FAUNA CAVERNÍCOLA EN UN TÚNEL QUE ATRAVIESA 1.600 M DE ESPESOR DE ARENISCA DE EDAD EOCENO EN EL MONTE JAIZKIBEL (PASAIA, GIPUZKOA, PAÍS VASCO).

Cave fauna in a tunnel that crosses 1,600 m thick Eocene-age sandstone on Mount Jaizkibel (Pasaia, Gipuzkoa, Basque Country).

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

FAUNA CAVERNÍCOLA EN UN TÚNEL QUE ATRAVIESA 1.600 M DE ESPESOR DE ARENISCA DE EDAD EOCENO EN EL MONTE JAIZKIBEL (PASAIA, GIPUZKOA, PAÍS VASCO).

Cave fauna in a tunnel that crosses 1,600 m thick Eocene-age sandstone on Mount Jaizkibel (Pasaia, Gipuzkoa, Basque Country).

Carlos GALÁN, Marian NIETO & Garbiñe ALBISU.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Octubre 2020.

RESUMEN

El trabajo describe las prospecciones biológicas efectuadas en un túnel de 1.600 m de longitud que atraviesa el monte Jaizkibel de Norte a Sur y que fue perforado para el abastecimiento de aguas a Pasaia. La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de turbiditas abisales, de edad Eoceno, compuesta por estratos de arenisca carbonática con intercalaciones delgadas de lutitas. Localmente se desarrollan procesos de karstificación y acuíferos subterráneos, con numerosas cavidades y notables geoformas en arenisca. A su vez constituye un hábitat hipógeo extenso, con distintos biotopos, poblados por especies variablemente cavernícolas. El túnel intercepta varios niveles acuíferos, contiene zonas con espeleotemas y posee un ecosistema que incluye 24 especies cavernícolas. Destaca el hallazgo de especies troglobias de anfípodos Hadziidae, isópodos Trichoniscidae, ciempiés Lithobiidae, colémbolos Entomobryidae; formas troglófilas de anfípodos Gammaridae, isópodos Jaeridae, copépodos Cyclopidae, opiliones Ischyropsalididae; y otros taxa troglófilos y troglóxenos.
Palabras clave: Biología subterránea, Hidrogeología, Espeleología, Karst en arenisca, Espeleotemas, Ecología, Evolución.

ABSTRACT

The work describes the biological surveys carried out in a 1,600 m long tunnel that crosses Mount Jaizkibel from north to south and was drilled to supply water to Pasaia. The Jaizkibel Formation is a powerful sequence of abyssal turbidites, of Eocene age, composed of strata of carbonactic sandstone with thin intercalations of lutites. Karstification processes and underground aquifers develop locally, with numerous cavities and remarkable sandstone geoforms. In turn, it constitutes an extensive hypogeous habitat, with different biotopes, populated by variably cave-dwelling species. The tunnel intercepts several aquifer levels, contains areas with speleothems and has an ecosystem that includes 24 cave-species, highlighting the finding of troglobite species of Hadziidae amphipods, Trichoniscidae isopods, Lithobiidae centipede, Entomobryidae springtails; troglophille species of Gammaridae amphipods, Jaeridae isopods, Cyclopidae copepods, Ischyropsalididae harvestmen; and other troglophile and trogloxene taxa.
Key words: Subterranean Biology, Hydrogeology, Speleology, Sandstone karst, Speleothems, Ecology, Evolution.

INTRODUCCION

La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de turbiditas abisales de facies flysh, compuesta esencialmente por areniscas cuarzosas de cemento carbonático. En ella se desarrollan localmente procesos kársticos, particularmente donde los estratos de arenisca son más gruesos (no en toda la formación). También contiene acuíferos que albergan un importante volumen de aguas subterráneas, pero están compartimentados, con escasa conexión hidraúlica entre unos y otros.

La formación se extiende 40 km por el litoral Este de Gipuzkoa hasta la frontera con Francia. La estructura es monoclinal, con buzamiento N, ocupando el monte Jaizkibel (546 m snm) su parte Este. En estos terrenos hemos descubierto y explorado hasta la fecha más de 280 cavidades, la mayor de ellas de -70 m de desnivel y 280 m de desarrollo (Sima Tanbo 2), existiendo muchas otras cavidades menores, formadas por procesos de disolución intergranular de la arenisca, a veces acompañados por procesos clásticos mecánicos y otros procesos de meteorización química (Galán, 2001, 2013; Galán et al, 2009, 2013). El moderado desarrollo de las cavidades es debido a que la karstificación y espeleogénesis queda restringida a áreas localizadas.

En las cuevas exploradas hemos encontrado numerosas especies animales de hábitos variablemente cavernícolas, en biotopos marinos, anquihalinos, dulceacuícolas y terrestres, constituyendo un hábitat transicional por partida doble: entre el litoral marino y el medio continental y entre el medio epígeo y el hipógeo (Galán, 2013, 2017; Galán et al, 2020). Previamente exploramos otro túnel cercano de trasvase de aguas (túnel de Lezo o Galería Monatxo), de 800 m de longitud, hallando una interesante representación de invertebrados cavernícolas (Galán & Nieto, 2020). Por lo que nos pareció de interés abordar también el estudio de este otro túnel, que atraviesa un espesor aún mayor de la serie de areniscas de la Formación Jaizkibel.

MATERIAL Y METODOS

Los datos presentados han sido obtenidos a través de prospecciones bioespeleológicas efectuadas en un túnel del monte Jaizkibel durante los meses de agosto y septiembre de 2020. Los taxa cavernícolas han sido colectados mediante prospección directa, cebos atrayentes y redes manuales de plancton, utilizando etanol 75º como conservante. Los ejemplares colectados (depositados en la Colección de Bioespeleología de la SC Aranzadi) han sido estudiados en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon (hasta 800 aumentos). Datos geológicos y ecológicos complementarios son presentados e ilustrados con fotografía digital.

RESULTADOS

La existencia de volúmenes de aguas subterráneas en las areniscas de la Formación Jaizkibel configuran un hábitat hipógeo extenso y susceptible de ser poblado por cavernícolas acuáticos y, en el caso de existir vacíos kársticos aéreos, por fauna terrestre. Prospecciones previas en un túnel cercano (túnel de Lezo, de 800 m de longitud), que discurre a mayor altitud (220 m snm), mostraron un interesante elenco de especies cavernícolas (Galán & Nieto, 2020), por lo que nos pareció de interés efectuar prospecciones biológicas más detalladas en el túnel de Pasaia.

Pasaia dispone de siete captaciones autónomas de agua situadas en el monte Jaizkibel que llegan a abastecer hasta un 60% de la población. El resto del municipio se abastece del embalse de Añarbe. Las captaciones son las de Gaztarrotz, Agindegi, Lete, Akerregi, Abarguren y Galera. Esta última está hoy inactiva. El caudal medio captado es de 50 l/s y es travasado a través de la galería Pasaia a los depósitos de San Juan y Antxo. El sistema de captaciones está interconectado por una tubería recubierta y una serie de túneles que, partiendo de Gaztarrotz van de E a W a través de la ladera N de Jaizkibel, a similar cota, para derivar por último de N a S a través de la Galería Pasaia, atravesando el monte. Del sistema de túneles nosotros prospectamos el mayor (Galería Pasaia, de 1,6 km) y el anterior a este (Túnel 2, de 400 m). El resto de túneles del sistema son de menores longitudes.

La Galería Pasaia, según la información que hemos podido reunir, fue construida en 1941 por mano de obra esclava (Batallón de trabajadores) al finalizar la guerra civil (de 1936-39). Este “batallón” estaba compuesto por presos republicanos represaliados por el bando franquista al concluir la guerra y, como ocurrió en distintas partes del país, fueron explotados en trabajos, construcciones e industrias de distinto tipo (junto a campos de concentración, fusilamientos y confiscación de bienes), siendo prácticas de Estado, ampliamente utilizadas contra los prisioneros republicanos en los años inmediatos de posguerra. No encontramos datos históricos que documenten la cantidad ni identificación de los componentes de estos batallones de trabajadores en Pasaia, pero existen restos de los edificios donde fueron confinados, en la ladera Sur del monte. Sería tarea de historiadores encontrar las referencias de cómo se realizaron estas y otras construcciones, hace ahora 80 años. Los detalles -en nuestra opinión- son de interés, ya que involucran la infraestructura -en gran parte subterránea- de abastecimiento de aguas de una ciudad portuaria de cierta importancia.

Como contexto general cabe señalar que las areniscas de Jaizkibel son parte de una secuencia de turbiditas abisales de edad Eoceno, de facies flysch, que alterna estratos gruesos de arenisca con intercalaciones delgadas de lutitas y margas. La secuencia predominantemente arenosa, de edad Eoceno inferior a medio, ha sido denominada Formación Jaizkibel y ha sido detalladamente descrita por diversos autores (Jérez et al, 1971; Campos, 1979; Kruit el al, 1972; Mutti, 1985; Rosell, 1988; Van Vliet, 1982; entre otros). La potencia total de la serie alcanza 1.500 m de espesor y se extiende a lo largo de la costa entre Hondarribia, San Sebastián y Orio. La Formación Jaizkibel se originó por acumulación de material detrítico de procedencia Norte (hipotético Plateau de las Landas) en la desembocadura de un profundo cañón submarino (Kruit et al., 1972). La acumulación se debió verificar a una profundidad variable entre 1.000 y 4.000 m, habiéndose depositado los materiales arenosos por corrientes de turbidez (Campos, 1979). El dispositivo estructural es monoclinal, con buzamiento generalizado hacia el Norte y deformaciones locales. Debido a la plasticidad de las rocas del flysch, el buzamiento es variable. En el área de estudio el buzamiento medio es de 20-30º NNW.

Litológicamente son areniscas cuarzosas de colores claros (blancas, amarillentas, rojas y ocres) y cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo bien redondeados (o ligeramente angulosos), que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespatos. Intercalados entre los estratos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad (Galán et al, 2009).

En la arenisca de la Formación Jaizkibel existen numerosas cuevas, abrigos y geoformas, circulaciones hídricas subterráneas, manantiales, etc., pero faltan auténticas redes de drenaje subterráneo y cavernas asociadas. La morfología y topografía de superficie es normal. Los procesos de meteorización de las rocas son facilitados por tratarse de zonas de clima atlántico próximas al mar. Las lluvias alcanzan valores de 1.800 mm/a. Los vientos predominantes del cuadrante NW aportan aire húmedo del mar, siendo zonas brumosas, con lloviznas frecuentes. La erosión marina en la costa es potente y las zonas litorales presentan acantilados y taludes en activo proceso de erosión y recorte, con frecuentes colapsos de bloques y retroceso de los escarpes. El terreno es localmente permeable. En algunas zonas se forman acuíferos compartimentados y acuitards, de permeabilidad media, en los cuales circula cierto volumen de aguas subterráneas a través de la red de fisuras e intergranularmente, dando lugar a pequeños manantiales en las zonas bajas. No obstante, a pesar de que existe cierto grado de infiltración, la desagregación de la roca en arena y arcilla es poco propicia para la formación de cuevas.

La unidad hidrogeológica del monte Jaizkibel forma una franja SW-NE de 12 km de extensión, con una superficie total de 26 km^2 y una potencia superior a los 1.300 m, caracterizada por una doble permeabilidad, intergranular por disolución del cemento carbonático y por fracturación, lo que propicia el desarrollo de fenómenos kársticos de escasa entidad (EVE, 2000). La formación presenta una permeabilidad muy variable controlada principalmente por la granulometría de los depósitos, el grado de alteración, y la existencia de juntas de estratificación o fracturas. Por otra parte, la estructura monoclinal buzante hacia el N condiciona el flujo subterráneo, determinando la dirección de drenaje principal, que es hacia el Norte.

Los estudios realizados por el EVE (2000) estiman un coeficiente de infiltración del 55% de la lluvia útil, lo que supone un módulo de infiltración de 17 $l/s/km^2$. La descarga se produce a través de varios manantiales localizados en ambas vertientes (principalmente en la Norte) así como por la descarga directa al mar o de forma difusa a los arroyos. Por otra parte, existen multitud de pequeñas surgencias, a cotas muy variables, relacionadas con niveles acuíferos colgados.

Los puntos de descarga más importantes se producen a través de manantiales en la zona N, cercanos a Pasaia, que son trasvasados mediante túneles (galerías Pasaia y Monatxo) hacia el flanco Sur. El túnel de Pasaia, a cota 108 m snm, tiene 1.600 m de longitud y fue construido para el trasvase del caudal captado en el manantial de Lete (de 10 l/s) y de varios arroyos de la vertiente N, para el abastecimiento de Pasaia. La galería experimenta una ganancia gradual al ir cortando los distintos niveles areniscosos de la formación Jaizkibel. Su caudal medio ha sido estimado en 50 l/s.

El funcionamiento de estos acuíferos es en general libre, existiendo un claro control del flujo por planos de estratificación y líneas de fractura que funcionan a modo de colectores. No obstante, se han reconocido áreas de funcionamiento confinado debido a la naturaleza lenticular de los cuerpos alterados y a su sellado por materiales de baja permeabilidad (EVE, 2000). Investigaciones complementarias mediante sondeos efectuados por el EVE han mostrado que existen niveles colgados, con una deficiente conexión hidráulica entre los distintos acuíferos y manantiales, con flujos relativamente individualizados y compartimentados (EVE, 2000).

DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL DE PASAIA

El túnel de Pasaia consta de una galería única, rectilínea, de 1.600 m de longitud, que atraviesa el monte Jaizkibel de Norte a Sur. Las coordenadas ETRS89, UTM30N, de la boca Sur son: E 589.750; N 4.798.180; altitud 108 m snm. La boca N está situada a una cota levemente más alta, y en sus cercanías se encuentra el manantial de Lete, que es captado con una toma. Un pequeño sistema de canales que se extiende hacia el E también captura pequeños caudales de varios manantiales y arroyos que descienden hacia el mar en este sector. El caudal de conjunto, canalizado en una tubería de gran diámetro (60 cm), ingresa a la galería del túnel, y prosigue por ella a todo lo largo de su recorrido hasta la boca Sur, donde una caseta con compuertas reguladoras dirigen el caudal a los depósitos de suministro para el abastecimiento de Pasaia, localidad situada a escasos 500 m al SW de la boca Sur. El túnel fue construido en 1941, hace ahora 80 años, para satisfacer la demanda de agua requerida por las actividades del puerto de Pasaia y la expansión industrial de la comarca (cercana a la frontera con Francia).

A diferencia del túnel de Lezo (Galán & Nieto, 2020), que tiene un canal interno a lo largo de su recorrido (de 800 m), este presenta una tubería principal. Las filtraciones que recibe la galería inundan parte del suelo anexo y son derivadas a la tubería mediante pequeños diques, cubetas de intercepción y derivaciones, lo que hace que progresivamente se incremente el caudal del colector. Se estima que cerca del 40% del caudal corresponde a estas filtraciones a lo largo de la galería.

El túnel tiene una sección media bastante uniforme, en forma de U invertida, de 1,6-1,8 m de alto x 1,4-1,6 m de ancho. El túnel está excavado en la roca-caja de arenisca (con intercalaciones delgadas de lutitas) y está revestido en muchos tramos, menos compactos, con bloques de sillería (dispuestos en arco para autosoportar la bóveda) y/o con cementaciones de cierto espesor, por lo que la roca-caja sólo es visible en partes de su trayecto, y no casi en su totalidad, como ocurre en el túnel de Lezo. Las paredes cementadas y/o de bloques tienen algunas roturas y oquedades, con ampliaciones laterales. De igual modo, las paredes de arenisca, más irregulares, presentan también ampliaciones y rellenos, por el colapso de tramos métricos de lutitas y en varias zonas donde ingresan aguas subterráneas a través de fisuras y planos de estratificación. A 1.100 m de la boca Sur hay un tramo de techo bajo debido al colapso de las lutitas y acumulación en el suelo del material desprendido. Otros tramos también presentan acumulaciones menores de clastos desprendidos. La altura de bóveda de la galería es algo más baja en la parte media del túnel, por lo que hay que avanzar muchas veces en posición algo agachada para recorrerla; no obstante, cada tanto, hay elevaciones que permiten estirarse y permanecer de pie. A 600 m de la boca Sur hay una instalación de teléfono con cable, que se extiende hasta la entrada Sur, donde hay otro teléfono similar, seguramente para facilitar la seguridad de las comunicaciones durante las periódicas obras de reparación y mantenimiento que se efectuan en el túnel. A lo largo del suelo del túnel hay zonas encharcadas, otras con circulaciones de agua de escaso caudal y otras con una altura de agua algo mayor (en torno a 20 cm), procedentes de las filtraciones de la serie de areniscas, pero, como ha sido dicho, cada tanto son derivadas a la tubería principal mediante pequeñas captaciones o aprovechando la pendiente.

En varios puntos hay espacios vacíos entre el revestimiento de cemento del túnel y la roca-caja, algunos de ellos con espeleotemas. A 150 m de la boca Sur, un agujero estrecho en la pared E comunica y permite el paso a una cavidad natural, de 10 m de largo y 3 m de diámetro, obstruida por derrumbe; esta se desarrolla en paralelo a la galería principal del túnel.

Figura 01. Aspecto general de túnel de Pasaia, con la tubería colectora que lo recorre y tramos con cementaciones.

Figura 02. Pequeñas espeleotemas de calcita y tramos de lutitas cementados con refuerzos para evitar colapsos.

Figura 03. En la parte Sur del túnel muchas zonas están recubiertas por bloques de sillería y cementaciones (arriba). A 150 m de la boca Sur un pequeño orificio en la arenisca permite el paso a una amplia galería natural (debajo).

Figura 04. A unos 200 m de la boca Sur empiezan a aparecer zonas con espeleotemas y filtraciones. Nótese la tubería colectora y circulaciones de agua de escaso caudal en el suelo contiguo.

Figura 05. Avanzando hacia el N aparecen zonas inundadas, de mayor caudal, que cada tanto son interceptadas por pequeños diques y captaciones que derivan el agua infiltrada a la tubería colectora.

Figura 06. Suelos encharcados, filtraciones y diversidad de espeleotemas en la mitad Sur del túnel de Pasaia.

Figura 07. En distintos puntos han sido construidas pequeñas cubetas rectangulares para derivar las filtraciones hacia la tubería colectora. Estas y parte del suelo anexo están siendo recubiertas por coladas y espeleotemas de calcita.

Figura 06. Estalagmitas, coladas y perlas de caverna en puntos donde ingresan filtraciones a la galería del túnel.

Figura 09. Cubetas, tomas y pequeñas derivaciones para llevar el agua de infiltración a la tubería colectora.

Figura 10. Diversos puntos con filtraciones que son captadas con cubetas y derivaciones hacia la tubería. Se aprecian también clastos desprendidos de las lutitas pizarrosas grises.

Figura 11. Detalle de filtraciones que precipitan espeleotemas recubriendo cubetas de captación y en parte la tubería colectora, con formación de perlas de cavernas y gours de calcita. Parte media del túnel.

Figura 12. Paredes cementadas con recubrimientos delgados de espeleotemas (algunas rojizas, debidas a óxidos de hierro), suelos encharcados por filtraciones, y estación de teléfono con cable, en la parte media de la galería.

Figura 13. Detalle de espeleotemas negras de goethita y geoformas con aspecto de pequeños volcanes, bajo goteos, formados por sedimentos arenosos parcialmente cementados por calcita.

Figura 14. Tramos del túnel con espeleotemas blancas y rojizas, de calcita y oxi-hidróxidos de hierro, respectivamente.

Figura 15. Detalles de espeleotemas blancas, negras y rojizas, en la parte Norte del túnel.

Figura 16. Coladas estalagmíticas de calcita y oxi-hidróxidos de hierro con microgours.

Figura 17. Otros ejemplos de espeleotemas de calcita y flujos coloidales de goethita-hematita, en la parte N del túnel.

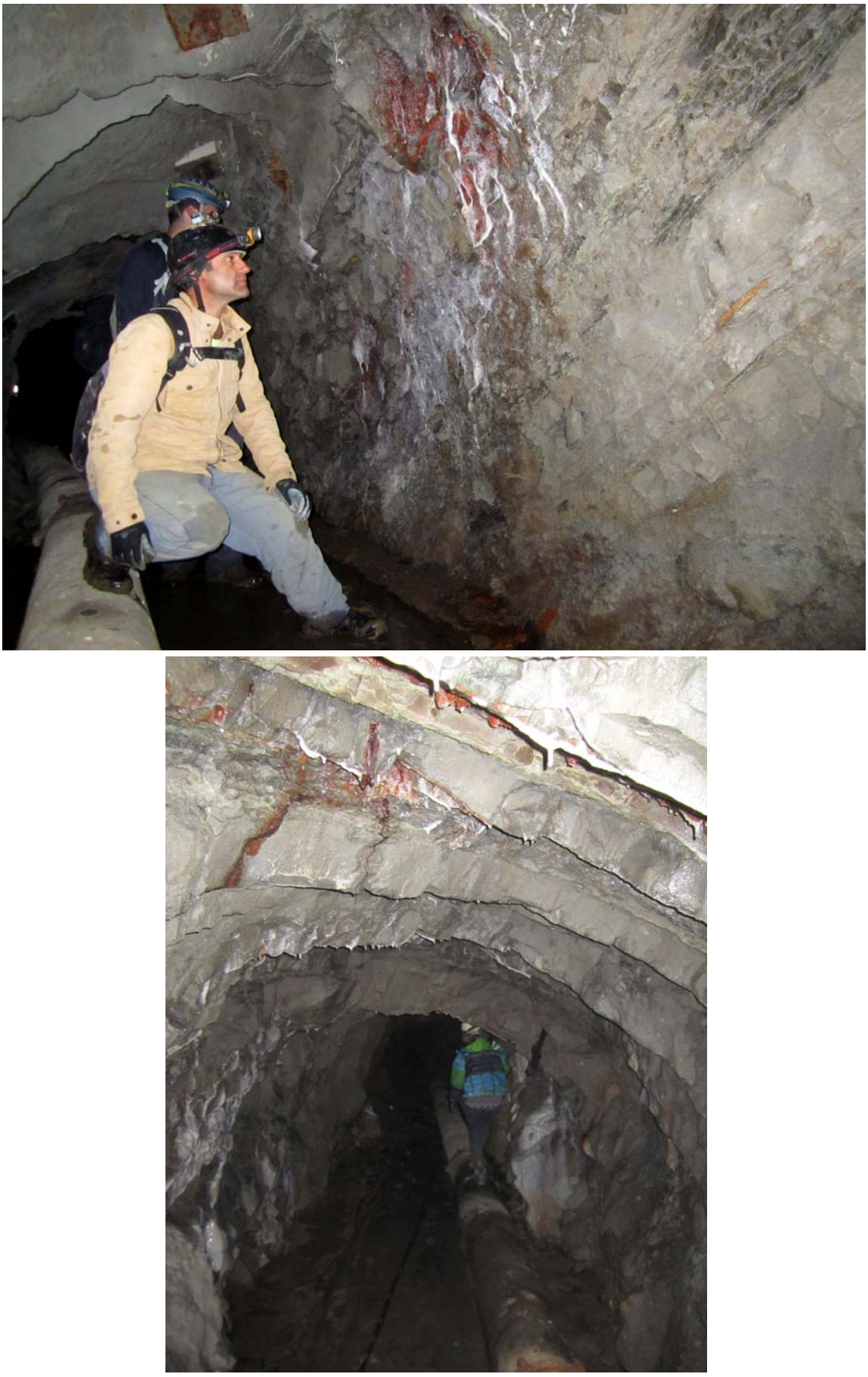

Figura 18. Zona Norte del túnel, con espeleotemas blancas y rojas.

Figura 19. Coladas estalagmíticas y gours habitados por anfípodos troglobios (arriba) y vacíos con espeleotemas entre los revestimientos del túnel y la roca-caja, muchos de ellos prolongados en mesocavernas (debajo).

Figura 20. Recubrimientos de espeleotemas anaranjadas y ocres de oxi-hidróxidos de hierro (arriba) y zona de penumbra en la proximidad de la boca Norte, con vegetación de criptógamas y algas verdes (debajo).

Figura 21. Concentración de más de 50 anfípodos *Echinogammarus berilloni* en un sector encharcado en la parte central del túnel (arriba) y separación de muestras en laboratorio, para la identificación de especímenes (debajo). Se aprecian tres ejemplares de anfípodos *Echinogammarus* y un isópodo troglobio Trichoniscidae.

A lo largo de la galería, de 1,6 km de longitud, hay zonas con recubrimientos de tapices de microorganismos, de colores blancos y rosados, que corresponden a biofilms bacteriales, y los rosáceos probablemente a Cyanobacterias y/o Arquea. En el suelo de la galería hay depósitos arcillosos de crecida, algunos con pequeños restos vegetales (fragmentos de madera, semillas y hojarasca).

Lo más llamativo del túnel es la ocurrencia de una gran diversidad de espeleotemas, formadas en un corto lapso de tiempo, ya que el túnel fue excavado hace sólo 80 años. En las zonas más secas y ventiladas son frecuentes pequeños recubrimientos blanco-opacos de silicatos de aluminio amorfo (alófano); el espesor de estos recubrimientos o costras es en general muy débil, de 1 mm o menos. También hay puntos con espeleotemas laminares y botroidales milimétricas de ópalo-A. Pero lo predominante, en las partes centrales y N de la galería, es la existencia de numerosas filtraciones de aguas subterráneas y goteos procedentes de la arenisca. En estas zonas se han formado recubrimientos de espeleotemas blanco-brillantes de calcita. Estas llegan a revestir gran parte del diámetro de la galería, a lo largo de tramos decamétricos sucesivos. Principalmente forman coladas parietales y pavimentos estalagmíticos, con microgours, así como también estalactitas de caudal, isotubulares y banderas. Esta profusión de espeleotemas de calcita va acompañada en puntos locales de espeleotemas y flujos laminares rojizos (y algunos negros) de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita), de considerable belleza estética. También hay cubetas sub-rectangulares construidas para colectar el agua, que actualmente se encuentran -al igual que la tubería-, recubiertas de depósitos de espeleotemas y coladas, de varios centímetros de espesor, con perlas de caverna o pisolitas en su interior, así como láminas de calcita flotante. Existen por último estalactitas y banderas, con curiosos bordes denticulados. (Ver imágenes de los principales rasgos del túnel en Figuras 01 á 21). El trazado del túnel tiene una orientación NNE-SSW (azimut 10º N).

Los 50 primeros metros cercanos a ambas bocas pueden considerarse zonas en acentuada penumbra, pero la mayor parte del túnel está en oscuridad. Aunque el túnel describe alguna suave curva es fuertemente rectilíneo; dado el escaso diámetro, es de suponer que sólo una extremadamente baja intensidad lumínica pueda penetrar más de 100 m por ambos extremos. En la mayor parte del túnel, sus ampliaciones y oquedades laterales, la oscuridad es sin duda absoluta. En consecuencia, se trata de una galería en oscuridad, recorrida por la tubería y con circulaciones de agua y filtraciones, bien ventilada (con leve corriente de aire en algunos puntos). La humedad relativa es elevada (100%) y la temperatura ambiente de 12ºC en verano, con agua ligeramente más fría.

Las aguas del conducto colector y las de las filtraciones que ingresan a la galería son muy claras, de gran transparencia. Hidroquímicamente se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, con una conductividad de 270 µS/cm y mineralización moderada. Los contenidos máximos en HCO^{3-} y Ca^{++} alcanzan 4,5 meq/l; el Cl^{-} alcanza concentraciones de 0,5-0,9 meq/l (probablemente debido a la proximidad al mar) y el resto de los iones aparece siempre en concentraciones inferiores a 0,5 meq/l. El alto contenido en carbonatos procede del cemento carbonático de la arenisca, que es fácilmente disuelto, pero la ocurrencia de espeleotemas de ópalo prueba que también ocurre una disolución parcial de los granos de cuarzo.

DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL DOS.

A escasos 200 m al NE de la boca N de la Galería Pasaia se encuentra el segundo túnel del sistema, de 400 m de longitud y trazado SW-NE, interconectado por una tubería recubierta. El agua de la conducción procede del E, siguiendo un sistema de túneles menores y tramos canalizados recubiertos, a similar cota altimétrica, que se extiende 2,5 km más hacia el E, hasta el valle de Gaztarrotz. Este sistema cruza la regatas de Galera, Abanguren 1 y 2, Lete 1 y 2, Aguindegui y Gaztarrotz 1 y 2, conteniendo algunos viaductos y captando agua de varios manantiales a lo largo de su recorrido. Las aguas captadas son conducidas por la tubería que ingresa a la boca N de la Galería Pasaia y trasvasa el caudal hacia el Sur.

El túnel 2 es recorrido por la misma tubería de gran diámetro, es el más grande de los restantes túneles y nos pareció oportuno prospectarlo porque su morfología es algo diferente, ya que atraviesa la serie de areniscas en sentido perpendicular al buzamiento NNW de las capas, siguiendo en gran parte planos de estratificación. Su sección en “U” invertida a menudo tiene por techo planos de estratificación y adopta entonces una sección triangular, ampliada por el colapso de los estratos delgados de lutitas.

El túnel recorrido por la tubería es en general mucho más seco que la galería Pasaia, con extensos tramos de suelo seco y sólo pequeñas zonas con filtraciones y suelos encharcados. Presenta colapsos más importantes de lutitas en dos puntos del túnel, con elevaciones de bóveda, ampliación de la galería y acumulaciones de clastos sobre el suelo, lo que eleva su perfil longitudinal y genera pasos de techo bajo (1 m de alto).

En su recorrido destacan zonas con pequeñas espeleotemas botroidales y laminares de ópalo-A, de probable origen biogénico. Algunas de ellas parecen contener combinaciones de ópalo-A y calcita. Hay también recubrimientos blanco-opacos de alófano y espeleotemas blanco-brillantes y húmedas de calcita, formando estalactitas isotubulares, pequeñas banderas y coladas parietales. Su cantidad y diversidad es no obstante considerablemente menor que en la Galería Pasaia (de ambiente más húmedo y con más filtraciones de agua). También destacan coladas rojizas y anaranjadas, a menudo de intenso color, formadas por la precipitación de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita), procedentes de las areniscas y lutitas intercaladas en la serie. Algunos tramos con revestimiento de cemento han colapsado y presentan vetas de calcita y flujos coloidales de goethita. Otros puntos presentan vermiculaciones arenosas sobre estratos anaranjados de arenisca, formados por condensación y retracción de películas de agua. (Ver imágenes en Figuras 22 á 31). Por lo demás, los rasgos de ambos túneles son semejantes.

BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

La fauna reportada corresponde a la colectada en ambos túneles, aunque la mayoría de la fauna acuática procede de la Galería Pasaia. Buena parte de las especies troglóxenas y troglófilas han sido halladas previamente en el túnel de Lezo (Galán & Nieto, 2020), a lo que se agrega ocho especies no-reportadas antes, que incluyen cuatro especies troglobias (para un total de 24 taxa distintos). Sólo la presencia de micromamíferos y quirópteros (de dos especies distintas, halladas en el túnel de Lezo) no ha sido detectada en los túneles de Pasaia (aunque es muy probable que también los frecuenten).

Los túneles poseen un conjunto de especies cavernícolas. Cerca de las bocas encontramos ejemplares de gasterópodos *Arion ater* (Arionidae), limacos negros, de 8 cm de talla, alimentándose de plantas y hongos, y en menor medida de gusanos, insectos y materia vegetal en descomposición; y de caracoles de concha amarilla *Cepaea nemoralis* (Helicidae), de 10-15 mm de talla, que pastorean sobre recubrimientos de algas verdes y criptógamas. Ambas especies son troglóxenas o accidentales, y se limitan a la zona de entrada. En zona de penumbra se presentan formas troglóxenas de dípteros *Rhymossia fenestralis, Limnobia nubeculosa* (ésta, más abundante, se extiende hacia el interior), tricópteros *Micropterna fissa,* lepidópteros *Alucita hexadactyla*, isópodos terrestres *Oniscus asellus, y* algunos ejemplares del opilión de gran talla *Gyas titanus.*

También encontramos a lo largo del cauce ninfas acuáticas vivas y adultos muertos de odonatos Aeschnidae (*Aeschna sp.*), especie epígea hallada también en el túnel de Lezo y que ingresa a la galería del túnel 1 para poner sus huevos; sus ninfas -de hábitos carnívoros- se desarrollan y alimentan en el cauce para, tras varias mudas, eclosionar como adultos y abandonar el túnel. El dato es interesante porque son muy escasos los datos a nivel global sobre la presencia de odonatos en cavidades subterráneas (Galán, 2019; Galán & Nieto, 2020). En el túnel 2, en zona oscura y sobre suelos húmedos hallamos vários ejemplares de oligoquetos troglóxenos *Eiseniella t. tetraedra* (Lumbricidae); la especie es de hábitos acuáticos y frecuente en la orilla de los ríos, pero también se encuentra en suelos encharcados o muy húmedos del túnel, donde se desplaza sobre el sustrato o se esconde bajo piedras y zonas estalagmíticas con agua. La biología de *E.tetraedra* la hace más próxima a los animales acuáticos que a los terrestres, debido a su estricta dependencia del agua, reproducción partenogenética y amplia distribución (Sosa et al, 2017).

Más hacia el interior aparecen especies troglófilas, capaces de completar su ciclo de vida en el hábitat hipógeo, que incluyen a las arañas cavernícolas *Meta bourneti, Metellina merianae y Tegenaria inermis*, al opilión troglófilo *Ischyropsalis nodifera,* y al diplópodo *Blaniulus dolfussi.* Estas especies, comunes en cuevas en caliza en la región, también han sido halladas en cavidades naturales en otros enclaves de la Formación Jaizkibel. Adicionalmente, en el túnel 2 y boca N del túnel 1, habita también el tysanuro troglófilo *Petrobius maritimus* (Machilidae); esta especie es un habitante frecuente en cuevas del litoral de Jaizkibel, donde se alimenta de detritos de algas marinas en la zona intermareal. El diplópodo *B.dolfussi* há sido hallado previamente en Gipuzkoa en cuevas del macizo de Aitzbitarte y en la región navarra de Orbaiceta. La fauna acuática incluye varias especies troglófilas de agua dulce (= stygófilas): los copépodos *Paracyclops fimbriatus* y *Megacyclops viridis* (Cyclopidae), el singular isópodo acuático *Jäera ortizi* (Jaeridae), y el anfípodo *Echinogammarus berilloni* (Gammaridae). Datos sobre la ecología e historia natural de estas especies pueden encontrarse en trabajos previos (Galán, 1993, 2001, 2017; Galán & Nieto, 2016, 2020; Galán et al, 2020; entre otros).

La fauna troglobia incluye una especie acuática de anfípodo de la familia Hadziidae (*Pseudoniphargus vasconiensis*) y tres especies terrestres, de isópodos Trichoniscidae (*Trichoniscoides cavernicola*), quilópodos Lithobiidae (*Lithobius anphthalmus*) y colémbolos Entomobryidae (*Pseudosinella antennata*). A continuación haremos un comentario más extenso sobre las especies más significativas. Un listado de las especies halladas es presentado en la Tabla 1.

Los copépodos, de muy pequeña talla (0,7-2 mm), son stygófilos y fueron colectados por filtrado de muestras de arena en zonas con agua del cauce del túnel 1; son formas intersticiales diminutas, de amplia distribución, comunes en las aguas dulces subterráneas (incluyendo aguas salobres y aguas ricas en minerales hierro).

Los anfípodos *Echinogammarus berilloni* son habitantes comunes de las aguas continentales (dulces y salobres), siendo habitantes frecuentes de las aguas subterráneas y sistemas de cavernas, donde puede mantener poblaciones troglófilas estables. La especie, de 11-16 mm de talla, habita en el SW de Francia, Bégica, Wesfalia y NE de la península ibérica, siendo el centro de su área de distribución el Garona (Vandel, 1926; Juberthie, 1983). En Gipuzkoa ha sido colectada en cavidades en todo el territorio, prefiriendo aguas carbonatadas. Su alimentación omnívora incluye bacterias, cianofíceas y partículas detríticas vegetales y animales muy pequeñas. En el túnel 1 la especie mantiene una población muy abundante en las aguas corrientes y encharcadas; en un sector a 700 m de la boca Sur hallamos concentraciones de adultos y juveniles de hasta 50-100 individuos/m^2.

El anfípodo troglobio *Pseudoniphargus vasconiensis* pertenece a un antiguo linaje, de origen marino, que pobló las aguas subterráneas continentales (kársticas e intersticiales) en áreas que durante el pasado (Cretácico o Terciario temprano) estuvieron cubiertas por mares epicontinentales. Las especies stygobias de *Pseudoniphargus* tienen un alto grado de endemismo. Con distribuciones restringidas y fuerte tendencia a limitarse a una cuenca hidrográfica. La especie *P.vasconiensis* ha sido hallada en cavidades y surgencias de los karsts de Gipuzkoa (incluyendo áreas limítrofes con Navarra), generalmente a baja altitud. La especie es ciega y depigmentada y alcanza 5-6 mm de talla en los adultos más grandes. Tiene una alimentación omnívora, en la que alterna restos vegetales y animales de todo tipo, así como materia orgánica adherida a sedimentos arcillosos. En el túnel 1 fue encontrada en bajo número sólo en un pequeño sector a mitad del túnel, con pavimentos estalagmíticos, donde ingresan filtraciones de agua dulce procedentes de la arenisca adyacente.

Figura 22. Zona de entrada SW del túnel 2 y espeleotemas botroidales y arborescentes de ópalo-A y calcita.

Figura 23. Túnel 2. Zonas cercanas a la boca SW, con espeleotemas arborescentes de ópalo-A, de varios milímetros de tamaño (arriba), y coladas de espeleotemas compuestas por capas alternas de calcita y ópalo-A (debajo).

Figura 24. El túnel 2 tiene tramos de sección triangular, con bóveda techada por estratos gruesos de arenisca, mientras que las paredes presentan colapsos de los estratos delgados de lutitas grises intercaladas en la serie.

Figura 25. En algunos puntos el túnel 2 presenta coladas anaranjadas, amarillentas y rojizas, de impactante colorido, compuestas de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita), con numerosos microgours.

Figura 26. Recubrimientos blanco-opacos de silicatos de aluminio amorfo (arriba) junto a pequeñas espeleotemas de calcita (debajo). La galería del túnel 2 es de ambiente más seco que el túnel 1 y posee largos tramos de suelo seco.

Figura 27. Los tramos en arenisca de color naranja son compactos (arriba) y algunas zonas presentan vermiculaciones arenosas (debajo), formadas por retracción y evaporación de películas de agua de condensación. Estas geformas dejan un microrrelieve moteado , con granos de arena suelta, desagregados de la arenisca. Túnel 2.

Figura 28. Espeleotemas de calcita (arriba) y flujos de goethita (debajo), de colores rojizos y negros, sobre una pared cementada y fracturada, con vetas de calcita. Parte central del túnel 2.

Figura 29. Zona central del túnel 2, con un tramo donde el revestimiento de cemento ha colapsado y se observan los estratos delgados de lutitas, algunos de ellos con minerales de hierro de tonos rojo y ocres. Nótese el suelo de clastos.

Figura 30. Tramo próximo a la boca NE del túnel 2, con la tubería colectora y suelo inundado por una fuga de la misma.

Figura 31. El litoral en el flanco Norte de Jaizkibel, sobre el túnel 2, retornando tras una salida de prospección biológica.

La rara especie de isópodo acuático *Jäera ortizi*, pertenece a la familia Jaeridae (antes Janiridae). La especie fue descrita por Margalef (1953) de un riachuelo sobre sustrato calizo en un pequeño afloramiento kárstico de edad Daniense próximo a Pasaia. En el mismo también habitaba el anfípodo *Echinogammarus berilloni*. El género *Jaëra* posee sólo dos especies de agua dulce en la península ibérica, *J.ortizi* y *J.balearica*, esta última de las fuentes de Sóller, en país calizo, Mallorca. En opinión de Margalef (1953) las dos especies de *Jaëra* que han penetrado en las aguas continentales han derivado de la especie marina *J.nordmanni* (Rathke), de la cual difieren muy poco. Henry (1981) colectó una especie indeterminada de *Jaëra*, afín a *J.nordmanni*, en la Cueva de las Brujas (Zugarramurdi, Navarra), la cual fue atribuida con algunas reservas a *J.ortizi* (Galán, 1993). La especie fue hallada hace poco en las aguas subterráneas del cercano túnel de Lezo (Galán & Nieto, 2020). Por lo cual la especie constituye un endemismo vasco restringido a las localidades citadas, a las que se agrega ahora este hallazgo en el túnel de Pasaia, en arenisca de Jaizkibel.

La especie tiene 2,3-3,4 mm de talla, posee ojos reducidos con 10-16 unidades visuales, pleotelson con escotadura posterior subdividida, patas anteriores terminadas en dos uñas, las posteriores por tres. Se distingue por el carpopodio de la cuarta pata del macho con 18 apéndices dispuestos en 3 filas y flagelo de la segunda antena con 22 artejos. En el túnel habita en el mismo biotopo que el anfípodo *E.berilloni:* rellenos arenosos del fondo del cauce subterráneo, con microalgas cianofíceas y zooplancton.

Estos casos, como el hallazgo de Mystacocarida en cavidades del litoral de Ulía (Galán & Nieto, 2016), o el de isópodos acuáticos Sphaeromatidae en otras cavidades en arenisca de la Formación Jaizkibel (Galán, 1993; Galán et al, 2020), ilustran muy bien el proceso de colonización del medio kárstico a partir de elementos marinos.

Tabla 1. Lista de las especies identificadas, con indicación de su categoría ecológica. Suma 24 taxa (4 troglobios, 10 troglófilos, 10 troglóxenos).

Grupo	Familia o grupo superior	Especie	Categoría ecológica
Oligochaeta	Lumbricidae	*Eiseniella tetraedra tetraedra* (Savigny)	Troglóxeno
Gastropoda	Arionidae	*Arion ater* (Linnaeus)	Troglóxeno
Gastropoda	Helicidae	*Cepaea nemoralis* (Linnaeus)	Troglóxeno
Araneida	Tetragnathidae	*Meta bourneti* Simon	Troglófilo
Araneida	Tetragnathidae	*Metellina merianae* (Scopoli)	Troglófilo
Araneida	Agelenidae	*Tegenaria inermis Simon*	Troglófilo
Opiliones	Ischyropsalididae	*Ischyropsalis nodifera* Simon	Troglófilo
Opiliones	Gyantidae	*Gyas titanus* Simon	Troglóxeno
Copepoda	Cyclopidae	*Paracyclops fimbriatus* (Fischer)	Stygófilo
Copepoda	Cyclopidae	*Megacyclops viridis* (Jurine)	Stygófilo
Isopoda	Jaeridae	*Jäera ortizi* Margalef	Stygófilo
Isopoda	Trichoniscidae	*Trichoniscoides cavernicola* Budde-Lund	Troglobio
Isopoda	Oniscidae	*Oniscus asellus* Linné	Troglóxeno
Amphipoda	Gammaridae	*Echinogammarus berilloni* Catta	Stygófilo
Amphipoda	Hadziidae	*Pseudoniphargus vasconiensis* Notenboom	Stygobio
Chilopoda	Lithobiidae	*Lithobius anophthalmus Matic*	Troglobio
Diplopoda	Blaniulidae	*Blaniulus dolfussi* Bröleman	Troglófilo
Collembola	Entomobryidae	*Pseudosinella antennata* Bonet	Troglobio
Thysanura Machiloidea	Machilidae	*Petrobius maritimus* (Leach)	Troglófilo
Diptera	Mycetophilidae	*Rhymossia fenestralis* Meigen	Troglóxeno
Diptera	Limnobiidae	*Limnobia nubeculosa* (Meigen)	Troglóxeno
Trichoptera	Limnephilidae	*Micropterna fissa* McLachlan	Troglóxeno
Lepidoptera	Alicitidae	*Alucita hexadactyla* Sin	Troglóxeno
Odonata	Aeschnidae	*Aeschna sp.* Ninfas acuáticas e imago	Troglóxeno

Los acuíferos y cavidades en arenisca (recorridos por las aguas subterráneas), están en continuidad y ponen en comunicación biotopos creviculares e intersticiales de los fondos marinos (y a su fauna thalassostygobia), con biotopos anquihalinos (Stock et al, 1986), y con el medio hipógeo continental, constituyendo la vía más frecuentemente utilizada para colonizar las aguas dulces subterráneas del karst (y otras litologías) por ancestros de la fauna stygobia, que en su gran mayoría son de origen marino directo. Se trata en consecuencia de un medio transicional, con condiciones comparativamente adversas y extremas, y una vía de comunicación entre las cuevas y vacíos de los acantilados costeros y cavidades situadas a mayor altitud.

Entre la fauna troglobia terrestre, las tres especies halladas son conocidas de cavidades en caliza en los karsts de Gipuzkoa. El isópodo *Trichoniscoides cavernicola* ha sido hallado en cuevas de Gipuzkoa, Bizkaia, Cantabria y zonas limítrofes con Álava y Navarra (macizos de Altzania y Orobe) (Galán, 1993). Es una especie termófila, muy higrofílica, que colonizó el medio hipógeo a finales del Terciario, al enfriarse el clima y aumentar la aridez durante los períodos glaciares. Es una forma de hábitos alimentarios detritívoros-saprófagos, de 5 mm de talla, altamente especializada, carente de ojos y depigmentada.

El quilópodo *Lithobius anophthalmus* es un troglobio típico, que mantiene una coloración marrón-rojiza, alcanza 12-16 mm de talla, carece de ocelos y posee un gran desarrollo del órgano de Tomösvary, de funciones higro y mecanorreceptoras. Es un activo predador de invertebrados de todo tipo y ha sido hallada antes en cuevas de la zona N de Gipuzkoa (Ernio, Pagoeta, Izarraitz). En los túneles 1 y 2 encontramos tanto adultos como juveniles, deambulando por la galería en busca de presas y ocultándose bajo piedras cuando es descubierto.

El colémbolo *Pseudosinella antennata* es un troglobio, de antiguo origen Terciario, depigmentado y anoftalmo, de pequeña talla (1-1,5 mm), caracterizado como otros miembros de la familia Entomobryidae por el gran desarrollo de la furca (el órgano del salto) y de órganos sensoriales localizados en el tercer segmento antenal (Galán, 1993). Es una especie muy ágil, capaz de dar grandes saltos (1 m), que frecuenta la zona profunda de las cuevas en caliza, sobre paredes estalagmíticas. Es de hábitos detritívoros-micrófagos; en el túnel de Pasaia lo encontramos sobre restos de madera (troncos en descomposición), en bajo número.

Lo más destacable de la fauna hallada reside en la ocurrencia de especies troglobias (acuáticas y terrestres), así como de formas stygófilas considerablemente especializadas, varias de ellas habitantes también del medio intersticial. Ello sugiere que el túnel intercepta no sólo vacíos de acuíferos subterráneos, sino también vacíos excavados en el medio terrestre, como la galería natural existente a 150 m de la boca Sur del túnel de Pasaia y probablemente muchas otras mesocavernas, redes de fisuras y conductos menores. Lo que permite el paso de cavernícolas de antiguo origen a las galerías de los túneles. Y que confirma la existencia de un karst en arenisca, parcialmente compartimentado, y desigualmente desarrollado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los túneles, galerías de minas y cavidades artificiales en tierra, al igual que los pecios y arrecifes artificiales en el mar, constituyen hábitats de reciente creación. Las galerías subterráneas, con el paso del tiempo, van siendo retrabajadas por las aguas subterráneas y adquieren rasgos medioambientales que -en cierto modo- las aproximan a cuevas naturales (oscuridad total, alta humedad relativa, ambiente aéreo isotérmico, formación de espeleotemas y rellenos sedimentarios, aportes de nutrientes). Las cavidades excavadas en roca compacta a menudo interceptan y están interconectadas a través de fisuras, planos de estratificación, mesocavernas y conductos de escaso diámetro (inaccesibles para el ser humano), con cavidades naturales y vacíos existentes en las litologías que atraviesan. En este sentido, túneles como los de Lezo y Pasaia, constituyen una ventana que permite a los exploradores observar el interior del volumen rocoso que atraviesan, en este caso en las areniscas de la Formación Jaizkibel.

Para los animales cavernícolas, de tallas mucho menores que el ser humano, los vacíos existentes en la roca son parte de una red subterránea habitable, que permite desplazamientos y que puede ser poblada por organismos procedentes de distintos medios, siempre que tengan la capacidad de adaptarse a este ambiente hipógeo, húmedo y oscuro. Aunque la perforación del túnel sea reciente, pueden acceder a él especies cavernícolas que ya poblaban desde antiguo los vacíos del endokarst y sus aguas subterráneas (desde hace miles a millones de años). A su vez, organismos procedentes del medio epígeo y medios transicionales pueden colonizar el nuevo hábitat creado por la galería, y adaptarse a sus condiciones ambientales hipógeas.

El túnel de Pasaia muestra la ocurrencia de un ecosistema con al menos 24 especies de hábitos cavernícolas. La mayoría de las formas troglóxenas y troglófilas terrestres han penetrado a través de las bocas del túnel y han colonizado la galería interna de alta humedad, con numerosas filtraciones y una alta diversidad de espeleotemas. Las formas acuáticas stygófilas y las formas troglobias, mucho más especializadas, seguramente proceden no del medio epígeo sino del endokarst en arenisca, que alberga un conjunto de acuíferos subterráneos y una red de vacíos aéreos que puede ser igualmente extensa.

El medio subterráneo en la serie de areniscas, que interceptan los túneles, tiene así un lejano origen y ha ido desarrollándose a través del tiempo a partir de la emersión del territorio en el Eoceno final (hace 40 millones de años) hasta el presente, acompañando al modelado de superficie, y constituyendo un proceso activo en la actualidad. Este medio hipógeo esta a su vez habitado por interesantes poblaciones de animales cavernícolas, que entre sus especies incluyen desde troglobios de antiguo origen (algunos de ellos auténticos “fósiles vivientes”, en la acepción de Vandel, 1964), hasta formas que están colonizando actualmente el karst.

Es también de destacar la diversidad de espeleotemas y geoformas observables en el interior del túnel, de estética llamativa, que sorprenden a su vez por el escaso tiempo dispuesto para su formación. Los minerales secundarios hallados confirman la importante acción de los procesos de disolución intergranular en el interior de la arenisca y precipitación de sustancias disueltas.

Las exploraciones efectuadas en cuevas y túneles en areniscas de la Formación Jaizkibel aportan así nuevos ejemplos sobre organismos muy poco conocidos, de gran interés científico en Biología y Ecología del karst. Podemos concluir que esta región litoral del País Vasco posee valores biológicos y geológicos excepcionales, a nivel global, especialmente por sus cuevas, geoformas y diversidad de su fauna cavernícola, que se extiende subterráneamente entre el mar y medio continental.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA) que nos acompañaron en las prospecciones efectuadas en la cavidad, entre ellos: Iñigo Herraiz, Juliane Forstner, Egoitz Gabilondo e Iñaki Pikabea. Al Ayuntamiento de Pasaia y en especial al encargado de aguas José Mitxelena, por su colaboración para poder realizar este estudio. A tres revisores anónimos de la SCA y Biosphere Consultancies (United Kingdom) por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

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

EVE - Ente Vasco de Energía. 2000. Mapa Hidrogeológico del País Vasco. E: 1/100.000. Gobierno Vasco. Memoria y mapas. 383 pp.

Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzkoa: su ecología, biogeografía y evolución. Munibe (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163. (Reedición digital en Pág. web aranzadi-sciences.org, PDF).

Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros hábitats subterráneos transicionales en el País Vasco. Munibe (Ciencias Naturales), S.C. Aranzadi, 51: 67-78.

Galán, C. 2013. Cuevas, geoformas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. Conferencia Audiovisual Ayto. Hondarribia, Expo. Flysch C.Vasca. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 82 pp.

Galán, C. 2017. Fauna cavernícola en zona litoral en la arenisca de Ulía (Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C. 2019. Biología subterránea de la cueva-surgencia de Urtiaga, Amphipoda y hallazgo de una población hipógea de anguila. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 34 pp.

Galán, C. & M. Nieto. 2016. Crustacea Mystacocarida y Copepoda en cavidades en arenisca en el Rincón del Búho (monte Ulía, Donosti, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C. & M. Nieto. 2020. Fauna cavernícola en un túnel de trasvase de aguas de 800 m de longitud en arenisca de edad Eoceno (Formación Jaizkibel, Lezo, Gipuzkoa). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.

Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2009. Formes pseudokarstiques dans le grès du flysch éocène côtier en Guipúzcoa (Pays basque espagnol). Karstologia, Assoc. Franc. Karstol. & Fed. Franc. Spéléol., 53: 27-40.

Galán, C.; I. Herraiz; D. Arrieta Etxabe; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Una nueva sima de 70 m de desnivel en arenisca de la Fomación Jaizkibel: Tanbo 2. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C.; I. Herraiz & M. Nieto. 2020. Fauna cavernícola en una sima con biotopos anquihalinos en el litoral de Ulía (arenisca de la Formación Jaizkibel, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.

Henry, J. 1981. Présence de Jaëra (Isopoda, Asellota, Janiridae) dans le milieu cavernicole. Proc.8th Inter. Congr. Speol., Bowling Green, 670-671.

Jérez Mir, L.; Esnaola, J. & V. Rubio 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. Memoria IGME (Inst. Geol. Min. España), Tomo 79, Madrid, 130 pp.

Juberthie, C. 1983. Le Milieu souterrain: étendue et composition. Mémoires de Biospéologie, Tome X: 17-66. Biogeographie de la faune souterraine. Colloque de la Société de Biospéologie, Béziers, 1982. Communications Libres.

Kruit, C.; Brouwer, J. & P. Ealey. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. Nature Physical Science, 240: 59-61.

Margalef, R. 1953. Los crustáceos de las aguas continentales ibéricas. Inst. Forest. Invest. Exp., Minist. Agr., Madrid, 10: 1-243.

Mutti, E. 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: Provenance from arenitas. Proceeding Nato-Asi meeting, Cetrazo-Cosenza, Italy. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 65-93.

Rosell, J. 1988. Ensayo de síntesis del Eoceno sudpirenaico: El fenómeno turbidítico. Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 357-364.

Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). Thesis Doct. Univ. Utrecht, Netherlands, 180 pp.

Sosa, I.; D. Marchán; M. Novo; A. Almodovar & D. Díaz. 2017. Bless this phylogeographic mess - Comparative study of Eiseniella tetraedra (Annelida, Oligochaeta) between an Atlantic area and a continental Mediterranean area in Spain. European Journal of Soil Biology, 78: 50-56.

Stock, J.; T. Illiffe & D. Williams. 1986. The concept of “Anchialine” reconsidered. Stygologia, 2 (1-2): 90-92.

Vandel, A. 1926. La repartition de deux amphipodes, Gammarus pulex (L.) et Echinogammarus berilloni (Catta) dans le sud-ouest de la France. Bull.Soc.Zool.France, 51: 35.

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