los minerales mayoritarios de la roca caja, de constituyentes minoritarios o trazas de otros elementos en la misma roca caja, o de minerales disponibles en el suelo superior o en depósitos arcillosos de la cueva. Las rocas del afloramiento en que está la cueva son calizas Urganianas recifales y organodetríticas, con algunos niveles interestratificados de lignito, de edad Aptiense (Cretácico temprano). En esta



El río subterráneo de mondmilch de gipsita de la sima-mina de Alzola.



Diversos aspectos del río subterráneo de mondmilch de gibsita.
Nótese el brillo nacarado sobre la pared del fondo.

litología no resulta claro de donde puede proceder el aluminio necesario para formar el mundmilch de gipsita. Y al respecto se postuló la hipótesis de la existencia de vetas de minerales no descubiertas (atravesadas en el subsuelo por las aguas de infiltración al karst), de algún proceso que permita concentrarlo (como p.ej la intervención de bacterias) o de alguna combinación de estos factores u otros hasta ahora no conocidos.

El objetivo de las nuevas prospecciones era determinar en primer lugar si existían otras ocurrencias de mundmilch de gipsita y/o de otros tipos de espeleotemas en otras localidades hipógeas de la región (sean minas o cuevas) con similares características hidrogeológicas a las de la sima de Alzola. En segundo lugar ver si existían vetas o inclusiones de otros minerales en la roca caja que estuvieran involucrados en la formación del río de mundmilch. Y en tercer lugar estudiar la fauna cavernícola y las bacterias extremófilas que pudieran existir en el río de leche de luna de gipsita. Este tercer aspecto es tratado por separado en un trabajo aparte (GALAN, 2006).

MATERIAL Y METODOS.

Durante 2005 fue realizada una campaña de prospecciones geoespeleológicas en la región de Alzola, monte Ertxin, y depresiones cerradas de Aizarna - Akua. Un total de 28 cavidades naturales y artificiales fueron prospectadas. También se efectuaron nuevos reconocimientos en la sima-mina de Alzola, aumentando el desarrollo de la red de galerías 250 m adicionales (la sima-mina posee hoy 1 km de galerías y -90 m de desnivel).

Las prospecciones fueron efectuadas en distintas épocas del año, bajo diversas condiciones meteorológicas, lo que permitió observar las variaciones que experimenta el río de mundmilch entre situaciones de aguas altas y aguas bajas.

En las cavidades en que se encontraron indicios de interés (sima de Alzola y dos minas en el monte Ertxin) se tomaron muestras (de espeleotemas y de vetas de minerales en la roca-caja), las cuales fueron analizadas por DRX. Observaciones geológicas suplementarias y fotografías fueron tomadas durante las prospecciones.

RESULTADOS.

Fue prospectada la unidad calcárea donde se encuentra la sima de Alzola, entre el valle del Urola y el de Granada erreka, la cual comprende las cuencas cerradas de Aizarna - Akua, los montes Ertxin, Gurutzea, Egaña, Sta. Engracia y relieves adyacentes. El area total del afloramiento calcáreo es de 8 km². Las aguas subterráneas de este karst surgen en el manantial de Hamabiturri (en Zestoa), a orillas del Urola, con un caudal medio anual de 224 l/s, lo cual corresponde a la totalidad de las precipitaciones infiltradas en su superficie.

Las cavidades prospectadas comprenden 24 fenómenos kársticos naturales (dolinas-sumideros, pequeñas cuevas y simas) y 4 minas artificiales. En la región existen muchas otras minas, pero en muchos casos están colapsadas o encierran alto riesgo de colapso; nos limitamos a visitar 4 de ellas, en las que nos habían indicado que se podía encontrar charcos de aguas blancas o bien que manaba estacionalmente agua blanca a través de derrumbes. Las galerías subterráneas visitadas suman 1.528 m de desarrollo, de los cuales 1.000 m corresponden a la sima de Alzola, por lo que en general se trata de cavidades de pequeñas dimensiones. De ellas, las mayores son: la sima de Aizpuru (de -54 m de desnivel y 68 m de desarrollo), la sima de Errekalde (de -33 m de desnivel y 65 m de desarrollo), la cueva de Urrepitxarra (de -20 m de desnivel y 100 m de desarrollo), y la citada sima-mina de Alzola (de -90 m de desnivel y 1 km de desarrollo, de los cuales 480 m corresponden a galerías naturales y 520 m a galerías de mina). Espeleotemas de interés fueron encontrados en las minas de Gurutzea y Ertxin, y a varios niveles en la sima-mina de Alzola.

Gurutzea es una mina inundada, semi-colmatada y cegada por un derrumbe, por tanto no penetrable. Desde su boca se aprecia un tramo de unos 8 m de longitud, con escasos 40 cm de aire, inundado por aguas represadas por el derrumbe. Estacionalmente, tras fuertes lluvias, mana un pequeño caudal de aguas blancas, el cual excepcionalmente (según informes locales) llega a recorrer 100 m, hasta alcanzar la carretera Aizarnazabal - Aizarna, donde se sume en el alcantarillado de la cuneta. Esta agua represada tiene su fondo recubierto de coloides de color blanco opaco. El análisis DRX de muestras de la sustancia coloidal mostró que estaba compuesta de yeso.

Una sección de la galería inundada a 2 m de la boca tiene: 50 cm de aire, 30-40 cm de agua transparente, 2-5 cm de coloides blancos de yeso, y 80 cm de arcillas muy finas en el fondo. Es decir, la zona inundada del perfil, en su mayor parte, es un depósito de arcillas muy finas de color marrón, las cuales están cubiertas por el depósito coloidal blanco-opaco, al cual sobrenada una columna de agua transparente. El coloide blanco es más denso que el agua y de aspecto algodonoso, y queda depositado sobre la arcilla del fondo. Geológicamente podría decirse que se trata de un espeleotema subacuático de yeso, depositado en condiciones lagunares. Sólo cuando el agua fluye, en condiciones de aguas altas y mayor turbidez, surge de la mina un pequeño caudal blanco, el cual es una mezcla inhomogénea del coloide con agua.

A 30 m por encima de esta mina hay otra galería de mina (Gurutzea 2), de 10 m de largo, habitualmente seca. Esta tiene una sección con 1,5 m de aire y suelo de arcilla muy blanda de 30 cm de espesor. Ambas minas (Gurutzea 1 y 2) poseen pequeños espeleotemas sólidos, de calcita y goethita.

Ertxin minazuloa es una cata-mina con una ampliación o sala de 10 m de anchura obstruida por derrumbe. Posee varios charcos de agua, con coloides blancos opacos (de yeso) y rojizos (de goethita), y pequeñas estalactitas de calcita y goethita. Como en el caso anterior, las muestras de sustancias blancas analizadas por DRX solo mostraron la presencia de yeso.



Mina de Gurutzea 1. En la imagen superior, detalle de la boca. En la inferior, galería interna, con columna de 30-40 cm de agua transparente y espeleotemas subacuáticos de yeso coloidal, que recubren el relleno de arcilla del fondo, el cual colmata la mitad de la altura de la galería.



Sima-mina de Alzola. Tramo de aguas transparentes (aproximadamente 20-30 cm de altura) con el fondo recubierto de espeleotemas de aspecto algodonoso de yeso coloidal (de 2-5 cm de espesor), los cuales pueden considerarse espeleotemas subacuáticos.

En la sima de Alzola se exploraron 250 m adicionales de galerías de mina en las cotas -42, -32, y -20 m. En los niveles superiores se encontraron dos charcos de agua con coloides blancos opacos sobre relleno arcilloso (DRX: yeso, igual que en los casos anteriores) y un pequeño tramo (de 6 m de largo) con suelo recubierto por 5 cm de una especie de mondmilch plástico y pastoso (sólido) de color blanco brillante (similar a la espeleotema marcadora de la muestra 9 descrita en GALAN, 2003a). El difractograma de dicha muestra permitió identificar una mezcla de calcita y amorfos.

En la cota -42 se prosiguió la exploración río arriba de tres galerías con mondmilch líquido de gibsita y se encontraron otras galerías o tramos secos, con charcas aisladas, algunas de ellas con coloides blanco-opaco de yeso y otras con coloides rojizos de oxi-hidróxidos de hierro o goethita (según reveló el análisis DRX de las muestras).

Todo ello sugiere que en el ambiente de las minas la alteración de los materiales genera diversos depósitos secundarios, siendo los más abundantes de arcilla muy fina. En algunas charcas con agua transparente cargada de bicarbonato cálcico se forman películas de calcita flotante, las cuales pueden precipitar y recubrir el fondo con láminas de calcita. En otros casos la calcita da origen a pequeñas áreas y aceras de mondmilch plástico de calcita y amorfos, de color blanco brillante. Además, se encuentran charcas de agua cuyo fondo puede estar recubierto de coloides de yeso blanco-opacos y de coloides de oxi-hidróxidos de hierro, rojizos y anaranjado-rojizos. Todas estas ocurrencias, algunas de las cuales pueden ser considerados espeleotemas sub-acuáticos, son distintos al río de mondmilch de gibsita. Este, además de fluir y ocupar un área y volumen mucho más considerable, se caracteriza porque prácticamente toda la columna es una sustancia líquida, blanca brillante y de tonalidades nacaradas, la cual ahora sabemos está compuesta de hidróxido de aluminio (dispersión de gibsita en agua). No obstante, el río de mondmilch presenta en algunos puntos espeleotemas marcadoras de mondmilch plástico de calcita y amorfos. En la red de galerías secas, que drenan vertical y lateralmente hacia el río de mondmilch, hay también algunas charcas, aisladas del curso principal y que percolan lentamente hacia él, en las que puede encontrarse combinaciones intermedias con mezclas de gibsita y yeso coloidal.

En dos puntos distintos del techo de galerías secas en las cotas -32 y -42 m, precisamente donde éstas interceptan los niveles más ricos en lignito, se observaron varias vetas cristalinas de tamaño centimétrico de color blanco muy brillante y contrastante. El análisis DRX mostró que dichas vetas están formadas por calcita prácticamente pura. Uno de estos puntos se sitúa topográficamente sobre el afluente de aguas normales con láminas de calcita flotante.

En la zona más alejada del río, que dejamos de explorar por alto riesgo de derrumbe y probable presencia de gases, se encuentra una bifurcación en T (con mondmilch líquido de gibsita en sus tres ramas). Las dos ramas más interiores se prolongan en direcciones opuestas siguiendo el buzamiento. Las paredes en este caso contienen minerales ferruginosos y productos de alteración, intercalados entre las capas de caliza carbonácea. La roca caja no es homogénea sino que presenta diversas facies. Por DRX se identificó una facies arcillo-ferruginosa, con alto contenido de goethita; otra de limonita, con hematita mayoritaria; y una tercera con nivelitos brechoides, donde se identificó por DRX oxi-hidróxidos de hierro y aluminio. La roca caja presenta en superficie costras goethita-hematíticas de espesor milimétrico. Un exámen más detallado de las paredes a lo largo de las galerías del río de leche de luna, muestra que en diversos puntos existen, además de las calizas carbonáceas predominantes, intercalaciones arcillo-ferruginosas, con óxidos e hidróxidos de hierro y subproductos de alteración, aunque sobre superficies pequeñas, de menor extensión que la de la zona de la T antes descrita.

Una revisión de las fotografías tomadas en el interior de la cueva muestra que la presencia de minerales de hierro en la roca caja de las paredes y techos es relativamente abundante, un detalle que previamente había pasado desapercibido. Así, en la zona concreta del afloramiento Urganiano perforado por las galerías de la sima-mina de Alzola, no sólo hay calizas carbonáceas, sino también capas o niveles con alto contenido en minerales de hierro y productos asociados.

De forma descriptiva diríamos que la red de galerías de la cota -42, de la cual procede el río de mondmilch, tiene diversas ramas con el río de mondmilch líquido de gibsita, más otra serie de galerías y tramos secos con charcas aisladas. En algunas de ellas se ha encontrado aguas con coloides de yeso y/o goethita. En otras, espeleotemas plásticas pero muy hidratadas (tipo mondmilch, en estado sólido) de calcita y compuestos amorfos. Y por último, charcas de gibsita con pequeñas cantidades de otros elementos, principalmente yeso y amorfos, de tamaño cristalino también muy pequeño.

En la red de drenaje el río de mondmilch constituye el colector del sector, y en él, el mondmilch líquido de gibsita se encuentra en su estado más puro en su parte inferior, en los 150 m finales (previos a la confluencia con otras corrientes de agua). Río arriba y en las diversas galerías afluentes, el río de mondmilch es visible a tramos, con zonas inundadas separadas por suelos detríticos producto de los desprendimientos de alteración de las paredes. En estos sectores puede encontrarse la gibsita líquida sobrenadada por un mayor volumen de agua transparente, combinaciones de gibsita y yeso, agua con coloides de yeso y/o de goethita, agua con calcita flotante, y espeleotemas marcadoras tipo mondmilch de calcita y amorfos.

DISCUSION.

En la región hay ocurrencias hipógeas de charcas y zonas inundadas con espeleotemas y aguas de distinto tipo: (1) Aguas transparentes con coloides de yeso blanco-opaco. (2) Aguas transparentes y rojizas con geles y coloides de goethita. (3) Aguas transparentes con calcita flotante y precipitada en láminas. (4) Espeleotemas marcadoras de mondmilch plástico muy hidratado de calcita y amorfos. (5) Charcas con combinaciones o mezclas de gibsita y yeso, y probablemente también algo de brushita y calcita. (6) El río de "leche de luna" propiamente dicho (mondmilch líquido), de color blanco brillante y nacarado, constituido por dispersiones de gibsita criptocristalina en agua.



Charcas con espeleotemas coloidales de goethita y yeso en la sima de Alzola. Obsérvese en la imagen inferior las capas de materiales arcillo-ferruginosos interestratificados en la caliza carbonácea.



Espeleotemas de goethita y de calcita en la sima de Alzola, formadas a partir de soluciones que percolan a través de la roca (caliza carbonácea) de las paredes.

De todas las ocurrencias de aguas con minerales secundarios, el río de mondmilch de gibsita representa el mayor volumen y extensión (considerablemente), y su componente mayoritario es la gibsita, en la cual la procedencia del aluminio es la mayor incógnita a elucidar. Una interpretación de los resultados obtenidos es presentada a continuación.

El probable origen de la brushita y calcita ya ha sido indicado en trabajos anteriores. Sólo cabe agregar que la existencia de vetas de calcita pura en las capas de caliza carbonácea y lignito puede aportar altos tenores de carbonato cálcico en las aguas y espeleotemas. El yeso debe proceder, como en casos previamente conocidos, de la presencia de pirita u otros sulfuros en la roca caja. Los oxi-hidróxidos de hierro pueden obtener el hierro de la meteorización de la pirita, pero creemos que su gran abundancia en espeleotemas sólidos y geles de goethita es debida a la alteración de las capas de minerales ferruginosos presentes en las calizas del sector.

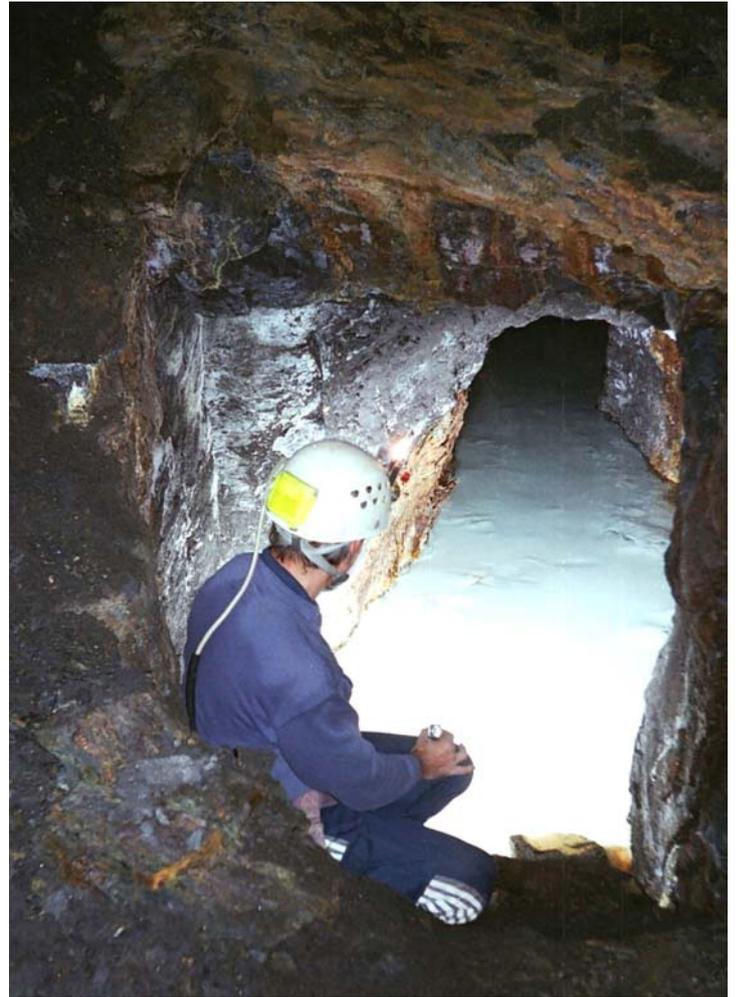
El mondmilch de gibsita debe formarse a partir del aluminio contenido entre los minerales arcillo-ferruginosos y sus productos de alteración (oxi-hidróxidos de hierro y aluminio). En este sentido creemos que los materiales ferruginosos encontrados en las calizas del sector constituyen una especie de laterita similar a la que se forma en zonas tropicales. La alteración pudo ocurrir en el pasado o bien puede ser un proceso activo actual (= neoformación). La lenta disolución de oxi-hidróxidos en las lateritas permite la movilización de Fe y Al en forma de coloides. Tales coloides, después de un transporte limitado por las aguas, pueden flocular y precipitar, o bien la deshidratación y cristalización de esos productos amorfos puede generar espeleotemas sólidos. Este proceso ha sido reconocido en diversas cavernas del mundo (HILL & FORTI, 1997). Otros autores han señalado la ocurrencia de procesos similares en cuevas formadas en minerales de hierro y canga, en Brasil (PILO & AULER, 2005; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 2005). En algunas grutas de la Serra dos Carajás (Pará, Brasil), donde existe percolación periódica de las aguas de infiltración, se forman recubrimientos de sustancias gelatinosas de composición aluminosa y ferruginosa. Espeleotemas sólidos y geles de goethita han sido reportadas en Venezuela de cuevas en cuarcitas y areniscas ferruginosas (URBANI, 1996). En minas de carbón diversos autores han señalado la formación de charcas blancas y rojizas con soluciones coloidales de yeso y goethita, respectivamente, a partir de sulfuros (como la pirita) contenidos en la roca caja (Adolfo ERASO, com. pers., 2004). De modo parecido, en minas con minerales de hierro son frecuentes espeleotemas sólidos y geles de goethita y limonita; nosotros hemos reportado ejemplos de ello en Mina Erankio (Leiza, Navarra) (GALAN, 2003b) y en dos minas del macizo de Otsabio (Lizartza, Gipuzkoa) (GALAN et al., 2005).

Los coloides de aluminio hidratado, cargados positivamente, pueden adsorber iones sulfato, de carga negativa, y dar origen a espeleotemas de sulfatos de Al y de Ca (GREENLAND & HAYES, 1978; TAN, 1982; YARIV & CROSS, 1979). De ese modo pueden formarse espeleotemas de yeso, alunita, basaluminita y meta-aluminita (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 2005). El aluminio puede también quedar disponible por alteración de caolinita, mica-illita y otros minerales de la arcilla (GALAN, 2003a). La polimerización de hidróxidos de Al origina normalmente coloides los cuales en presencia de compuestos orgánicos pueden dar origen a iones complejos solubles que aumentan fuertemente la solubilidad de este elemento y facilitan su movilización (YARIV & CROSS, 1979). Debe recordarse también que la caolinita es relativamente abundante en la "terra rosa" (arcilla residual que queda como producto de la disolución de la caliza), la cual frecuentemente se acumula en dolinas y suelo superior del karst y en el interior de las galerías subterráneas.

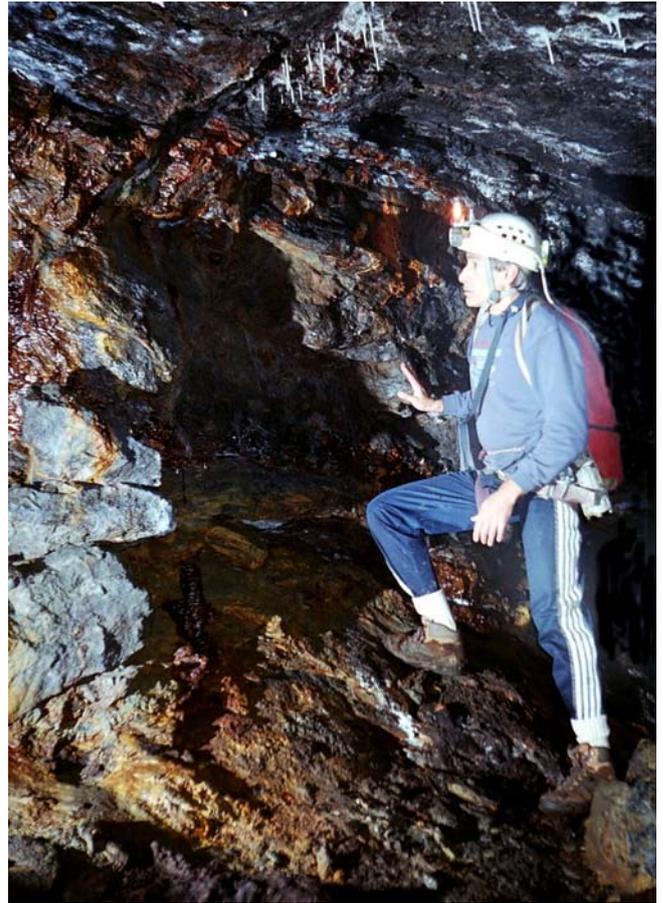
En el caso de la región de Alzola, los espeleotemas sólidos de goethita y calcita, y los coloides con alto contenido en goethita y yeso, parecen formarse en las zonas más ventiladas y en los niveles superiores de las cavidades. Por el contrario, el río de mondmilch de gibsita (de flujo muy lento y condiciones en parte lagunares) se forma a considerable profundidad (cota -42), en galerías de atmósfera muy húmeda y poco ventiladas. El río fluye hasta encontrarse con cantidades mayores de agua al ingresar en la sala de la cota -70, donde convergen varias corrientes de agua. El río de mondmilch (con un caudal medio de 0,05-0,1 l/s) se diluye en este caudal mayor (5-10 l/s) sin llegar a precipitar o sin permitir la cristalización de la gibsita como espeleotema sólido.

El aluminio que da lugar a la formación del mondmilch de gibsita, puede proceder en parte de la alteración de caolinita contenida en la "terra rosa", pero creemos que la fuente cuantitativamente más importante de este elemento son los niveles arcillosos (con minerales de hierro y productos de alteración asociados) que presenta intercalados la serie caliza de la cueva. La meteorización de estas capas por las aguas de infiltración, procedentes de superficie e interceptadas por las galerías de la cota -42, hace que presenten un estado altamente deleznable (con numerosos desprendimientos y rellenos detríticos). En períodos lluviosos o de aguas altas, en los que el nivel del río crece, las aguas de infiltración cubren una mayor extensión de rellenos detríticos, incluidos laterales y tramos habitualmente secos; tras las lluvias las zonas inundadas por la crecida percolan lentamente hacia el cauce principal a través de estos rellenos, los cuales presentan una amplia superficie de contacto entre el agua y los materiales detríticos. El flujo lento del río permite a su vez un largo tiempo de reacción de los minerales presentes con las aguas de infiltración, generando dispersiones coloidales con tamaños de partícula muy pequeños, lo que a su vez permite que dicho mondmilch de gibsita se presente en estado líquido y mantenga este estado hasta disolverse en volúmenes mucho mayores de agua. El río subterráneo de la cueva forma un colector que prosigue entre las cotas -70 y -90 para desaparecer en esta última cota a través de un sumidero terminal, impracticable por estrecho.

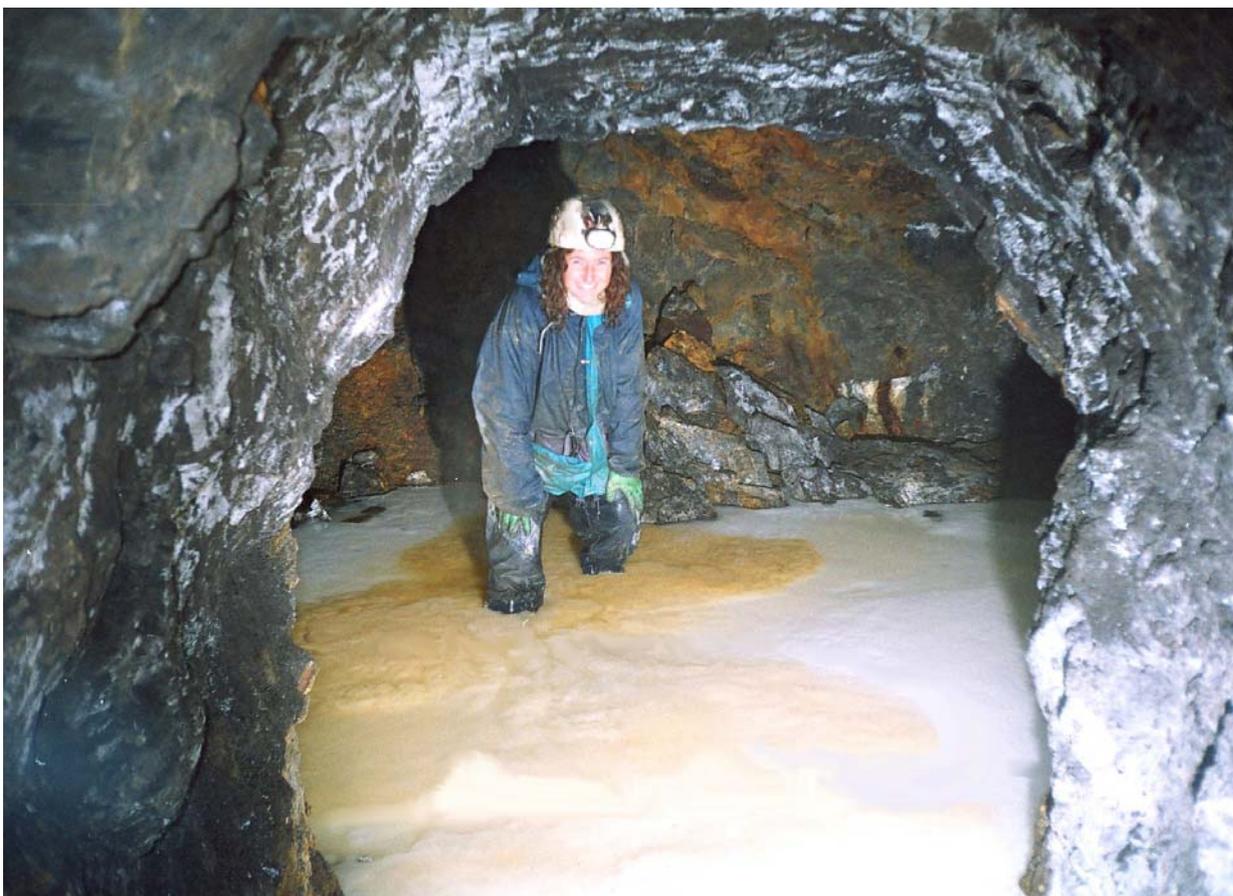
El aporte de Al procedente de la "terra rosa" no debe ser un factor esencial en la formación del mondmilch de gibsita, ya que en tal caso debería ser un fenómeno regional, con ocurrencia en muchas otras cuevas y minas de la región, lo que por el contrario no ha sido observado. Por ello creemos mucho más probable, y factible, que el Al proceda de los niveles arcillo-ferruginosos incluidos localmente en la serie carbonática del sector, en los cuales han sido identificados hidróxidos de Al y Fe. Aunque toda la serie es atravesada por las aguas que percolan a través de fisuras y la propia porosidad de la roca, al alcanzar las galerías de la sima-mina de Alzola se organiza una red de drenaje en conductos más importantes y aireados, en los cuales



Varios tramos del río de modmilch de gipsita, en los que puede apreciarse en la roca-caja la presencia de intercalaciones y vetas de calcita y minerales arcillo-ferruginoso.



**Arriba: Espeleotemas de calcita y goethita y vetas minerales en la roca caja de Alzola.
Abajo: Cueva de Autzo (en la región de Alzola), en la cual puede apreciarse también la intercalación de niveles arcillo-ferruginosos en la serie caliza.**



Niveles arcillo-ferruginosos y vetas de calcita en la roca caja, en la zona de la T (foto superior) y en un tramo en la parte superior del río de mondmilch (foto inferior). En ambos casos se aprecia turbidez al removerse capas arcillosas del fondo. En la foto inferior puede apreciarse una acera de mondmilch plástico de calcita y amorfos (en el nivel de aguas altas).



Arriba: vetas centimétricas de calcita pura en la roca caja de caliza carbonácea.
Abajo: vetas de minerales de Fe y profusión de coladas y espeleotemas de goethita.

la calcita parece precipitar con mayor facilidad. La goethita también precipita en espeleotemas sólidos o es movilizada como coloide. Mientras que el yeso y la gibsita no dan lugar a espeleotemas sólidos, probablemente debido al pequeño tamaño de las partículas. El yeso es movilizadado en solución o bien, localmente, origina espeleotemas coloidales subacuáticos, más densos que el agua y depositados sobre la arcilla del fondo. La gibsita en cambio se combina con el agua en dispersiones que ocupan toda la columna líquida, conformando o comportándose como un río de una sustancia en estado líquido (no como un depósito o sedimento en el agua). Los equilibrios químicos responsables de estas situaciones no son conocidos, pero obviamente se dan bajo las condiciones hidrogeológicas imperantes en la cavidad.

Los datos aquí presentados permiten explicar la génesis del río de "leche de luna" por procesos naturales de disolución y meteorización química de las rocas y minerales presentes en el área de la cueva (sin descartar que otros procesos, tales como la acción bacteriana, puedan intervenir o facilitar dicha génesis).

Las prospecciones efectuadas en la región no han detectado otras ocurrencias comparables de mondmilch de gibsita y la profundidad a la que ocurre dicho proceso en el subsuelo hacen muy poco probable que puedan producirse otros hallazgos. El río subterráneo de mondmilch de la sima de Alzola constituye un caso único a nivel mundial y, por consiguiente, dicha cavidad reviste un alto interés científico.

Cabe también destacar que el riesgo de derrumbes y presencia de gases en las galerías menos ventiladas de la cavidad es muy real. De hecho, en muchos puntos se observan colapsos recientes de bóvedas y paredes y obstrucción de galerías por derrumbe. Unido ello a que se trata de una sima-sumidero, con varias verticales y pasos estrechos, hace que esta cavidad sea desde todo punto de vista desaconsejable para usos turísticos, debiendo restringirse a usos científicos, tal vez con un apuntalamiento previo de zonas inestables, cierres y medidas de protección que garanticen tanto la integridad del sitio como la seguridad de los visitantes.

CONCLUSIONES.

En la región del afloramiento de Alzola fueron prospectadas otras cavidades naturales y minas. Fueron encontrados y analizados diversos espeleotemas y vetas minerales en la roca caja de caliza carbonácea. Se hallaron charcas de agua con espeleotemas subacuáticos de yeso coloidal de color blanco-opaco; charcas de aguas rojizas, geles y coloides de goethita; pequeñas cantidades de mondmilch sólido de calcita y compuestos amorfos; y espeleotemas con combinaciones minerales diversas.

El río de "leche de luna" (mondmilch de gibsita) se extiende sobre 300 m de galerías (en su mayoría de mina) para luego ingresar a la cavidad natural, donde se diluye en volúmenes de agua mucho mayores, perdiendo su color característico y su contrastante apariencia.

En la roca caja fueron encontradas vetas de calcita prácticamente pura y, más abundantemente, intercalaciones y capas de materiales arcillo-ferruginosos y sus productos de alteración, entre los cuales algunos niveles contienen oxi-hidróxidos de hierro y aluminio. La presencia de estos últimos permite explicar el origen del río de mondmilch de gibsita y la elevada diversidad de espeleotemas con alto contenido de goethita.

El río de "leche de luna" de gibsita sigue siendo un caso único a nivel mundial, de alto interés científico, y por tanto se recomienda la conservación de esta localidad hipógea.

AGRADECIMIENTOS.

A Eric Leroy, Pierre Gaudon, Franco Urbani y Esteve Cardellach, por su invaluable ayuda en el trabajo analítico de identificación de muestras con DRX. A Adolfo Eraso por sus útiles comentarios sobre la presencia de charcas con coloides de yeso y goethita en minas de carbón. A Marian Nieto, Christian Besance, Luis Gimeno, Miren Randez, Iñigo Herraiz, Carlos Oyarzabal, y Rafael Zubiria, por su ayuda en los trabajos de campo y en la obtención de fotografías. A Imanol Goikoetxea, Juanxo Aguirre Mauleón y Mertxe Labara por su continuado apoyo a los trabajos bioespeleológicos que efectuamos desde el Departamento de Espeleología de la SCA. Al Departamento de Desarrollo Rural de la Diputación Foral de Guipuzkoa y de modo especial a José M. Aldanondo, por la subvención concedida para el desarrollo de este estudio.

BIBLIOGRAFIA.

- GALAN, C. 2003a. 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. *Lapiaz, Federación de Espeleología Comunidad Valenciana*, 30: 12-26. + Página web: www.aranzadi-sciences.org (= www.aranzadi-zientziak.org), Archivo PDF: 15 pp.
- GALAN, C. 2003b. Fauna cavernícola, hidrogeología y mineralogía de espeleotemas en una mina-cueva de Leiza, Navarra. Gobierno de Navarra, Dpto. Obras Públicas, Servicio de Proyectos, Tecnología y Obras Hidráulicas, Pamplona, 14 pp y 12 lám. fotograf. + Pág. web [aranzadi-sciences.org](http://www.aranzadi-sciences.org), Archivo PDF: 26 pp.

- GALAN, C. 2006. Fauna hipógea y poblaciones bacteriales de la sima y río subterráneo de mondilch de Alzola (Gipuzkoa). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 24 pp (En preparación).
- GALAN, C. & E. LEROY. 2003. Découverte d'un lac de lait de lune (mondilch) dans le gouffre d'Alzola (Pays Basque, Espagne). Spelunca, Fédération française de spéléologie, 91: 21-26.
- GALAN, C. & E. LEROY. 2005a. Novedades sobre el río subterráneo de leche de luna (mondilch) de la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa, País Vasco). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 pp. + Reeditado en Pág. web Lapiaz.
- GALAN, C. & E. LEROY. 2005b. Mondilch de gibsita de la Sima-mina de Alzola (Determinaciones en MEB y microanálisis EDX). Bol. Sedeck, 7: 8 pp.
- GALAN, C.; R. ZUBIRIA & M. NIETO. 2005. Las simas de Leizegazto y el karst de Otsabio: Estudio hidrogeológico y espeleológico del macizo de Otsabio (Valle del Araxes, Gipuzkoa-Navarra). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF: 48 pp. + Reeditado en Pág. web Cota0.com.
- GREENLAND, D. & M. HAYES. 1978. The chemistry of soil constituents. Ed. Wiley & Sons, Chichester, 306 pp.
- HILL, C. & P. FORTI. 1997. Cave minerals of the world. National Speleological Society, 2da. Ed., USA, 463 pp.
- PILO, L. B. & A. AULER. 2005. Cavernas em minério de ferro e canga de Capao Xavier, Cuadrilátero Ferrífero, MG. O Carste, GBPE, 17 (3): 92-105.
- MAURITY, C. W. & B. KOTSCHOUBEY. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 Serra dos Carajás - PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. O Carste, GBPE, 17 (3): 78-91.
- TAN, K. H. 1982. Principles of soils chemistry. Ed. Marcel Dekker, New York. 267 pp.
- URBANI, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. Bol. Soc. Venezol. Espeleol., 30: 1-13.
- YARIV, S. & H. CROSS. 1979. Geochemistry of colloid systems for earth scientists. Ed. Springer-Verlag, Berlin. 450 pp.