HALLAZGO DE ANFÍPODOS Y OPILIONES TROGLOBIOS EN MINAS EN TERRENOS PALEOZOICOS NO-KÁRSTICOS (EN EL PAÍS VASCO) Y SUS IMPLICACIONES EN ECOLOGÍA SUBTERRÁNEA Y EVOLUCIÓN DE LA FAUNA CAVERNÍCOLA.

Finding of amphipods and troglobian opilions in mines in non-karst Paleozoic lands (in the Basque Country) and their implications in Subterranean Ecology and evolution of cave-fauna.

Carlos GALÁN. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.

Hallazgo de anfípodos y opiliones troglobios en minas en terrenos Paleozoicos no-kársticos (en el País Vasco) y sus implicaciones en Ecología subterránea y evolución de la fauna cavernícola.

Finding of amphipods and troglobian opilions in mines in non-karst Paleozoic lands (in the Basque Country) and their implications in Subterranean Ecology and evolution of cave-fauna.

Carlos GALÁN.
Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.
Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Octubre 2021.

RESUMEN

El macizo de Peñas de Aia (832 m de altitud), cercano al Mar Cantábrico y a la frontera con Francia, contiene un batolito granítico rodeado de una aureola metamórfica de pizarras y esquistos de edad Carbonífero (Paleozoico). En las pizarras que rodean al stock de granito, por acción metamórfica e hidrotermal se formaron múltiples vetas y filones polimetálicos, y en ellos se explotaron numerosas minas para la extracción de hierro y galena argentífera, a lo largo de 2.000 años. En una mina que intercepta el nivel freático local encontramos previamente anfípodos troglobios, pero ahora en otras minas hallamos especies troglobias tanto de anfípodos como de opiliones, así como otros taxa troglófilos y troglóxenos. En este caso no se trata de minas que alcanzan un endokarst en caliza, sino de un medio no-kárstico. Esto devela la posibilidad de colonización, evolución y desplazamientos de fauna troglobia, tanto acuática como terrestre, a través de fisuras, vacíos y micro-espacios en litologías que no presentan cuevas pero sí un medio hipógeo profundo, puesto de manifiesto por la excavación de minas. Esto amplía el rango de los hábitats hipógeos conocidos en litologías distintas al karst clásico, aspecto que es discutido en la presenta nota.
Palabras clave: Biología subterránea, Ecología, Evolución, Hidrogeología, esquistos Paleozoicos, Minas, Fauna cavernícola.

ABSTRACT

The Peñas de Aia massif (832 m altitude), close to the Cantabrian Sea and the border with France, contains a granitic batholith, surrounded by a metamorphic aureole of shales and schists of Carboniferous age (Paleozoic). Due to metamorphic and hydrothermal action, multiple veins and polymetallic seams were formed in the shales that surround the granite stock, and in them numerous mines were exploited for the extraction of iron and silver-bearing galena, for 2,000 years. In one mine that intercepts the local water table we previously found troglobian amphipods, but now in other mines we find troglobian species of both amphipods and opilions, as well as other troglophilous and trogloxene taxa. In this case, it is not a question of mines that intercept an endokarst in limestone, but of a non-karstic environment. This reveals the possibility of colonization, evolution and movements of troglobia fauna, both aquatic and terrestrial, through fissures, voids and micro-spaces in lithologies that do not present caves but do present a deep hypogeal environment, revealed by the excavation of mines. This broadens the range of known hypogeal habitats in lithologies other than classical karst, an aspect that is discussed in the present note.
Key words: Subterranean biology, Ecology, Evolution, Hydrogeology, Paleozoic schists, Mines, Cave fauna.

INTRODUCCIÓN

Es frecuente en la perforación de minas y túneles que las galerías intercepten cavidades de un endokarst en caliza. Desde éste pueden pasar a las galerías de mina especies cavernícolas troglobias que poblaban el endokarst. También pueden ocurrir procesos de colonización de minas a partir de medios transicionales, como el medio intersticial y el MSS. En el caso que presentamos en este trabajo, las minas se desarrollan en filones metáliferos en rocas metamórficas compactas, no-kársticas (esquistos Paleozoicos).

El hallazgo en las minas de especies de crustáceos stygobios *Niphargus cismontanus* (Amphipoda: Niphargidae) y arácnidos troglobios *Kratochviliola navarica* (Opiliones: Travuniidae), indica que diversos taxa troglobios (acuáticos y terrestres) habitaban previamente en sistemas de vacíos, fisuras y micro-cavidades en las rocas metamórficas y que desde este ecosistema hipógeo pasaron a las galerías de mina. Lo que a su vez sugiere la existencia de ambientes hipógeos extensos en litologías de roca compacta distintas al karst clásico en rocas solubles como la caliza.

Este hecho resulta novedoso y amplía el rango de hábitats subterráneos conocidos poblados por fauna troglobia, aspecto que será discutido como corolario del presente trabajo. Pero antes describiremos las características hidrogeológicas más resaltantes de las minas exploradas y las especies cavernícolas halladas, que incluyen tanto fauna acuática como terrestre. Las prospecciones bioespeleológicas fueron efectuadas en agosto-septiembre de 2021.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares de *Niphargus* fueron detectados por prospección directa y colectados mediante mallas de plancton. Fueron preservados en etanol 75º y estudiados mediante disección en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon (de 800 aumentos). Los ejemplares de *Katrochviliola* fueron igualmente detectados por prospección directa. Se emplearon también cebos atrayentes pero estos no aportaron información adicional. La morfología y espeleotemas de las galerías de mina muestran rasgos llamativos, los cuales son también descritos e ilustrados mediante fotografía digital.

RESULTADOS

El macizo granítico de Peñas de Aia alcanza 832 m snm de altitud, destacando sobre los relieves cercanos de la comarca del Bidasoa. Su núcleo contiene un batolito granítico rodeado de una aureola metamórfica de pizarras, grauvacas y paraconglomerados cuarzosos, de edad Carbonífero (Paleozoico), los cuales forman parte de la denominada “sucesión esquistosa de Cinco Villas”, en el eje axial Pirenaico. El color de los materiales es oscuro, de gris a negro, y son frecuentes las estructuras de esquistosidad en los términos de grano más fino. La potencia estimada sobrepasa los 2.000 m de espesor (Campos, 1979). La asociación litológica de pizarras micáceas es de colores oscuros a negros y contiene algunos nivelitos de cuarzo y de calizas oscuras.

El stock granítico de Peñas de Aia aflora en una extensión cercana a 100 km^2. En la proximidad del granito se desarrolla un metamorfismo térmico, con formación de corneanas de andalucita y cordierita (corneanas hornbléndicas); más lejos, se pasa a zonas de metamorfismo más bajo, de forma gradual. Las rocas del Carbonífero de Cinco Villas han sufrido un metamorfismo térmico cuyos efectos pueden confundirse con los de la periferia de la aureola. El plutón se considera sin-cinemático tardío o post-cinemático, respecto a las dos fases de deformación principales que se pueden distinguir en el Carbonífero; su emplazamiento, posiblemente ante-Estefaniense, tuvo lugar en el Carbonífero tardío (Campos, 1979).

Por acción metamórfica e hidrotermal se formaron múltiples vetas y filones polimetálicos en todo el anillo de pizarras que rodea al stock de granito. Las mineralizaciones de los filones se explotaron desde la Edad de Hierro y se extienden por todo el entorno entre Oiartzun e Irún (Gipuzkoa) y Vera y Lesaka (Navarra), conociéndose un buen número de cotos mineros abandonados. Los filones de mineral asociados están formados en su mayoría por óxidos de hierro (hematites y goethita), sulfuros (galena argentífera y blenda), y carbonatos (siderita y espato de flúor), observándose un reparto estratificado entre los óxidos de hierro que se encuentran en las proximidades del granito, y los sulfuros que se reparten entre las pizarras de la aureola metamórfica.

Las minas prospectadas se localizan en el coto minero de Arditurri, localizado en el flanco W de Peñas de Aia, en término de Oiartzun (Gipuzkoa, País Vasco). Este complejo minero se explotó durante algo más de 2.000 años y contiene numerosas minas y explotaciones a cielo abierto. Los minerales trabajados son la goethita y siderita para la extracción de hierro, galena para la extracción de plomo y plata, fluorita, blenda y zinc. En época romana se explotó la galena argentífera. Después se explotó esencialmente el hierro, durante toda la Edad Media. Y en época moderna el plomo, los filones de carbonato de hierro y por último también el zinc, cesando la última explotación minera en 1984. Las galerías que se conservan de época romana comprenden 3 km (en 40 minas) pero hay más de 18 km de galerías que fueron trabajadas o ampliadas en distintas épocas. Actualmente la mina principal (Mina Grande) está cerrada y acondicionada en un tramo de 800 m para uso divulgativo-turístico, existiendo un centro de interpretación y parking a su entrada. Nuestras prospecciones comprenden un conjunto de 2,8 km de galerías repartidas en 4 minas, localizadas a mayor altitud que Mina Grande, a ambos lados del arroyo Arditurri, y que denominamos minas 01 á 04.

DESCRIPCIÓN DE LAS MINAS

En la zona minera de Arditurri existen tres filones principales: el filón Santa Bárbara, localizado al SW, y los filones San Joakin y Gaztelu, en la parte NE, el primero de estos al SE del arroyo Arditurri y el segundo al N de dicho arroyo. Las minas 01 y 02 se localizan en el filón San Joakin y las minas 03 y 04 en el de Gaztelu. Las mineralizaciones encajan en materiales pizarrosos de edad Westphaliense, en la proximidad del granito de Peñas de Aia. Datos recientes muestran que los filones presentan un carácter estratiforme, con deformación hercínica y morfología masiva, bandeada o filoniana removilizada. La mineralogía incluye esfalerita (o blenda), fluorita, galena, siderita, barita y trazas de pirita. La esfalerita con siderita y cuarzo es más frecuentes en los sectores orientales, mientras que los occidentales se enriquecen en galena, fluorita y calcita (Gob. Vasco, 2019: LIG 139).

Cabe señalar que en la zona hay un conjunto (no-interconectado) de minas, con hasta más de cuatro niveles (generalmente los inferiores completamente inundados), que suman 18 km de galerías subterráneas (con algunas minas individuales kilométricas). Nuestras prospecciones biológicas se limitaron a sectores de cuatro de las minas, con 2,8 km de galerías prospectadas, pero que creemos representan bastante bien el hábitat hipógeo del conjunto. Previamente exploramos la mina 02, donde encontramos una numerosas población del anfípodo stygobio *Niphargus cismontanus* Margalef (Galán, 2020). Y ello motivó la búsqueda de especies troglobias adicionales (tanto acuáticas como terrestres) en un conjunto mayor de galerías, prospectadas durante 2021.

Mina 01.

Situación: a 200 m al E de la Mina Grande y Centro de interpretación de Arditurri. Sobre la margen izquierda del arroyo.

Coordenadas ETRS89, UTM30N, de: N 4.793.040; E 597.200; altitud: 164 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 70 m. Desnivel 0 m. Figuras 01 á 02.

Descripción: La mina es una galería rectilínea, de 2,5 m de diámetro y sección en U invertida, de 70 m de largo, inundada en toda su extensión con 40 cm de altura del agua. Posee tres cortos nichos o ampliaciones laterales, con la roca-caja recubierta de cemento. Su suelo es de gravas y sedimentos arcillosos finos. Finaliza en cul de sac y posee algunas pequeñas espeleotemas de calcita y de oxi-hidróxidos de hierro (hematita, goethita). De su boca, con abundantes musgos, emerge un pequeño hilo de agua. En las aguas del tramo inundado, desde la boca en penumbra, encontramos una población de anfípodos troglófilos *Echinogammarus berilloni* Catta (Amphipoda: Gammaridae), y sobre las paredes algunos araneidos e isópodos terrestres troglóxenos.

Mina 02.

Situación: a 242 m al ENE de la mina 01. Sobre la margen izquierda del arroyo.

Coordenadas ETRS89, UTM30N, de: N 4.793.150; E 597.420; altitud: 194 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 500 m. Desnivel +40 m. Figuras 03 á 10.

Descripción: Esta fue la primera cavidad prospectada y en sus lagos subterráneos hallamos una numerosa población del anfípodo troglobio *Niphargus cismontanus* Margalef (Niphargidae) y algunos otros taxa cavernícolas (Galán, 2020). Se efectuó una segunda prospección, más detallada, en 2021. Debido a ello, repetimos aquí agunos datos ya citados en 2020. La cavidad es conocida también como mina San Joakin. La mina se desarrolla siguiendo una estructura filoniana de dirección SSW-NNE de 400 m de extensión. En ella se trabajó una mineralización de galena argentífera, diseminada en masas de carbonato de hierro (siderita) y de espato flúor, dentro del relleno filoniano. La extracción se realizaba por un sistema de huecos y pilares a partir de pozos y galerías de dirección a varios niveles.

Actualmente la parte accesible de la mina consta de una galería horizontal de entrada, de 2,5 m de diámetro y 42 m de longitud W-E, la cual permite acceder a la parte media de la galería principal, de 20 m de diámetro, que se desarrolla en paralelo a la ladera del monte y al arroyo de Arditurri. Esta galería se extiende 140 m hacia el lado N y 200 m hacia el S, presentando en su recorrido una docena de claraboyas que descienden en rampas pronunciadas, con pilares entre algunas de ellas, para acabar cayendo casi verticales sobre las paredes del lado W de la galería principal. Bajo las claraboyas hay zonas en penumbra, con tapices de algas verdes y una gradación de la vegetación criptogámica.

En cambio, contra las paredes del lado opuesto (E) hay varias pozas profundas y zonas inundadas a modo de lagos. En varias de ellas se aprecian bajo el agua pozos verticales que profundizan hacia una red inferior de galerías completamente sumergidas. La galería principal es horizontal, con algunas elevaciones en el suelo de hasta 10 m debidas a acumulaciones de bloques y clastos de roca desprendidos. El nivel del agua en las zonas bajas es similar a todo lo largo de la galería y corresponde al nivel freático local. Numerosas filtraciones en las paredes y goteos de bóveda dan lugar a pequeñas circulaciones hídricas en las zonas bajas, pero no se aprecia corriente en las aguas estancadas que inundan las partes sumergidas. En total el desarrollo de la mina supera los 500 m, con un desnivel de +40 m en las claraboyas superiores, y desconociéndose la extensión de galerías en zona inundada.

Las paredes presentan pequeñas estalactitas isotubulares y extensos recubrimientos de coladas estalagmíticas parietales con numerosos microgours. Muchas coladas poseen colores contrastantes y forman cascadas activas de flujos laminares. La galena predominante, expuesta al drenaje ácido de las aguas de infiltración, puede ser oxidada de modo natural a anglesita por bacterias y archaeas, en un proceso similar a la biolixiviación (Da Silva, 2004). El zinc se encuentra en la mina en forma de sulfuro de zinc (blenda), carbonatos (smithsonita) y silicatos complejos. La siderita es la fuente principal de los minerales de hierro (goethita y hematita). En las espeleotemas observadas, estudiadas por comparación con muestras de otras minas similares del coto minero de Ollín, las cuales cuentan con analítica fina (Galán, 2017), encontramos los siguientes minerales secundarios: (1) Espeleotemas isotubulares y recubrimientos blanco-opacos de calcita. (2) Coladas rojizas y anaranjadas de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita). (3) Coladas negro-brillantes de goethita. (4) Coladas multicolores, con microgours, de colores blancos y azulado-violetas, alternando con otros negros y flujos rojizos, compuestos básicamente por hydrozyncita o por una combinación de hydrozyncita y smithsonita. Los colores blanco-brillantes corresponden a hydrozincita con trazas de zincita. Los colores azulados a una combinación de smithsonita e hydrozincita con trazas de cobre. Los colores rojizos a trazas minoritarias de oxi-hidróxidos de hierro (principalmente goethita). La ultraestructura de las coladas multicolores observadas al MEB sugieren un origen biogénico, mediado por la actividad de bacterias y arqueas (Galán, 2017, 2020).

Mina 03.

Situación: a 182 m al NNE de la mina 02. Sobre la margen derecha del arroyo.

Coordenadas ETRS89, UTM30N, de: N 4.793.316; E 597.496; altitud: 214 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 300 m. Desnivel 30 m (+10 m; -20 m). Figuras 11 á 14.

Descripción: La boca de acceso se abre colgada en una pequeña repisa sobre el arroyo, pero existe una segunda boca en la ladera (situada 10 m más alta y a 100 m al W de la primera). Entrando por la boca de acceso hay un largo tramo perpendicular a la ladera, semi-inundado con 20-30 cm de agua, que emerge por la boca en época de lluvias. La galería, de 3 m de ancho x 2 m de alto, describe una curva y luego se extiende horizontal, paralela al curso del río exterior.

La galería presenta restos de traviesas de madera de una antigua vía para vagonetas de extracción del mineral. A medida que se progresa se presentan ampliaciones y salas con pilares de roca, con suelos de bloques. Las del lado Sur son ascendentes y una de ellas enlaza con la boca-claraboya superior. Las del lado N, descienden con pendientes de 30º y en su parte baja las filtraciones locales han generado un pequeño río subterráneo, con varias pequeñas galerías afluentes. En la cota -20 m el agua se infiltra en un paso más estrecho, con colapsos recientes de bloques, donde detuvimos la exploración.

El desarrollo explorado suma algo más de 300 m. La mina posee escasas espeleotemas, generalmente formas isotubulares de calcita y coladas de oxi-hidróxidos de hierro (de colores rojizos, anaranjados y negros) y de hydrozincita y smithsonita (de colores blancos, crema y en menor medida de tonos azulados-violeta). Algunas de las coladas se forman a partir de los rellenos clásticos y arcillosos del suelo. La cavidad destaca por la presencia de una población de quirópteros *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber) (Rhinolophidae) y de diminutos colémbolos *Onychiurus sp.* (Onychiuridae) depigmentados y anoftalmos.

Mina 04.

Situación: a 25 m al NE de la mina 03. Sobre la margen derecha del arroyo.

Coordenadas ETRS89, UTM30N, de: N 4.793.330; E 597.520; altitud: 218 m snm.

Dimensiones: Desarrollo 2 km. Desnivel 38 m (+10 m; -28 m). Figuras 15 á 24.

Descripción: La boca de acceso tiene una sección inclinada de 4 m de altura con dos galerías superpuestas. La superior discurre en horizontal 3 m más alta y tiene dos puntos de comunicación con la inferior en forma de simas, finalizando en cul de sac a los 15 m; posee numerosas espeleotemas de óxidos de hierro y algunas coladas y gours de calcita.

La inferior es la galería principal y presenta una extensa zona inundada, con hasta 50-70 cm de altura del agua, y posee varias ramificaciones y una sala, también inundada, la cual tiene una claraboya elevada o segunda boca abierta al exterior a +5 m. Tras unos 200 m de esta red de galerías inundadas, la galería sigue en horizontal y seca, salvo pequeñas charcas y filtraciones locales. En épocas de aguas altas emerge un pequeño caudal por la parte más baja de la boca de acceso, pero la condición del agua es estancada o léntica, sin flujo apreciable de corrientes de agua.

La galería principal que prosigue seca tiene diámetros de 2-3 m y a unos 400 m de la boca presenta varias ampliaciones, de hasta +10 m de altura, con grandes coladas y un nivel superior en forma de galerías y cornisas a +5 m de altura. Sigue otro tramo de galería con varias comunicaciones que forman simas de -28 m sobre un nivel inferior más extenso. El nivel principal presenta varios laterales finalizados en cul de sac. La rama principal, tras una bifurcación en Y, sigue hacia la izquierda un largo trayecto, hasta alcanzar una sima en rampa pronunciada, perpendicular, la cual comunica y permite acceder al nivel inferior.

Descendiendo con empleo de cuerda dos rampas sucesivas de algo más de 20 m cada una, se alcanza el segundo nivel (cota -28 m), donde una galería amplia se prolonga en ambas direcciones. La rama N tiene un tramo inundado de 80 m. Siguiendo en paralelo hacia el Sur se pasa bajo las simas de la galería principal, con cuatro galerías laterales que terminan en cul de sac. Siguiendo la galería principal se alcanza otra zona inundada, con algo más de 50 cm de agua. Esta posee una pequeña sala con varios laterales. El principal (y otro adyacente) terminan en cul de sac y dada su orientación Sur deben estar muy próximos a superficie. Otro lateral prosigue en paralelo hacia el N, finalizando en un cierre con una pared de cemento. Aproximadamente el nivel superior tiene 1 km de galerías y el nivel inferior otro km, totalizando un desarrollo de 2 km, croquizado pero no topografiado en detalle, ya que nuestro objetivo principal era el realizar muestreos biológicos en busca de fauna troglobia.

La cavidad posee extensos tramos sin espeleotemas y otros profusamente decorados por ellas. Principalmente isotubulares de calcita y extensas coladas de hydrozincita y smithsonita en el primer nivel y numeroso recubrimientos de sulfuros y oxi-hidróxidos de hierro en el nivel inferior. Así mismo hay zonas de coladas con gours y pequeñas perlas de caverna. Llama también la atención en el nivel inferior la ocurrencia de largos pequeños cauces temporales con depósitos blancos de bassanita y yeso criptocristalino, así como otros inundados con láminas de calcita flotante. La formación de las partículas de yeso se produce a partir de la meteorización de pirita contenida en la roca-caja, que precipita como bassanita y luego al desecarse forma yeso. Tanto en esta mina pero sobretodo en la 03 es frecuente en la atmósfera de algunos tramos la formación de aerosoles naturales autóctonos, constituidos por micropartículas sólidas en suspensión coloidal en el aire, que llegan a formar zonas de niebla o neblina subterránea densa.

La fauna hallada, aunque poco abundante, resultó particularmente interesante, ya que comprende especies stygobias de anfípodos *Niphargus cismontanus*, opiliones troglobios *Kratochviliola navarica*, colémbolos *Onychiurus sp.* depigmentados y anoftalmos, y diversos taxa troglófilos y troglóxenos, como veremos a continuación.

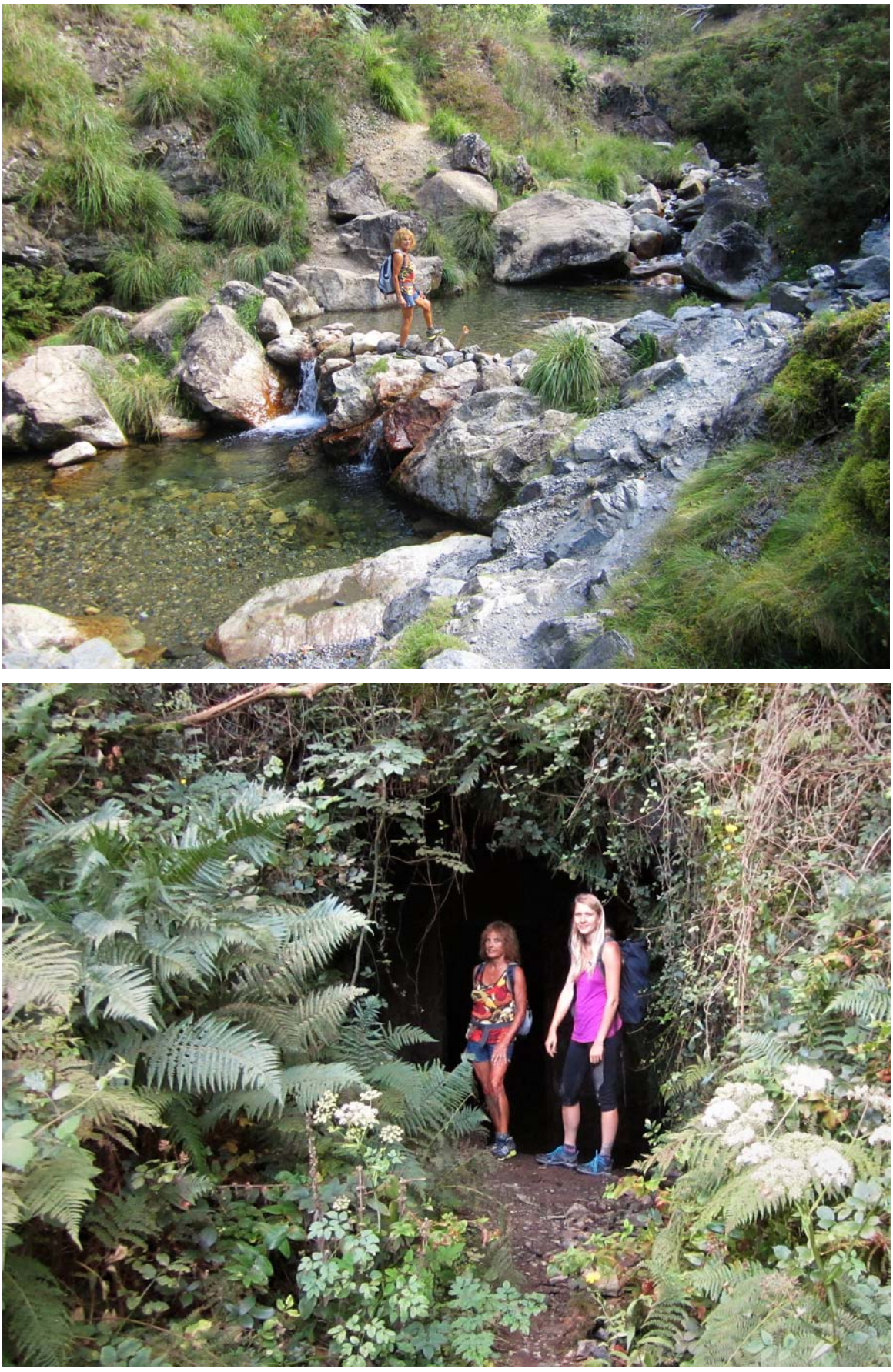

Figura 01. El arroyo de Arditurri, en el flanco W de Peñas de Aia, al lado de la boca de la mina 01.

Figura 02. Galería interna y fondo de la mina 01, con gravas en el cauce subterráneo y detalles de la roca-caja. En la cavidad habita una numerosa población del anfípodo troglófilo *Echinogammarus berilloni* (Gammaridae).

Figura 03. Galería de acceso a la mina 02, con pequeñas espeleotemas isotubulares y coladas de calcita.

Figura 04. Galería principal de la mina 02, con varias simas-claraboyas de +40 m (arriba) y vista de varias galerías en la parte superior de las claraboyas, con pilares de roca (debajo).

Figura 05. Mina 02. Coladas con microgours de hydrozincita y smithsonita, algunas con coloraciones rojizas, amarillentas y negras debidas a trazas de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita).

Figura 06. Espeleotemas en la mina 02. Detalle de la diversidad de coloraciones de las coladas con microgours.

Figura 07. Mina 02. Lagos subterráneos, donde habitan anfípodos stygobios *Niphargus cismontanus* , y paredes profusamente decoradas con coladas de hydrozincita, smithsonita y goethita, con microgours.

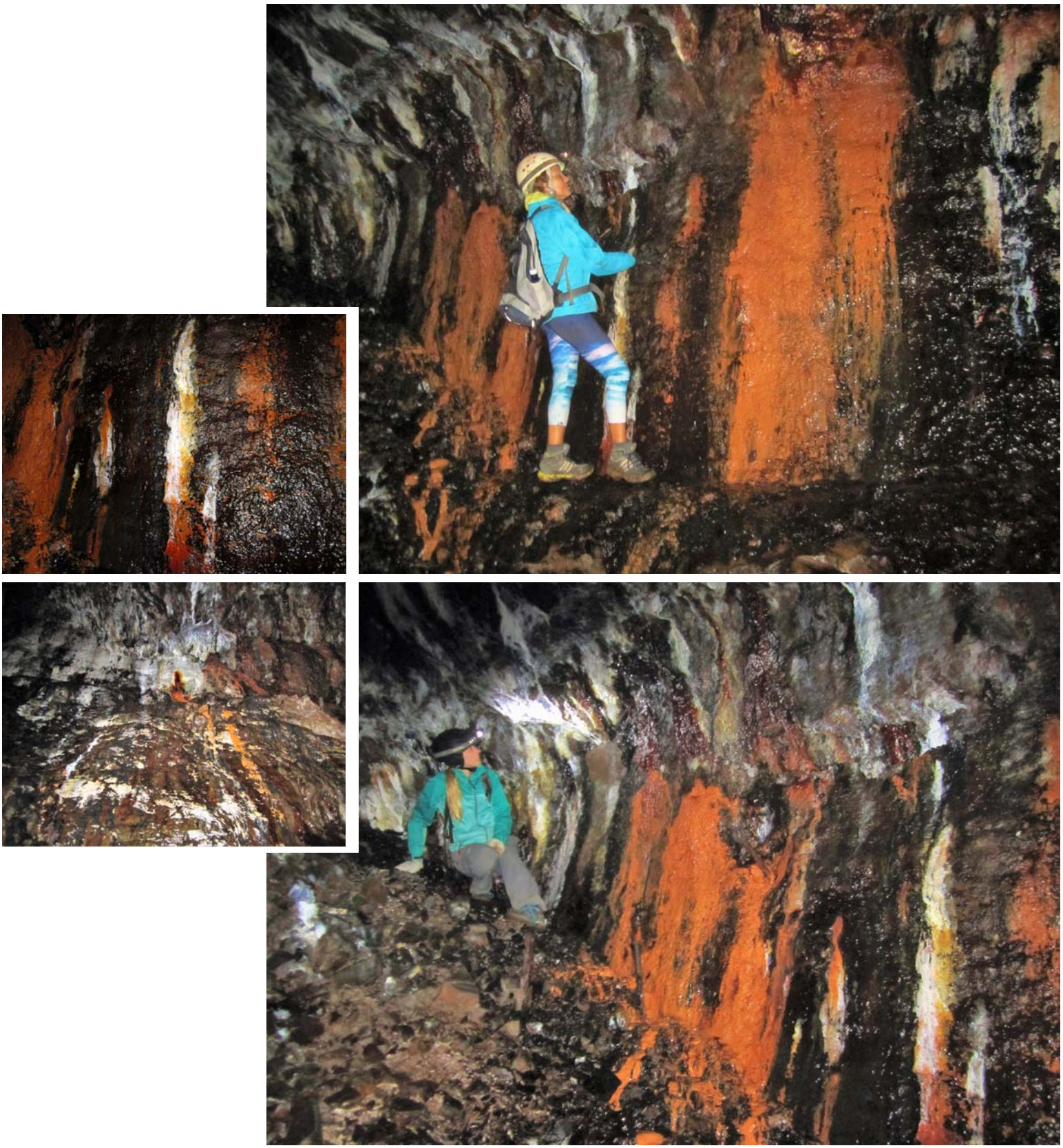

Figura 08. En algunas coladas predominan las coloraciones rojizas, anaranjadas y negras debidas a óxidos de hierro.

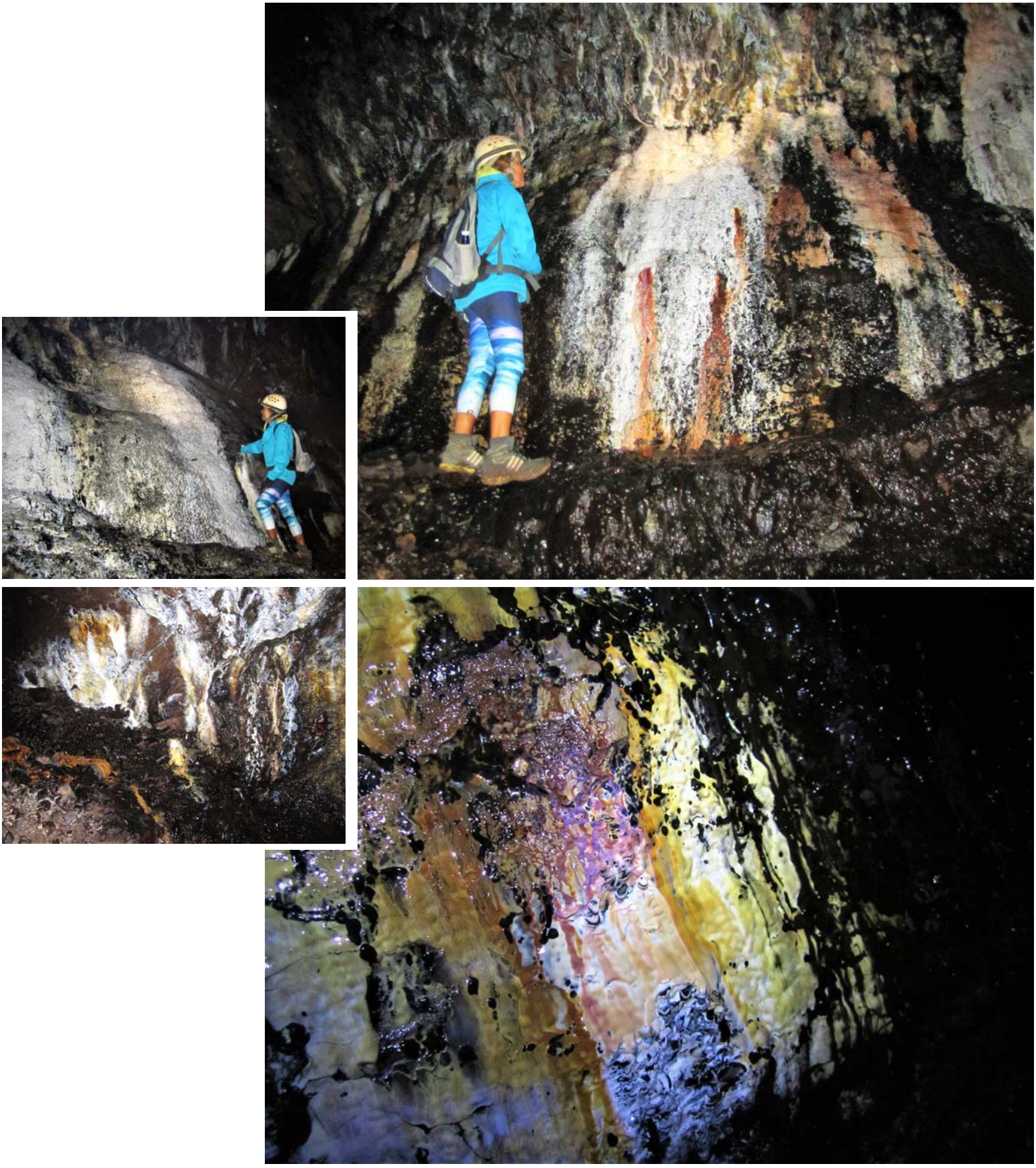

Figura 09. Mina 02. Diversidad de colores y diseños de las espeleotemas mayoritarias de hydrozincita, smithsonita y goethita, en forma de coladas parietales con microgours.

Figura 10. Muestra de siete ejemplares de *Niphargus cismontanus*, los mayores de 20 mm de talla. También hay un ejemplar de larva acuática de coleóptero Dytiscidae en el ángulo superior izquierdo de la imagen superior (flecha roja). Detalles adicionales de algunos ejemplares en las imágenes inferiores. Los puntos brillantes son reflejos del flash.

Figura 11. Zona de entrada y galería inundada de la mina 03.

Figura 12. Ampliaciones y laterales con pilares de roca y suelos de bloques en la galería principal de la mina 03. Espeleotemas rojizas de oxi-hidróxidos de hierro en forma de coladas y blancas de calcita y/o hidrozincita.

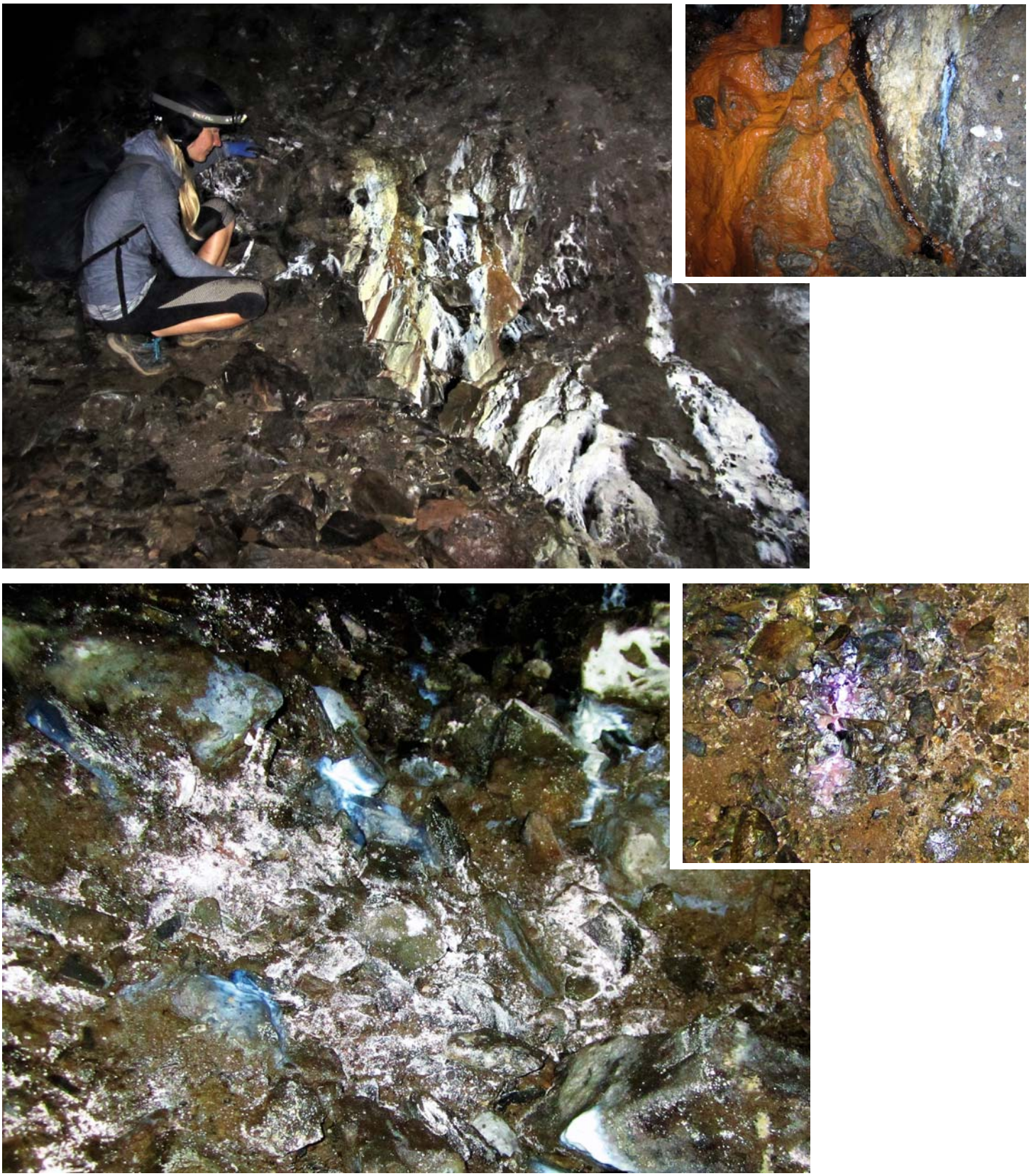

Figura 13. Espeleotemas de hydrozincita y smithsonita, de colores blancos, azulados y violeta, y otros de oxi-hidróxidos de hierro (hematita, goethita, limonita), de colores rojizos y negros.

Figura 14. Mina 04. Galerías lterales con bloques y galería inferior, con un pequeño río subterráneo.
En los recuadros, detalles de espeleotemas de hydrozincita mayoritaria y oxi-hidróxidos de hierro.

Figura 15. Zona de entrada de la mina 04, con galería principal inundada y galería colgada a +3 m sobre el agua, con predominio de espeleotemas rojizas y negras de goethita y hematita.

Figura 16. Mina 04. Sector Inicial con galerías inundadas, habitado por una población de anfípodos stygobios *Niphargus cismontanus* Margalef (Niphargidae) y espeleotemas de hydrozincita y smithsonita.

Figura 17. Diversos aspectos de la red inicial de galerías inundadas en la mina 04.

Figura 18. Tramos con hasta 70 cm de agua en la mina 04, habitados por anfípodos stygobios *Niphargus*, y espeleotemas de hydrozincita y goethita sobre las paredes, en forma de finas coladas.

Figura 19. Inicio de la zona seca de la galería principal. Las pizarras y grauvacas Paleozoicas, de colores oscuros, poseen vetas de calcita y de cuarzo, y en la galería se forman pequeñas espeleotemas isotubulares de calcita.

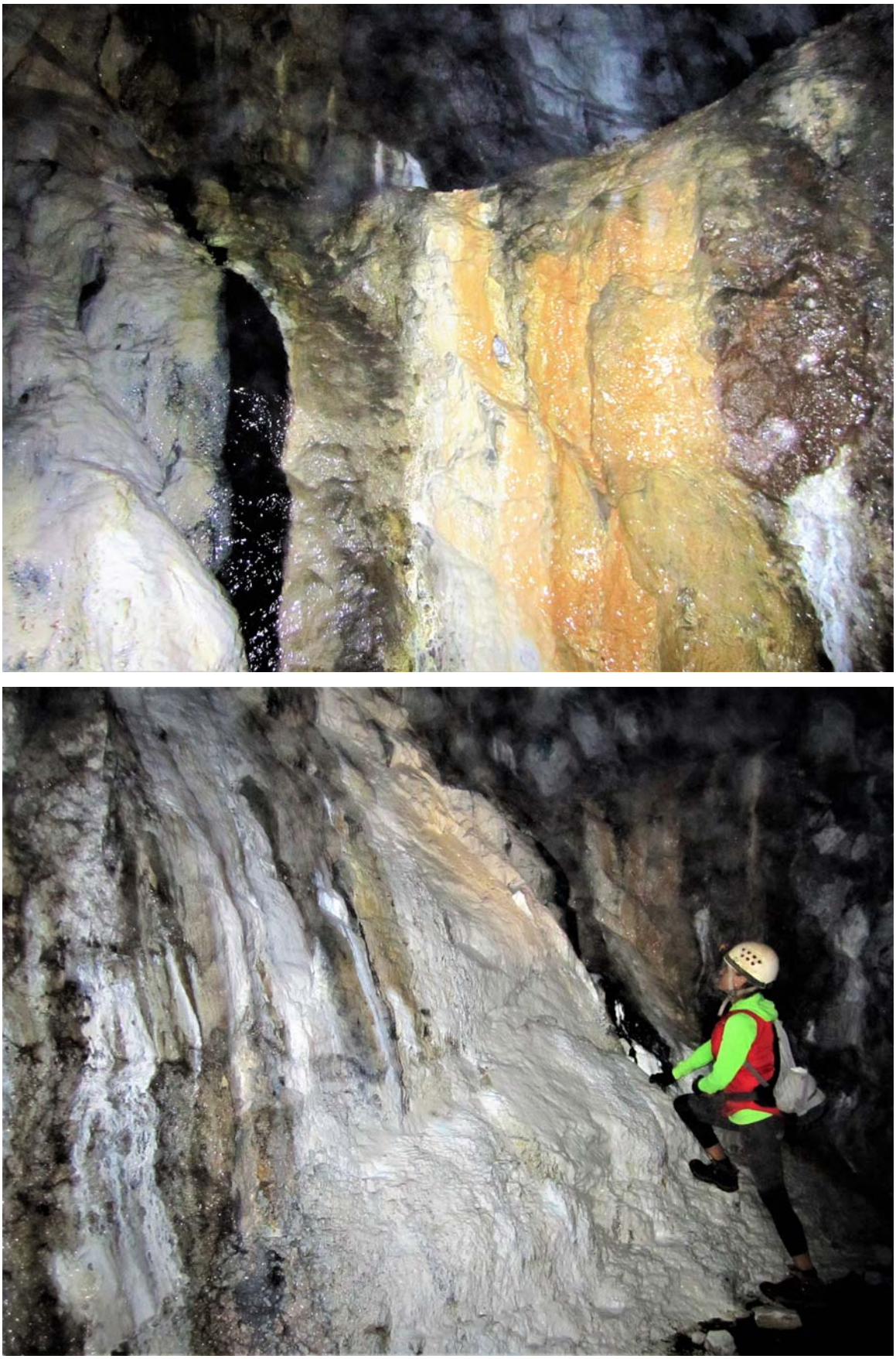

Figura 20. Mina 04. Ampliaciones con cornisas superiores y altas coladas de hydrozincita y goethita mayoritarias.

Figura 21. Niveles superpuestos en la galería principal de la mina 04 y detalle de galería lateral con espeleotemas isotubulares de calcita en bóveda.

Figura 22. Mina 04. Colectando fauna cavernícola mediante cebos atrayentes (arriba) y detalle de cuerpos de agua con partículas finas de yeso y de calcita depositadas a partir de aerosoles sólidos autóctonos (debajo).

Figura 23. Coladas de hydrozincita y smithsonita con microgours. Mina 04.

Figura 24. Ambiente profundo de la galería principal, con tramos carentes de espeleotemas pero con inclusiones de pirita y sulfuros metálicos y otros con profusión de isotubulares en las bóvedas y flujos de goethita en las paredes.

Figura 25. Rampas sucesivas en el fondo de la mina 04 para descender al nivel de la galería inferior (cota -28 m).

Figura 26. Tramos de cauces temporales en la galería inferior con depósitos de bassanita y yeso. Mina 04.

Figura 27. Nivel inferior de la mina 04 (cota -28 m). Galerías con espeleotemas de goethita, hematita y limonita.

Figura 28. Tramo de la galería inferior de la mina 04 con coladas azules de hydrozincita y smithsonita, junto a zonas con estalactitas cónicas y globulares de goethita.

Figura 29. Galerías inundadas en la zona terminal del nivel inferior (cota -28) de la mina 04, habitadas por anfípodos stygobios *Niphargus cismontanus* Margalef (Niphargidae) y espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro.

Figura 30. Prospecciones biológicas en galerías del nivel superior de mina 04, con detalle de espeleotemas de calcita, hidrozincita y oxi-hidróxidos de hierro (goethita y hematita) junto a fragmentos de pirita.

BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

Las galerías de las minas 01 á 04 tienen atmósferas de elevada humedad relativa (100%), temperatura ambiente de 10-12ºC y temperatura del agua en verano de 10ºC. Todas ellas presentan una zonación de la vegetación criptogámica y algas verdes en las zonas de entrada y restos de hojarasca y madera bajo las claraboyas abiertas a superficie. Adicionalmente, las minas 03 y 04 muestran numeros restos de madera del entibado en algunos puntos y de traviesas de vías férreas para vagonetas. Aunque desconocemos la antiguedad de las galerías excavadas y el momento en que cesó su exptotación, el estado de degradación de los restos de madera y de oxidación de restos de clavos y utensilios de hierro, así como otros indicios morfológicos e hidrológicos, sugieren una gran antiguedad para la mina 02 (probablemente excavada desde época romana), una edad estimada del orden de 100 á 200 años para las distintas galerías de las minas 03 y 04, y una edad más reciente (inferior a 100 años) para la mina 01.

Desde el momento en que se excavan y luego cesan las actividades mineras, las aguas de infiltración percolan a través de las fisuras de las pizarras Paleozoicas y las rocas de sus filones, drenando hacia las galerías de mina, e inundado -a distintas alturas- sus tramos más planos y/o más bajos. En la mina 02 los niveles más bajos han quedado completamente sumergidos, bajo el nivel freático local. En todos los casos emergen pequeños caudales por las bocas de acceso, más abundantes en períodos lluviosos o de aguas altas.

Las galerías de las minas muestran en sus ambientes terrestres una inusual pobreza faunística, dando la impresión a simple vista de tratarse de cavidades azoicas, con algunas excepciones. Entre los vertebrados destaca la ocurrencia de una población de quirópteros *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber) (Rhinolophidae) en la zona más baja (galería del río) de la mina 03 y pequeños acúmulos de guano de quirópteros en la mina 04, probablemente de la misma especie. En la boca de acceso de la mina 03 encontramos también un nido de ave, indeterminada, en zona de penumbra, con forma de copa semiesférica, construida con hierba, palitos y musgos secos, de 7-8 cm de diámetro.

En casi todas las zonas de entrada e inicio de la oscura se encontraron ejemplares dispersos y en bajo número de los siguientes taxa: moluscos terrestres troglófilos *Oxychillus draparnaudi* (Beck) (Gasteropoda: Zonitidae); araneidos troglófilos *Meta bourneti* Simon (Tetragnathidae) y *Eratigena inermis* Simon (Agelenidae); isópodos terrestres *Oniscus asellus* (Oniscidae); dípteros troglóxenos *Limonia nubeculosa* Meigen (Limoniidae), *Rhymossia fenestralis* Meigen (Mycetophilidae), e *Hypocera flavimana* (Meigen) (Phoridae); lepidópteros *troglóxenos Triphosa dubitata* (Geometridae) y *Scoliopteryx libatrix* (Noctuidae). Esta fauna es común en cuevas de la región y también se puede encontrar en enclaves húmedos y sombríos de superficie y/o en la litera de hojarasca. Algunos ejemplares aislados de dípteros *Limonia nubeculosa* y lepidópteros *Scoliopteryx libatrix* se encontraron descansando aletargados en zona oscura a más de 200 m de distancia a las bocas.

En la mina 02, en las orillas someras de los lagos profundos encontramos fauna troglóxena acuática, constituida por ejemplares de oligoquetos Lumbricidae y larvas acuáticas de coleópteros troglóxenos Dytiscidae y Haliplidae. En la mina 01, en la zona inundada desde la entrada en penumbra, encontramos una población del anfípodo troglófilo *Echinogammarus berilloni* Catta (Amphipoda: Gammaridae).

Otros hallazgos más raros lo constituyen la presencia de coleópteros troglóxenos *Ontophagus taurus* (Schreber) (Scarabeidae) en la zona profunda de la mina 04, probablemente asociados a la presencia de carroña u hongos, ya que se trata de una especie epígea de hábitos coprófagos, fungívoros y carroñeros. Es una especie oculada, de coloración negra, de 6 á 11 mm de talla, y presenta dos cuernos conspícuos largos en la cabeza o en el tórax de los machos, que usan para luchar entre sí como parte de los mecanismo de cortejo de las hembras. Esta especie de escarabajo pelotero cornudo es considerado uno de los animales más fuertes del planeta ya que -según la bibliografía revisada- puede levantar un peso 1.140 veces superior a su masa corporal. Se trata de una especie de amplia distribución Euro-asiática y nor-Africana, que también ha sido introducida en Australia y Norte América. No obstante, constituye la primera vez que se la cita para el medio hipógeo de cuevas o minas.

En restos de traviesas de madera en descomposición encontramos tanto en la mina 03 como en la 04, sobre la madera, ejemplares dispersos de una especie de colémbolo blanco y carente de ojos del género *Onychiurus* (familia Onychiuridae), de 1-1,5 mm de talla. La especie también acude a los cebos. Los representantes de este género son considerados más guanobios o detritícolas que verdaderos cavernícolas, o en todo caso cavernícolas de origen reciente, y todas sus especies sean epígeas o hipógeas son depigmentadas y anoftalmas, considerándose troglobias las halladas exclusivamente en el medio hipógeo. La especie hallada muestra afinidades con la forma troglófila *Onychiurus cancellatus* Gisin, hallada en cuevas y en el medio hemiedáfico, pero está faltando su identificación definitiva, por lo que también podría darse el caso de que se tratara de una especie troglobia.

Las especies con toda seguridad troglobias están representadas por un anfípodo stygobio (= troglobio acuático) Niphargidae y un opilión troglobio (terrestre) Travuniidae, ambos de antiguo origen Terciario.

La familia Niphargidae es establecida por Karaman en 1962 y contiene especies exclusivamente troglobias y paleárticas. La discusión acerca del origen y filogenia de *Niphargus* sigue dos hipótesis altemativas. La primera, postulada por Chevreux (1920), Schellenberg (1933) y Barnard & Barnard (1983), supone un parentesco de *Niphargus* con los géneros marinos *Eriopisa* y *Eriopisella,* y sería por tanto un linaje de los Hadzioidea. No obstante, Ruffo (1953) ha señalado que la similitud morfológica entre estos géneros puede ser debida a convergencia de caracteres arcaicos (= symplesiomorfismo) y que de hecho *Niphargus* representa un linaje independiente.

La segunda hipótesis supone un parentesco con los Crangonyctoidea y es sustentada por Bousfield (1977; 1983), quien los incluye en esta superfamilia junto a Crangonyctidae, Paramelitidae y Neoniphargidae. De acuerdo con Karaman & Ruffo (1986) los Niphargidae están especialmente relacionados con los Neoniphargidae de Australia, India y Madagascar, un grupo de agua dulce con representantes epígeos e hipógeos. Por el momento las evidencias son insuficientes para inclinarse por una de estas dos hipótesis. Las afinidades con los Neoniphargidae pueden sugerir un antiguo origen dulceacuícola. En cambio, si Barnard & Barnard (1983) están en lo correcto, es más probable un origen marino directo (Galán, 1993, 2020).

Entre los autores que han postulado un origen marino para *Niphargus* se encuentran Chevreux (1920), Schellenberg (1933) y Vandel (1964). Estos autores han destacado que los *Niphargus* son muy próximos a *Eriopisa,* un género representado por una especie marina, *E. elongata,* remarcable por su anoftalmia y distribuida en las regiones costeras. Conviene a la vez destacar que no todos los *Niphargus* son cavernícolas, y el género incluye otras especies intersticiales y habitantes de los fondos de grandes lagos alpinos. La distribución de los *Niphargidae* ocupa el centro de Europa, coincidiendo su límite norte aproximadamente con la línea de máxima extensión de las áreas glaciadas cuaternarias, y faltando en el sur (península Ibérica, Sicilia y Peloponeso). Los Niphargidae en Iberia cuentan con dos de sus nueve géneros: *Niphargus* y *Haploginglymus*, este último endemismo ibérico. Los *Niphargus*, extremadamente diversificados en el resto de su área de distribución, se hallan acantonados en Iberia en dos áreas muy restringidas: el País Vasco y la extremidad Este de los Pirineos catalanes; se han citado hasta ahora tres especies, dos en aguas del País Vasco (*N. cismontanus* Margalef, 1952 y *N. longicaudatus* Costa, 1851), y otra en Cataluña (*N. delamarei* Ruffo, 1954). *N. cismontanus* es un endemismo de Gipuzkoa (País Vasco), mientras que las otras dos especies se extienden también al otro lado del Pirineo (Bellés, 1987; Notenboom, 1990; Galán, 1993).

Las diferencias en tamaño entre las distintas especies del género soportan la idea de que la evolución de los *Niphargus* ha sido el resultado de un proceso de neotenia parcial o paedomorfosis (Brehm, 1955; Galán & Herrera, 1998), en la cual ciertas estructuras han sido mantenidas en los adultos de algunas especies, mientras que en otras los caracteres adultos son propios de fases juveniles. Las formas stygobias son las que alcanzan mayor tamaño (= gigantismo).

Niphargus cismontanus fue originalmente descrito por Margalef (1952) como *Niphargus ciliatus cismontanus*, aunque ya dicho autor mostraba que las diferencias con los *Niphargus ciliatus* típicos, de localidades francesas, podían tener rango específico. Varias subespecies cavernícolas del género han adquirido posteriormente rango específico, como ha ocurrido en este caso, separándose actualmente *N. ciliatus* Chevreux 1906, distribuido a través de Francia, de *N. cismontanus* Margalef 1952, especie endémica restringida a Gipuzkoa, y así consta en las bases de datos más recientes.

N. cismontanus Margalef, posee un cuerpo alargado, poco comprimido lateralmente, sin ojos y depigmentado. Los machos adultos alcanzan 17-20 mm de talla. La especie se asemeja a *N.ciliatus* por tener las espinas del lóbulo externo de las primeras maxilas con un solo diente, espinas dactilares múltiples, urópodos de ramas desiguales, placas coxales algo imbricadas, con el lóbulo anterior de la 5ª poco rebajado, y telson notablemente hendido. *N.cismontanus* difiere de *N.ciliatus* por tener el telson algo menos hendido (60% de su longitud), y con espinas externas, que faltan en *ciliatus*; por un mayor número de sedas en el palpo mandibular; por el ángulo de las terceras placas epimerales más acusado, y manos de los gnatópodos relativamente más anchas y con la espina del ángulo más robusta y duplicada. Otros detalles taxonómicos distintivos han sido dados en Galán (2020).

La especie *Niphargus cismontanus* Margalef, la primera del género hallada en Iberia, sólo era conocida por muy pocos ejemplares de dos cavidades (simas de Goenaga y Gesaltza), hasta su hallazgo en 2020 en Arditurri en la mina 02 y ahora en las minas 02 y 04 (Margalef, 1952, 1970; Galán, 1993, 2020). Por consiguiente, estos hallazgos constituyen la tercera y cuarta localidades conocidas para la especie a nivel mundial.

Las poblaciones de *N. cismontanus* en ambas minas son numerosas, encontrándose ejemplares tanto adultos como juveniles, de entre 8 y 20 mm de talla. Los biotopos de colecta son semejantes: en la orilla de pozas de agua profunda y zonas inundadas extensas (incluyendo el sector terminal de mina 04, con un cauce subterráneo procedente de mesocavernas), con sustrato de fondo de gravas y sedimentos finos, donde probablemente se alimentan de materia orgánica particulada, microorganismos adheridos a la arcilla, restos vegetales y microfauna planctónica (Gounot, 1960; Galán, 1993, 2020). Un hecho a destacar en este caso es que se trata de aguas subterráneas en una litología inusual: filones metalíferos de siderita y galena argentífera en pizarras de edad Paleozoico. La colonización de las galerías de mina seguramente procedió a partir de un acuífero en fisuras, vacíos y micro-espacios en esta litología, que no presenta cuevas pero sí un medio hipógeo profundo, puesto de manifiesto por la excavación de las galerías de minas. Probablemente estos niveles acuíferos están relacionados también con el medio hyporrheico e intersticial de los fondos de valle. Hábitat a partir de los cuales los *Niphargus* han podido colonizar las galerías inundadas de las minas. Un proceso que, como posteriormente discutiremos, se remonta a un lejano origen.

La familia Travuniidae está incluida en el suborden Palpatores, el cual contiene algunos de los opiliones cavernícolas más altamente modificados para la vida hipógea. El grupo está formado esencialmente por formas tropicales o subtropicales que habitaban en selvas húmedas. Las especies europeas tienen su origen en una antigua fauna cálida que poblaba el continente a comienzos del Terciario. Los Laniatores están representados en cavidades guipuzcoanas por los géneros *Peltonychia* y *Kratochviliola,* de la familia Travuniidae, la cual contiene otros representantes en cuevas europeas de las cordilleras balcánicas, suroeste de los Alpes, Pirineos y región vasco-cantábrica. El género *Peltonychia* contiene dos especies troglófilas en cuevas de Gipuzkoa, País Vasco francés y áreas próximas de la región vasco-cantábrica.

Por su parte, *Kratochviliola navarica* fue descrita de la Cueva de Palombiére (Sara, Laburdi) y ha sido encontrada luego en otras cuevas del País Vasco francés, del macizo de Orobe (Olazagutía, Gipuzkoa-Navarra) y de Bizkaia (localidades no precisadas; en: Prieto, 2007). En fechas más recientes ha sido hallada también en cavidades del Aralar guipuzkoano (sima Katamotz 2 -Ausa Gaztelu- y mina Txindoki Norte) (Galán & Rivas, 2016; Galán et al, 2017), Urbasa (simas Urbasa 11 y Lezeaundi) (Galán & Nieto, 2018; Galán & Rivas, 2019), Sierra de Entzia (sima Ezkarretabaso 2) (Galán, 2019), y en la cueva Igunsoro 1 (Donamaría, cuenca del Bidasoa, Navarra) (Galán et al, 2021). Por lo que su distribución conocida abarca hoy un área más extensa, en el País Vasco (incluyendo el lado francés) y N de Navarra, siendo un endemismo de esta región.

La especie ha experimentado diversos rearreglos taxonómicos. Descrita del género *Kratochviliola*, fue transferida al género *Peltonychia*, con el cual presenta afinidades, pero posteriormente este cambio fue invalidado, y la especie ha sido colocada nuevamente en el género *Kratochviliola* (Galán, 2008), siendo su actual denominación *Kratochviliola navarica* (Simon, 1879).

Por sus caracteres modificados y hábitat exclusivamente hipógeo, *Kratochviliola navarica* es considerada una forma troglobia. Es de pequeña talla (1,5 - 2 mm), totamente depigmentada y anoftalma. Se alimenta tanto de detritos vegetales como de pequeños animales muertos, siendo considerada una especie de hábitos alimentarios detritívoros-micrófagos. La especie fue hallada en Arditurri en la mina 04, en el ambiente profundo, deambulando sobre un suelo de bloques con detritos leñosos.

La especie, de antiguo origen, es probablemente un relicto de una fauna higrofílica subtropical que poblaba la región a finales del Terciario. Y es a su vez una forma endémica del País Vasco (incluyendo la región vasco-francesa Nor-Pirenaica).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las minas estudiadas presentan una inusual pobreza faunística, y en términos relativos un bajo número de sus poblaciones, con la excepción del caso de los anfípodos, que incluyen la especie troglófila *Echinogammarus berilloni* Catta (Gammaridae), en la mina 01, y la especie stygobia *Niphargus cismontanus* Margalef, en las minas 02 y 04. La mayoría de las especies troglóxenas y troglófilas se localizan en las zonas de entrada, siendo mucho más raras a medida que aumenta la distancia a las bocas.

La escasez de invertebrados cavernícolas en estas minas tal vez pueda atribuirse a las condiciones ambientales relativamente adversas que presentan, por el alto contenido en oxi-hidróxidos de Fe, Pb, Zn y otros metales pesados. Al respecto, es conocida la elevada toxicidad que presentan en concentraciones altas el Al, Cd, Pb y otros metales pesados para los seres vivos (Bosnak & Morgan, 1981; Lewis, 1996). 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 reactiva y de la capacidad de otros ligandos para interferir en la hidratación de los iones metálicos (Harris et al., 1996). La presencia de diversos metales puede afectar tanto a la fauna acuática como a la terrestre, de diversos modos. Nosotros podemos constatar la presencia de distintas especies (un total de 18 para las cuatro minas, dos de ellas troglobias), pero no encontramos una explicación satisfactoria para la escasez de formas terrestres, en comparación con las poblaciones acuáticas, que teóricamente deberían verse más afectadas por la presencia de metales en las aguas subterráneas.

En todo caso, lo más interesante de los ecosistemas de estas minas es la ocurrencia de al menos dos especies troglobias (una acuática y otra terrestre), de antiguo origen, endémicas de la región vasca y relictas del Terciario. Sin duda estas han colonizado las galerías de las minas a partir de fisuras, vacíos y micro-espacios en esta litología, que no presenta cuevas naturales pero sí parece contener un medio hipógeo profundo, puesto de manifiesto por la excavación de las minas.

A diferencia de los ecosistemas de superficie, los ecosistemas hipógeos se desarrollan en tres dimensiones, en un volumen de roca. En la red tridimensional de espacios que afecta al volumen de un macizo Howarth (1983) distinguió tres clases de tamaño biológicamente significativas: macrocavernas (diámetros mayores de 20 cm), mesocavernas (0.1 á 20 cm) y microcavernas (menores de 0.1 cm). La primera admite a grandes vertebrados (incluyendo al ser humano), la segunda es caracterizada por un microclima favorable a los artrópodos cavernícolas, mientras que la tercera es demasiado pequeña para la mayoría de los artrópodos cavernícolas. Lógicamente, estos límites son también aproximados, y dependen a su vez de las dimensiones de los organismos (incluyendo sus formas larvarias). Pero de modo general puede decirse que las microcavernas, aunque son recorridas por el aire y el agua de infiltración, normalmente están desprovistas de macroinvertebrados, aunque pueden contener diversos animales microscópicos, principalmente acuáticos, como ácaros hydrachnellae, limnohalacaridae, ostrácodos y copépodos.

Existe creciente evidencia de que la fauna cavernícola troglobia es propia de las mesocavernas y es en este hábitat hipógeo que se han diferenciado las especies troglobias y se ha dado la evolución troglobia, que ha permitido adquirir rasgos troglomorfos en muy distintos linajes de infinidad de grupos zoológicos. La fauna troglobia también habita en el ambiente profundo (= deep cave environment) de cuevas o macrocavernas, que están conectadas con meso y microcavernas, pero ésto sólo ocurre cuando existen cuevas en algunas de esas litologías, estando generalizado este hecho especialmente en el karst clásico en caliza (Galán & Herrera, 1998). El ambiente de las mesocavernas se caracteriza por su oscuridad total, alta humedad relativa, constancia de la temperatura, altas concentraciones de CO2, eventual presencia de mezcla de gases, aguas con bajas tasas de oxígeno disuelto, alta radioactividad natural, y cierto contenido en C, N y P orgánicos, micronutrientes y poblaciones bacteriales, entre otros.

Estos rasgos ambientales también se presentan en el ambiente profundo de macrocavernas, particularmente en las zonas menos ventiladas y de atmósfera en calma. Y en ellas habitan troglobios. Pero es debido a nuestras dimensiones como seres humanos que sólo podemos acceder a macrocavernas (y no al amplio mundo de las mesocavernas, que son como redes de cavernas para la mayoría de los invertebrados cavernícolas, de pequeño tamaño). Los troglobios, habitantes típicos de las mesocavernas, se encuentran en cuevas o macrocavernas sólo cuando éstas existen en esa litología y reúnen condiciones adecuadas para la vida en ellas. Por ello es preferible hablar de medio hipógeo o hábitat subterráneo (sin limitarse a la visión antropocéntrica de las cuevas), hábitat que a la vez puede estar conectado con otros medios subterráneos transicionales (como el MSS o el medio intersticial) (Galán, 1993; Galán & Herrera, 1998).

Las aguas subterráneas representan una fracción significativa de las aguas dulces continentales, cercana al 30%. Con excepción de los importantes volúmenes retenidos como hielo en las zonas polares y glaciares de montaña (ca. 33,4 millones de km3), se puede decir que en el promedio global el volumen almacenado y circulante de aguas subterráneas es 85 veces mayor que el correspondiente a los ríos superficiales (Kotwicki, 2009). Los acuíferos son las formaciones geológicas permeables que permiten la circulación y almacenamiento del agua subterránea por sus poros y grietas. Su estructura, características y funcionamiento hidrogeológico dependen de la litología de los sedimentos y sustratos de roca involucrados. Habitualmente se distingue en hidrogeología entre TPP (terrenos permeables en pequeño, a través de intersticios y poros del sustrato rocoso o sedimentos sin consolidar, que contienen el agua como una esponja) y TPG (Terrenos permeables en grande, que se presentan en rocas solubles, donde las aguas han disuelto la roca y son almacenadas y circulan a través de fisuras y conductos mayores, formando redes de galerías, cavernas y ríos subterráneos, como es el caso del karst clásico en caliza). Y como en el caso anterior (clases de tamaño biológicamente significativas, de: Howarth, 1983), los límites pueden tornarse imprecisos y los TPG pueden formarse en distintas litologías además de caliza (yeso, halita, cuarcita, arenisca, e incluso en granito, basaltos y otras rocas lávicas).

Esto plantea un problema filosófico y conceptual. Debido a nuestras concepciones antropocéntricas, tendemos a prestar más atención a nuestras definiciones teóricas y clasificaciones (= constructos) que a la realidad, donde a menudo los límites son imprecisos, se forman gradientes, y se dan formas y procesos no-lineales, de naturaleza compleja (Galán, 2010).

Esto ocurre con nuestra asociación del concepto de disolución o de rocas solubles para la definición de karst. La disolución se puede producir tanto en rocas solubles, como en otras consideradas parcialmente solubles o insolubles. De hecho la alteración superficial de las rocas, tan importante en la pedogénesis, es también un fenómeno de disolución. Algunos minerales como el yeso, la calcita y el cuarzo se disuelven de una manera congruente. Otros como los feldespatos y los piroxenos son -aparentemente- parcialmente solubles. En realidad ellos también se disuelven completamente, pero como las soluciones producidas están sobresaturadas con relación a otras fases más estables en las condiciones de la pedogénesis, inmediatamente se forman los minerales de la arcilla y diversos óxidos, dando la impresión de una disolución incompleta (Martini, 1984, 1987).

En las pizarras y grauvacas Paleozoicas de Arditurri no se conocen cuevas (macrocavernas) y son consideradas rocas compactas e impermeables, pero sin duda existen múltiples fracturas, vacíos y microcavidades, que desde la explotación de los filones y la excavación de galerías de mina han propiciado un incremento de la infiltración y los drenajes subterráneos, labor que ha proseguido tras el cese de la actividad minera. La actividad minera, al perforar galerías en estas rocas, ha incrementado la fracturación de la roca cercana y ha puesto en comunicación el hábitat freático (y el aéreo) con las galerías de mina. De hecho muchas de las minas desde época romana incluían ingeniosos sistemas de canales y acueductos subterráneos para evacuar las aguas infiltradas e impedir la inundación de las galerías.

Las pizarras Paleozoicas también pueden incluir redes de vacíos en los pequeños niveles, vetas y lentes de calizas oscuras intercalados en la serie metamórfica, con vacíos más amplios que los correspondientes a la fisuración ampliada. Podemos también apreciar que las galerías de mina poseen múltiples tipos de espeleotemas. Aunque su volumen -comparado con cuevas en el karst clásico en caliza- es menor, prueba ampliamente que existen procesos de disolución y que estos actúan en el interior de estas rocas, disolviéndolas (a cierta escala), transportando sustancias en solución y precipitando diversos minerales secundarios -en forma de espeleotemas- en las galerías de mina. De este modo, la infiltración de las precipitaciones, puede ir disolviendo volúmenes mayores de roca en el subsuelo y ampliando la red de vacíos, hasta constituir extensas redes de micro y mesocavernas.

Cabe comentar que en otras minas cercanas (minas de Karrika, en el valle de Karrika, Oiartzun), en la misma litología de pizarras Paleozoicas con filones metalíferos, encontramos en prospecciones previas taxa cavernícolas, incluyendo dos especies de troglobios terrestres: el isópodo *Trichoniscoides cavernicola* Budde-Lund (Trichoniscidae) y el coleóptero *Bathysciola schiodtei breuili* Bolívar (Leiodidae: Leptodirinae) (Galán, 2021). Así que el hallazgo en este caso de una especie de opilión troglobio *Kratochviliola* (Travuniidae) y un anfípodo stygobio *Niphargus* (Niphargidae), es un hecho que se repite y que a su vez muestra que existe un medio hipógeo profundo en esta litología, poblado por fauna troglobia, tanto acuática como terrestre. En este caso, además, no se trata de troglobios poco troglomorfos (que pudieran tener un origen más reciente, del fin del Terciario o del Pleistoceno), sino de troglobios de antiguo origen (del Terciario temprano o incluso, en el caso de *Niphargus*, datante de épocas anteriores. Dada la biología de las especies del género *Niphargus*, restringido a las aguas subterráneas y cavernas, la hipótesis más probable sugiere que *N. cismontanus* colonizó las aguas de estas minas a partir de un ancestro thalasso-stygobio, habitante de cavidades en el litoral marino, de donde pasó a las aguas continentales del medio intersticial y se especió, remontando luego hacia acuíferos o acuitards en vacíos de rocas compactas de baja permeabilidad, como las pizarras.

La especie *N.cismontanus* muestra un acentuado troglomorfismo, siendo un gigante en su grupo, con adaptaciones para desplazarse en vacíos mayores del medio hipógeo. Se trata de una especie relicta de una fauna de tipo tropical, que colonizó el medio hipógeo y se diferenció en él, sobreviviendo además al glaciarismo Cuaternario; algo parecido puede decirse respecto al carácter relicto de *K.navarica*, por lo que se trata de especies de gran antigüedad filética, auténticos "fósiles vivientes", en la acepción de Vandel (1964).

Aunque desde fechas antiguas se señaló la importancia de las fisuras estrechas en caliza como hábitat para los animales cavernicolas (Racovitza, 1907), no es hasta los años 1960 que se señala la importancia de las redes de vacíos y medios transicionales (Delamare Debouteville, 1960; Vandel, 1964), aspecto que se amplía en los años 1980 con nuevas aportaciones, aunque generalmente referidas a los ambientes acuáticos y la fauna stygobia (Ginet & Decú, 1977; Juberthie, 1983). Los hidrobiólogos y limnólogos encuentran microfauna en los goteos de las estalactitas y macrofauna en las surgencias, pozos y napas freáticas. A su vez marca un hito el descubrimiento del MSS como medio transicional y su extensión de zonas de caliza a otras no-calizas (Juberthie et al, 1980, 1981). Howarth (1981, 1983) hace a su vez interesantes aportaciones sobre la presencia de fauna troglobia en cuevas lávicas, y pone en evidencia que la evolución troglomorfa puede completarse en tiempos relativamente cortos, existiendo también troglobios no-relictuales, principalmente en cuevas lávicas y en cuevas tropicales.

La extensión de la vida en el subsuelo de la Tierra es significativa y las investigaciones más recientes apuntan que los límites absolutos para la misma aún no han sido encontrados, y se amplían continuamente. Hoy sabemos que en las grandes profundidades marinas, como la Fosa de las Marianas, hay interesantes ecosistemas a 10.700 m de profundidad. En el medio continental, mediante perforaciones de rocas en el subsuelo, se han encontrado bacterias a más de -5.000 m snm de profundidad; estas habitan en fisuras y son quimiolitótrofas, obteniendo su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos. En fracturas de la roca también hay protozoos y nemátodos, hasta a -2,8 km snm de profundidad, por ejemplo, en minas de Sudáfrica. De hecho alrededor del 70% de las bacterias y arqueas de la Tierra viven en el subsuelo, en distintas litologías; y los últimos datos científicos sugieren que el total de la biomasa en el subsuelo de la Tierra es mucho mayor que toda la existente en la superficie.

Resulta por lo tanto evidente que, a mucho menor profundidad en el subsuelo, en litologías de rocas metamórficas como las pizarras Paleozoicas, puede existir vida en las fisuras, vacíos y cavidades existentes en el interior de la roca; estas deben incluir poblaciones bacteriales, microorganismos e invertebrados, organizados en ecosistemas que pueden ser sostenidos -desde un punto de vista energético- tanto por la quimiosíntesis bacteriana como por el C, N y materia orgánica aportados por las aguas de infiltración. La presencia de micro, meio o macrofauna, dependerá de las dimensiones de los vacíos (aéreos o con agua) y de los requerimientos biológicos de los distintos taxa. El hallazgo de especies troglobias (terrestres y acuáticas) en minas excavadas en esta litología revela que existe un medio hipógeo profundo, habitado por seres vivos, en terrenos no-kársticos.

Esta red hipógea obviamente puede tener conexiones con distintos medios transicionales (hyporrheico, intersticial, MSS, horizontes profundos del suelo, fracturas y ambientes litoclásicos). Pero así como los hidrobiólogos han encontrado cierta facilidad para muestrear con distintos métodos los hábitats acuáticos subterráneos, no ha sucedido lo mismo para los hábitats hipógeos terrestres, principalmente por la falta de accesibilidad y técnicas indirectas adecuadas para estudiar los mismos, permaneciendo desconocida en gran medida la fauna terrestre de este medio hipógeo profundo. En las litologías en las que no hay cuevas (macrocavernas), las minas han sido como las ventanas de acceso para abordar su estudio. Aunque desconocemos la extensión de este medio hipógeo profundo en litologías no-calizas (medio que puede ser inhomogéneo y muy variado a tenor de la historia geológica de la región y los tipos de roca involucrados), estamos encontrando evidencia creciente de su presencia en rocas metamórficas, primariamente impermeables. Estas contienen sistemas de vacíos y están pobladas por fauna troglobia.

Todo ello tiene diversas implicaciones en ecología, biogeografíia y evolución de la fauna cavernícola. Y llevan a considerar las viejas preguntas de ¿en qué medida las cuevas están aisladas o interconectadas unas con otras? ¿o los macizos kársticos unos con otros?. Aunque han sido descritas muchas especies troglobias de sólo una o unas pocas cuevas, en Gipuzkoa hoy estamos encontrando que muchos vacíos en el área de distribución de muchas especies se van rellenando o extendiendo con nuevos datos de litologías no calizas, como es el caso para cavidades y acuíferos en las areniscas Eocenas de Jaizkibel, o los que estamos presentando sobre fauna troglobia en pizarras Paleozoicas. Si las especies troglobias son habitantes preferentes de mesocavernas y vacíos en rocas fisuradas, parece más probable que la especiación y evolución troglobia haya ocurrida en estos ambientes y a través de ellos hayan colonizado las cuevas del karst clásico en caliza, o que ambas cosas hayan ocurrido a la vez, una visión que difiere de la visión antropocéntrica inicial de las cuevas como unidades aisladas y de la fauna cavernícola restringida a las cuevas en caliza. Los hallazgos de *Kratochviliola navarica* y de *Niphargus cismontanus* en las minas de Arditurri aportan así nuevos datos sobre la ecología y distribución de los troglobios, a la vez que amplían el campo de investigación en Biología subterránea, y los referidos a procesos de espeleogénesis a nivel de mesocavernas en litologías no-kársticas, carentes de cuevas, donde constatamos la existencia de un medio hipógeo profundo en las pizarras Paleozoicas.

El medio hipógeo es extenso e inhomogéneo, y cada cavidad individual puede presentar rasgos y facetas particulares. La vida sobre el planeta se ha extendido sobre esta amplia diversidad, a través de la evolución de los distintos grupos taxonómicos, superando distintas vicisitudes históricas, dando así lugar a la multiplicidad de especies que apreciamos en la actualidad, y de las que tenemos sólo un conocimiento fragmentario. Su historia natural es algo peculiar, que vamos develando progresivamente, en la medida que prospectamos cuevas y minas en distintas litologías y estudiamos con mayor detalle su fauna.

AGRADECIMIENTOS

A Maria Nieto, Juliane Forstner, Iñigo Herraiz y Agustin Gozategi (Sociedad de Ciencias Aranzadi - SCA), por su colaboración en las exploraciones y trabajos de prospección en las minas. A tres árbitros de Biosphere Consultancies (United Kingdom), Centro de Ecología del IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) y SCA, por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

Barnard, J. & C. Barnard. 1983. Freshwater Amphipoda of the world. Hayfield Assoc., Vernon, Virginia, 830 p.

Bellés, X. 1987. Fauna cavernícola i intersticial de la península ibérica i les illes balears. C.Sup.Inv.Cient., Ed.Moll, Mallorca, 207 p.

Bosnak, A. & E. Morgan. 1981. Acute toxicity of cadmium, zinc, and total residual chlorine to epigean and hypogean isopods (Asellidae). The NSS Bulletin, 43: 12-18.

Bousfield, E. 1977. A new look at the systematics of gammaroidean amphipods of the world. Crustaceana, Suppl.4: 282-316.

Bousfield, E. 1983. An updated phyletic classification and paleohistory of the Amphipoda. Crustacean Phylogeny: Crustacean Issues, 1: 257-277.

Brehm, V. 1955. Niphargus-probleme. Sitzb.Öster.Akad.Wiss., Abt. 1, 164.

Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. Munibe, S.C.Aranzadi, 31 (1-2): 3-139.

Chevreux, E. 1920. Sur quelques Amphipodes nouveaux ou peu connus des cotes de Bretagne. Bull.Soc.Zool.France, 45: 23-28.

Crichton, R.; Wilmet, S.; Leggsyer, R. & R.J. Ward. 2002. Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells. Jour. Inorg. Chem., 91: 9-18.

Da Silva, G. 2004. Kinetics and mechanism of the bacterial and ferric sulphate oxidation of galena. Hydrometallurgy. 75: 99.

Delamare Debouteville, C. 1960. Biologie des eaux souterrains littorales et continentales. Ed. Herman, Paris, 740 p.

Dresco Derouet, L. 1959. Contribution a l'étude de la biologie des deux crustacés aquatiques cavernicoles: Caecosphaeroma burgundum D. et Niphargus orcinus virei Ch. Vie et Milieu, 10: 321-346.

Galán, C. 1993. Fauna hipógea de Gipuzkoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Cienc.Nat.), S.C.Aranzadi, 45: 1-163.

Galán, C. 2008. Opiliones cavernícolas de Gipuzkoa y zonas próximas (Arachnida: Opiliones). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 12 pp.

Galán, C. 2010. Patrones y estructuras disipativas en cuevas y geoformas del pseudokarst de Jaizkibel. Pag web Cota0.com + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.

Galán, C. 2017. Espeleotemas azules de hydrozincita y smithsonita en antiguas minas de galena argentífera (cuenca del río Urumea). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 29 pp.

Galán, C. 2019. Biología Subterránea de una extensa sima en caliza dolomítica y dolomía de edad Paleoceno en la Sierra de Entzia. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 47 pp.

Galán, C. 2021. Las minas de Karrika en esquistos de edad Paleozoico y su fauna cavernícola (Oiartzun, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 46 pp.

Galán, C. & F.F. Herrera. 1998. Fauna cavernícola: ambiente y evolución (Cave fauna: environment and evolution). Bol.Soc.Venez.Espeleol, 32: 13-43.

Galán, C. & M. Nieto. 2018. Notas sobre la fauna cavernícola de la sima Urbasa 11 (Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C. & J.M. Rivas. 2016. Desobstrucción y exploración de tres nuevas simas en la Sierra de Aralar (Larraitz - Ausa Gaztelu). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.

Galán, C. & J.M. Rivas. 2019. Biología Subterránea de la cueva-sima de Lezeaundi (Sierra de Urbasa, Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.

Galán, C.; J.M. Rivas & M. Nieto. 2017. Notas sobre la fauna cavernícola de la Mina Txindoki Norte (karst de Aralar, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.

Galán, C.; M. Nieto; J. Forstner & I. Herraiz. 2021. El ecosistema cavernícola de la cueva Igunsoro 1 (cuenca del Bidasoa, Donamaría, Navarra). Publ. Dpto. Espeleo. S.C.Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.

Ginet, R. & V. Decú. 1977. Initiation á la biologie et a l´écologie souterrain. Ed. Delarge, Paris, 345 p.

Gounot, A. 1960. Recherches sur le limon argileux souterrain et sur son role nutritif pour les Niphargus (Amphipodes, Gammarides). Am.Spéléol., 15: 501-526.

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.

Howarth, F. 1981. Non-relictual terrestrial troglobites in the tropical Hawaiian caves. Proc.8th Internat.Congr.Speleol., Huntsville, 539-541.

Howarth, F. 1983. Ecology of cave arthropods. Ann. Rev. Entomol., 28: 365-389.

Juberthie, C. 1983. Le milieu souterrain: étendue et composition. Mém. Biospéologiques, 7: 19-52.

Karaman, G. & S. Ruffo. 1986. Amphipoda: Niphargus-group (Niphargidae sensu Bousfield, 1982). Stygofauna mundi, Leiden, 564-566.

Kotwicki, V. 2009. Water balance of Earth / Bilan hydrologique de la Terre. Hydrological Sciences Journal. 54(5): 829-840. DOI: 10.1623/hysj.54.5.829

Juberthie, C.; B. Delay & M. Bouillon. 1980. Extensión du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d´un nouveau milieu et de son peuplement par les Coléoptères troglobies. Mém. Biospéol., 7: 19-52.

Juberthie, C.; M. Bouillon & B. Delay. 1980. Sur l´existencen d´un milieu souterrain superficiel en zone calcaire. Mém. Biospéol., 8: 77-94.

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.

Margalef, R. 1952. La vida en las aguas dulces de los alrededores del Santuario de Aránzazu (Guipúzcoa). Munibe, 4: 73-188.

Margalef, R. 1970. Anfípodos recolectados en aguas subterráneas del País Vasco. Munibe, 22(3-4): 169-174.

Martini, J. 1984. Rate of quartz dissolution and weathering of quarzite. Bull. South African Speleol. Assoc., 25: 7-10.

Martini, J. 1987. Les phénoménes karstiques des quarzites d´Afrique du Sud. Karstologia, 9: 45-52.

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.

Notenboom, J. 1990. Introduction to Iberian groundwater amphipods. Limnetica, Asoc.Español.Limnol., 6: 165-176.

Prieto, C. 2007. Opiliones cavernícolas de la Península Ibérica (actualización y novedades). VIII Jornadas del Grupo Ibérico de Aracnología, Valencia, Octubre 2007, Comunicaciones. Presentación en power point: 23 lám. & pdf 11 pp.

Racovitza, E. 1907. Essai sur les problémes biospéologiques. Arch. Zoologie Experiméntale et Génerale, 4e serie, 6: 371-488.

Ruffo, S. 1953. Lo stato attuale delle conoscenze sulla distribuzione geografica degli Anfipodi delle acque sotterranee europee e dei paesi mediterranei. Premier Congr.Internat.Spéléol., Paris, 3: 13-38.

Schellenberg, A. 1933. Niphargus - probleme. Mitt.Zool.Mus.Berlin, 19: 23-41.

Vandel, A. 1964. Biospéologie: La Biologie des Animaux cavernicoles. Ed.Gauthier-Villars, Paris, 619 p.