LA CUEVA DEL CASTILLO DE SAN TELMO, HONDARRIBIA, PAÍS VASCO (SEUDOKARST EN ARENISCA DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL)

The cave of San Telmo´s castle, Hondarribia, Basque Country
(seudokarst in sandstone of Jaizkibel Formation)

Carlos GALÁN; Marian NIETO; Daniel ARRIETA; Piero Di BARTOLOMEO; José M. CORTIZO.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
E-mail: cegalham@yahoo.es

Febrero 2013.

LA CUEVA DEL CASTILLO DE SAN TELMO, HONDARRIBIA, PAÍS VASCO (SEUDOKARST EN ARENISCA DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL)

The cave of San Telmo´s castle, Hondarribia, Basque Country (seudokarst in sandstone of Jaizkibel Formation)

Carlos GALÁN; Marian NIETO; Daniel ARRIETA ECHAVE; Piero Di BARTOLOMEO; José Manuel CORTIZO.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Febrero 2013.

RESUMEN

La leyenda de la existencia de una salida oculta, desde el castillo de San Telmo hasta el mar, condujo al descubrimiento de una nueva cavidad natural, de interesantes características. La cueva se localiza al Norte del castillo pero no comunica con él. Se trata de una cueva natural formada por erosión marina, con una boca oculta abierta a nivel del mar, y una segunda pequeña boca que forma una sima de -10 m de desnivel, por la cual resulta más fácil el acceso, ya que la boca marina queda inundada en marea alta. La cueva consta de una galería única de 40 m de largo y 52 m de desarrollo. La galería se despliega entre planos de estratificación de arenisca y caliza arenosa, por erosión de un paquete intermedio de estratificación delgada de lutitas y margas.

La cavidad posee una interesante variedad de espeleotemas, predominantemente de calcita. Pero también algunas estalactitas de ópalo-A de origen biogénico y tal vez de otros minerales secundarios, tales como calcedonia. En los estratos calcáreos que se encuentran sobre la cueva hay una pequeña surgencia de aguas subterráneas las cuales generan en superficie depósitos de tufa. El trabajo describe la cavidad y sus espeleotemas, ilustrándola con fotografía digital.

Palabras clave: Karst, espeleología física, turbiditas, arenisca, caliza arenosa, espeleotemas, ópalo-A, calcita, calcedonia.

ABSTRACT

The legend of the existence of a hidden outlet from the castle of San Telmo to the sea, led to the discovery of a new natural cavity of interesting features. The cave is located north of the castle but not communicating with it. It is a natural cave formed by marine erosion, with a hidden open mouth at sea level, and a second small mouth forming a pit of -10 m depth, why it is easier to access, since the marine mouth is flooded at high tide. The cave consists of a unique gallery 40 m long and 52 m of development. The gallery is deployed between bedding planes of sandstone and sandy limestone by erosion of an intermediate package layering thin mudstones and marls.

The cavity has an interesting variety of speleothems, predominantly calcite. But also some opal-A stalactites of biogenic origin and perhaps other secondary minerals such as chalcedony. In calcareous strata found on the cave there is a small groundwater upwelling generating surface calcareous tufa deposits. The paper describes the cavity and its speleothems, illustrating it with digital photography.

Key words: Karst, physical speleology, turbidites, sandstone, sandy limestone, speleothems, opal-A, calcite, chalcedony.

INTRODUCCION

El Castillo de San Telmo - San Telmo Gaztelua (Fuenterrabía - Hondarribia) fue construido en el año 1598 en las proximidades del cabo de Higuer para defender los fondeaderos próximos a Hondarribia contra los ataques corsarios. Reconvertido en polvorín durante el siglo XVIII, actualmente es una residencia privada. También es conocido como “castillo de los piratas”.

Tenía planta rectangular, formando los lados orientados hacia el mar una batería con capacidad para cinco cañones. El resto del castillo está constituido por dos construcciones rectangulares perpendiculares entre sí, unidas por uno de sus lados menores a un edificio cuadrangular de mayor altura (Sáez García & Agirre, 2002). Existía la leyenda y algunas referencias históricas de que el castillo poseía una galería subterránea que comunicaba con una cueva natural con una oculta salida al mar, en el lado Este, por la que podrían salir sus ocupantes en caso de resultar sitiados.

En busca de esa posible cavidad, durante prospecciones efectuada en el seudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel, localizamos una cueva en la orilla del mar al Norte del castillo. Posee dos bocas, disimuladas entre las rocas, por lo que dado el relieve abrupto no resultan fáciles de ver. Por la boca inferior penetran las olas con fuerza, pero por la superior (una sima de 10 m) se aprecia la continuación de la galería, que exploramos en marea baja y cuya descripción es el objeto de esta nota (Figuras 1-3).

Figura 1. Vista parcial del Castillo de San Telmo y boca inferior de la cavidad, con nivel medio de la marea.

Figura 2. Vista de la sima de acceso (= boca superior), de -10 m. Nótese los escurrimientos de agua y films orgánicos sobre las paredes de roca en este sector, situado sobre una zona de la cavidad con espeleotemas de ópalo-A.

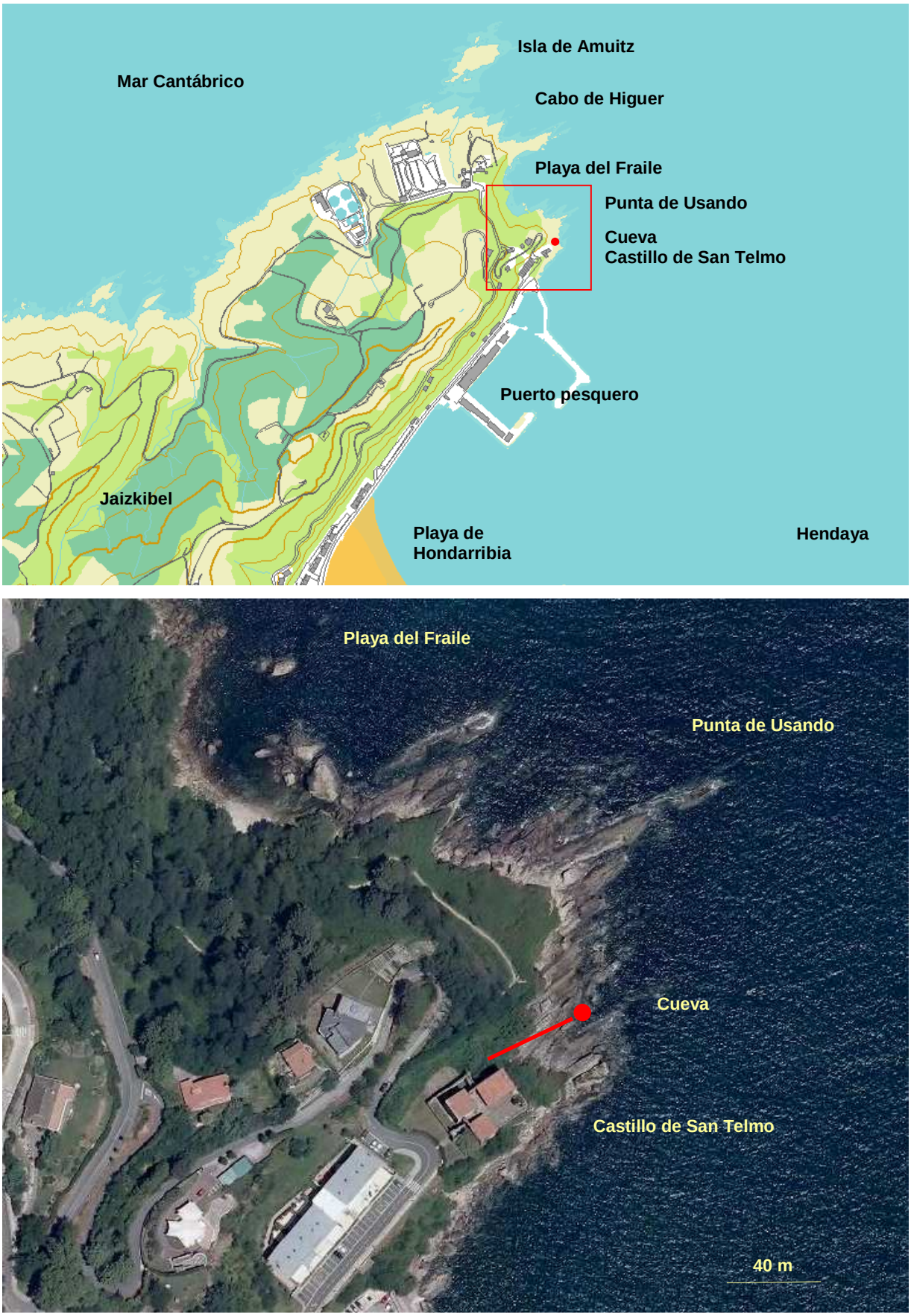


Figura 3. Localización de la cueva y castillo de San Telmo, Hondarribia. Imagen superior: Situación con respecto al Cabo de Higuer y Hondarribia. Recuadro rojo ampliado en ortofoto en la imagen inferior. Fuente cartografía digital: b5m.gipuzkoa.net. Diputación Foral de Gipuzkoa. Punto rojo = boca de la cueva. Trazo rojo: extensión aproximada de la galería subterránea.

MATERIAL Y METODOS

La exploración fue efectuada en marea baja, utilizándose los equipos habituales en espeleología (cascos con frontales eléctricos Leds, instrumental topográfico Suunto). La sima fue equipada con una cuerda estática de 25 m, pero no fue necesario el uso de descendedores y jumars, ya que se puede destrepar con facilidad con ayuda de una cuerda. Se efectuaron observaciones geológicas y se tomó una muestra de espeleotemas botroidales que fue examinada al microscopio y analizada por DRX. Se tomaron fotografías digitales para completar la descripción y se prospectaron zonas próximas en superficie. Se utilizó como base cartográfica la información del SIG de Gipuzkoa (b5m.gipuzkoa.net). Los resultados preliminares se presentan a continuación.

RESULTADOS

CONTEXTO HISTORICO

El castillo de San Telmo fue construido en el siglo XVI, bajo el mandato de Felipe II, como defensa de las frecuentes incursiones de piratas en esta zona. Se localiza al lado de la costa, a 20 m sobre el nivel del mar, en coordenadas geográficas: 43º23'22"N y 1º47'22"W, al N de la localidad de Hon darribia, entre su actual puerto pesquero y la cala de los Frailes (situada inmediatamente al S del Cabo de Higuer). Separada por la ensenada de la desembocadura del río Bidasoa de la localidad vasco-francesa de Hendaya, constituyó durante siglos una zona de frontera de importancia militar estratégica. Como otras fortalezas de mayor importancia (tal como la de Guadalupe, situada a mayor cota sobre la ladera de Jaizkibel que domina el cabo de Higuer), o las propias murallas que defendían a Hondarribia e Irún, fue escenario de los múltiples conflictos bélicos entre España, Francia e Inglaterra, además sirvió de defensa contra la actividad corsaria en esta zona de frontera.

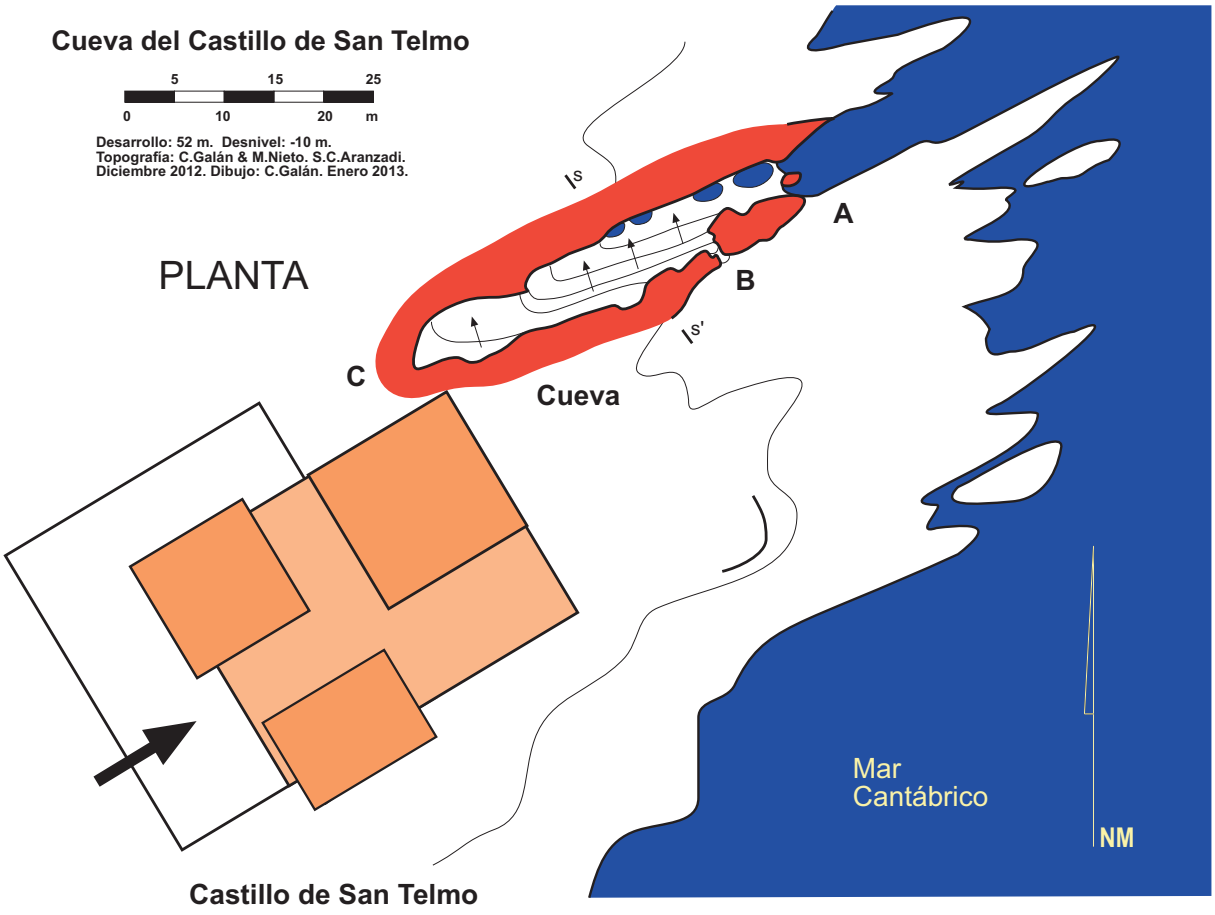
Aunque Hondarribia era ya importante en tiempos de los romanos, la actual población tiene su origen en época medieval, siendo una de las poblaciones marineras del antiguo reino de Navarra. Pronto pasó a jurisdicción de Castilla, y en el año 1203 recibió del rey Alfonso VIII la carta puebla de San Sebastián. La estratégica situación de esta localidad la convirtió en una plaza relevante y fuertemente amurallada.

A lo largo de su historia tuvo que soportar numerosos asedios, como el ocurrido en el año 1521, cuando Enrique II de Francia ocupó la fortaleza en un intento de recuperar Navarra. Uno de los episodios más curiosos protagonizados en el castillo fue el asedio producido en 1638 por las tropas del príncipe Condé; los ocupantes abandonaron el castillo dirigiéndose nadando hasta Fuenterrabía. En el año 1794 fue tomada por los franceses durante la guerra de la Convención, quienes destruyeron parte de sus murallas y el castillo. En la primera guerra carlista tomó partido por este bando, pero en el año 1837 fue tomada por el general Cristino Espartero (Sáez García & Agirre, 2002).

El castillo de San Telmo fue construido a finales del siglo XVI, por orden de don Juan Velázquez (bajo el mandato de Felipe II), para defensa de las frecuentes incursiones piratas en esta zona. Para ello, se aprovecharon los restos de una antigua torre. Con las guerras carlistas del siglo XIX, se realizaron leves modificaciones. El edificio está compuesto por un núcleo principal o torre rodeada por una muralla defensiva realizada en época más reciente, concretamente, en el siglo XIX. En 1755 el Rey Fernando VI mandó construir "fuera de los muros de la Plaza de Fuenterrabía un almacén sencillo para trasladar a él la pólvora que actualmente se custodia en los que hay en la referida Plaza", eligiéndose para su emplazamiento el castillo de San Telmo "por ser el paraxe mas a propósito para ello..., quanto por que su bateria defiende el surgidero de aquella ensenada". A la estructura descrita se añadió un muro cuya misión era aislar del exterior los dos lienzos del torreón que formaban parte del perímetro del castillo. Este muro fue dotado de dos garitas de vigilancia y de un pequeño sector aspillerado (Sáez García & Aguirre, 2002). La entrada, situada en la pared meridional, da acceso a un estrecho pasaje que desembocaba en la puerta primitiva. Grabado en su dintel, bajo las armas reales, puede leerse la inscripción heráldica: "PHILIPVS II HISP INDIAR Q REX / AD REPRIMENDA PIRRATARVM I LATROCINIA / HOC SANTERMI CASTELLUM EXTTUERE MANDANIT / ANO DOM -MDXCVIIII / SIENDO DON JVAN VELAZQUEZ CAPN GN DE ESTA PROA". El edificio está hecho en piedra, el elemento más utilizado en construcciones defensivas debido a su dureza y resistencia. La técnica utilizada es el sillarejo, técnica en la que la piedra se trabaja en pequeños sillares pero de forma muy tosca. La torre es el elemento básico en esta construcción de carácter claramente defensivo. Se encuentra jalonada por una serie de vanos fusileros estrechos orientados al ataque y al contraataque. En ella, también se sitúa una garita desde donde se defendía el acceso que permitía la entrada al interior del castillo. La torre queda rodeada por una barrera defensiva fechada en el siglo XIX.

En el interior de la torre, pueden verse una serie de bóvedas de cañón. Un pozo sirve como aljibe y se alimenta por agua de lluvia. A este pozo se llegaba a través de una escalera hecha en piedra. En época moderna ha servido de residencia privada. Actualmente deshabitado, los propietarios actuales nos confirmaron que efectivamente existe en el suelo de la cocina una trampilla que permite bajar a un túnel inferior con salida al mar sobre el lado Este, el cual esperamos poder visitar en breve, ya que el sitio no es accesible desde tierra, por ser un escarpe vertical, aunque se podría acceder nadando o en bote.

En todo caso, estos datos reafirman que la cavidad descubierta no es ese oculto acceso al castillo, sino una cavidad natural independiente del mismo, por lo que su exploración revestía desde nuestro punto de vista un interés mayor.



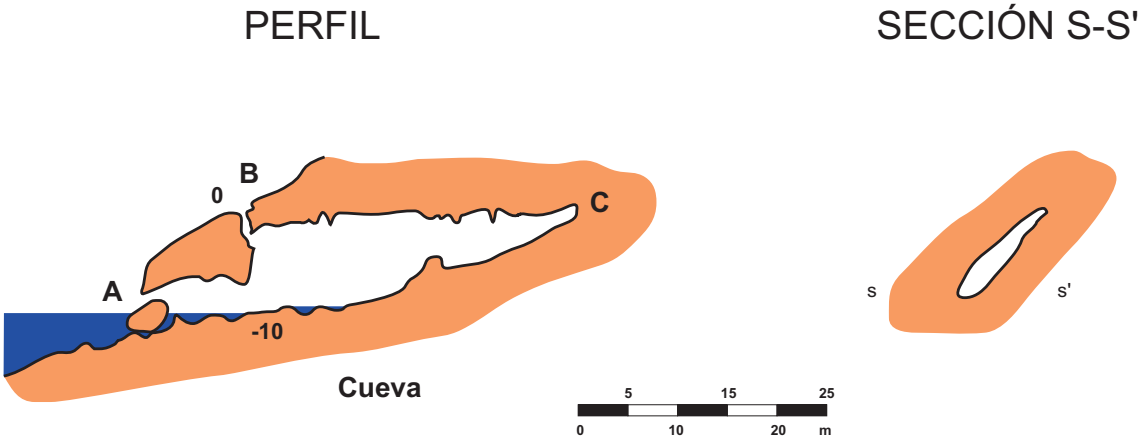


Figura 4. Plano en planta, perfil y sección de la Cueva del Castillo de San Telmo.

Figura 5. La sima de acceso (imagen superior) y distintos detalles del sector inicial de la cueva, con la luz de la boca marina al fondo (en marea baja). Nótese la presencia de pequeñas estalagmitas y coladas sobre el suelo, con una mayor profusión de espeleotemas de calcita a nivel de la parte más elevada del techo.

Figura 6. Vista desde la parte central de la galería hacia el fondo (imagen superior) y hacia la boca marina (imagen inferior) con detalles de espeleotemas de calcita en las partes altas. Suelos estalagmíticos y estalactitas en banderas paralelas.

Figura 7. Detalles de espeleotemas de calcita. Nótese algunas grandes estalagmitas y columnas, así como alineaciones de banderas (con bordes denticulados). Algunas capas de suelo estalagmítico fracturadas permiten apreciar el espesor de las capas de espeleotemas de calcita sobre el suelo, mientras el techo expone superficies de roca libres de ellas.

CONTEXTO GEOLOGICO

La cavidad se desarrolla en areniscas carbonáticas de la Formación Jaizkibel, de edad Eoceno inferior a medio. La formación ha sido detalladamente descrita por Campos (1979) y consiste en una espesa secuencia de turbiditas abisales de facies flysch, constituida por una alternancia de estratos de rocas duras y blandas, las primeras formadas por arenisca o caliza arenosa y las segundas por lutitas y margas. En los estratos más potentes de la formación se desarrolla un notable seudokarst en arenisca, con una gran cantidad y diversidad de cavidades y geoformas, generadas fundamentalmente por procesos kársticos de disolución intergranular (Galán et al, 2007, 2009, 2013). La formación se extiende a lo largo de 40 km de costa, constituyendo la cadena litoral de disposición monoclinal de los montes Jaizkibel, Ulía e Igueldo, localizados de E a W entre Hondarribia y Orio.

La zona que nos ocupa, del cabo de Higuer, es la más oriental del afloramiento. A diferencia de otros sectores, donde los estratos de arenisca tienen gran inclinación (llegando incluso a la verticalidad) (Galán et al, 2013), este sector posee un buzamiento más suave, del orden de 40-45º NNW. La zona ocupa el extremo E de un arco de concavidad N que ha sido interpretado como un abanico de deyección submarino (Campos, 1979). Los estratos relativamente más gruesos de arenisca tienen una potencia media de 2-3 m, alternando con otros de caliza arenosa de espesor métrico, y presentando intercalaciones delgadas de lutitas y margas.

En todo el sector y particularmente en la base o techo de los estratos de arenisca y caliza son frecuentes muy diversos ichnofósiles, así como una enorme diversidad de concreciones y proparamoudras, ampliamente equivalentes a los encontrados en Ulía (Galán & Rivas, 2009; Galán et al, 2013). Cabe destacar que la presencia de paramoudras y proparamoudras en las areniscas de Jaizkibel constituyen los mejores ejemplos de estos tipos de concreciones hasta ahora conocidos a nivel mundial. Igualmente, varios tipos de cavidades, espeleotemas y geoformas (tales como boxworks gigantes, formas cordadas, bandas de Moebius y anillos de Liesegang) han resultado novedosos y exclusivos de la Fm. Jaizkibel (Galán, 2012; Galán & Nieto, 2012).

DESCRIPCION DE LA CAVIDAD

La cueva del castillo de San Telmo se localiza a nivel del mar a una distancia de 40 m al NE de la fortaleza, donde los estratos de rocas más duras forman una serie dentada de salientes prominentes que recortan el borde del litoral. La boca marina se encuentra en un entrante donde un bloque de colapso dificulta su visión.

La cavidad fue descubierta por J.M. Cortizo durante prospecciones en la zona, quien nos propuso explorarla. El 12 de diciembre de 2012 visitamos el sector para ver sus características y decidir el equipo a utilizar (en la salida participaron C. Galán, J.M. Cortizo y J. Rivas). Estando el mar en marea media, la boca inferior resultaba inaccesible. Bajando dos metros por la boca superior hasta un escalón, se podía ver que el mar penetraba en la galería con fuerte oleaje algo más de 20 m. Al fondo se escuchaba el fragor de la rompiente que hacía mover grandes cantos rodados en lo que parecía ser una playa que daba acceso a una continuación seca. La inclinación de la sima no era muy pronunciada, pero húmeda por las olas podía resultar resbaladiza. No disponíamos de cuerda y tratar de hacer el recorrido por encima del nivel del agua resultaba riesgoso, ya que en caso de caer al agua resultaría difícil salir, quedando además a merced de cada embestida de las olas. Optamos por volver con cuerda y buena iluminación, en condiciones de marea baja, para tratar de acceder a la prometedora continuación. Cerca del fondo visible se adivinaba una zona clara en la parte alta, por lo que pensamos que podría haber otra boca o grieta por donde penetrara la luz del día, pero como luego veremos, la claridad se debía a la presencia de espeleotemas blancas que reflejaban la luz de nuestras linternas.

La salida de exploración fue efectuada el 6 de enero de 2013, con el mar en calma y marea baja, y en ella participaron C. Galán, M. Nieto, D. Arrieta, P. Di Bartolomeo y J.M. Cortizo. Salvo unas pozas aisladas, la galería quedaba en seco, excepto los metros próximos a la boca inferior, donde aunque era posible el paso resultaba necesario mojarse. Así que optamos por ingresar por la sima, que totaliza 10 m de desnivel, utilizando una cuerda estática de 25 m amarrada a un saliente natural en el exterior.

Tras un paso estrecho en la boca, que es de pequeñas dimensiones, puede descenderse en oblicuo una rampa, buscando apoyo para los pies en pequeñas estalagmitas y protuberancias que sobresalen de la pared y sirviendo la cuerda como soporte de manos. Sólo los 2 m finales son más lisos y algo resbaladizos por la presencia de películas de algas. Una vez verificado que el acceso y salida resultaban cómodos, exploramos la cavidad.

Esta consta de una galería única de 42 m de longitud, que sumados a los 10 m de la sima dan un desarrollo total de 52 m. La galería es amplia y de sección inclinada a 45º, teniendo 2,5 m de amplitud entre sus paredes pero cerca de 8 m en su proyección total. Inicialmente es de suelo plano a ligeramente ascendente, pero a los 30 m asciende más fuerte un desnivel de 4 m a la vez que se torna más estrecha. En este punto existe un gran tronco empotrado que marca la altura aproximada que bate el oleaje en marea alta. La continuación que sigue es más estrecha, considerablemente (40-50 cm) y se cierra en todo su perímetro por roca-caja. El punto más alejado está a similar cota que la boca de acceso (cota 0). El desnivel hasta el nivel del mar en marea baja es de 10 m.

Se trata de una cueva formada esencialmente por la erosión marina, la cual ha desgastado los estratos más blandos de caliza, lutitas y margas, tal como se observa en todo el suelo de la galería. Posee algunas marmitas y bloques rodados (de 20-40 cm), siendo sus paredes y bóvedas muy lisas y limpias, desprovistas de otros sedimentos. Lo más significativo, como veremos a continuación, es que sus partes elevadas y parte de las paredes poseen recubrimientos de coladas estalagmíticas de calcita y espeleotemas de distintos tipos (Figuras 4-9).

Figura 8. Vista de la parte final más estrecha de la galería, con partes del suelo estalagmítico fracturado por el golpe de las olas y sector hacia la boca marina, durante marea baja.

Figura 9. Vista del sector en la vertical de la sima de acceso y zona próxima a la boca marina, con estanques de agua. Nótese la profusión de espeleotemas de calcita en las partes altas, aunque algunas de ellas cercanas a la boca de la sima podrían ser de ópalo-A o calcedonia.

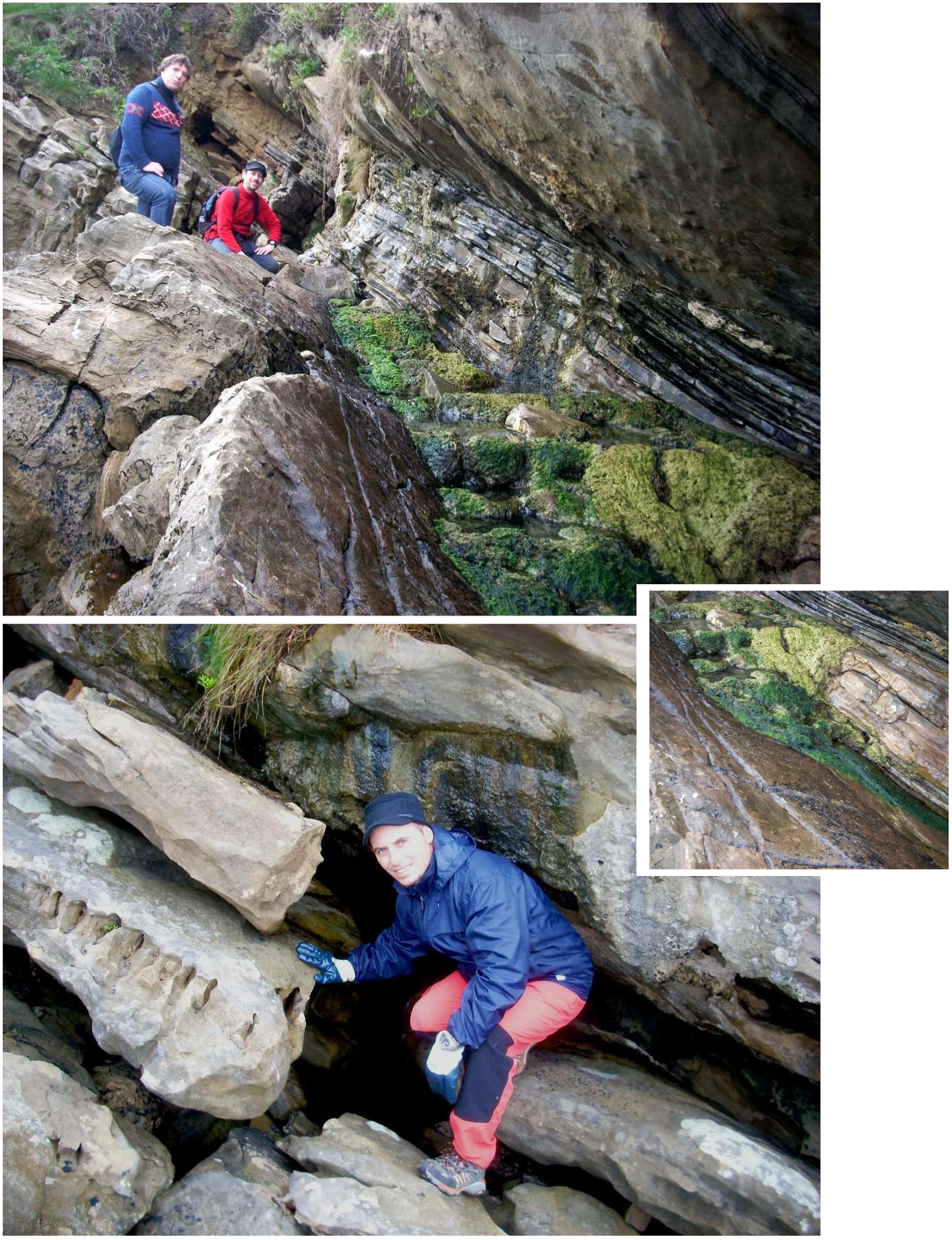


Figura 10. Boca de la sima, con films orgánicos (imagen inferior) y zona a 6 m sobre la cueva, donde brota un manantial a temperatura ambiente que forma depósitos de tufa carbonática (imagen superior y detalle).

A unos 6 m por encima del nivel de la cueva mana un pequeño manantial a través de una intercalación de lutitas. En su corto recorrido sobre un estrato de arenisca, entre la surgencia y el mar, este pequeño caudal ha formado depósitos de tufa carbonática porosa (formada a temperatura ambiente), y con componentes macrobiológicos: briofitas, diatomeas, algas (Figura 10). Esto indica que las aguas subterráneas emergentes poseen un alto contenido en carbonatos, al igual que las filtraciones que han generado espeleotemas de calcita en el interior de la cueva. La alternancia de estratos de arenisca carbonática y caliza arenosa sobre el sector de la cueva explican su alto contenido en carbonatos.

La cavidad, si bien se dirige hacia el castillo (azimut 238º) no llega a alcanzarlo y su final se sitúa bajo una zona con vegetación por debajo de un patio externo, en el lado N. A escasos metros al N de este punto hay un túnel y construcción subterránea artificiales, con dos claraboyas cuadrangulares cerradas en superficie por tapas de cemento. Seguramente se trata de un depósito o almacén adicional construido en época moderna (en el siglo XX). En todo caso, estas construcciones quedan unos 5 m por encima del punto más alto que alcanza el fondo de la cueva.

DESCRIPCION DE ESPELEOTEMAS

Aunque a primera vista resultan poco conspicuas, gran parte de la cavidad posee espeleotemas de calcita, sobre todo en las partes más profundas y elevadas. Ya al acceder por la sima se observan pequeñas estalagmitas, pero a partir de la mitad interna casi toda la pared SE en plano inclinado esta recubierta por láminas de espesor centimétrico de coladas estalagmíticas.

La pared opuesta, que hace de techo, presenta delgadas fisuras a partir de las cuales se forman pequeñas estalactitas y largas banderas que forman pequeñas crestas paralelas siguiendo la línea de máxima pendiente. Algunas de ellas son muy llamativas, por poseer su borde de crecimiento pequeñas denticulaciones.

Las partes más altas y bóvedas poseen en algunos puntos una profusión mayor de espeleotemas, con estalactitas, estalagmitas y columnas de color blanco, compuestas de calcita. Las zonas que alcanzan las aguas de mar y gran parte que en sección hace de techo están desprovistas de ellas y sólo aflora la roca-caja.

En adición, en los sectores más próximos a la boca de la sima de acceso, hay crecimientos de formas excéntricas tubulares de ópalo-A, de hasta 5 mm, y otras botroidales y coraloides también milimétricas, constituidas por varios minerales. Los análisis por difracción de rayos-X (DRX) de una muestra identifican la presencia de ópalo-A y calcita, pero al microscopio binocular se aprecia que pueden existir otros minerales, que por sus características y morfología comparada podrían corresponder a calcedonia (Figuras 11-14). El estudio de espeleotemas es sólo preliminar. En todo caso, la presencia de calcita y probablemente también de calcedonia son reportadas por primera vez para estas cuevas en arenisca y resultan de gran interés.

Previamente habían sido encontradas espeleotemas de ópalo-A y yeso, de tipo wisklers, en una de las cavidades de la parte central de Jaizkibel (JK-07 Green cave; Galán & Vera Martin, 2010, 2011). Sin embargo, hasta ahora no habíamos encontrado espeleotemas de calcita, como tampoco de calcedonia, ni asociaciones de ópalo-A, calcedonia y calcita, en las cuevas hasta ahora conocidas en las areniscas de la Fm. Jaizkibel, por lo que éste constituye el primer reporte de estos tipos para la región.

Las estalactitas tubulares de ópalo tienen una terminación semiesférica y un crecimiento vertical de hasta 8 mm. Algunas de ellas son algo sinuosas o semi-excéntricas, y se localizan en el techo en zona oscura, pero bien ventilada y próximas a la boca.

Las espeleotemas de ópalo-A, calcita, y probablemente también algo de calcedonia, tienen formas botroidales y coraloides. Crecen más próximas a la boca de la sima, incluso en zona de penumbra, y son más abundantes sobre pequeñas superficies, formando desde ejemplares dispersos de varios milímetros hasta masas globulares de más de 1 cm. Su superficie es muy irregular presentando formas ramificadas o arborescentes, con aspecto de coral. Su crecimiento es totalmente excéntrico. Las ramificaciones parten a diferentes ángulos, incluso con curvaturas y alineaciones que apuntan hacia el techo. El diámetro de las ramas va de fracciones de milímetros a 2 mm, y su longitud puede superar los 5 mm. Sus terminaciones son redondeadas y bulbosas, con una superficie porosa y áspera. Vistas a la lupa en sección transversal presentan una estructura en bandas concéntricas, con colores claros, variables desde el gris al blanco. Aparentemente las bandas más oscuras corresponden al ópalo-A y las blancas a calcita. Pero hay también intercalaciones en bandas muy delgadas microcristalinas, con disposición radial fibrosa, cuyo aspecto, morfología y propiedades físicas sugieren que se trata de calcedonia. Las fibras en estos casos están orientadas en dirección perpendicular a la capa concéntrica, y difieren marcadamente de las capitas grises más oscuras de ópalo-A.

El núcleo de las ramificaciones puede estar formado tanto por calcita como por ópalo y/o calcedonia. Por lo que no parece existir una relación fija en el orden de crecimiento de estos minerales en las espeleotemas compuestas.

Debido a la presencia de calcita en las espeleotemas, se puede inferir que el pH de las aguas es alcalino, como lo sugieren también los depósitos de tufa del manantial próximo a la cueva. La precipitación de ópalo-A, como en otros casos reportados en la literatura, parece estar controlada por factores biogénicos. Al respecto, en algunas partes de estas espeleotemas botroidales hay manchitas o pequeñas motas (de 0.1 á 0.5 mm) de color verde, atribuible a colonias de algas y otros microorganismos.

La calcedonia, en caso de confirmarse su identificación, puede representar una cristalización posterior del ópalo, ya que éste como mineral en su estado natural tiene un grado de ordenamiento hacia el cuarzo microcristalino (Urbani, 1976), siendo inestable o metaestable en el tiempo geológico. La causa en el cambio de estructura puede deberse también a la actividad metabólica de bacterias u otros microorganismos.

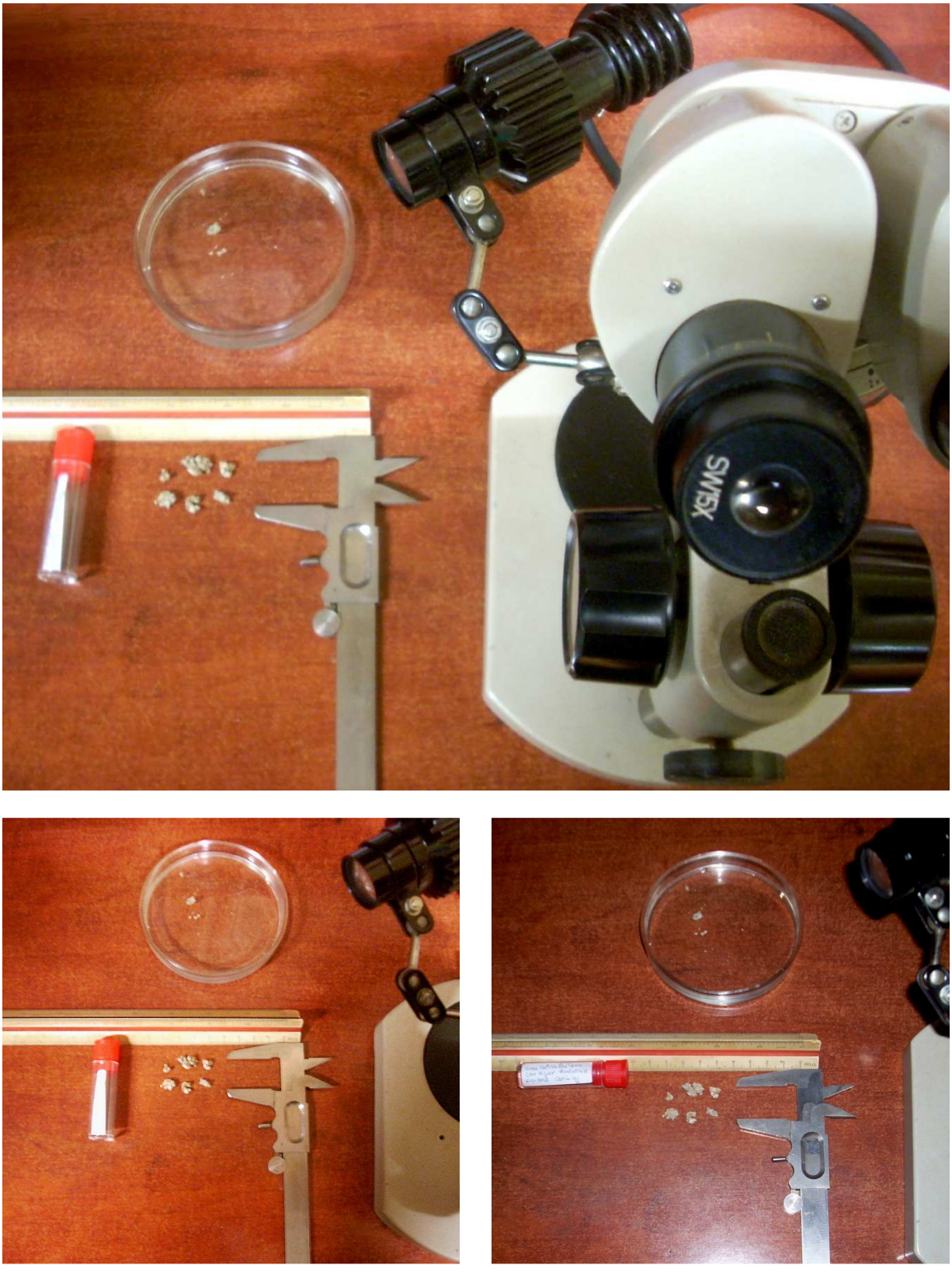


Figura 11. Muestras de espeleotemas milimétricas compuestas de ópalo-A, calcita, y probablemente también con pequeñas intercalaciones fibrosas de calcedonia, junto al equipo utilizado para observación al microscopio binocular (magnificación hasta 200 aumentos). La apertura del vernier abierto es de 2 cm. Nótese las formas botroidales con terminaciones globulares. Las espeleotemas individuales alcanzan 2-5 mm, hasta algunos racimos de 10 mm.

Figura 12. Aspecto general de las pequeñas muestras de espeleotemas botroidales compuestas por ópalo-A y calcita. Nótese las ramas con terminaciones globulares y la estructura en capas de acreción concéntricas. El ancho de la muestra más grande es de 8 mm y el diámetro de las bases tubulares seccionadas de 2 mm.

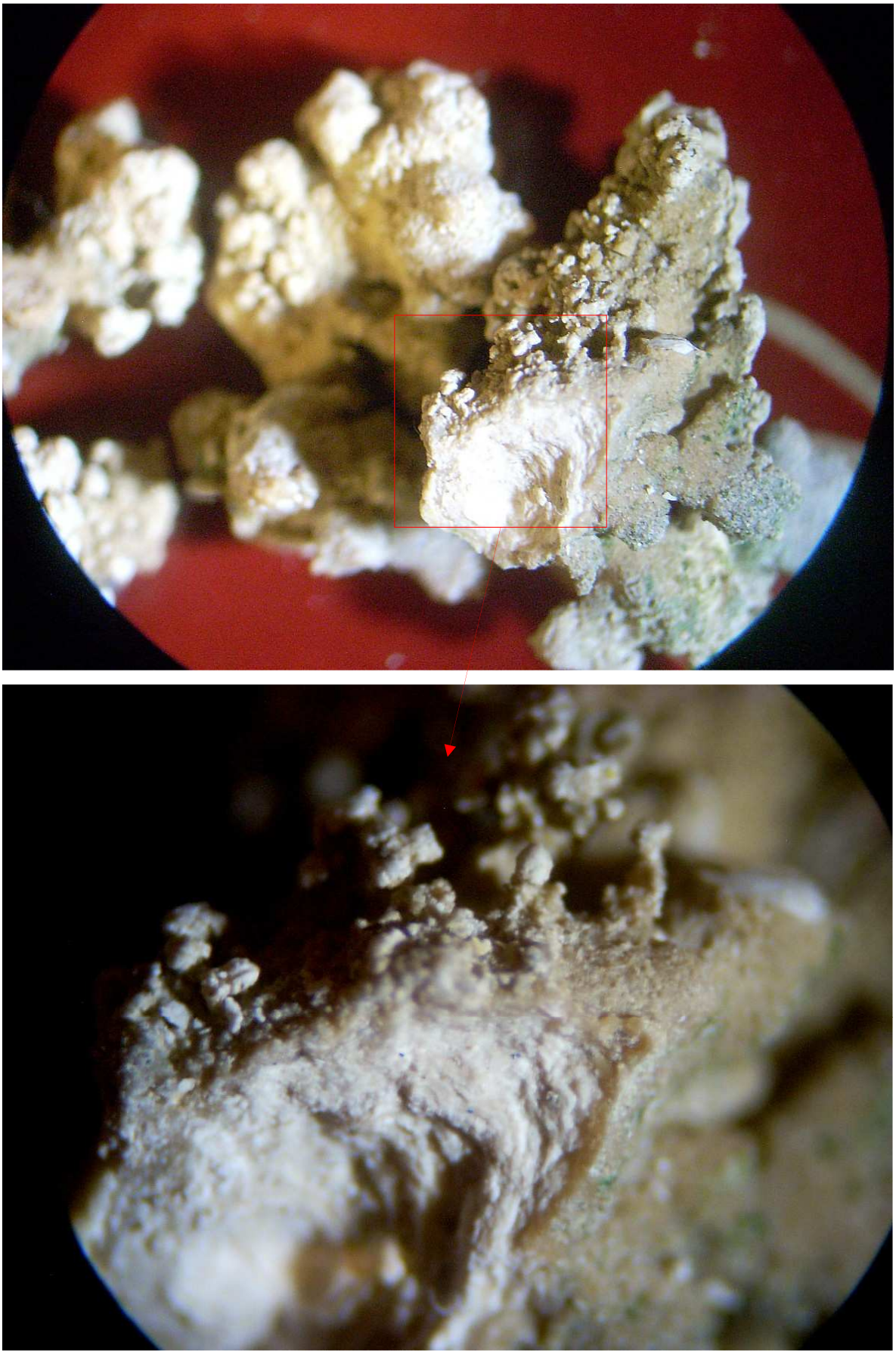


Figura 13. Detalle de las espeleotemas botroidales compuestas de ópalo-A y calcita. Nótese las ramas coraloides y la estructura en capas concéntricas en las partes seccionadas. La imagen inferior es una ampliación del recuadro superior.

Figura 14. Espeleotemas botroidales compuestas de ópalo-A, calcita y calcedonia. Nótese en las imágenes más ampliadas del lado derecho, pequeñas motas verdosas que sugieren la presencia de microorganismos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La cavidad descrita, aunque de moderado desarrollo, resulta interesante en varios aspectos. En primer lugar, ha sido formada básicamente por la erosión marina, la cual ha desgastado diferencialmente las rocas más blandas intercaladas entre estratos más gruesos de arenisca. Sobre ellos, estratigráficamente, hay una serie alternante de arenisca y caliza arenosa, con intercalaciones de lutitas (Figura 15), así que no se trata de arenisca solamente. Estas rocas están recubiertas por la vegetación local y las aguas de escorrentía procedentes del suelo superior se infiltran parcialmente hacia la cueva generando depósitos de espeleotemas.

En segundo lugar, las espeleotemas predominantes son de calcita. Aunque la calcita es el mineral predominante en las espeleotemas del karst clásico en caliza, hasta ahora no lo habíamos encontrado en las cuevas en arenisca de Jaizkibel. Por lo que pensamos que aunque puede proceder de la disolución del cemento calcáreo de la arenisca, su alta concentración (y precipitación en espeleotemas de calcita) puede ser debida a la ocurrencia de estratos de caliza en la serie, a partir de los cuales el carbonato cálcico sería disuelto con mayor facilidad, aumentando rápidamente su concentración en las aguas subterráneas hasta alcanzar la sobresaturación y un pH alcalino. Una parte minoritaria podría también proceder de la meteorización de feldespatos incluidos en la arenisca en muy pequeñas cantidades.

En tercer lugar, destaca la presencia de espeleotemas de ópalo-A y de espeleotemas compuestas de ópalo-A, calcedonia y calcita. Las primeras habían sido encontradas previamente en otras cuevas de la región, bien como recubrimientos de ópalo-A sólo o bien formando espeleotemas de ópalo-A y yeso de tipo wisklers. Una detallada explicación sobre sus características y formación fue expuesta en trabajos previos (Galán & Vera Martin, 2010, 2011). Mientras que las espeleotemas compuestas son reportadas por primera vez. Ellas poseen formas botroidales o coraloides con una estructura en capas sucesivas de acreción, relacionadas a su vez a la ocurrencia de fases alternas de humectación y desecación.

Las espeleotemas de ópalo-A (sílice amorfo) ocurren en diferentes tipos de roca y en muy distintas zonas geográficas del globo, por lo que la litología o el clima regional no son factores que comanden su formación. Las espeleotemas de ópalo-A se localizan en todos los sistemas de fisuras o intergranulares rocosos en donde fluye el agua a baja velocidad (Twidale & Vidal Romaní, 2005; Urbani, 1996; Urbani et al, 2005; Vidal Romaní et al, 2010). Sin embargo, la composición del agua que circula a través de éstos sistemas presenta una concentración muy baja en los elementos químicos que forman las espeleotemas, lo que plantea el problema de cómo a partir de tan bajas concentraciones se puede producir un proceso de concentración que de lugar a su precipitación.

El proceso de crecimiento de este tipo de espeleotemas es discontinuo y depende del régimen de precipitaciones. Al circular el agua por el sistema acuífero se producen procesos físicos, químicos, y en especial biológicos, que disuelven, movilizan y precipitan la sílice (y otros elementos químicos) procedentes de la roca base.

La disolución del Si depende del pH. En ambientes naturales (con valores de pH entre 5-8) la disolución química del Si en estructuras cristalinas (cuarzo) es muy baja. Sin embargo, después de la meteorización biogénica (realizada por bacterias, hongos, líquenes) se degradan los silicatos y se moviliza el Si, aunque forme parte de una estructura cristalina estable como la del cuarzo (Bennett, 1991; Ehrlich, 1996). Por ejemplo, el ataque de los líquenes, muy agresivo, es físico y químico. Aunque estos organismos pueden proteger temporalmente la roca de la erosión aceleran la meteorización del cuarzo (Palmer et al., 1991). El efecto más eficaz consiste en la acción indirecta de los ácidos orgánicos liberados por los microorganismos (Barker et al., 1997; Bennett, 1991), sobre todo de ácidos orgánicos de bajo peso molecular (p.ej. oxalato) (McMahon & Chapelle, 1991). Los ácidos orgánicos incrementan igualmente la disolución de los feldespatos (Vandevivere et al, 1994).

El complemento de la disolución, es la precipitación del Si en las espeleotemas. En ello intervienen dos vías diferentes: química y biológica. En la primera, la evaporación del agua da lugar a la concentración y precipitación del Si. La segunda se refiere al papel jugado por microorganismos que actúan bien como núcleos de precipitación bien incorporando el Si como parte de las estructuras orgánicas (Sanjurjo et al, 2007). Así p.ej. diversos hongos y diatomeas poseen moléculas en sus paredes celulares que inducen a precipitar SiO_2 (Kröger, 1999). Muchos otros microorganismos producen compuestos quelantes y ácidos orgánicos que pueden influir en cambios de pH y provocar la precipitación de minerales de la sílice (Franklin et al, 1994; Welch & Ullman, 1996).

La estructura en capas sucesivas acrecionadas en las espeleotemas botroidales, sugieren así mismo la ocurrencia de fases alternas de humectación y evaporación o desecación. Durante las primeras precipitaría con facilidad la calcita y al progresar la evaporación el ópalo-A. La progresiva desecación del gel de sílice en los espacios porales y su fragmentación clástica marcarían el final del proceso. Una nueva etapa en la circulación del agua sobre o a través de la porosidad de la espeleotema produciría una fase sucesiva de cementación, relleno o acreción en capas rítmicas del sistema poroso de la espeleotema, tratándose ahora de un proceso más químico que biológico. Otra peculiaridad que sugiere la actividad biológica en la génesis de este tipo de espeleotemas es la presencia en superficie, sobre la zona donde se encuentra la boca de la sima, de escurrimientos de láminas de agua y films orgánicos sobre el estrato de arenisca, recubierto a su vez por suelo y vegetación, de donde proceden las aguas que se infiltran hacia la cueva en este sector.

Como conclusión cabe destacar que el hallazgo de nuevas cavidades y espeleotemas en este seudokarst en arenisca, aunque sean de moderadas dimensiones, aporta nuevos datos para entender la complejidad que revisten los procesos de disolución intergranular y precipitación que tienen lugar en el seudokarst, y que a su vez influyen e intervienen en la génesis de geoformas. La novedosa composición y características de algunas de las espeleotemas halladas, reafirman su interés geológico y reclaman la necesidad de apoyo por parte de la administración para seguir avanzando en estudios que ya hoy en día son de gran relevancia en karstología y otras disciplinas científicas a nivel internacional.

Figura 15. Fisonomía del sector próximo a la cavidad, con estratos de arenisca con numerosas concreciones calcáreas, junto a otros de caliza arenosa. Nótese las concavidades que deja la meteorización de las concreciones.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores del Laboratorio de Bioespeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi que nos acompañaron en los trabajos de campo y laboratorio sobre Jaizkibel y su seudokarst, y de modo especial a José M. Rivas, Carlos Oyarzabal (Italcementi Group), Carolina Vera Martin (Dpto. Biomateriales y Nanotecnología de Inasmet-Tecnalia) y Franco Urbani (SVE & Escuela de Geología, Minas y Geofísica UCV)). Igualmente a los investigadores del karst que nos han aportado sus observaciones, sugerencias y comentarios críticos sobre esta nota.

BIBLIOGRAFIA

Barker, W.; S.A. Welch & & J.F.Banfield. 1997. Biogeochemical weathering of silicate minerals. In: Geomicrobiology: interactions between microbes and mineral (Banfield, J.F. & K.H. Nealson, eds.), Washington: Mineralogical Society of America. 391-428.

Bennett, P. C. 1991. Quartz disolution in an organic-rich aqueous system. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55: 1781-1797 .

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

Ehrlich, H.L. 1996. Geomicrobiology. 3rd edition. Marcel Dekker, Inc., New York, 719 pp.

Forti, P. 2001. Biogenic speleothems: an overview. International Journal of Speleology, 30A (1/4): 39-56.

Franklin, S.P.; A.Jr. Ajas; T.A. Dewers & T. Tieh. 1994. The role of carboxilic acids in albite and quartz dissolution: An experimental study under diagenetic conditions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58 (20), 4259-4279.

Galán, C. 2012. Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel (flysch Eoceno de Gipuzkoa): cavidades, geoformas, analítica de espeleotemas y paramoudras, fauna cavernícola. Conference San Sebastián, 22-11-2012, Exposición Flysch Costa Vasca (Luberri & CPIE-Littoral de la Côte Basque). Audiovisual Power point. Web S.C.Aranzadi, PDF, 74 pp.

Galán, C. & M. Nieto. 2012. Bandas de Moebius, Boxworks y otras raras Geoformas en arenisca de la Formación Jaizkibel. Bol. SEDECK - Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst, 8 (2012): 20-41. Reedición modificada de Galán & Nieto, 2010 in: aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C. & J. Rivas. 2009. Hallazgo de Proparamoudras en un acantilado del litoral central del monte Ulía (Punta Atalaya, flysch Eoceno de San Sebastián, País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 25 pp.

Galán, C. & C. Vera Martin. 2010. Espeleotemas de magnetita, hematita, yeso, ópalo-A, y otros minerales secundarios en una cueva del pseudokarst de Jaizkibel: Caracterización por espectroscopía Raman, difracción de rayos X (DRX) y espectrometría por dispersión de energía (EDS). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 16 pp.

Galán, C. & C. Vera Martin. 2011. Microanálisis por dispersión de energía XPS de espeleotemas de yeso y ópalo-A en una cueva en arenisca de Jaizkibel (País Vasco). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 pp.

Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2007. Pseudokarst en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Lapiaz, Fed. Espeleol. Com. Valencian., 31: 1-40. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp. + Pag web Cota0.com, Art. Cienc., 44 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.; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Cuevas y geoformas en Bajo aundi, Ulía (Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.

Kröger, N.; R. Deutzmann & M. Sumper. 1999. Polycationic peptides from diatom biosilica that direct silica nanosphere formation. Science, 286: 1129-1131.

McMahon, P.B. & F.H. Chapelle. 1991. Microbial production of organic acids in aquiterd sediments and its role in aquifer geochemistry. Nature, 349: 233-235.

Palmer, J.J.; J. Siebert & P. Hirsch. 1991. Biomass and organic acids in sandstone of weathered building: production by bacterial and fungal isolates. Microbial Ecology, 21: 253-266.

Sáez García, J.A. & G. Agirre. 2002. Gotorlekuak Gipuzkoan : XVI-XIX. Mendeak. Fortalezas de Gipuzkoa: siglos XVI-XIX. Serie Bertan, nº 18. Dpto. Cultura Dip. Foral de Gipuzkoa.

Sanjurjo, J.; J.R. Vidal Romaní; Ll. Pallí & C. Roqué. 2007. Espeleotemas de ópalo y pseudokarst granítico. Rev. Cuaternario & Geomorfología, 21 (1): 123-134.

Twidale, C.R. & J.R. Vidal Romaní. 2005. Landforms and geology of granite terrains. Balkema, London, 351 pp.

Urbani, F. 1976. Opalo, calcedonia y calcita en la cueva del cerro Autana (Am. 11), Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Bol. Soc. Venezol. Espeleol., 7 (14): 129-146.

Urbani, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. Bol. Soc. Venezol. Espeleol., 30: 1-13.

Urbani, F.; P. Compère & L. Willems. 2005. Opal-A speleothems of Wei-Assipu-tepui, Roraima Province, Brazil. Bol. Soc.Venezol. Espeleol., 39: 21-26.

Vidal Romaní, J.R.; J. Sanjurjo; M. Vaqueiro & D. Fernández Mosquera. 2010. Speleothem development and biological activity in granite cavities. Geomorphologie: relief, processus, environnement. 4: 17-26.

Welch, S.A. & W.J. Ullman. 1996. Feldspar dissolution in acidic and organic solutions: Compositional and pH dependence of dissolution rate. Geochimica et Cosmochimica Acta, 60 (16), 2939-2948.