

Fauna cavernícola y poblaciones bacteriales de la sima y río subterráneo de mondmilch de Alzola (Gipuzkoa).

Cave fauna and bacteria populations in the abyss and underground river of moonmilk from Alzola (Gipuzkoa).



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

Febrero de 2006.

Fauna cavernícola y poblaciones bacteriales de la sima y río subterráneo de mondmilch de Alzola (Gipuzkoa).

Cave fauna and bacterial populations in the abyss and underground river of moonmilk from Alzola (Gipuzkoa).

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 de las investigaciones biospeleológicas efectuadas en la sima-mina de Alzola. Fue realizado un estudio de poblaciones bacteriales en el río de mondmilch de gibsita. Los invertebrados fueron colectados en la sima mediante sistemas de cebos atrayentes y comprenden 32 taxa, 10 de ellos troglobios. Fue descubierta una especie nueva para la Ciencia de pseudoescorpión *Neobisium*. En el río de mondmilch se encontraron Actinobacterias, Gamma-Proteobacterias, Firmicutes y Thermo-Deinococcus. Se discute su papel en la formación del mondmilch.

Palabras clave: Biospeleología, Microbiología, Ecología, Fauna cavernícola, Karst, Moonmilk, Espeleotemas.

ABSTRACT

We present the results obtained from biospeleological surveys in Alzola abyss-mine. A study about the bacteria in the river of gibbsite moonmilk has been accomplished. The invertebrates have been collected in the abyss by means of attractive baits and they comprise 32 species, 10 of them are troglobious. A new species to Science of *Neobisium pseudoscorpion* has been discovered. Actinobacteria, Gamma-Proteobacteria, Firmicutes and *Thermus-Deinococci* group have been found in the moonmilk river. We discuss its role in the genesis of gibbsite moonmilk.

Key words: Biospeleology, Microbiology, Ecology, Cave fauna, Karst, Moonmilk, Cave-minerals, Speleothems.

INTRODUCCION.

El hallazgo de la sima-mina de Alzola resultó de gran interés por poseer dicha cavidad un río subterráneo de "leche de luna" (= mondmilch) en estado líquido. La cavidad, de -90 m de desnivel, tiene 1 km de galerías y posee una gran variedad de espeleotemas, con combinaciones de hasta 7 minerales distintos (GALAN, 2003). El río de "leche de luna", de color blanco-brillante nacarado, se extiende sobre más de 300 m de galerías. La sustancia que forma el moonmilk es una dispersión de gibsita criptocristalina en agua (GALAN & LEROY, 2003, 2005). La gibsita (= b-kliachita o claussenita) es un hidróxido de aluminio ($Al(OH)_3$) que cristaliza en el sistema monoclinico. Debido a que la roca caja en que está la cavidad es una serie de calizas organodetríticas carbonáceas (de edad Aptiense, Cretácico temprano), no resulta claro de donde puede proceder el aluminio necesario para formar el mondmilch de gibsita y al respecto se sugirió la hipótesis de que su génesis podría deberse o estar influida, entre otros factores, por la intervención de bacterias. De hecho, muchos otros mondmilchs a nivel mundial han sido formados con la intervención de bacterias (HILL & FORTI, 1997). De no ser este el caso, el resultado también sería de interés ya que aclararía que el proceso ocurre sólo por reacciones geoquímicas naturales entre el agua y los minerales disponibles en el subsuelo de la región.

Adicionalmente, debido a que en ambientes inusuales se encuentran con frecuencia especies inusuales, era probable que la sima de Alzola y el propio contenido líquido del río de mondmilch albergaran formas de vida únicas y singulares. El territorio de Gipuzkoa es notable por su gran diversidad de especies troglobias, muchas de ellas endémicas y sólo conocidas en el mundo de cuevas de esta región (GALAN, 2002). Debido a que el karst en Gipuzkoa conforma un archipiélago de afloramientos calcáreos, ha sido frecuente hallar especies de invertebrados cavernícolas restringidas a un pequeño macizo o afloramiento de calizas. El karst de Alzola, con una extensión de 8 km², es precisamente un afloramiento aislado, perteneciente al extenso macizo montañoso de Ernio, y presenta la singularidad añadida de su litología del todo inusual, compuesta por calizas carbonáceas con capas de lignito interestratificadas.



Varios aspectos del río de mond Milch de gipsita. Obsérvese en la foto superior el flujo y ligera turbidez en aguas altas, con transporte de sedimentos. El río en tales condiciones inunda y lava los rellenos detríticos desprendidos de las paredes en algunas galerías. En la foto inferior, en aguas bajas, las condiciones son más estables sobre largos trayectos.

Por todo ello, nos propusimos efectuar un estudio faunístico detallado de la cavidad y del río de mondmilch (incluyendo bacterias) a fin de conocer su biodiversidad y ecología. En los siguientes apartados expondremos los resultados obtenidos, entre los que destaca el hallazgo de una especie nueva para la Ciencia de pseudoescorpión troglobio de la familia Neobisiidae. El hallazgo de bacterias en el río de mondmilch puede ser objeto de diversas interpretaciones y por ello será discutido el alcance y contenido de los datos obtenidos.

MATERIAL Y METODOS.

Los estudios faunísticos fueron efectuados en varias salidas durante 2005 mediante prospección directa, en diversas estaciones del año, en los distintos biotopos de la cueva, y mediante el empleo de diversos sistemas de cebos atrayentes, revisados en salidas sucesivas. Se emplearon cebos de cuatro tipos (queso aromático, carne macerada, piel de conejo, y musgo embebido en cerveza; los dos primeros de amplio espectro; los dos últimos especialmente aptos para atraer coleópteros Leptodirinae y otros taxa detritívoros y de origen muscícola), dispuestos en medios terrestres, interfases y medios acuáticos (éstos últimos sobre soportes con malla y/o superficies de fácil extracción), debidamente camuflados bajo piedras, sobre sustrato estalagmítico y detritico. La fauna fue capturada con pinceles, pinzas blandas de relojero, tubo aspirador y red de plankton de 400 micras, colectándose sólo muestras de los ejemplares indispensables para estudio. Fueron tomados también datos ecológicos (sobre las características de los biotopos de captura y abundancia numérica de los distintos taxa).

El material fue preservado en alcohol etílico al 75% y fue estudiado posteriormente en laboratorio bajo microscopio binocular. Para las identificaciones se utilizó la bibliografía disponible y material de comparación de la Colección de Bioespeleología de la SCA. El material de pseudoescorpiones fue estudiado por el Dr. Juan Antonio Zaragoza (del Departamento de Ecología, Universidad de Alicante) y el de araneidos por el Dr. Alberto de Castro (del Departamento de Entomología de la SCA).

Las muestras del río de mondmilch para estudio de microorganismos fueron colectadas en tubos esterilizados (y usando guantes esterilizados, para evitar contaminación). Se tomaron dos tipos de muestra: (a) del mondmilch directamente y (b) de fracciones colocadas en sustancia conservante con inhibidores de DNAsas y RNAsas para preservar los ácidos nucleicos (RNAlater - Albion). Se usaron dos puntos distintos de muestreo en el río, para cada tipo, en áreas poco perturbadas por las crecidas hidrológicas. Los tubos fueron mantenidos en frío desde el momento de la colecta (en tupperware con placas refrigerantes estancas). Las muestras fueron preservadas en frigorífico (a +4°C y -20°C, respectivamente) hasta el día siguiente, cuando fueron enviadas en empaques refrigerados a laboratorio. El material fue estudiado en laboratorio por el Dr. Juan M. González Grau y colaboradores (del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, IRNAS-CSIC, Sevilla), especializado en el estudio de bacterias extremófilas.

El ADN de las muestras se extrajo con kit de extracción de ADN NucleoSpin Food (Mackerey-Nagel, Alemania). A partir de este ADN se llevó a cabo la amplificación de los genes ARN ribosómico 16s presentes en la solución de ADN. Las secuencias obtenidas se clonaron en *Escherichia coli* utilizando el kit de clonación TOPO-TA (Invitrogen, California, USA). Se seleccionaron los clones diferentes de la genoteca de fragmentos de ADN de la muestra y se secuenciaron los fragmentos de ADN insertados en cada uno de los clones seleccionados. Los procedimientos seguidos han sido previamente descritos, por ejemplo, en GONZALEZ et al. (2003). Las secuencias obtenidas fueron comparadas con las bases de datos de ADN existentes utilizando el algoritmo Blast disponible en las páginas del NCBI (National Center for Biological Information; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Blast/>).

RESULTADOS.

En la cavidad existen diversos biotopos, biocenosis y synusia de organismos. En total han sido identificados 32 especies de animales y cuatro grupos de bacterias. Comentaremos sus características separadamente.

(1) Fauna Troglóxena.

Esta categoría ecológica comprende animales con preferencias higrófilas y oscurícolas, los cuales frecuentan estacional o accidentalmente la zona de entrada de las cuevas (en penumbra y zona oscura próxima a las bocas, de fuerte oscilación climática), pero que no completan su ciclo de vida en ellas.

En total han sido hallados en esta zona 12 taxa que pueden considerarse troglógenos regulares. Estos comprenden tres especies de arácnidos (opiliones *Megabunus diadema*, *Gyas titanus*; araneidos, *Nesticus cellulanus*), un isópodo terrestre (*Oniscus asellus*), tres dípteros (*Lycosia* sp., *Rhymossia fenestralis*, *Culex pipiens pipiens*), un tricóptero (*Mycropterna nycterobia*), un lepidóptero (*Triphosa dubitata*), y tres especies de anuros (*Bufo bufo*, *Alytes obstetricans*, *Rana temporaria*). Debido a que la boca de la cavidad es una sima-sumidero, de amplio diámetro, a través de la misma ingresa gran cantidad de materiales vegetales y animales (del suelo y bosque superior), arrastrados por gravedad y por las aguas de infiltración, y al pié



Toma de muestras para estudio de bacterias en el río de mondmilch.



El río de mondmilch de gipsita se extiende sobre 300 m de galerías.

de la sima han sido observadas muchas otras especies troglógenas accidentales (entre ellas gasterópodos, coleópteros e himenópteros epígeos), las cuales no incluimos en este trabajo. En conjunto, la fauna de esta categoría y los restos vegetales que ingresan a la cavidad, constituyen un importante aporte de materia orgánica que será utilizado por los cavernícolas en el interior del ecosistema hipógeo. Detalles sobre la posición taxonómica y abundancia de las especies citadas son presentados en la Tabla 1.

(2) Fauna Troglófila.

Incluye especies de invertebrados que pueden completar su ciclo de vida en el interior de la cavidad, pero que no son exclusivos de ésta (= cavernícolas facultativos). Normalmente habitan en el ambiente intermedio de las cuevas, el cual comprende la zona más aireada de las grandes galerías o macrocavernas. Esta categoría incluye 10 taxa, en los siguientes grupos zoológicos: hirudíneos Herpobdellidae (*Herpobdella octoculata*), gasterópodos (*Oxychillus arcasianus*), opiliones Travuniidae (*Peltonychia piochardi*), cuatro especies de arácnidos (*Troglohyphantes cantabricus*, *Tegenaria inermis*, *Metellina merianae*, *Amaurobius* sp. -juveniles-), diplópodos (*Loboglomeris rugifera*), quilópodos (*Lithobius romanus inopinatus*), y coleópteros Carabidae (*Trechus fulvus vasconicus*).

La posición taxonómica y abundancia de las especies citadas es indicada en la Tabla 1. Adicionalmente se colectaron algunos colémbolos, posiblemente Isotomidae y Onichiuridae, cuyo material está en estudio y que por ello no incluimos.

De los troglófilos identificados sólo los Hirudinea Herpobdellidae son formas acuáticas, de hábitos omnívoros micrófagos. Fueron colectados en gours de suelo arcilloso en la gran sala de la cota -70. Ello a su vez indica que existe una microfauna acuática aportada por las aguas de infiltración, la cual probablemente incluye (como en otras cuevas estudiadas de Ernio) crustáceos de los órdenes Cladocera, Ostracoda y Copepoda.

(3) Fauna Troglobia.

Incluye cavernícolas especializados, habitantes del ambiente profundo de las cuevas (= "deep cave" environment). Esta fauna comprende animales adaptados al ambiente hipógeo profundo y exclusivos del mismo, donde completan todo su ciclo vital (= cavernícolas estrictos). Los taxa troglobios poseen toda una serie de modificaciones anatómicas y fisiológicas que los hace aptos para desenvolverse en este ambiente (son depigmentados, anoftalmos, de morfología estilizada y largos apéndices, con tegumentos permeables, alto número de receptores sensoriales, bajo metabolismo, muy baja tasa reproductiva y alta longevidad). Habitan en mesocavernas y en la zona profunda menos ventilada y de aire en calma de las macrocavernas, donde las condiciones de vida son extremas (oscuridad absoluta, humedad de saturación, escasos recursos tróficos, concentraciones subóptimas de oxígeno, alta radioactividad natural y frecuente presencia de mezclas de gases).

Los troglobios encontrados comprenden los siguientes taxa: una nueva especie de pseudoescorpión Neobisiidae (*Neobisium* -subgén. *Blothrus*- n.sp.) (J. A. Zaragoza, com.pers.), un arácnido (*Troglohyphantes alluaudi*), un isópodo triconiscido (*Trichoniscoides cavernicola*), un diplópodo (*Mesoiulus stammeri stammeri*), un quilópodo (*Lithobius anophthalmus*), un colémbolo Entomobryidae (*Pseudosinella subterranea*), un dipluro Campodeidae (*Litocampa espanoli*), un coleóptero Carabidae (*Trogloorites breuili mendizabali*), y dos especies de coleópteros leiódidos de la subfamilia Leptodirinae (= Bathysciinae): *Bathysciola schiodtei*, y *Speocharidius breuili*. Como en los casos anteriores, la posición taxonómica y abundancia de las especies citadas es indicada resumidamente en la Tabla 1.

De las 10 especies troglobias citadas, 9 son endémicas de la región vasca y 4 de ellas endemismos de Guipúzcoa (otras 2 especies troglófilas son también endémicas de Guipúzcoa; ver Tabla 1). Entre los endemismos Gipuzcoanos, tres especies están restringidas a afloramientos kársticos del macizo montañoso de Ernio y una de ellas (la nueva especie de pseudoescorpión *Neobisium*) sólo es conocida en el mundo de una simple localidad: la sima de Alzola. La diversidad de especies troglófilas y troglobias de Alzola es comparativamente alta, más aún si tenemos en cuenta que la fauna de microartrópodos no ha sido estudiada y que se trata prácticamente de una biocenosis de formas terrestres.

Los repetidos intentos de captura de fauna acuática (mediante filtrado con mallas de plancton y cebos) no dieron resultados, ni en el río de mondmlch ni en otras corrientes de agua y gours de la cueva. Probablemente el alto contenido de Al y Fe en las aguas influye en ello. No obstante la presencia de hirudíneos Herpobdellidae indica que las aguas deben contener materia orgánica y microorganismos en número suficiente para sustentar a esta especie.

Entre los troglobios son numerosos los dipluros Campodeidae, colémbolos Entomobryidae, y las dos especies de coleópteros Leptodirinae, todas ellas formas detritívoras. Los isópodos Trichoniscidae y diplópodos Mesoiulus poseen una abundancia media. Y resultan raros o de muy baja abundancia numérica los pseudoescorpiones *Neobisium*, arácnidos *Troglohyphantes alluaudi*, quilópodos *Lithobius* y coleópteros *Trogloorites*, especies estas últimas básicamente predatoras. Especies no-troglobias normalmente abundantes en cuevas, como arácnidos y dípteros fungívoros, resultan también estar representadas en muy bajo número en Alzola.

Tabla 1. Listado de especies animales identificadas de la sima de Alzola, con indicación de su categoría ecológica (CE), abundancia numérica (AN) y grado de endemismo. Siglas utilizadas: Categorías: TB = Troglobio. TF = Troglófilo. TX = Troglógeno. (Especies troglobias destacadas en negrita). Abundancia numérica: B = Baja. R = Regular. A = Alta. Grado de Endemismo: EV = Endemismo Vasco. EG = Guipúzcoa. EE = Ernio. EA = Alzola.

Grupo. Familia. Especie.	CE	AN	EV	EG	EE	EA
Hirudinea. Herpobdellidae. <i>Herpobdella octoculata</i> L.	TF	B				
Gastropoda. Zonitidae. <i>Oxychillus arcasianus</i> (Servain).	TF	R				
Pseudoscorpiones. Neobisiidae. <i>Neobisium</i> n.sp.	TB	B	EV	EG	EE	EA
Opiliones. Travuniidae. <i>Peltonychia piochardi</i> Simon.	TF	B				
Opiliones. Phalangiidae. <i>Megabunus diadema</i> Fabricius.	TX	B				
Opiliones. Gyantidae. <i>Gyas titanus</i> Simon.	TX	B				
Araneida. Linyphiidae. <i>Troglohyphantes cantabricus</i> Simon.	TF	B				
Araneida. Linyphiidae. <i>Troglohyphantes allaudi</i> Fage.	TB	B	EV			
Araneida. Agelenidae. <i>Tegenaria inermis</i> Simon.	TF	B				
Araneida. Argiopidae. <i>Metellina merianae</i> (Scopoli).	TF	B				
Araneida. Nesticidae. <i>Nesticus cellulanus</i> Clerck.	TX	B				
Araneida. Dictynidae. <i>Amaurobius</i> sp. -juveniles-.	TF	B				
Isopoda. Trichoniscidae. <i>Trichoniscoides cavernicola</i> Budde-Lund.	TB	R	EV			
Isopoda. Oniscidae. <i>Oniscus asellus</i> Linné.	TX	R				
Diplopoda. Glomeridae. <i>Loboglomeris rugifera</i> Verhoeff.	TF	R	EV	EG		
Diplopoda. Iulidae. <i>Mesoiulus stammeri stammeri</i> Verhoeff.	TB	R	EV			
Chilopoda. Lithobiidae. <i>Lithobius anophthalmus</i> Matic.	TB	B	EV			
Chilopoda. Lithobiidae. <i>Lithobius romanus inopinatus</i> Matic.	TF	B	EV	EG		
Collembola. Entomobryidae. <i>Pseudosinella subterranea</i> Bonet.	TB	A	EV			
Diplura. Campodeidae. <i>Litocampa espanoli</i> Condé.	TB	A				
Diptera. Sciaridae. <i>Lycosia</i> sp.	TX	B				
Diptera. Mycetophilidae. <i>Rhymossia fenestralis</i> Meigen.	TX	B				
Diptera. Culicidae. <i>Culex pipiens pipiens</i> L.	TX	B				
Trichoptera. Limnephilidae. <i>Mycropterna nycterobia</i> McLachlan.	TX	R				
Lepidoptera. Geometridae. <i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus).	TX	B				
Coleoptera. Carabidae. <i>Trechus fulvus vasconicus</i> Jeannel.	TF	B				
Coleoptera. Carabidae. <i>Troglorites breuili mendizabali</i> Jeannel.	TB	B	EV	EG	EE	
Coleoptera. Leiodidae. <i>Bathysciola schiodtei breuili</i> Bolívar.	TB	A	EV	EG		
Coleoptera. Leiodidae. <i>Speocharidius breuili</i> Jeannel.	TB	A	EV	EG	EE	
Anuros. Bufonidae. <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus).	TX	B				
Anuros. Discoglossidae. <i>Alytes obstetricans</i> (Laurenti).	TX	B				
Anuros. Ranidae. <i>Rana temporaria</i> Linnaeus.	TX	B				
Total = 32 especies: 10 Troglobios, 10 Troglófilos, 12 Troglógenos.			11	6	3	1



Revisión de cebos atrayentes en la sala de la cota -70 m.



Filtrado con malla de plankton para captura de fauna acuática.



Neobisium (Blothrus) sp.
Pseudoescorpión troglóbico de la familia Neobisiidae.



Lithobius anophthalmus.
Quilópodo troglóbico de la familia Lithobiidae.

(4) Poblaciones de Bacterias.

Se procesaron dos muestras. En una de ellas el mondmilch de gibsita estaba ligeramente turbio (presentaba mezcladas partículas de sedimentos) y es de la que se han obtenido las secuencias presentadas en la Tabla 2; de la otra muestra (la más "limpia" de restos de sedimentos) no ha sido posible obtener ninguna secuencia de ADN bacteriano. Como consecuencia, podría deducirse que los organismos detectados podrían provenir del sedimento y en este caso no serían organismos que se desarrollan en el seno del mondmilch. Esto parece corroborarse al detectarse restos de *Juniperus* (sabina, ciprés), por ejemplo. Cabe mencionar que en la fecha de muestreo (17 de abril de 2005) la situación hidrológica era de aguas altas; los días previos había llovido considerablemente e incluso también el mismo día de muestreo entraba por la boca-sumidero de la sima un caudal alto, en torno a 20 l/s. Aunque el río de mondmilch es un afluente de la red de drenaje de la cueva (sus aguas proceden de la infiltración dispersa en la superficie anexa a la dolina de acceso a la cavidad), su caudal y velocidad de flujo en aguas altas también se incrementa ligeramente, y normalmente en esta situación puede presentar ligera turbidez, producto del lavado de los rellenos sedimentarios de las galerías que recorre. No obstante, los puntos de muestreo elegidos eran zonas de muy escasa corriente, y el agua que ingresa hasta este nivel de la cota -42 de la cavidad no procede de ningún punto de sumidero importante, sino que corresponde a la infiltración lenta y dispersa de las aguas que percolan a través de la serie calcárea.

Las demás secuencias detectadas corresponden a bacterias comúnmente encontradas en suelos y cuevas. Por ejemplo, se ha observado la presencia de Actinobacterias (con representantes de los géneros *Propionibacterium* y *Corynebacterium*), Gamma-Proteobacterias (con representantes no identificados, de las Enterobacterias y del género *Manjusharmella*), Firmicutes (con los géneros *Dolosigranulum*, *Staphylococcus*, y *Streptococcus*), y un representante del género *Deinococcus* relativamente distante de especies previamente descritas.

Las bacterias detectadas generalmente son quimioorganotrofas y presentan metabolismos de tipo heterotróficos, por lo que vivirían consumiendo materia orgánica, lo que sería otra evidencia en apoyo de que su desarrollo en el seno del mondmilch no parece muy probable y podrían provenir del sedimento de las galerías o incluso del suelo superior.

Tabla 2. Lista de secuencias obtenidas a partir de mondmilch.

Clone ID	No.	Closest Homologue	% s	Bp.
LMM-B1 A8	2382	<i>Propionibacterium</i> (Actinobacteria)	99	901
LMM-B1 A9	2383	<i>Juniperus</i> (Eukaryote; Coniferales) chloroplast	98	893
LMM-B1 D8	2384	<i>Corynebacterium</i> (Actinobacteria)	99	897
LMM-B1 E2	2385	<i>Manjusharmella</i> (Gamma-Proteobacteria, Aeromonadales)	97	921
LMM-B1 E9	2386	Gamma-Proteobacteria	97	921
LMM-B1 E12	2387	<i>Staphylococcus</i> (Firmicutes)	99	929
LMM-B1 G2	2388	Enterobacteria (Gamma-Proteobacteria)	97	913
LMM-B1 G8	2389	<i>Propionibacterium</i> (Actinobacteria)	85	629
LMM-B1 G9	2390	<i>Deinococcus</i> (Thermus-Deinococci group)	94	904
LMM-B1 H10	2391	<i>Dolosigranulum</i> (Firmicutes)	99	927
LMM-B1 H12	2392	<i>Streptococcus</i> (Firmicutes)	98	926

Así, parece que en el mondmilch de gibsita propiamente dicho no hemos detectado bacterias. Las bacterias encontradas podrían proceder de restos orgánicos incluidos en los sedimentos de las galerías de la cavidad. No puede en base a ello afirmarse que en el mondmilch no existan bacterias, pero probablemente si existen están en una proporción muy reducida.

Todo ello sugiere, por lo que hasta ahora sabemos, que la formación del mondmilch de gibsita no está mediada por la intervención de bacterias, sino que ocurre por procesos naturales de disolución y meteorización química de las rocas y minerales presentes en el área. Las prospecciones geoespeleológicas efectuadas a la par de este trabajo han permitido detectar la presencia en la serie calcárea perforada por la cavidad, de intercalaciones y capas de materiales arcillo-ferruginosos y sus productos de alteración, entre los cuales algunos niveles contienen oxi-hidróxidos de hierro y aluminio (GALAN, 2006). La presencia de estos últimos permite explicar tanto el origen del mondmilch de gibsita como la elevada diversidad de espeleotemas de goethita (GALAN, 2006).



Sima de Alzola. Espeleotemas diversas de goethita y calcita. Nótese los espeleotemas formados a partir de soluciones que percolan a través de las calizas carbonáceas.



DISCUSION Y CONCLUSIONES.

El ecosistema de la sima de Alzola posee una alta diversidad de organismos, comparable al de otras cuevas guipuzcoanas de alta diversidad. A ello contribuye: su localización en zona boscosa a baja altitud, un importante aporte de nutrientes que ingresa con las aguas de infiltración, y una elevada humedad atmosférica y constancia térmica en las galerías interiores. La cavidad posee una gran variedad de espeleotemas y sedimentos de distinto tipo, producto de la heterogénea secuencia de rocas sedimentarias del afloramiento calizo. Por ello contiene un alto número y extensión de biotopos óptimos para troglobios.

A grandes rasgos destaca la existencia de una importante representación de especies troglobias, incluyendo el hallazgo de una nueva especie de pseudoescorpión, actualmente en proceso de descripción. La fauna troglóxena y troglófila es comparativamente escasa en número, aunque igualmente diversa. Tal vez ello sea debido a las condiciones ambientales relativamente adversas, poco tolerables para cavernícolas no adaptados a ambientes adversos, lo que sería el caso para las mencionadas categorías de organismos pero no así para los troglobios terrestres (GALAN, 2002; TERCAFS, 1987).

Especialmente llama la atención la extraordinaria rareza de macrofauna acuática, la cual contrasta con la elevada biodiversidad de formas terrestres. Al respecto, es conocida la elevada toxicidad que presentan en concentraciones altas el aluminio, cadmio y metales pesados para los seres vivos (BOSNAK & MORGAN, 1981; LEWIS, 1996; NAYAK, 2002; WILLIAMS, 1999). Tanto el Al como el Fe incrementan su toxicidad cuando se presentan en soluciones acuosas en forma de hidróxidos y formando complejos con especies de bajo peso molecular y/o compuestos orgánicos (NESSE & GARBOSSA, 2001; CRICHTON et al., 2002), aunque el efecto tóxico depende mucho no sólo de la disponibilidad del metal sino de la identidad química de la especie de Al reactiva y de la capacidad de otros ligandos para interferir en la hidratación de los iones metálicos (HARRIS et al., 1996). Debido a que las aguas subterráneas de Alzola presentan elevadas concentraciones de Al, Fe, C, Si, sulfatos y bicarbonatos, pensamos que todo ello tiene un efecto inhibitor sobre la vida acuática. Aunque el río de mondmilch es sólo un afluente de la red de drenaje, en prácticamente todas las galerías (naturales y artificiales) de la cavidad se encuentran espeleotemas, señal de que las aguas de infiltración llevan en solución (y precipitan) diversos minerales secundarios. El mondmilch de gibsita propiamente dicho parece ser un medio extremadamente pobre en microorganismos. Otras aguas circulantes pueden también tener altos tenores de Al y Fe, S y C en solución, aunque ello no llegue a detectarse a simple vista. Pensamos que este factor resulta limitante para la vida acuática y explicaría la escasez extrema de cavernícolas acuáticos en la cavidad.

La zona profunda de las galerías (tanto naturales como artificiales) presenta humedad de saturación (detectable por la rápida condensación de la atmósfera subterránea en torno al calor corporal de los exploradores) y probables mezclas de gases (detectables organolépticamente, pero no analizadas), producto de emanaciones por alteración de las capas carbonáceas incluidas en la roca caja. En la literatura minera esta reportada para las minas de lignito de la región la ocurrencia del gas grisú, temible por la mezcla explosiva que forma con el aire, y de accidentes con este gas ocurridos y constatados históricamente (URDANGARIN et al., 2002). Así, la atmósfera subterránea presenta también una condición relativamente adversa en la cavidad, aunque ésta es precisamente una de las condiciones de vida -junto a la escasez de alimento y bajas concentraciones de oxígeno- que son capaces de tolerar los troglobios o cavernícolas estrictos, pero no así otras categorías de animales. Estas condiciones ambientales -en cierto sentido extremas- se relacionan de este modo con la representación faunística encontrada en el ecosistema de la cavidad.

Las poblaciones de bacterias halladas en las muestras del río de mondmilch, aunque no suministran un cuadro completo, podríamos decir que revelan y sugieren que el mondmilch de gibsita no es formado por la intervención de bacterias. Más bien todo apunta a que este espeleotema en estado líquido es una especial peculiaridad que ocurre en la cavidad por reacciones químicas naturales entre las aguas de infiltración y los minerales presentes en las rocas del subsuelo del afloramiento calcáreo.

Biológicamente la sima de Alzola presenta un alto interés científico, como lo demuestra la elevada diversidad de troglobios y el hallazgo de una nueva especie animal. Todo ello sin descartar que ulteriores estudios (como p.ej. sobre microartrópodos, no abordados en este trabajo) puedan producir otras novedades. Igualmente la cavidad reúne un alto interés para efectuar estudios ecológicos y sobre tolerancia de diversas formas de vida ante concentraciones de gases y sustancias minerales disueltas en las aguas. Por todo ello no cabe más que recomendar la conservación de esta localidad hipógea.

AGRADECIMIENTOS.

A los compañeros que han colaborado en los trabajos de campo y de modo especial a: Marian Nieto, Christian Besance, Luis Gimeno, Miren Randez y Carlos Oyarzabal. A Juan A. Zaragoza y Alberto de Castro por la identificación de pseudoescorpiones y araneidos, respectivamente. A Juan M. González y colaboradores (del IRNAS-SCIC) por su interés y su valioso trabajo en el estudio de las bacterias del río de mondmilch. A Rafael Zubiría, Imanol Goikoetxea, Juantxo Aguirre Mauleón y Mertxe Labara por su continuado apoyo a los trabajos biospeleológicos 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 a este estudio.

BIBLIOGRAFIA.

- BOSNAK, A. & E. MORGAN. 1981. Acute toxicity of cadmium, zinc, and total residual chlorine to epigeal and hypogean isopods (Asellidae). *The NSS Bulletin*, 43: 12-18.
- CRICHTON, R.; WILMET, S.; LEGGYSYER, R. & R.J. WARD. 2002. Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells. *Jour. Inorg. Chem.*, 91: 9-18.
- GALAN, C. 2002. Biodiversidad, cavernas amenazadas y especies troglodias en peligro. *Aranzadiana*, 123: 147-152.
- GALAN, C. 2003. 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. 2006. Prospecciones en la región de la sima-mina de Alzola (Gipuzkoa), con notas sobre la génesis del río de mondmilch de gipsita y otros espeleotemas sólidos y coloidales. Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 24 pp.
- GALAN, C. & E. LEROY. 2003. Découverte d'un lac de lait de lune (mondmilch) dans le gouffre d'Alzola (Pays Basque, Espagne). *Spelunca, Fédération française de spéléologie*, 91: 21-26.
- GALAN, C. & E. LEROY. 2005. Novedades sobre el río subterráneo de leche de luna (mondmilch) de la sima-mina de Alzola (País Vasco). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 pp. + Reeditado en Pág. web Lapiaz.
- GONZALEZ, J.M.; A. ORTIZ-MARTINEZ; M.A. GONZALEZ del VALLE; L. LAIZ & C. SAIZ-JIMENEZ. 2003. An efficient strategy for screening large cloned libraries of amplified 16S rDNA sequences from complex environmental communities. *J. Microbiol. Methods* 55: 459-463.
- HARRIS, W.; BERTHON, G.; DAY, J.P.; EXLEY, C.; FLATEN, T; FORBES, W.; KISS, T.; ORVIG, C. & P. ZATTA. 1996. Speciation of Aluminium in Biological Systems. *J. Toxicol. Environ. Health*, 48: 543-568.
- HILL, C. & P. FORTI. 1997. *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, 2da. Ed., USA, 463 pp.
- LEWIS, J. 1996. The devastation and recovery of caves and karst affected by industrialization. In: Rea, G. (Ed). *Proc. 1995 National Cave Management Symposium, Indiana Karst Conservancy*. pp: 214-227..
- NAYAK, P. 2002. Aluminium: Impacts and Disease. *Environ. Res.*, 89: 101-115.
- NESSE, A. & G. GARBOSSA. 2001. Aluminium toxicity in erythropoiesis. Mechanisms related to cellular dysfunction in Alzheimer's Disease. In: C. Exley Ed. *Aluminium and Alzheimer's Disease*. Elsevier, Amsterdam, cap.13: 261-278.
- TERCAFS, R. 1987. La conservation de la faune cavernicole: apport de la simulation, aspects biologiques. *Annals Soc. r.zool. Belg.*, 117: 3-14.
- URDANGARIN, C.; J.M. IZAGA & K. LIZARRALDE. 2002. Mineros de Aizarna. In: *Oficios Tradicionales*. Diputación Foral de Gipuzkoa, Donostia, Vol. VI, 213 pp.
- WILLIAMS, R.J. 1999. What is wrong with aluminium. *Jour. Inorg. Chem.*, 76: 81-88.