

**ESPELEOTEMAS GLOBULARES DE MOONMILK, BACTERIAS Y FAUNA CAVERNÍCOLA  
(KOLOSOBARNE, SIERRA DE ARALAR).**

Globular speleothems of moonmilk, bacteria and cave fauna (Kolosobarne, Sierra de Aralar).



Carlos GALÁN & Marian NIETO. Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

# ESPELEOTEMAS GLOBULARES DE MOONMILK, BACTERIAS Y FAUNA CAVERNÍCOLA (KOLOSOBARNE, SIERRA DE ARALAR).

Global speleothems of moonmilk, bacteria and cave fauna (Kolosobarne, Sierra de Aralar).

**Carlos GALÁN & Marian NIETO.**

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: [cegalham@yahoo.es](mailto:cegalham@yahoo.es)

Octubre 2022.

## RESUMEN

En la zona de Kolosobarne (parte alta del sinclinal central de Aralar, Navarra) existe un conjunto de simas y cuevas. De entre ellas llamó nuestra atención una cavidad (sima-cueva) que posee un interesante set de espeleotemas, entre las que destacan estalactitas globulares de gran tamaño constituidas por un tipo de moonmilk de textura algodonosa y muy hidratada. Estas espeleotemas de moonmilk se han formado por acción de microorganismos. En la vecindad de las espeleotemas hay extensos tapices de bacterias y protozoos Amoebozoa. La cavidad también posee un ecosistema hipógeo de rasgos singulares, con varias especies troglobias. El trabajo describe la cavidad y su fauna y discute el origen de sus curiosas espeleotemas de moonmilk.

*Palabras clave:* Karst en caliza, Biología subterránea, Fauna cavernícola, Bacterias, Amoebozoa, Espeleotemas, Moonmilk.

## ABSTRACT

In the Kolosobarne area (upper part of the central syncline of Aralar, Navarra) there is a range of potholes and caves. Among them, a cavity (cave-abyss) caught our attention that has an interesting set of speleothems, among which large globular stalactites stand out, made up of a type of moonmilk with a cottony texture and very hydrated. These moonmilk speleothems have been formed by the action of microorganisms. In the vicinity of the speleothems there are extensive mats of bacteria and Amoebozoa protozoa. The cavity also has a hypogean ecosystem with unique features, with several troglitic species. The work describes the cavity and its fauna, and discusses the origin of its curious moonmilk speleothems.

*Key words:* Karst in limestone, Underground biology, Cave fauna, Bacteria, Amoebozoa, Speleothems, Moonmilk.

## INTRODUCCION

La Sierra de Aralar (1.427 m snm) es un macizo montañoso de caliza, situado sobre el anticlinorio Sur del Arco Plegado Vasco. Esta estructura es la continuación de la zona Norpirenaica francesa en la región vasca (Campos, 1979; Boillot & Malod, 1988; Rat, 1988; Galán, 1993). La cadena montañosa tiene una extensión E-W de 30 km y de 12 km en sentido N-S. Está constituida por materiales carbonáticos karstificados, de edades Jurásico y Cretácico temprano (complejo Urgoniano), separados por materiales de menor permeabilidad. Las precipitaciones recibidas se infiltran, circulan subterráneamente y dan origen a una serie de manantiales situados en la periferia.

En la Sierra de Aralar (Gipuzkoa - Navarra) los fenómenos kársticos están ampliamente desarrollados, con zonas de lapiaz, dolinas, y más de 850 cavidades exploradas y catalogadas. La mayor de ellas es el sistema de Ormazarreta 2 - Larretxikiko leizea, de -580 m de desnivel, con un río subterráneo de 7 km de desarrollo, que descarga en el manantial de Aia iturrieta (Ataun). La surgencia de mayor caudal es el manantial de Aitzarreta o nacedero del río Larraun, que drena el sinclinal central del Aralar navarro, y cuyas aguas se sumen de nuevo para reaparecer en un segundo manantial situado bajo el pueblo de Iribas, capturando de este modo las aguas de los terrenos Urgonianos y Jurásicos del sinclinal central y de su borde N cabalgante, con un caudal medio anual de 2.300 l/s (Galán, 1988, 2004). En la cabecera Urgoniana de esta unidad se sitúa la cavidad objeto de este trabajo.

Las cavidades de la sierra de Aralar, tanto en calizas Jurásicas como Urgonianas poseen notables conjuntos de espeleotemas (por demás abundantes en las cavidades fósiles o hidrológicamente inactivas), siendo también relativamente frecuente la ocurrencia de espeleotemas con texturas muy hidratadas, de tipo moonmilk. Cabe señalar que el moonmilk es una espeleotema no un mineral. El término moonmilk describe agregados microcristalinos de variable composición (generalmente carbonatos de calcio o de calcio y magnesio) de aspecto plástico, pastoso y muy hidratado. Generalmente el moonmilk contiene agua intersticial en un porcentaje del 40% al 80%, lo que le otorga un alto grado de plasticidad y una alta capacidad de retener agua en su estructura. En la mayoría de las ocasiones el moonmilk forma recubrimientos sobre las paredes de roca (como los revestimientos estalagmíticos) y no las formas comunes de estalactitas y estalagmitas.

En el caso que presentamos se trata de la ocurrencia de grandes estalactitas globulares (y también columnas) de consistencia blanda y textura algodonosa, constituidas por moonmilk de calcita. Muchas de ellas presentan una base más delgada y una terminación distal más amplia, o bien adoptan formas cilíndricas gruesas, con terminaciones redondeadas. Esto se aparta de la forma cónica típica de la mayoría de las estalactitas. Estas espeleotemas globulares de moonmilk alcanzan tamaños métricos y en distintas zonas de la cavidad es notable su profusión.

La cavidad posee otros rasgos de interés y además alberga una biota cavernícola diversa, que incluye tapices de bacterias y otros microorganismos (en estrecha asociación a las espeleotemas globulares de moonmilk), así como un ecosistema hipógeo con varias especies troglóbias de antiguo origen. Por todo ello nos pareció de interés estudiar la cavidad y describir sus principales rasgos geo-biológicos.

## **MATERIAL Y METODOS**

La cavidad fue explorada y objeto de muestreos bioespeleológicos en varias salidas, efectuadas en los años 1987, 2019 y 2022. El material biológico colectado, preservado en etanol 75%, fue identificado en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Se analizaron muestras del moonmilk por DRX y se estudiaron bajo microscopio. Se documentó con mayor detalle (mediante fotografía digital) las características de las espeleotemas de moonmilk y microorganismos asociados.

## **RESULTADOS**

La Sierra de Aralar es una potente secuencia de sedimentos Jurásicos y Cretácicos que, a grandes rasgos, presenta una estructura de anticlinal doble, cabalgante en su parte N. Un detallado panorama de la geología de la región ha sido expuesto por Duvernois et al (1972), Rat & Floquet (1975), y Floquet et al (1977). Trabajos adicionales han sido producidos por Castiella et al (1982), Floquet & Mathey (1984), Galán (1978, 1988, 1989, 1993, 2004, 2018, 2021) y Galán & Etxeberria (1994).

Estructuralmente, la sierra de Aralar es un anticlinal que de W a E evoluciona a anticlinal volcado y posteriormente a cabalgamiento, con la práctica desaparición de su flanco N. Para el área que nos ocupa cabe decir que el sinclinal central en la parte Navarra de Aralar posee extensos afloramientos longitudinales de calizas Urgonianas, estructurados en al menos 5 tramos calcáreos separados por intercalaciones más margosas o arcillosas, con cambios laterales de facies y toda una red de fracturas que intercomunica hidrológicamente el pliegue pero que dificulta la excavación de galerías penetrables.

Las aguas infiltradas en las calizas y margas Urgonianas del sinclinal central emergen de forma concentrada en la base de un farallón calizo a través de la surgencia de Aitzarreta o Nacadero del río Larraun (a 630 m snm de altitud). Esta unidad abarca en consecuencia un área grande del Aralar navarro, extendiéndose desde Astiz y Baraibar, en el E, hasta los montes Txemiñe y Eulatz, al W, y alcanzando por el S las zonas de Guardetxe y Kolosobarne. En correspondencia, el caudal medio de la surgencia de Aitzarreta es importante, de algo más de 1 m<sup>3</sup>/s y sus aguas tributan al río Larraun y finalmente, a través de la cuenca del Ebro, al Mar Mediterráneo.

La cueva de Kolosobarne se localiza en el flanco S del monte Aitzegigaiña o Galoren (1.253 m snm), tras cruzar el paso de Kolosobarne. Las coordenadas ETRS89 UTM 30N de la cavidad son: N 4.757.694; E 578.836; altitud: 1.152 m snm. En la zona hay un conjunto de algo más de 20 simas y cuevas. No ofrecemos datos de localización más detallados para proteger la cavidad y sus interesantes espeleotemas.

## **DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD**

Se trata de una cueva y sima a la vez, ya que posee dos bocas de acceso a su interior. La cavidad totaliza -32 m de desnivel y 220 m de desarrollo de galerías. Detalles de su morfología, salas, galerías, espeleotemas y fauna en Figuras 01 á 30.

La boca de acceso superior es una sima de boca estrecha (2 x 1 m), con una vertical de -18 m de desnivel que cae lateralmente sobre la pared de una amplia sala. La sima presenta un conducto paralelo que constituye una sima-chimenea adicional y cuya luz se aprecia desde la base de la vertical.

La sala alcanza algo más de 20 m de diámetro, con un cono de derrubios bajo la entrada vertical, y desciende hacia los lados, presentando también en su lado N un nicho con coladas estalagmíticas, por donde ingresa en cascada un pequeño caudal, con gours y suelos estalagmíticos en su base. En su lado S presenta bloques clásticos y una pared con fracturas con óxidos de hierro en proceso de desprendimiento y colapso.

La sala se prolonga en galería descendente de techo bajo, la cual posee un suelo de pequeños clastos sueltos (tipo casajera o canchal) y en su parte inferior (cota -28 m) comunica con una gran sala (de 60 x 30 m). La sala desciende algo más hacia el NW y finaliza en un zona plana, con tapón de bloques y sedimentos arcillosos en la cota -32 m.

Remontando hacia el E la sala se amplía con rellenos de grandes bloques y algunas zonas planas. En parte de sus paredes posee recubrimientos estalagmíticos y diversos tipos de espeleotemas.

En la bóveda en cambio se presenta la roca-caja caliza con sistemas de fracturas ortogonales, de las cuales emergen algunas espeleotemas globulares, pero en general de pequeño tamaño. Esta sala asciende ligeramente hasta la cota -12, donde se bifurca. La rama ESE es una galería en rampa, de 8-10 m de ancho y 2 m de alto, que asciende con suelo de bloques hasta una segunda boca, de cueva, en la cota -5 m. Esta segunda boca es amplia y su entrada está dividida por la presencia de dos grandes bloques de colapso, por lo que queda semioculta en el fondo de una dolina.

Desde la bifurcación, otra rama se dirige ascendiendo hacia el N y NE para acceder a una salita alargada (de 15 m) donde se encuentra la mayor profusión de grandes estalactitas globulares de moonmilk. La galería ascendente posee varios pasos de techo bajo y un pequeño conducto en bypass, y está profusamente tapizada de espeleotemas algodonosas de moonmik. En la sala, de suelo subhorizontal, se alcanza la cota -4 m. En su lado SE, que se extiende en paralelo bajo la dolina, emergen en varios puntos del techo numerosas raicillas, lo que indica su cercanía a la superficie externa. En su lado NW hay en cambio pequeños nichos con gours activos y suelos estalagmáticos, por donde circulan pequeños hilos de agua. Los pequeños caudales de agua y el nivel de los gours fluctúa con las lluvias y corresponde a la infiltración dispersa de las precipitaciones locales.

El desarrollo total de la cavidad asciende a 220 m. La temperatura ambiente es de 8°C y la humedad relativa del 100%. La temperatura del agua es de 7°C o algo menos en invierno.

## ESPELEOTEMAS Y MICROORGANISMOS

La pequeña galería ascendente y la mayor parte de la última sala están recubiertas de espeleotemas, principalmente en forma de coladas y recubrimientos de moonmilk, con pequeñas estalactitas y mantos colgantes, así como con grandes estalactitas globulares y porosas de moonmilk. Las mayores de ellas, en el centro de la sala, presentan formas digitiformes y alcanzan más de 1 m de altura y gran grosor; las formas ciliíndricas a menudo tienen mayor diámetro en su extremo distal. En algunos casos, más cerca de las paredes, las espeleotemas forman columnas al alcanzar el suelo. Destaca en la parte central de la sala una forma globular de más de 1 m de ancho y 2 m de altura que casi toca el suelo.

Las terminaciones distales de estas espeleotemas porosas pueden ser redondeadas, planas, o incluso abrirse con superficies cóncavas en su parte central. Todas ellas son de colores blancos y texturas algodonosas en superficie, de consistencias blandas y muy hidratadas. En la bóveda, entre las gruesas estalactitas, aflora la roca-caja, de color oscuro, casi negro.

Sobre la roca en la bóveda se presentan numerosos biofilms blancos y amarillos de bacterias y tapices amarillo-oro de amebas gigantes (protozoos Mycetozoa). Los microorganismos brillan junto a pequeñas gotas de agua de condensación y percolación, formando tramas de pequeñas motas, que en algunos casos cubren por completo pequeñas áreas de la bóveda. Las bacterias y amebas fagocíticas Mycetozoa también se observan en menor proporción sobre las espeleotemas globulares de moonmilk.

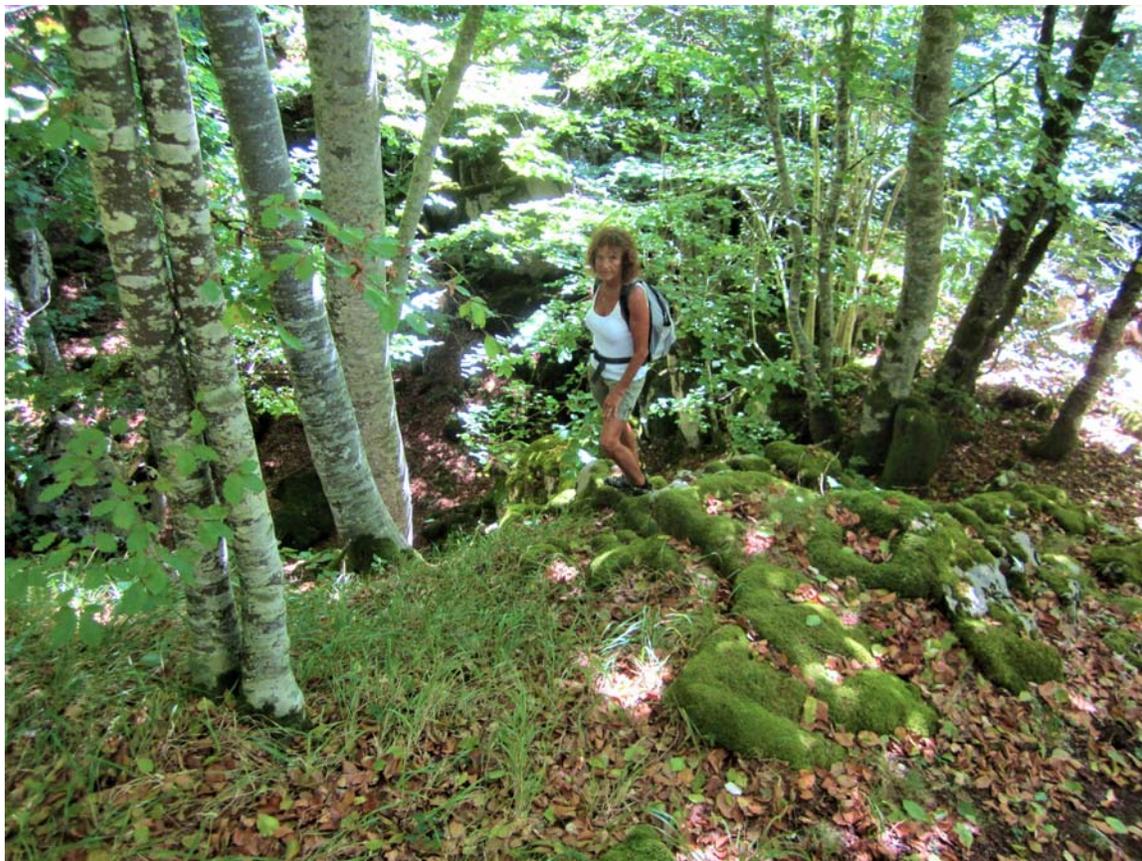
Los recubrimientos orgánicos de Mycetozoa están constituidos por plasmodios hialinos, con cuerpos fructíferos de color amarillo intenso, los cuales a la luz de las linternas brillan en la oscuridad, con un llamativo efecto estético. Se presentan sobre pequeñas superficies en paredes, bóvedas y sobre las espeleotemas, a veces en agregados densos.

Los Mycetozoa constituyen un phylum independiente de amebas (Baldauf, 2008); no son bacterias ni hongos, sino que están incluidos entre las amebas (protozoos Amoebozoa). Se caracterizan por presentar como aparato vegetativo un plasmodio (masa multinucleada, ameboidea y fagocítica), la cual se propaga formando masas gelatinosas que desarrollan cuerpos fructíferos con esporas. Situados entre los animales y los vegetales, se alimentan de bacterias y pueden desplazarse sobre el sustrato. Los ejemplos de Kolosobarne son similares a los hallados previamente en otras cuevas de Gipuzkoa y se incluyen en el orden Trichiida (Galán & Nieto, 2010; Galán et al, 2010). Posiblemente se trata de especies nuevas, aún no descritas a nivel específico, cuyo ciclo biológico y modo de ocurrencia resultan inhabituales, ya que los plasmodios de Mycetozoa se encuentran en zona de oscuridad total, creciendo y fructificando sobre espeleotemas y paredes expuestas de roca, donde el contenido orgánico es excepcionalmente bajo. Estos protozoos, unicelulares pero de gran tamaño, se alimentan de bacterias que fagocitan. En sus inmediaciones se encuentran muchos biofilms de bacterias blancas y amarillas, las últimas probablemente pertenecientes al grupo *Xanthobacter* o algún género afín.

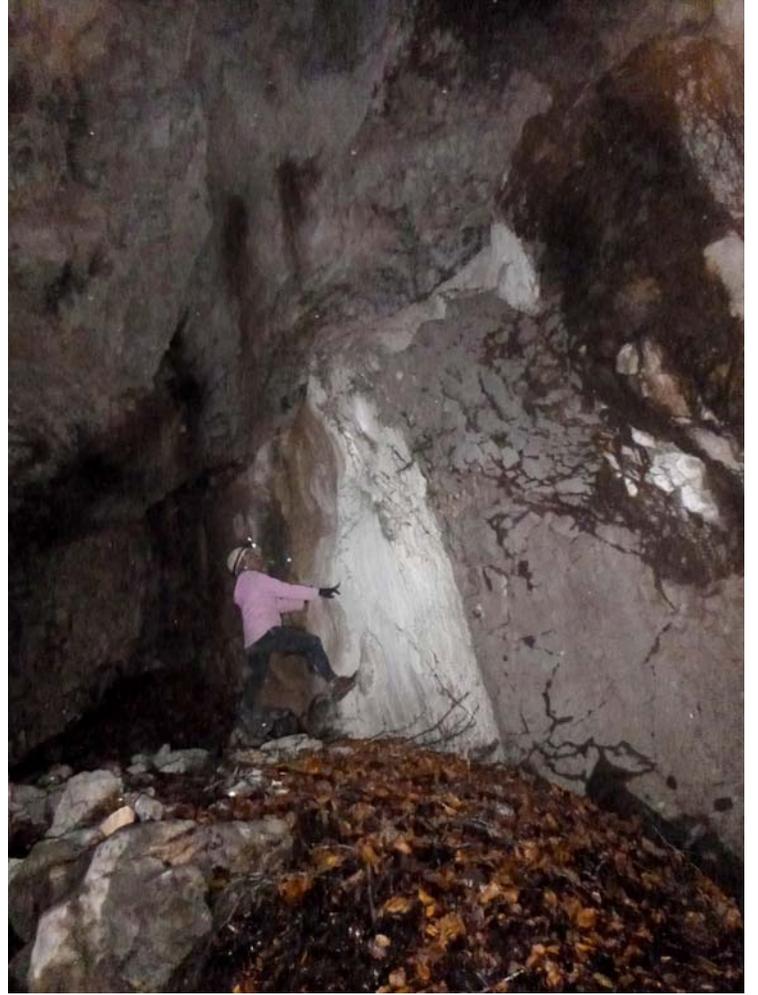
La presencia de bacterias y amebas gigantes sobre las espeleotemas muestran su estrecha asociación a las mismas, lo que sugiere que su actividad metabólica interviene en la génesis de las propias espeleotemas. Algunas muestras tomadas vistas al microscopio muestran una estructura compleja, fibrosa, con numerosos filamentos entrelazados y acumulaciones o agregados de fragmentos cristalinos menores. Entre ellos se encuentran algunas formas esféricas, oblongas y ahusadas que se asemejan a las morfologías de distintos tipos bacteriales. Tras intentos de cultivo en placa con agar pudimos identificar a la especie *Macromonas bipunctata*, bien conocida por ser una bacteria que interviene en la precipitación activa de moonmilk. Las colonias forman un biofilm blanco en la superficie del medio de cultivo con pequeñas colonias planas adyacentes de 1-4 mm de diámetro.

Mineralógicamente, los análisis DRX efectuados en las muestras tomadas de la zona superficial de las espeleotemas, sólo identificaron calcita en la composición del moonmilk. No obstante, entre los plasmodios de Mycetozoa y la roca caja, también encontramos algunos muy pequeños agregados de acículas de yeso.

Todo ello sugiere que la génesis y desarrollo de estas espeleotemas globulares es un proceso biogénico, donde las bacterias intervienen en la precipitación de calcita y formación del moonmilk. Con predominio sobre la precipitación química de calcita a partir del agua de percolación. Estos aspectos serán tratados con mayor extensión en el apartado de Discusión.



**Figura 01.** Sma-cueva de Kolosobarne (Sierra de Aralar). Boca superior: sima de -18 m de desnivel.



**Figura 02.** Sima de acceso con cono de derrubios en su base. Entre los rellenos orgánicos de madera y hojarasca hay crecimientos de hongos y habitan numerosos invertebrados detritívoros.



**Figura 03.** Coladas estalagmíticas y cascada con pequeño caudal de agua en nicho lateral de la sala de la sima.



**Figura 04.** Parte baja de la sala de la sima con fracturas rellenas de óxidos de hierro en activo proceso de colapso.



**Figura 05.** Galería descendente con suelo de clastos y techo bajo (arriba) que enlaza con la segunda sala (debajo).



**Figura 06.** Segunda sala, de 60 m de diámetro, con espeletemas en las paredes y suelo de grandes bloques.



**Figura 07.** Diversos aspectos de la segunda sala, de grandes dimensiones, con suelo de bloques clásticos.



**Figura 08.** La segunda sala posee bóvedas con redes de fisuras ortogonales, espeleotemas y algunas zonas planas.



**Figura 09.** Continuación ascendente de la segunda sala, con algunas espeleotemas globulares creciendo a partir de fisuras ortogonales en la bóveda.



**Figura 10.** Zona de la bifurcación, con algunas espeleotemas globulares y quiróptero *Rhinolophus hipposideros*.



**Figura 11.** Galería ascendente que conduce a la segunda boca, con bloques y rellenos de hojarasca.



**Figura 12.** Bifurcación e inicio de la galería ascendente que conduce a la tercera sala. Ya se empieza a ver una mayor profusión de espeleotemas de moonmilk y tapices bacteriales. Nótese en algunas la base delgada y la forma globular.



**Figura 13.** Colectando fauna cavernícola en la galería ascendente que va hacia la tercera sala.



**Figura 14.** Galería ascendente con tramo en bypass. Presenta suelos con coladas estalagmíticas y paredes y bóvedas con espeleotemas de moonmilk, de variadas formas.



**Figura 15.** Pasos de techo bajo en la galería ascendente, con espeleotemas porosas de moonmilk.



**Figura 16.** Grandes espeleotemas globulares de moonmilk en la tercera sala junto a biofilms de microorganismos.



**Figura 17.** Espeleotemas globulares de moonmilk, de grandes dimensiones, junto a tapices de microorganismos.



**Figura 18.** Prolongación en la parte final de la tercera sala, con espeleotemas globulares y columnas de moonmilk.



**Figura 19.** Grandes espeleotemas globulares de moonmilk de textura algodonosa y muy hidratada. Se aprecian tapices de microorganismos creciendo sobre la roca-caja y sobre las propias espeleotemas.



**Figura 20.** Espeleotemas globulares de moonmilk de grandes dimensiones, con terminaciones distales expandidas y cóncavas. Se aprecian también biofilms bacteriales.



**Figura 21.** En la galería de acceso a la tercera sala hay algunas estalactitas cónicas, pero pasan a ser predominantes las estalactitas globulares y cilíndricas de moonmilk, con terminaciones redondeadas de mayor diámetro.



**Figura 22.** Sobre la roca- caja y sobre las espeleotemas hay extensos biofilms blancos de bacterias y otros amarillos de plasmodios de amebas gigantes Mycetozoa (protozoos Amoebozoa). En las partes más altas de las bóvedas ingresan raicillas al interior de la sala. Las bacterias y amebas brillan a la luz de las linternas, con un llamativo efecto estético.



**Figura 23.** Detalles del ingreso de raicillas en la tercera sala de la cavidad (arriba) y profusión de espeleotemas globulares y columnas de moonmilk (debajo), de texturas algodonosas, blandas y muy hidratadas.



**Figura 24.** Vistas sobre otros ejemplos de grandes espeleotemas de moonmilk formados por acción bacteriana.



**Figura 25.** Extensos biofilms de microorganismos sobre la roca-caja caliza y espeleotemas de moonmilk de calcita.



**Figura 26.** Distinto colorido de las espeleotemas de moonmilk de origen biogénico y profusión de tapices bacteriales.



**Figura 27.** Gran diversidad de espeleotemas globulares de moonmilk e ingreso de raíces a la cueva-sima de Kolosobarne. Nótese las terminaciones distales casi planas de algunas de ellas.



**Figura 28.** Algunas espeleotemas adoptan formas casi esféricas (arriba) y detalle de otro ejemplar de quiróptero *Rhinolophus hipposideros* encontrado en otra de las salidas en el acceso a la tercera sala (debajo).



**Figura 29.** Kolosobarne resulta una cavidad extraordinaria por la gran profusión y diversidad de grandes espeleotemas globulares de moonmilk de origen biogénico.



**Figura 30.** Detalles de tapices blancos de bacterias y amarillos de amebas gigantes Mycetozoa creciendo sobre la roca-caja y sobre las espeleotemas globulares de moonmilk. Unos rasgos geo-microbiológicos de gran interés.

## FAUNA CAVERNÍCOLA

Las prospecciones biológicas efectuadas en la cavidad, con observaciones detalladas, pero sin empleo de cebos atrayentes, permitieron encontrar e identificar un total de 21 especies de macrofauna cavernícola (11 de ellas troglóxenas, siete troglófilas y tres troglobias). La meiofauna (terrestre y acuática) no fue objeto de estudio, ya que nuestro interés se centró en estudiar y documentar la ocurrencia de espeleotemas globulares de moonmilk y microorganismos asociados.

En el cono de derrubios bajo la sima encontramos varios ejemplares de oligoquetos *Dendrodrilus rubidus* (Lumbricidae), lombriz terrestre pigmentada de 8-10 mm de talla. Se trata de una especie que tolera bajas temperaturas y habita en el medio edáfico en bosques de montaña de Europa. Es una especie invasiva y actualmente tiene una distribución cosmopolita. Aunque es una forma epígea, también ha sido hallada en cuevas, donde se comporta como troglófila. Como otras especies de oligoquetos terrícolas es de hábitos geófagos y puede habitar en sedimentos arcillosos ricos en materia orgánica y constantemente húmedos de las entradas de las cuevas, que son el equivalente cavernícola de los horizontes profundos del suelo.

Los moluscos están representados por cuatro especies de gasterópodos terrestres: el limaco *Arion ater* (Arionidae), los caracoles troglóxenos *Cochlostoma hidalgoi* (Cochlostomatidae), *Cepaea nemoralis* (Helicidae), y la especie troglófila *Oxychilus draparnaudi* (Zonitidae). Las tres primeras habitan en zona de penumbra, mientras que la última penetra hasta la zona oscura.

*O.draparnaudi* es de hábitos polífagos y se alimenta de restos vegetales y animales muy diversos, teniendo preferencias carnívoras: puede preda sobre dípteros y lepidópteros vivos de la asociación parietal; para ello, las especies cavernícolas como *O.draparnaudi* presentan adaptaciones especiales en su estómago y hepatopáncreas.

Resultó llamativo el hallazgo en las paredes de la base de la sima de ejemplares juveniles del limaco *Arion ater*, de 10 mm de talla y cuerpo completamente blanco, con los tentáculos oculares y parte frontal de la cabeza negros. Aunque esta morfología juvenil es conocida para la especie, en nuestro caso es la primera vez que observamos limacos blancos de talla diminuta en cuevas. Parece probable que la especie se reproduzca y críe en la cavidad.

Los araneidos comprenden especies troglófilas comunes en cuevas de la región, entre ellas: *Meta bourneti* (Tetragnathidae), y *Tegenaria inermis* (Agelenidae); todas ellas predan sobre otros representantes de la asociación parietal, tales como dípteros, lepidópteros, isópodos y otros invertebrados.

Otras formas troglófilas incluyen isópodos terrestres *Oniscus asellus* (Oniscidae) y colémbolos *Isotomiella minor* (Isotomidae). La primera de ellas, detritívora, se extiende por toda la cavidad, mientras que los colémbolos Isotomidae, de hábitos micrófagos, fueron hallados entre la madera y hojarasca del cono de derrubios de la base de la sima.

Los dípteros y lepidópteros incluyen al menos cinco especies troglóxenas y una troglófila, comunes en cuevas de la región: los dípteros *Rhynossia fenestralis* (Mycetophilidae), *Limnobia nubeculosa* (Limnobiidae), *Phora pusilla* (Phoridae), *Megaselia aequalis* (Phoridae), y los lepidópteros *Scoliopteryx libatrix* (Noctuidae) y *Triphosa dubitata* (Geometridae). *R.fenestralis* es considerada troglófila o subtrogilófila, ya que sus larvas carnívoras se desarrollan en la cavidad. *Megaselia aequalis* tiene larvas carnívoras que se alimentan preferentemente de huevos de limacos; mientras que *P.pusilla* es de hábitos saprófagos. Datos más extensos sobre la biología de estas especies pueden consultarse en Galán (1993).

Cabe señalar el hallazgo de muchos ejemplares muertos del lepidóptero *Scoliopteryx libatrix* en la galería ascendente que va hacia la segunda boca, en todos los casos recubiertos por mohos blancos.

Los crecimientos de mohos blancos y también de pequeños hongos basidiomicetos son frecuentes entre los detritos leñosos en proceso de descomposición en el cono de derrubios.

Otra especie rara en la cavidad y reportada por segunda vez para cavidades de Aralar es el tisanuro *Lepismachilis ysignata* (Zygentoma Machilidae). Especie de amplia distribución europea, previamente había sido reportada para España de cavidades en Cataluña (Montblanch y Tarragona) (Bach de Roca, 1976). De 12 mm de talla, cuerpo alargado y aplanado, con tórax más ancho que el abdomen, posee el cuerpo recubierto de escamas, un par de antenas y el abdomen terminado en tres cercos caudales. Su aparato bucal es masticador, alimentándose -como otras especies del género- de restos vegetales ricos en celulosa. Fue encontrada en las paredes de la zona de entrada de la boca de la cueva con suelo de bloques y algo de hojarasca.

También entre la hojarasca y sedimento del suelo, del cono de derrubios bajo la sima, en zona oscura, encontramos una especie troglóxena de coleóptero: *Pterostichus cristatus* (Carabidae: Pterostichinae), de color negro y talla grande. Es una especie epígea, silvícola, de preferencias oscurícolas, frecuente en la entrada de cuevas y en el interior de las mismas (Camino Peláez & Salgado, 2007). En la cavidad preda sobre ácaros, colémbolos y otros microinvertebrados presentes en la hojarasca.

Los vertebrados troglóxenos incluyen la especie menor de murciélago de herradura *Rhinolophus hipposideros* (Rhinolophidae). *R. hipposideros* tiene preferencia por cavidades más frías que *R. ferrumequinum*, aunque no es infrecuente en la región encontrar ambas especies cohabitando en la misma cavidad (Galán, 1997). La especie hallada frecuenta la cavidad en todas las épocas del año. Pequeños acúmulos de guano de este quiróptero parecen ser utilizados por colémbolos e isópodos y a menudo poseen crecimientos de mohos e hifas de hongos que atraen a dípteros fungívoros.

Adicionalmente fueron encontradas en la cavidad heces y huellas de carnívoros de talla grande, tales como la garduña *Martes foina* (Mustelidae) y de zorro *Vulpes vulpes* (Canidae), especies que deben frecuentar la cavidad a partir de la boca de cueva, posiblemente para aprovechar la presencia de goteos y cuerpos de agua en ella.

Las formas troglobias comprenden tres taxa terrestres: colémbolos *Pseudosinella antennata* (Entomobryidae); coleópteros *Euryspeonomus breullii* (Leiodidae: Leptodirinae), y pseudoescorpiones *Neobisium (Blothrus) breullii* (Neobisiidae).

Los colémbolos son abundantes sobre restos leñosos de ramas y madera en descomposición. Las otras dos especies son menos abundantes y han sido encontradas deambulando sobre paredes de roca, sedimentos y sustratos estalagmáticos. Datos más extensos sobre estas especies han sido dados previamente (Galán, 1993, 2004; Zaragoza & Galán, 2007), por lo que no los incluiremos aquí. Sólo destacar que *E.breulli* y *N.(B.)breulli* son endemismos restringidos a cavidades de Aralar. En cuanto a sus hábitos tróficos, los colémbolos Entomobryidae y coleópteros Leptodirinae son básicamente micrófagos y detritívoros, mientras que los pseudoescorpiones *Neobisium* del subgénero *Blothrus* son activos depredadores de otros invertebrados, especialmente de colémbolos, coleópteros Leptodirinae, dípteros y ácaros. Un listado de las especies halladas es presentado en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Lista de las especies cavernícolas identificadas, con indicación de su categoría ecológica. Suma 21 taxa (3 troglobios).

Grupo	Familia o grupo superior	Especie	Categoría ecológica
Annelida Oligochaeta	Lumbricidae	<i>Debdrodrilus rubidus rubidus</i> (Savigny)	Troglófilo
Mollusca Gastropoda	Cochlostomatidae	<i>Cochlostoma hidalgoi</i> (Crosse)	Troglófilo
Mollusca Gastropoda	Arionidae	<i>Arion ater</i> (Linnaeus)	Troglófilo
Mollusca Gastropoda	Helicidae	<i>Cepaea nemoralis</i> (Linneo)	Troglófilo
Mollusca Gastropoda	Zonitidae	<i>Oxychillus draparnaudi</i> (Beck)	Troglófilo
Pseudoescorpiones	Neobisiidae	<i>Neobisium (Blothrus) breulli</i> Bolívar	Troglófilo
Araneida	Tetragnathidae	<i>Meta boumeti</i> Simon	Troglófilo
Araneida	Agelenidae	<i>Tegenaria inermis</i> Simon	Troglófilo
Crustacea Isopoda	Oniscidae	<i>Oniscus asellus</i> Linné	Troglófilo
Collembola	Isotomidae	<i>Isotomiella minor</i> Schaeffer	Troglófilo
Collembola	Entomobryidae	<i>Pseudosinella antennata</i> Bonet	Troglófilo
Thysanura Zygentoma	Machilidae	<i>Lepismachilis ysignata</i> Kratochvil	Troglófilo
Diptera	Mycetophilidae	<i>Rhymosia fenestralis</i> Meigen	Troglófilo
Diptera	Limnobiidae	<i>Limnobia nubeculosa</i> (Meigen)	Troglófilo
Diptera	Phoridae	<i>Phora pusilla</i> Meigen.	Troglófilo
Diptera	Phoridae	<i>Megaselia aequalis</i> (Wood)	Troglófilo
Lepidoptera	Geometridae	<i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus)	Troglófilo
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Scoliopteryx libatrix</i> (Linnaeus)	Troglófilo
Coleoptera	Leiodidae. Leptodirinae	<i>Euryspeonomus breulli</i> Jeannel	Troglófilo
Coleoptera	Carabidae. Pterostichinae	<i>Pterostichus cristatus</i> Dufour	Troglófilo
Chiroptera	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein)	Troglófilo

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El ambiente hipógeo es en general muy limitado en nutrientes, pero contiene una amplia variedad de interfases redox. Las interacciones entre los microorganismos que habitan en las cuevas y los ambientes minerales pueden conducir tanto a la disolución de la roca-caja como a la precipitación de minerales secundarios (= espeleotemas). En las cuevas, la mineralización inducida por microorganismos ha sido documentada para la formación de carbonatos, moonmilk, sulfatos, silicatos, oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, etc., a escalas que van desde el nivel microscópico a macro-rasgos. La precipitación de calcita puede ser producida por procesos metabólicos mediados por bacterias, como parte de su ciclo de vida, y esta puede ocurrir por procesos tanto activos como pasivos. De hecho, la más clara evidencia de formación de espeleotemas por acción bacteriana corresponde al moonmilk y ha sido ampliamente documentada para distintos tipos de moonmilk (Caumartin, 1961, 1963; Hill & Forti, 1997; Northup et al, 1997).

En la sima-cueva de Kolosobarne hay numerosas espeleotemas normales de calcita y espeleotemas porosas formadas por acción bacteriana, así como recubrimientos ténues sobre paredes y bóvedas que presentan alteraciones en forma de moonmilk. Esto también ocurre en otras cuevas cercanas. Pero lo curioso y lo más interesante de Kolosobarne son sus grandes espeleotemas globulares y porosas, con texturas algodonosas y muy hidratadas, constituidas por moonmilk de calcita.

Junto a ellas hay biofilms blancos de bacterias y plasmidios amarillos de amebas gigantes Mycetozoa que, obviamente, se están alimentando de ellas. Ambos se encuentran sobre la roca-caja adyacente y también sobre las espeleotemas. Al microscopio puede apreciarse su ocurrencia tanto en la superficie de las espeleotemas como sobre los primeros milímetros de espesor de su volumen interno, disminuyendo su abundancia en profundidad, hasta no ser apreciables.

La estructura interna de las espeleotemas globulares vista al microscopio es compleja, con formas filamentosas entrelazadas, engrosamientos y agregados de fragmentos cristalinos menores. Así como algunas estructuras con morfología y talla bacteriana.

Tras cultivo en agar pudimos identificar la presencia de la especie *Macromonas bipunctata*, bacteria del azufre Gram-negativa, catalasa positiva y heterótrofa, de gran tamaño celular (9 µm x 20 µm). Estas bacterias son capaces de sintetizar y almacenar oxalatos de calcio dentro de sus células. Pero esta especie no está sola (o no es la única presente) sino que forma parte de biofilms complejos. Se supone que *Macromonas bipunctata* es en parte responsable de metabolizar ácidos orgánicos y producir la deposición de calcio en forma de calcita, como un subproducto de su actividad metabólica, la cual deja inclusiones de cristales de calcita dentro de la célula del microorganismo. Esta especie de bacteria puede vivir en diferentes ambientes: en agua dulce con alto contenido en calcio y alta alcalinidad, formando esteras blancas en algunas aguas residuales, y en el moonmilk en cavidades subterráneas (Hill & Forti, 1997; Karavaiko et al, 2006; La Rivière & Schmidt, 2006).

Los biofilms o tapices bacteriales observados son en realidad colonias organizadas y estructuradas de bacterias, incluidas en una matriz de exopolisacáridos fabricadas por ellas mismas. Los tapices son en sí mismos ecosistemas en miniatura, con características funcionales y estructuras complejas, conformados por una o varias especies de microorganismos (bacterias, arquea, protozoos) asociados a una superficie o sustrato. La capacidad de formar biofilms no parece restringirse a ningún grupo específico de microorganismos y, en la actualidad, se considera que bajo condiciones ambientales adecuadas la inmensa mayoría de ellos, independientemente de la especie, pueden existir dentro de biofilms adheridos a superficies en una interfase sólido/líquida, tal como ocurre en el interior de muchas cuevas.

Los microorganismos se encuentran en estado libre sólo transitoriamente. Las células individuales se van asociando al sustrato por adhesión y luego se agregan en microcolonias celulares, generando por posterior maduración del biofilm el recubrimiento bacteriano que observamos a simple vista. En una última fase las células que conforman el biofilm se desprenden de la colonia, retornan a la vida planctónica y se dispersan para repetir el ciclo y extenderse (Caumartin, 1963; Northup & Lavoie, 2001; Bonacci et al, 2009; Engel, 2010; Engel & Northup, 2008).

Algunos de los microorganismos pueden formar redes de filamentos que endurecen los films. La formación de los biofilms se inicia mediante señales extracelulares presentes en el medio o producidas por los microorganismos. Una vez adheridos a un sustrato, coordinan la diferenciación y formación de estructuras complejas, con características funcionales diversas, así como el desarrollo de una matriz extracelular adhesiva protectora (Northup & Lavoie, 2001; Engel, 2010).

Cabe destacar de modo general que un biofilm puede contener un 15% de células y hasta un 85% de matriz extracelular, en la que se forman canales y estructuras por donde circulan agua, enzimas, nutrientes y residuos. Allí las células y grupos de células pueden establecer relaciones de cooperación, comunicándose a través de señales químicas, que regulan la expresión de los genes de manera diferente en las distintas partes de la comunidad, como un tejido en un organismo pluricelular. Para adaptarse a un biofilm, los microorganismos hacen cambios en su estructura y metabolismo. Algunos genes y proteínas se encienden y se apagan a través de las diferentes fases de desarrollo de la comunidad. La expresión génica de los biofilms es bastante distinta a la de las células libres ya que los requerimientos y organizaciones son muy diferentes y es necesaria una sincronización de eventos para vivir en comunidad. Por ello resulta difícil no sólo identificar las especies presentes sino también el funcionamiento del conjunto.

En realidad es poco lo que sabemos de las interacciones geomicrobiológicas en los biofilms en cuevas. Podemos apreciar algo sobre su macroforma o colorido, u observar algunos detalles al microscopio, pero conocemos muy poco de la extraordinaria complejidad de estos conjuntos de seres vivos.

En general es conocida la intervención de distintos microorganismos, fundamentalmente bacterias, en la alteración del sustrato rocoso y en la génesis de diversas espeleotemas, especialmente moonmilk. Muchas bacterias, como producto de su metabolismo, generan ácidos que atacan el sustrato rocoso, produciendo corrosión de la roca. De igual modo es frecuente que las bacterias generen polímeros extracelulares, usualmente ácidos, que contienen grupos funcionales que fácilmente enlazan iones metálicos y contribuyen a la corrosión y a la ruptura de carbonatos y silicatos (Ford & Mitchell, 1990). La presencia de Mycetozoa es un indicador de diversos tipos de actividad bacteriana, la cual estaría involucrada en procesos activos de corrosión de la roca-caja y/o de creación o destrucción de depósitos de minerales secundarios en las cuevas.

Los microorganismos pueden promover la precipitación de carbonatos a través de controles biológicos al alterar los índices de saturación de las soluciones o al remover inhibidores cinéticos de la cristalización, tales como iones magnesio, sulfato o fosfato, lo que influye en la morfología de los cristales de calcita generados.

La más convincente evidencia de acción microbiana en la formación de espeleotemas es la relativa al moonmilk. Su delicada estructura fibrosa y facilidad de alteración ha dificultado su análisis. Entre los mecanismos propuestos para la formación del moonmilk mediada por bacterias se encuentran los dos siguientes: (a) Corrosión bioquímica de la roca-caja por ácidos orgánicos producidos por microorganismos (*Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*). (b) Precipitación activa de moonmilk por bacterias como *Macromonas bipunctata* (Hill & Forti, 1997). Tales microorganismos pueden intervenir en la deposición de moonmilks constituidos por otros minerales; no sólo calcita o hidromagnesita, sino también en moonmilks constituidos por yeso, sílice amorfo, etc. Cañaveras et al (2006) han mostrado que el moonmilk contiene numerosos filamentos de especies de Proteobacteria con fenotipos que precipitan calcita. Otros investigadores han identificado también la presencia de *Crenarchaeota*, un grupo de Archaea, en tales depósitos (Gonzalez et al., 2006). La evidencia morfológica sugiere que el moonmilk se forma por colonización microbiana, seguida de deposición de calcita a lo largo de las superficies bacteriales, ruptura microestructural, y acumulación de fibras colapsadas. A medida que el proceso se repite a través de oscilaciones estacionales, los depósitos de moonmilk se hacen más gruesos, formando los significativos depósitos hallados en muchas cuevas. Los trabajos citados presentan un variado cuadro de detalles sobre las relaciones fisiológicas y geoquímicas en la formación de depósitos biogénicos en los ambientes de cuevas.

Las espeleotemas globulares de gran tamaño presentes en Kolosobarne sugieren que el proceso de su génesis se inicia a partir de las aguas de infiltración que emergen en las bóvedas y paredes a través de redes ortogonales de fisuras y/o de la propia porosidad de la roca. Inicialmente, como ocurre en parte de la sala mayor, se forman pequeñas estalactitas que van siendo colonizadas por bacterias.

Nuestra hipótesis es que la calcita inicial de origen químico es colonizada por las bacterias y alterada y transformada en moonmilk de calcita. Los filamentos y agregados cristalinos van creciendo en volumen por la deposición microbiana de calcita, la cual, progresivamente, pasa a ser el proceso dominante. De este modo la espeleotema se expande y adopta una forma globular, creciendo tanto lateralmente como verticalmente, hasta adoptar formas cilíndricas. La porosidad de la espeleotema globular permite que prosiga el flujo del agua de infiltración, con sucesivos depósitos y acreciones de material carbonatado.

La ruptura microestructural y acumulación de fibras se repite a través de oscilaciones estacionales y variaciones pluviométricas. A tenor de las distribuciones de los microorganismos que precipitan calcita, el crecimiento en volumen prosigue. Las partes internas van siendo fosilizadas mientras que las capas exteriores siguen biológicamente activas. A partir de cierto momento y volumen, la fuerza de gravedad hace que la espeleotema tienda a crecer con formas cilíndricas y columnares. Hasta alcanzar las dimensiones de las grandes espeleotemas que observamos en la actualidad.

Las morfologías observadas sugieren este curioso crecimiento, con formas expandidas incluso en las terminaciones distales de las espeleotemas. Obviamente se trata de estalactitas muy porosas, por donde las aguas de infiltración siguen circulando, con sus partes externas biológicamente activas y con sucesiva precipitación y acreción de carbonatos. Los factores y detalles que controlan estos crecimientos, así como nuestra comprensión sobre las funciones biogeoquímicas que desempeñan los microorganismos, plantean todavía múltiples interrogantes.

Cabe agregar que la mayor profusión de espeleotemas globulares se da en la tercera sala, menos ventilada, de atmósfera más calma y muy próxima a la superficie, como lo prueba la presencia de numerosas raicillas. Mientras que el resto de la cavidad resulta más ventilada, por la presencia de intercambios de aire entre las dos bocas. Así que también las condiciones microclimáticas son un factor que influye en la ocurrencia y distribución de las espeleotemas globulares de moonmilk en la cavidad.

La cueva de Kolosobarne presenta en adición un ecosistema hipógeo con al menos 21 especies cavernícolas identificadas. Y con algunos rasgos curiosos. Como la ocurrencia en el cono de derrubios bajo la boca de sima del oligoqueto troglófilo *Dendrodrilus rubidus* o de limacos juveniles blancos *Arion ater*, así como numerosos crecimientos de hongos sobre la madera y materia vegetal en descomposición. Igualmente es llamativo el alto número de ejemplares muertos del lepidóptero *Scoliopteryx libatrix* recubiertos por mohos blancos. La representación hallada incluye tres especies troglobias altamente modificadas y de gran antigüedad filética, en especial el pseudoescorpión *Neobisium (Blothrus) breuili*. Dos de ellas son además endémicas de Aralar. Estas especies troglobias son reliquias de antiguas faunas de tipo tropical y subtropical que poblaron las tierras emergidas de la placa continental Europea durante el Terciario, y que hoy aún subsisten como "fósiles vivientes" (en las acepciones de: Vandel, 1964; Galán, 1993; Galán & Herrera, 2000) en el subsuelo de la sierra, constituyendo ejemplos de gran interés biológico, biogeográfico y evolutivo.

La principal conclusión de este trabajo es que aún es muy poco lo que conocemos de la diversidad microbiana en ambientes de cuevas y de su actividad metabólica y procesos en los que interactúan estos microorganismos, entre ellos la formación de grandes espeleotemas globulares de moonmilk, que hacen de Kolosobarne una cavidad interesante.

## AGRADECIMIENTOS

A Juliane Forstner, Iñigo Herraiz y Ainhoa Miner, miembros del Dpto. de Espeleología de la S.C. Aranzadi, por su valiosa ayuda en las prospecciones y trabajos de campo efectuados en la cavidad en distintas fechas. A tres revisores de Biosphere Consultancies (United Kingdom), Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) y Sociedad de Ciencias Aranzadi (País Vasco), por sus correcciones y útiles sugerencias.

## BIBLIOGRAFIA

- Bach de Roca, C. 1976. Primeras citas de Machilida cavernícolas de España. *Miscelánea Zoológica*, 3(5): 79-85.
- Baldauf, S. 2008. An overview of the phylogeny and diversity of eukaryotes. *Journal of Systematics and Evolution*, 46 (3): 263-273.
- Boillot, G. & J. Malod. 1988. The north and north-west Spanish continental margin: a review. *Rev. Soc. Geol. España*, 1: 295-316.
- Bonacci, O.; T. Pipan & D.C. Culver. 2009. A framework for karst ecohydrology. *Environmental Geo.*, 56: 891-900.
- Camino Peláez, M. & J.M. Salgado. 2007. Ecología y biología de algunas especies de Carabidae (Coleoptera) del Macizo del Suevo (Asturias, España): estudios fenológicos y de fluctuación anual. *Bol. Soc. Entomol. Aragonesa*. 40: 333-350.
- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- Castiella, J.; J. Solé; S. Niñerola & A. Otamendi. 1982. Las Aguas Subterráneas en Navarra. Proyecto Hidrogeológico. Diputación Foral Navarra, Dir.Obras Públicas, Serv.Geol., Pamplona, 229 pp.
- Caumartin, V. 1961. La Microbiologie souterraine: ses techniques, ses problèmes. *Bull.Soc.Nord.France*, 14.
- Caumartin, V. 1963. Review of the microbiology of underground environments. *Bull. Nat. Speleol. Soc.*, 25:1-14.

- Cañaveras, J.C.; S. Cuezva; S. Sanchez-Moral; J. Lario; L. Laiz; J.M. Gonzalez & C. Saiz-Jimenez. 2006. On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. *Naturwissenschaften*, 93: 27-32.
- Duvernois, C.; M. Floquet & B. Humbel. 1972. La Sierra d'Aralar. *Stratigraphie. Structure. Cartographie au 1/25.000*. 264 p. Thesis doctoral. Univ. Dijon. 2 Tomos. Mapa geológico 1:25.000.
- Engel, A.S. 2010. Microbial Diversity of Cave Ecosystems. Chapter 10, in: L.L. Barton et al. (eds.), *Geomicrobiology: Molecular and Environmental Perspective*, 219 Springer Science.
- Engel, A.S. & D. Northup. 2008. Caves and karst as model systems for advancing the microbial sciences. In: Martin, J. & W. White (eds). *Frontiers in Karst Research*. Karst Waters Institute, Special Publication 13, Leesburg Virginia, pp 37-48.
- Floquet, M. & B. Mathey. 1984. Evolution sédimentologique, paléogéographique et structurale des marges ibérique et européenne dans les régions basco-cantabrique et nord-ibérique au Crétacé moyen et supérieur. *Act. Lab. Sédim. Paléont. Univ. Sabatier*, 1: 129-136.
- Floquet, M.; C. Duvernois & B. Humbel. 1977. La Sierra de Aralar: Le support sédimentaire et l'architecture dans les paysages. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 24: 167-194. San Sebastián.
- Ford, T. & R. Mitchell. 1990. The ecology of microbial corrosion. In: Marshall, K.C. (Ed.). *Advances in microbial ecology II*. Plenum Press, New York, NY: 231-262.
- Galán, C. 1978. El río subterráneo de Ondarre y la karstificación en la Sierra de Aralar. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 30(4): 257-283. (Aparece como anónimo).
- Galán, C. 1988. Zonas kársticas de Guipúzcoa: Los grandes sistemas subterráneos. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 40: 73-89.
- Galán, C. 1989. Estudio hidrogeológico del sistema kárstico de Ormazarreta (Sierra de Aralar). *Príncipe de Viana (Supl.Ciencias)*, Gob.Navarra, Dpto. Educación y Cultura, IX(9): 5-42.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163.
- Galán, C. 1997. Fauna de Quirópteros del País Vasco. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C.Aranzadi, 49 : 77-100.
- Galán, C. 2004. Espeleología física del karst de Aralar: una visión global de sus principales cavidades y sistemas subterráneos. Pág. web aralar-natura.org (Gobierno Vasco & S.C.Aranzadi), 28 pp.
- Galán, C. 2004. Fauna cavernícola de la Sierra de Aralar: ecología, taxonomía y evolución. Pág. web aralar-natura.org (Gobierno Vasco & S.C.Aranzadi), 22 pp.
- Galán, C. 2018. El ecosistema cavernícola de la Cueva de Putxerri (Sierra de Aralar). *Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi*. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 35 pp.
- Galán, C. 2021. Fauna cavernícola de una cavidad fósil en la zona alta del karst del sinclinal central de la Sierra de Aralar. *Publ. Dpto. Espeleo. S.C.Aranzadi*. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 25 pp.
- Galán, C. & F. Etxeberria. 1994. Karsts y cavernas de Gipuzkoa. Colección BERTAN, Dpto. Cultura, D.F.Gipuzkoa (Ed.Euskera + Inglés-Francés-Español). (6): 72 pp + 30 pp. 160 Ilustr.color.
- Galán, C. & F. Herrera. 2000. Fauna cavernícola: ambiente, especiación y evolución. *Bol. Sociedad Venezolana de Espeleología*, 32: 13-43.
- Galán, C. & M. Nieto. 2010. Mycetozoa: curiosas formas de vida en cuevas de Gipuzkoa. Nuevos hallazgos en caliza Urgoniana en los karsts de Aizkorri (Igitegi), Izarraitz (Aixa), y Udalaiz (Montxon koba). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 33 pp.
- Galán, C.; Nieto, M. & C. Vera Martin. 2010. Recubrimientos de microorganismos (Mycetozoa) y espeleotemas en una cueva en caliza Jurásica de la cuenca del río Leizarán (Gipuzkoa, País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- González, J.M.; M.C. Portillo & C. Saiz-Jimenez. 2006. Metabolically active Crenarcheota in Altamira Cave. *Naturwissenschaften*, 93: 42-45.
- Hill, C.A. & P. Forti. 1997. *Cave minerals of the world*. 2nd ed. Huntsville, Ala., National Speleological Society, 463 p.
- Karavaiko, G.; G. Dubinina & T. Kondratieva. 2006. Microorganismos litotróficos de los ciclos oxidativos del azufre y el hierro. *Microbiología*, 75 (5): 512-545.
- La Rivière, J. & K. Schmidt. 2006. Eubacterias oxidantes de azufre morfológicamente conspicuas. In: M. Dworkin et al (Eds). *Los Procariotas*. Vol.7 (3ª ed.). Pp: 941-954.
- Northup, D.; A.L. Reysenbach & N.R. Pace. 1997. Microorganisms and speleothems. In: Hill, C.A. & P. Forti, eds., *Cave Minerals of the World*, 2nd ed, National Speleological Society, Huntsville, p. 261-266.
- Northup, D. & K. Lavoie. 2001. Geomicrobiology of caves: a review. *Geomicrobiol Journ.*, 18: 199-222.
- Rat, P. 1988. The basque-cantabrian bassin between the iberian and european plates, some facts but still many problems. *Rev.Soc. Geol.España*, 1: 327-348.
- Rat, P. & M. Floquet. 1975. Un exemple d'interrelation entre socle, paleogéographie et structure dans l'arc pyrénéen basque: la sierra de Aralar. *Rev.Geo.Phys. et Géol.Dynam.*, 17(5): 497-512.
- Vandel, A. 1964. *Biospéologie: La Biologie des Animaux cavernicoles*. Ed.Gauthier-Villars, Paris, 619 p.
- Zaragoza, J. & C. Galán. 2007. Pseudoescorpiones cavernícolas de Gipuzkoa y zonas próximas. Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 14 pp.