ALGUNOS EJEMPLOS DE GEOFORMAS Y ESPELEOTEMAS EXTRAÑAS ENCONTRADAS EN CUEVAS EN ARENISCA EN LOS ACANTILADOS DEL MONTE ULÍA (PAÍS VASCO).

Some examples of stranger speleothems and geoforms found in sandstone caves in the cliffs of Mount Ulía (Basque Country).

Carlos GALÁN, Juliane FORSTNER & Marian NIETO.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Enero 2017.

ALGUNOS EJEMPLOS DE GEOFORMAS Y ESPELEOTEMAS EXTRAÑAS ENCONTRADAS EN CUEVAS EN ARENISCA EN LOS ACANTILADOS DEL MONTE ULÍA (PAÍS VASCO).

Some examples of stranger speleothems and geoforms found in sandstone caves in the cliffs of Mount Ulía (Basque Country).

Carlos GALÁN, Juliane FORSTNER & Marian NIETO.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.
E-mail: cegalham@yahoo.es
Enero 2017.

RESUMEN

La costa del monte Ulía posee numerosos entrantes y salientes, con puntas de roca y acantilados de más de 100 m de desnivel. Algunos puntos de este litoral presentan una franja con grandes bloques y segmentos de estratos gruesos de arenisca, desprendidos por colapso. Entre ellos se forman cuevas de recubrimiento. Pero hay además todo un conjunto de mesocavernas y cavidades inter-estratos, colgadas en paredes y cornisas de los acantilados. La roca-caja es arenisca carbonática (de edad Eoceno) y posee numerosas concreciones, geoformas y espeleotemas en cuevas formadas por procesos de disolución intergranular. El relieve general es modelado por la erosión normal y marina. Normalmente la línea de costa es batida por el fuerte oleaje del Cantábrico, resultando inaccesibles muchos sitios. Aprovechando unos días de mar en inusual calma, exploramos nuevos sectores, hallando cuevas con extraños ejemplos de espeleotemas y geoformas, los cuales son descritos en esta breve nota.
Palabras clave: Espeleología física, Karst, Geomorfología, Cuevas en arenisca, Espeleotemas, Geoformas.

ABSTRACT

The coast of Mount Ulía has many incoming and protruding, with peaks of rock and cliffs over 100 m of altitude. Some points of this coastline have a strip with large blocks and segments of thick strata of sandstone, broken off by collapse. Among them covering caves are formed. But there is also a whole set of mesocavernas and inter-strata cavities, hung on walls and ledges of the cliffs. Rock-box is carbonatic sandstone (of Eocene age) which has numerous concretions, geoforms and various speleothems in caves formed by processes of intergranular dissolution. The general relief is modeled by normal and marine erosion. Normally the coastline is hit by the strong waves of the Bay of Biscay, making many sites inaccessible. Taking advantage of a few days of calm sea, we explore new sectors, finding caves with strange examples of speleothems and geoforms, which are described in this brief note.
Keywords: Physical speleology, Karst, Geomorphology, Sandstone caves, Speleothems, Geoforms.

INTRODUCCION

El medio hipógeo posee una gran diversidad de espeleotemas y geoformas, a menudo formadas por procesos y mecanismos complejos, poco conocidos. En los que pueden influir aspectos geomicrobiológicos, de reactividad de las soluciones y de disipación de energía, particularmente en litologías distintas al karst clásico en caliza (Galán, 1991; Galán & Lagarde, 1988). Extraordinarios ejemplos de ello lo suministran los estudios realizados sobre cuevas, espeleotemas y geoformas en las areniscas carbonáticas de la Formación Jaizkibel (flysch Eoceno de la costa Vasca) (Galán, 2013; Galán et al., 2008, 2009), contexto general en el que se sitúa este trabajo. Las cavidades y geoformas en estas areniscas destacan a nivel global por poseer, precisamente, rasgos extravagantes y de gran belleza estética, con diseños singulares. Se puede decir que cada sucesiva exploración del territorio aporta nuevos datos.

De ahí nuestro interés en seguir prospectando nuevos enclaves, localizados en parajes abruptos o de difícil acceso, ya que con frecuencia en ellos se presentan cuevas y geoformas extrañas, con rasgos inusuales o desconocidos para la Ciencia. La presencia de acantilados, las mareas y el fuerte oleaje del Cantábrico dificultan enormemente el acceso a muchos de estos sitios del litoral. Aprovechando unos días de mar en calma, hemos podido explorar varios parajes que en ocasiones anteriores no resultaron accesibles por el oleaje. El intento no nos defraudó y en tres salidas sucesivas pudimos explorar nuevas cavidades en arenisca, de modestas dimensiones, pero con sorprendentes ejemplos de espeleotemas y geoformas, que permanecían ocultas en los acantilados de la costa de Ulía. A su interés científico se suman sus rasgos estéticos, extraños y de singular belleza, lo que ha motivado la elaboración de este breve trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo resume el resultado de prospecciones efectuadas en dos sectores del litoral de Ulía (San Sebastián), de difícil acceso y por lo tanto prácticamente desconocidos. En la exploración de cuevas se utilizaron técnicas de escalada y espeleología vertical, iluminación de Leds y material topográfico Suunto. Varias muestras de roca y espeleotemas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon, y fueron identificadas por sus propiedades físico-químicas y mediante comparación con otras muestras que contaban con analítica fina, procedentes de otras cuevas de la región de igual litología. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital (Canon PowerShot), a fin de ilustrar los principales rasgos de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

La zona de estudio comprende las puntas Este y Oeste del enclave de Arlautz y la punta Este del enclave de Bajo Aundi, en su línea de costa. La punta de Arlautz se localiza en el sector más occidental de Ulía, inmediatamente al E de la punta de Monpás y del entrante del Rincón de Búho, que describimos en un trabajo previo y que aportó interesantes hallazgos de cuevas y crustáceos cavernícolas (Galán & Nieto, 2016). Sobre el tramo central de Arlautz existe también un trabajo previo (Galán & Arrieta, 2016), que describe un conjunto de 12 cuevas y diversas geoformas, pero sus extremos E y W permanecían inexplorados. Por su parte el enclave de Bajo Aundi está situado entre Punta Atalaya y Cala Murguita y fue objeto de un trabajo anterior en el que también se describen varias cuevas, espeleotemas y geoformas, entre ellas una cueva marina de 80 m de desarrollo (Galán et al., 2013a).

Las areniscas de Ulía 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. Los paquetes más gruesos y resistentes a la erosión de superficie alcanzan espesores de 20-50 m y están constituidos casi exclusivamente de arenisca. 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 y Orio. Estos son los últimos sedimentos marinos depositados antes de la emersión del territorio y la orogénesis Pirenaica, la cual llevó a la configuración actual del Arco Plegado Vasco (como prolongación de la zona Norpirenaica francesa). 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 monte Ulía los estratos de arenisca presentan en general un buzamiento alto, de 45º á 80º y dirección que va cambiando de NE (entre Monpás y Cala Murguita) a buzamiento N (entre Cala Murguita y la entrada al Puerto de Pasajes).

La disolución intergranular de la arenisca es el proceso básico o primario que comanda la formación de cavidades y la creación de geofomas en esta litología. Asimismo, existen en Ulía circulaciones hídricas subterráneas, sumideros y surgencias, junto a toda una serie de abrigos y cuevas, a diferentes escalas, aunque su magnitud es moderada en comparación con el karst clásico en caliza. No obstante, cabe destacar que en el conjunto de la Formación Jaizkibel hemos descubierto más de 200 simas y cuevas en roca compacta (sin contar una cifra aún mayor de cuevas de recubrimiento entre bloques), con cavidades individuales que alcanzan 258 m de desarrollo de galerías y desniveles de hasta -70 m, formando parte de sistemas aún mayores (del orden de -120 m de desnivel y 400 m de desarrollo acumulado) (Galán et al., 2013c). En adición, existen redes de mesocavernas y conductos de débil diámetro (que no permiten el paso del ser humano), las cuales son recorridas por las aguas de infiltración y contienen especies cavernícolas terrestres, de agua dulce y marinas, algunas de ellas de gran interés (Galán & Nieto, 2016). Este karst en arenisca constituye así un hábitat subterráneo extenso, habitado por muy diversos grupos de organismos.

Por otro lado, pese al moderado desarrollo de las cavidades hasta ahora descubiertas, ha resultado notable la profusión y diversidad de geoformas, espeleotemas, paramoudras y otras concreciones, que se presentan en estas cavidades, muchas de ellas con rasgos atípicos y únicos a nivel global, y que revisten por consiguiente un considerable interés científico.

Los estratos individuales de arenisca en la zona de estudio alcanzan 8 m de potencia. Litológicamente son areniscas cuarzosas, de colores claros y de cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo que pueden constituir algo más del 90% de la roca (siempre más del 85%), y cantidades menores de fragmentos detríticos de feldespatos y micas (en torno a 2%). El cemento, de carbonato de calcio, representa un volumen cercano al 10%.

Son frecuentes cannonballs (concreciones esféricas o bolas de arenisca más dura), de variable diámetro, desde unos pocos hasta más de 70 cm. Estas concreciones de similar litología están rellenas de cuarzo de grano medio a grueso, con cemento carbonático, muy poca mica y glauconita. A veces forman series de cannonballs contiguos o se conjugan en formas planares de varios metros de extensión lateral. La erosión de los estratos de arenisca con cannonballs y concreciones planares da lugar a concavidades semiesféricas y alargadas, las cuales otorgan a algunas zonas un aspecto de gruyère característico. Intercalados entre los bancos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad.

Los rasgos kársticos se observan preferentemente en los estratos gruesos de arenisca, donde ocurren procesos subterráneos de disolución intergranular comparables a los que presentan rocas silíceas, como las cuarcitas de Venezuela, Brasil y Sudáfrica (Galán, 1991). Lo esencial de esta karstificación incompleta reside en que el agua se infiltra en la roca no sólo a través de fisuras,

sino intergranularmente, disolviendo a su paso el cemento que une los granos de cuarzo, descohesionando la roca y transformando así la arenisca inicialmente compacta en un material poroso, friable y disgregable. La disolución afecta también, pero en mucho menor grado, a los granos de cuarzo y produce una rápida alteración y remoción de los feldespatos y micas contenidos en la matriz. En consecuencia, la disolución intergranular produce una progresiva y paulatina "arenización" de la roca. Si se consigue concentrar la circulación subterránea se producen fenómenos de tubificación o piping, formando redes de vacíos y conductos. La continuación de este proceso genera cuevas a todas las escalas. De modo inverso se puede producir la precipitación de sustancias disueltas, generando espeleotemas en las cuevas y cementaciones en el interior de la arenisca. Su progresivo retrabajado genera a su vez geoformas en mallas poligonales de boxworks, celdas en panal de abejas (honeycomb cells) y muy diversas formas alveolares.

El modelado general del relieve local es debido a la erosión marina, que recorta el frente costero, y a la erosión normal de superficie, que meteoriza y desgasta preferentemente las rocas más blandas de la serie flysch (intercalaciones de lutitas y margas), dando también lugar a amplios abrigos y cavidades inter-estratos. La meteorización de la arenisca a lo largo de diaclasas y planos de estratificación, unida a procesos de descompresión mecánica, fragmenta los estratos individuales en bloques cúbicos y lienzos de varios metros de lado. Por acción de la gravedad los bloques colapsan y caen hacia el mar, donde van siendo disgregados, generando escarpes en progresivo retroceso. Así se forma una franja litoral discontinua de bloques desprendidos sobre una pequeña rasa mareal, de la que destacan algunos estratos en punta. En estas zonas, sometidas a la acción de las mareas y el oleaje, se presentan muchas cuevas de recubrimiento entre las acumulaciones de bloques. Los afloramientos más potentes de estratos gruesos de arenisca destacan en relieve positivo y sobre ellos actúa principalmente la disolución intergranular, generando una multiplicidad de cavidades y geoformas, en la base de los escarpes y en cornisas colgadas en las paredes, a distintas alturas. Estas aprovechan también la existencia de fracturas, planos de estratificación, y redes de concavidades y formas planares vaciadas por la disolución intergranular de las concreciones.

El enclave de Arlautz resulta de difícil acceso terrestre. En su parte central y en cornisas de la parte superior del acantilado, previamente exploramos un conjunto de cavidades (Galán et al., 2011; Galán & Arrieta, 2016), utilizando técnica de jumars, escalas metálicas y cuerda estática, para acceder a distintos parajes. La franja litoral puede alcanzarse tras un descenso de -160 m de desnivel a través de un flanco abrupto cubierto de vegetación enmarañada y espinosa. Los últimos 40 m, sobre lajas resbaladizas, es conveniente asegurarlos con cuerda.

Tras el descenso, en la punta E de este tramo litoral (Punta de Arlautz, propiamente dicha), se presenta un espolón rocoso, con estratos de fuerte inclinación, habitualmente batidos en su base por el oleaje. En este sector, limitado al E por una pared vertical que cae directamente al mar (sin dejar orilla), existe todo un conjunto de cuevas interestratos y bajo bloques de recubrimiento. Las mayores de ellas, con zonas en oscuridad total, alcanzan 50 m de desarrollo. En sus partes secas más elevadas poseen diversas espeleotemas: recubrimientos de silicatos de aluminio amorfo, pequeñas estalactitas botroidales de ópalo-A, costras milimétricas de yeso, y de oxi-hidróxidos de hierro y manganeso. La precipitación de estos minerales secundarios prueba que parte de la sílice de los granos de cuarzo de la arenisca es disuelta, junto a otros componentes procedentes de la alteración de los feldespatos y micas contenidos en la roca-caja. Su génesis está influida o mediada por la actividad metabólica de microorganismos que habitan en las aguas intergranulares que percolan a través de la arenisca, y que han intervenido en la reactividad de las soluciones. Unos rasgos, por consiguiente, singulares (Figuras 01 á 10).

Son frecuentes también bandeados rítmicos y anillos de Liesegang formados por difusión de óxidos de hierro. En ocasiones se encuentran concreciones laminares de silicatos y óxidos de aluminio y de hierro que al parecer rellenaron previamente fisuras y planos de estratificación. Existen curiosos ejemplos de concreciones carbonatadas planares, de considerable extensión lateral, donde la disolución ha actuado formando retículos de conductos y pilares de roca. En otros casos la concreción entera ha resultado completamente removida formando largos conductos de sección oval o circular que constituyen mesocavernas, impenetrables por estrechas. Algunas concavidades, producto de la disolución y remoción de concreciones tipo cannonballs, están rodeadas por envolturas arcillosas (gangas), ricas en hierro. En las paredes de las galerías (o en bloques colapsados, al aire libre) se conservan restos de estas envolturas y con frecuencia, a partir de ellas se forman, por difusión y precipitación rítmica, bandeados y anillos de Liesegang, de llamativos diseños. También se generan geoformas, de estética llamativa, por disolución diferencial de laminaciones en los estratos individuales de arenisca.

En el extremo W del enclave de Arlautz, pasando la laja de descenso y siguiendo hacia el W hacia el Rincón del Búho, los estratos (recortados lateralmente) extraploman y forman una serie escalonada de grandes abrigos. Los abrigos mayores alcanzan 20 m de profundidad y más de 40 m de anchura (siguiendo el fuerte buzamiento). En los rebordes de los extraplomos son frecuentes estructuras de Penélope (Galán et al, 2013b) y depósitos carbonatados de tufa formando gruesas estalactitas. Muchos de estos abrigos se han formado por remoción de estratos margosos y de caliza arenosa, que han resultado menos resistentes a la erosión marina y a la disolución intergranular. Varios de ellos presentan surgencias laminares de aguas dulces subterráneas y pequeños cauces entallados por disolución en las margas. Las aguas emergentes que deslizan sobre materiales orgánicos (musgos y algas) dan también lugar a depósitos de tufa y a diversos tipos de raras espeleotemas, que contienen fases minerales asociadas o combinadas con materiales orgánicos y films de microorganismos. Los grandes extraplomos, por otro lado, conforman un relieve salvaje, con el oleaje batiendo la base de los escarpes y grandes bloques desprendidos. En el ángulo del entrante del Rincón del Búho existen por último dos altos y profundos abrigos excavados por erosión marina (Figuras 11 á 15).

Figura 01. Sector central del enclave de Arlautz, con grandes bloques de colapso y cuevas de recubrimiento.

Figura 02. Grandes bloques con cuevas de recubrimiento en el litoral de Arlautz. Al fondo, cornisas del escarpe lateral del acantilado. Y detalle de diversas geoformas: oquedades de cannonballs, con restos de gangas arcillosas envolventes que presentan bandeados rítmicos y anillos de Liesegang.

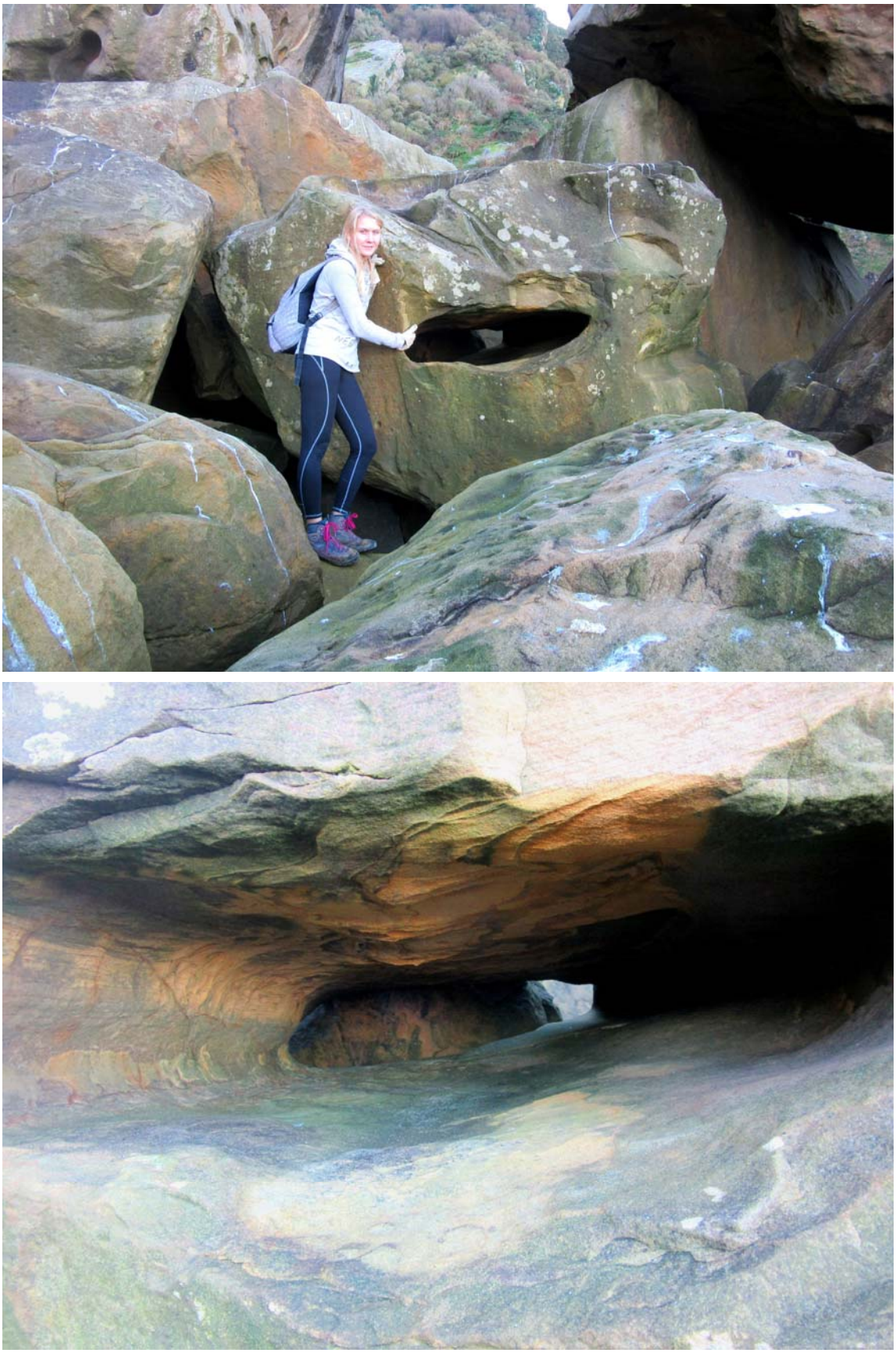

Figura 03. Concreciones carbonáticas planares en la arenisca, removidas por disolución intergranular. Su remoción completa forma conductos tubulares y mesocavernas que perforan los bloques y estratos.

Figura 04. Geoformas de curiosos diseños formadas por disolución diferencial de las laminaciones de la arenisca.

Figura 05. Concavidades de cannonballs con restos de las concreciones y gangas envolventes. Con frecuencia forman bandeados de coloración por difusión de oxi-hidróxidos de hierro y/u otros elementos.

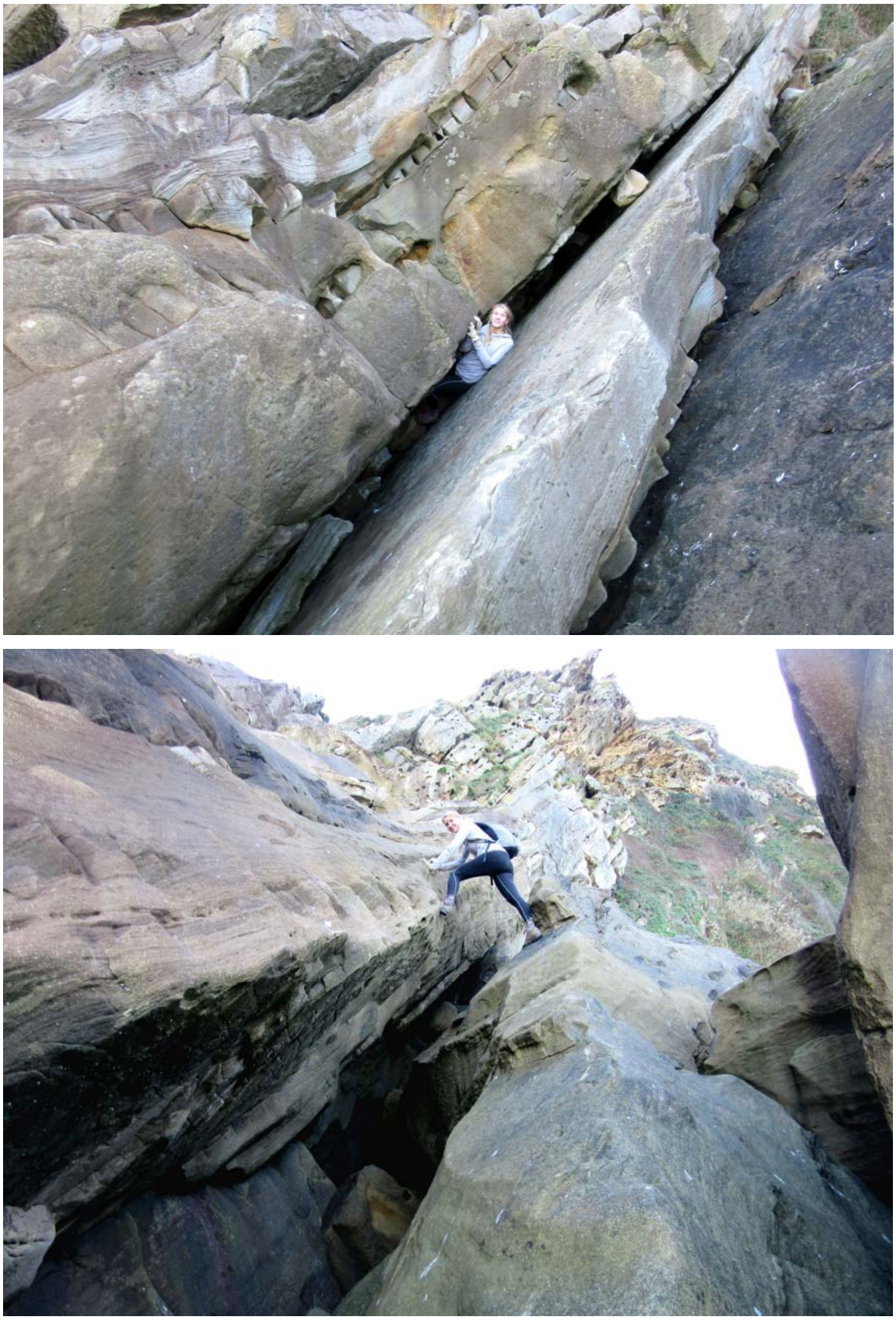

Figura 06. Cavidades inter-estratos y entre bloques desplazados, algunas de ellas formadas por disolución de concreciones planares extensas. Véase en la imagen superior redes de pilares y pequeños conductos en las concreciones. Pueden evolucionar hasta formar redes de conductos en continuidad con cuevas mayores.

Figura 07. Cavidades en la punta Este del enclave de Arlautz. Algunas de ellas poseen zonas en oscuridad total de cierta extensión y galerías subterráneas de varias decenas de metros de desarrollo.

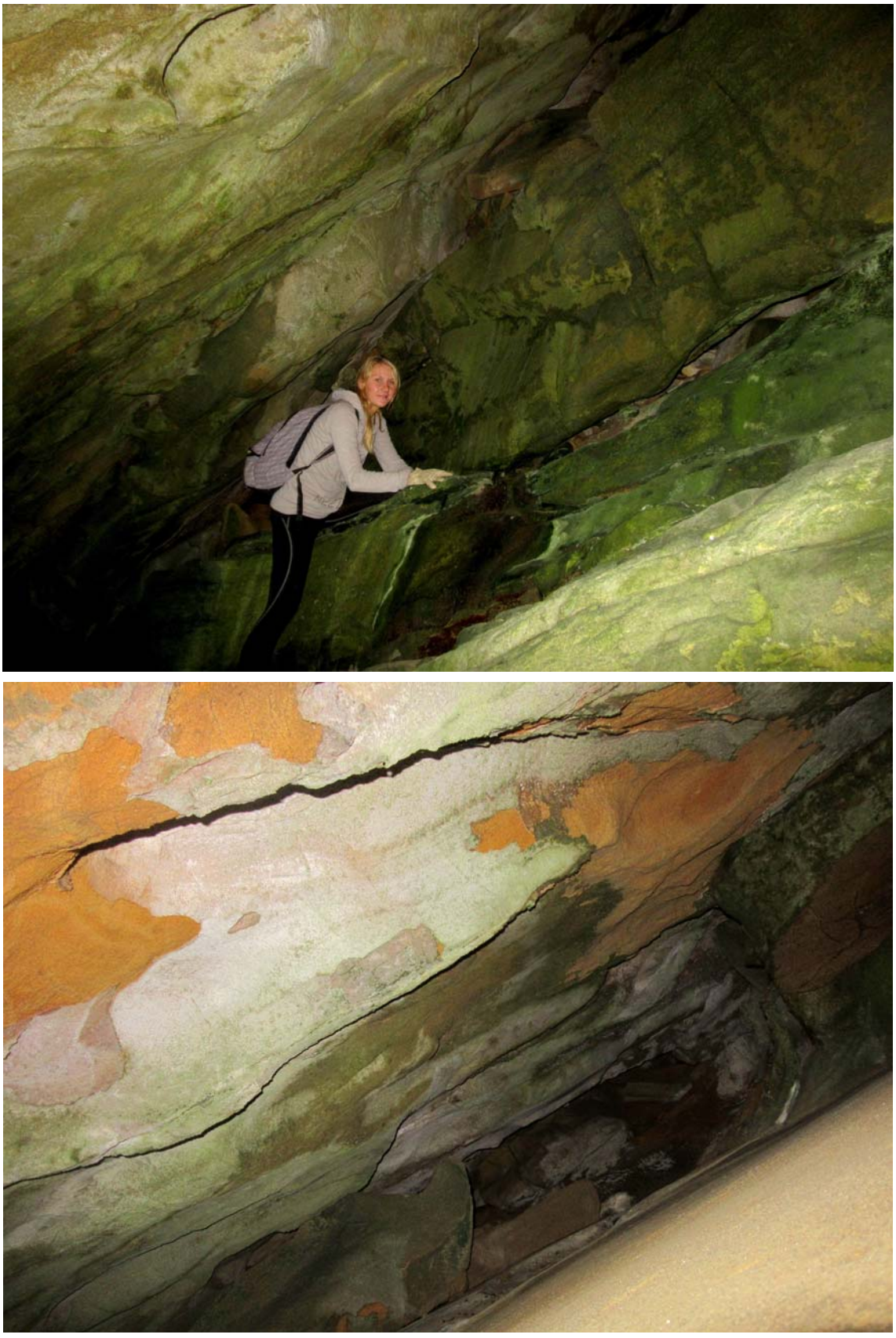

Figura 08. Galerías subterráneas en cavidades de Arlautz Este, con películas de algas en zonas en penumbra o de mayor humedad, y diversas espeleotemas en los sectores más secos.

Figura 09. Diversidad de espeleotemas en las cuevas de Arlautz Este. Predominan recubrimientos de silicatos de aluminio amorfo, pequeñas formas botroidales de ópalo-A, y algunas otras de yeso, óxidos de hierro y otros componentes minerales.

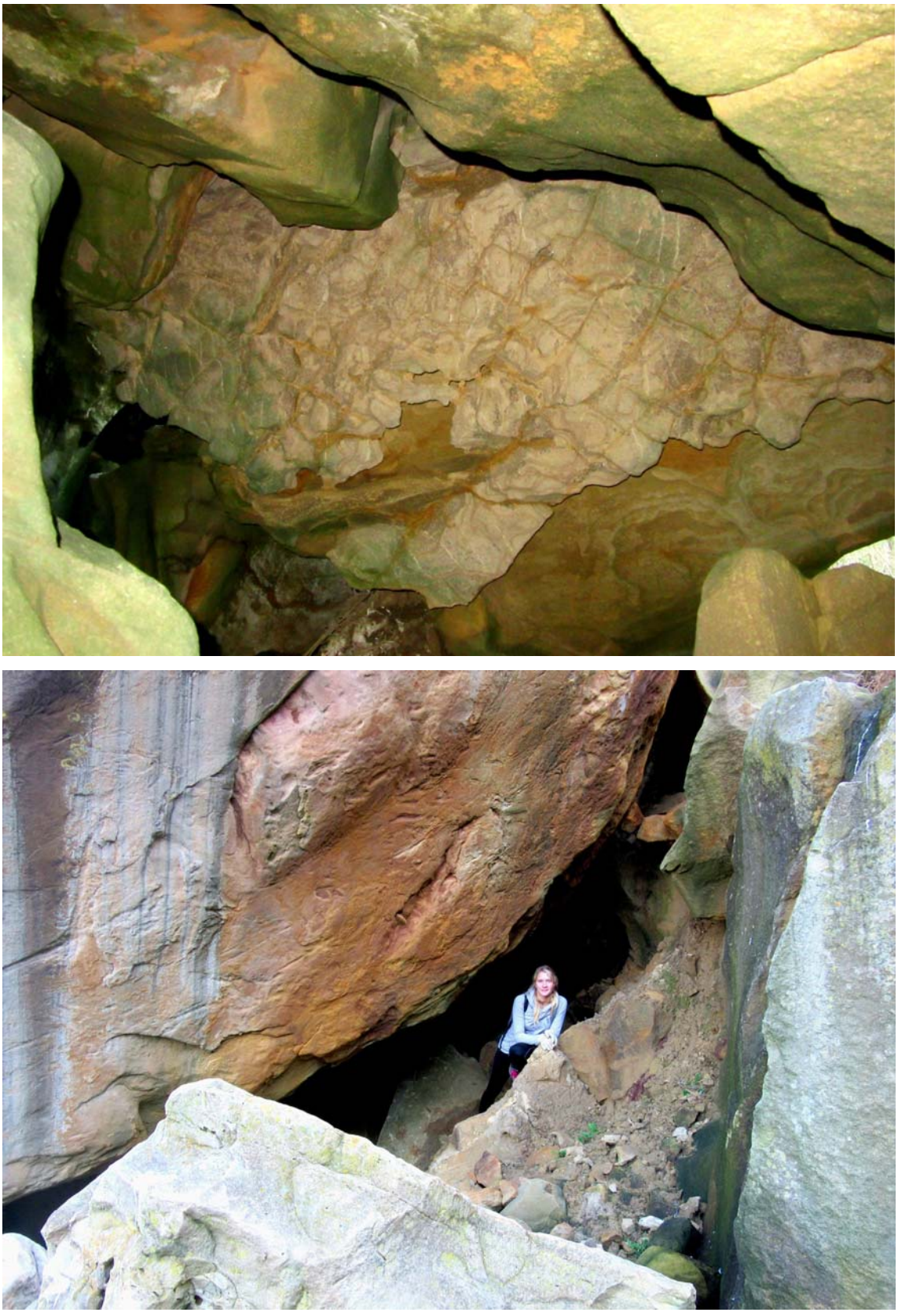

Figura 10. Boca de otra cavidad en Arlautz Este y recubrimientos más raros con espeleotemas de calcita y redes de fisuras ortogonales, de diseño romboidal.

Figura 11. Sector W de Arlautz, tras pasar la laja de la ruta de descenso, habitualmente batida por las olas. Entre esta punta y el entrante del Rincón del Búho, bajo prominentes estratos extraplomados, se encuentra un conjunto de grandes abrigos escalonados.

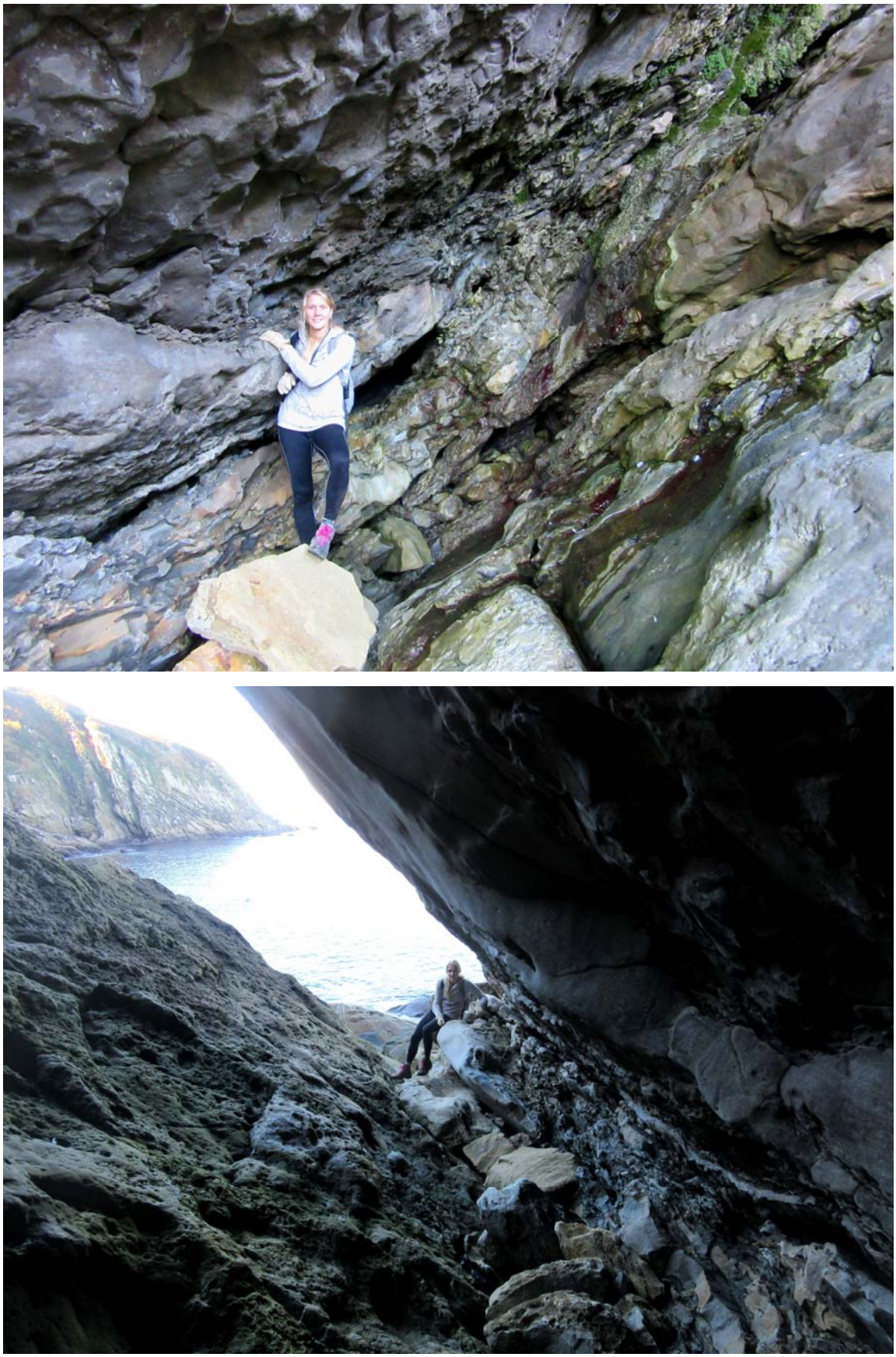

Figura 12. Arlautz oeste. Algunos de estos abrigos alcanzan más de 20 m de profundidad y 40 m de anchura y poseen en su interior surgencias de aguas subterráneas y pequeños cauces.

Figura 13. Arlautz W. Surgencias con diversas espeleotemas, depósitos de tufa y recubrimientos orgánicos de algas rojas y verdes. En la imagen inferior, detalle de ichnofósiles muy marcados de *Nereites*. Las trazas fósiles se encuentran en muchos bloques desprendidos del contacto con lutitas.

Figura 14. Bajo los grandes extraplomos de Arlautz W, de hasta 50 m de desnivel, se encuentran numerosas estalactitas y geoformas, de carbonatos y tufa y, en su borde externo, grandes estructuras de Penélope.

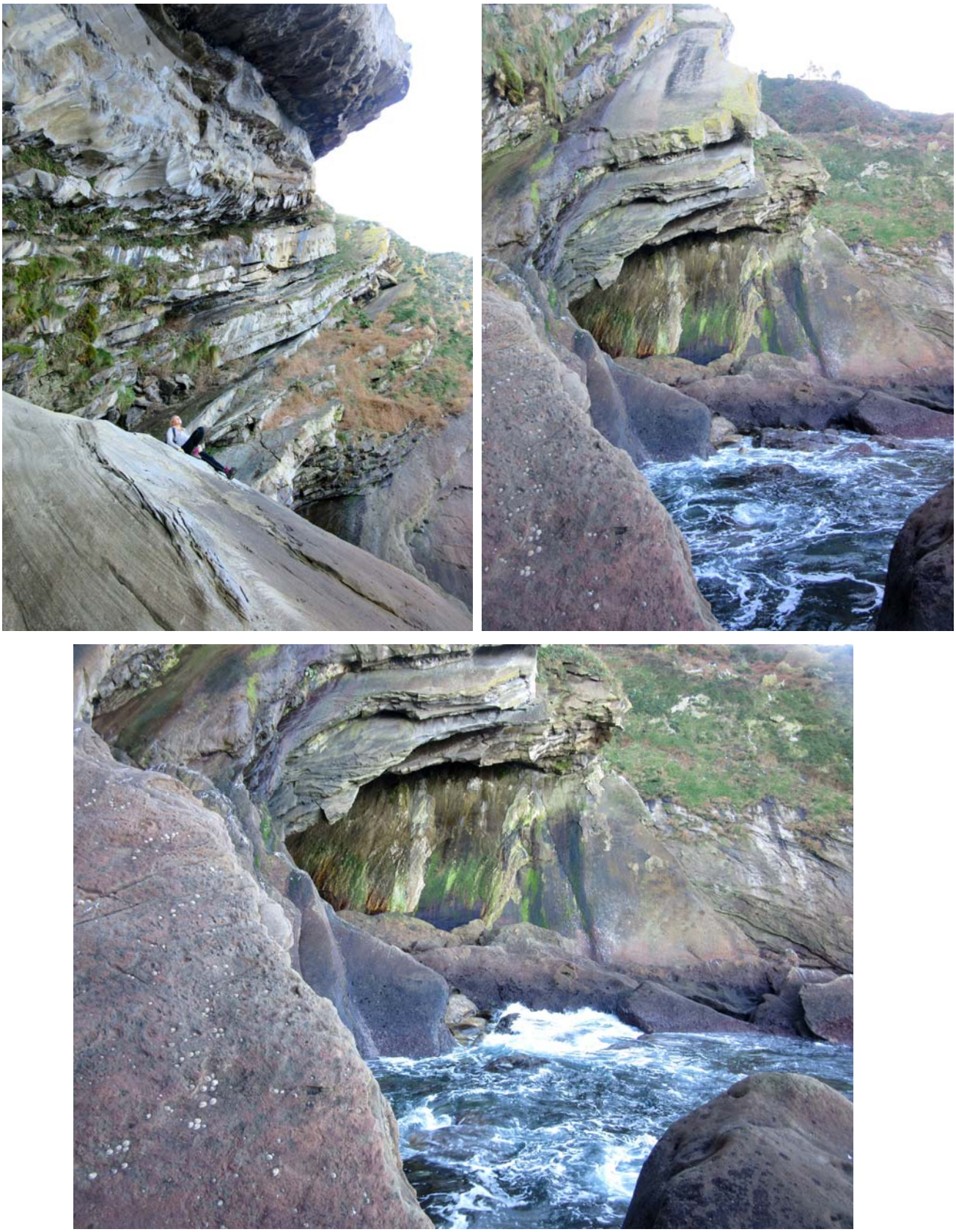

Figura 15. Extraplomos de Arlautz W, hacia el Rincón del Búho, con grandes abrigos bajo estratos superpuestos. Un enclave salvaje, de difícil acceso.

La punta central de Bajo Aundi forma un promontorio donde previamente exploramos un conjunto de cuevas de recubrimiento e interestratos (Galán et al., 2013a). Su extremo E (hacia Cala Murguita) permanecía improspectado, ya que los bloques costeros presentaban flancos muy verticales y, además, parte del flanco E estaba en activo proceso de desprendimiento, con numerosos bloques de colapso del todo inestables. Pasados tres años la erosión ha removido los taludes y bloques más inestables y el terreno ha resultado relativamente más consolidado o asentado, aunque algunas zonas presentan aún equilibrios precarios. Con ciertas precauciones exploramos las partes accesibles, mediante una serie de escaladas y destrepes de bloques.

En el sector encontramos varias cuevas de recubrimiento e interestratos, algunas de ellas formando cortos túneles a nivel del mar y otras con galerías parcialmente inundadas por aguas marinas. Las mayores de ellas llegan a alcanzar 40 m de desarrollo pero en general están sólo en penumbra, con escasos tramos en oscuridad. En los bloques son frecuentes geoformas como concavidades de cannonballs, gangas arcillosas, laminaciones, estructuras de corriente de distinto tipo, y pistas fósiles de *Nereites*, *Thalassinoides*, y otros ichnofósiles encontrados también en otras localidades de este litoral (Galán, 2012). En lajas y grandes bloques son frecuentes en este sector extensas concreciones laminares de óxidos de hierro, que prueban que muchas fisuras y planos de estratificación resultaron previamente rellenas por precipitados de óxidos de hierro. A partir de estos, al igual que con frecuencia ocurre en las gangas de cannonballs, se producen por difusión multicomponente bandeados rítmicos y anillos de Liesengang, con diseños muy variados. Otras estructuras parecen corresponden al escape de fluidos a través de la arenisca, antes de su completa litificación. Así mismo existe una considerable variedad de formas alveolares y boxworks (Figuras 16 á 28).

Los ejemplos extraños, más conspicuos, corresponden a la ocurrencia de espeleotemas diversas en abrigos y pequeñas cuevas excavados por remoción de los estratos delgados de lutitas intercalados entre las areniscas de la serie flysch. Estas espeleotemas ocurren en cavidades y abrigos poco profundos, aunque extensos lateralmente, siguiendo el buzamiento. Por su fondo y paredes normalmente circulan aguas de percolación, procedentes de fisuras y de los espacios porales de la roca-caja. Dado que además de arenisca hay intercalaciones de lutitas y margas, más concreciones y nódulos de naturaleza variable, están disponibles múltiples elementos químicos y componentes minerales.

Los minerales formadores de espeleotemas hasta ahora identificados comprenden: oxi-hidróxidos de hierro y de manganeso (hematita, magnetita, goethita, wüstita), cuarzo detrítico, ópalo-A, silicatos amorfos de aluminio y de hierro (con trazas de otros elementos, tales como titanio, magnesio, bario, potasio, azufre, sodio, cloro y carbono), yeso y calcita. Los componentes minerales detectados (en las muestras analizadas) pueden estar solos o asociados en forma compleja, y en sus inmediaciones existen también diversos tapices orgánicos, por lo que su ocurrencia puede depender de la reactividad química de las soluciones en el acuífero intergranular, pero también puede estar mediada o influida por la actividad metabólica de microorganismos. Se trate de un origen químico, biogénico, o una combinación de ambos, la diversidad hallada en estas espeleotemas resulta llamativa y de gran interés. Su completa comprensión requeriría de estudios geo-microbiológicos más detallados, con empleo de técnicas analíticas ultrafinas (microscopía de transmisión de alta resolución, Raman, MEB, EDX, espectroscopía Mössbauer, extracción y secuenciación de ADN bacterial u otras técnicas de análisis microbiológico, etc.). Los datos obtenidos de las muestras estudiadas, y la diversidad de modos de ocurrencia, formas y coloraciones que se observan *in situ*, conforman un mosaico de alto interés científico, a la vez que presentan rasgos estéticos remarcables y originales (Figuras 29 á 34).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La prospección de estos enclaves de difícil acceso en Arlautz y Bajo Aundi ha permitido poner al descubierto y catalogar nuevas cavidades (cuevas, abrigos, surgencias), así como geoformas, espeleotemas y rasgos geológicos poco conocidos. En su génesis han intervenido procesos clásticos mecánicos, distintas formas de erosión, procesos de disolución y precipitación, y probablemente también actividad geomicrobiológica. Piénsese simplemente que la actividad metabólica de bacterias y otros microorganismos pueden producir compuestos quelantes y ácidos orgánicos capaces de introducir cambios de pH y Eh en las aguas subterráneas y soluciones intergranulares, modificando la reactividad de las soluciones o los equilibrios químicos que determinan la precipitación de unos compuestos o la disolución de otros, condicionando en último término la génesis de diversos tipos de espeleotemas.

La disolución intergranular de la arenisca, responsable principal de la formación de cavidades en esta litología, va también acompañada de procesos de difusión y precipitación de sustancias disueltas, generando espeleotemas, geoformas, concreciones y bandeados rítmicos diversos. Estos acompañan a muchos otros factores erosivos que operan en el modelado general del relieve. En una secuencia de eventos propia de sistemas complejos, no-lineales (Galán, 2010).

Nuestra principal conclusión es que las exploraciones efectuadas en estos enclaves ocultos en el litoral de Ulía, en la base de acantilados casi inaccesibles, aportan nuevos datos sobre cavidades, espeleotemas y geoformas (con múltiples rasgos de interés científico y estética remarcable), que se agregan a los estudiados en trabajos previos sobre cavidades y procesos de karstificación en las areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel.

Figura 16. Enclave de Bajo Aundi, en ruta hacia su punta Este. Arriba: estratos delgados de lutitas y margas, intercalados entre estratos más gruesos de arenisca, con diversas geoformas alveolares.
Debajo: Remontando una cornisa para acceder al extremo Este de la punta.

Figura 17. Escalando entre grandes bloques, con cuevas de recubrimiento y geoformas, para acceder al extremo Este de la punta de Bajo Aundi.

Figura 18. Bajo Aundi. Subida sobre bloques hasta el promontorio lateral que da paso al enclave del lado Este.

Figura 19. Sector del extremo E de Bajo Aundi, con colapsos, cuevas interestratos y de recubrimiento. Al fondo, en el centro, la entrada a la ensenada de Cala Murguita.

Figura 20. Cuevas interestratos y de recubrimiento en la punta Este de Bajo Aundi.

Figura 21. La punta Este ha sido objeto de desprendimientos recientes. Muchos bloques, con geoformas, resultan inestables y se mantienen en precario equilibrio.

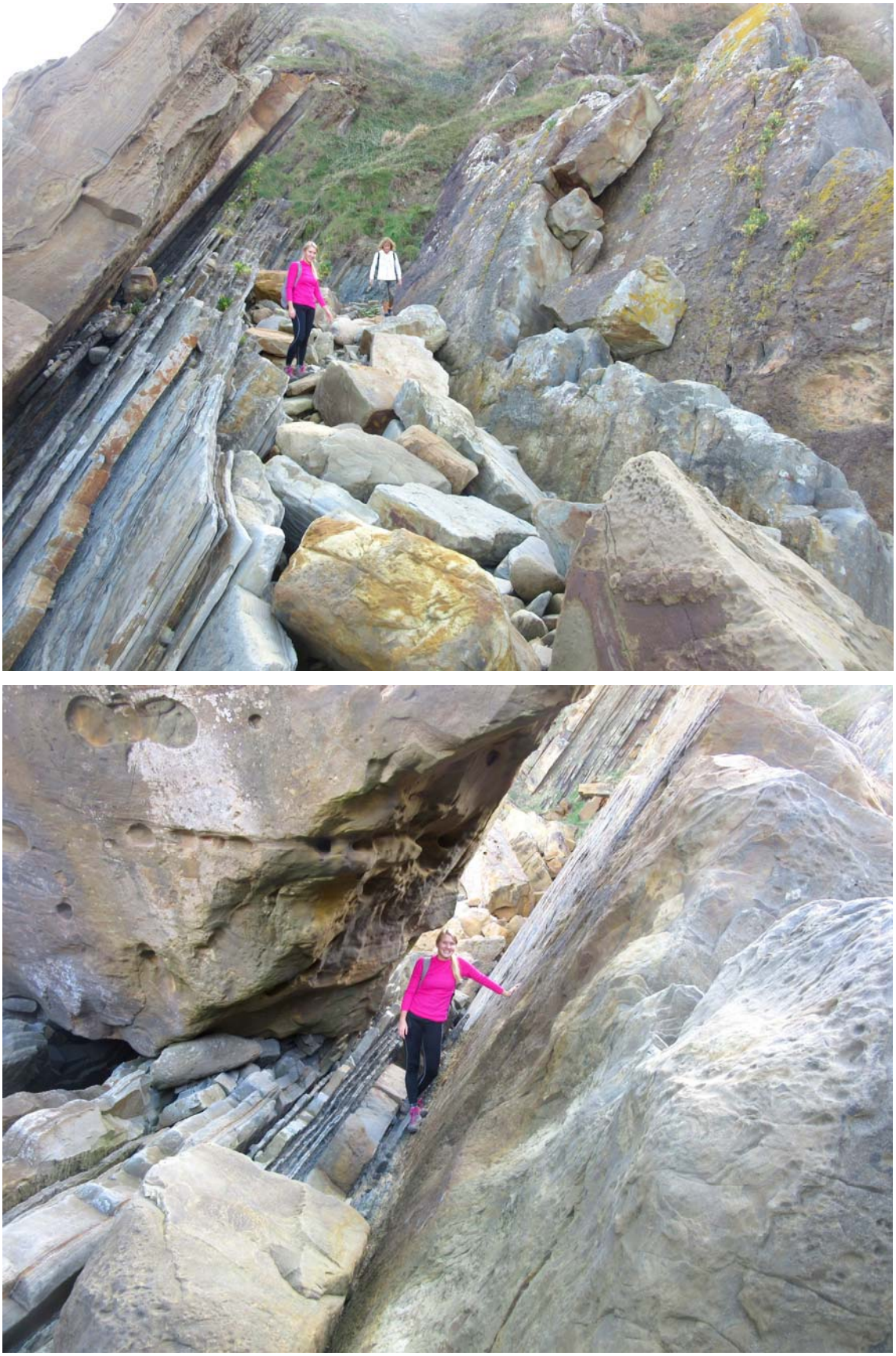

Figura 22. Estratos delgados de margocalizas y lutitas intercalados en la serie. A expensas de ellos se forman varios corredores y cuevas-túneles, techados por grandes bloques de arenisca. Bajo Aundi.

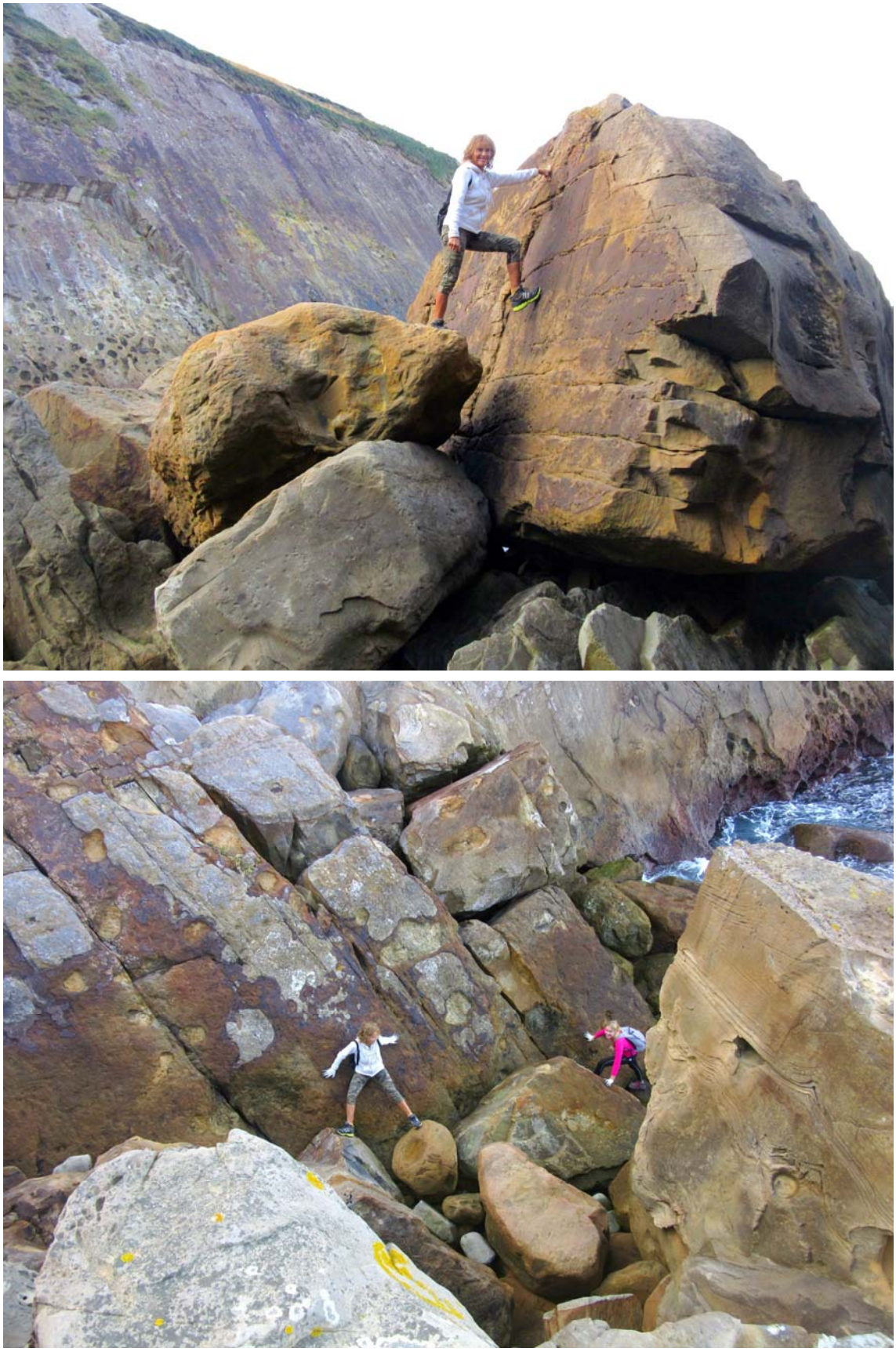

Figura 23. Concreciones laminares de óxidos de hierro que rellenaban fisuras y planos de estratificación. Ahora se encuentran expuestos en paredes de bloques y lajas, cubriendo áreas de cierta extensión.

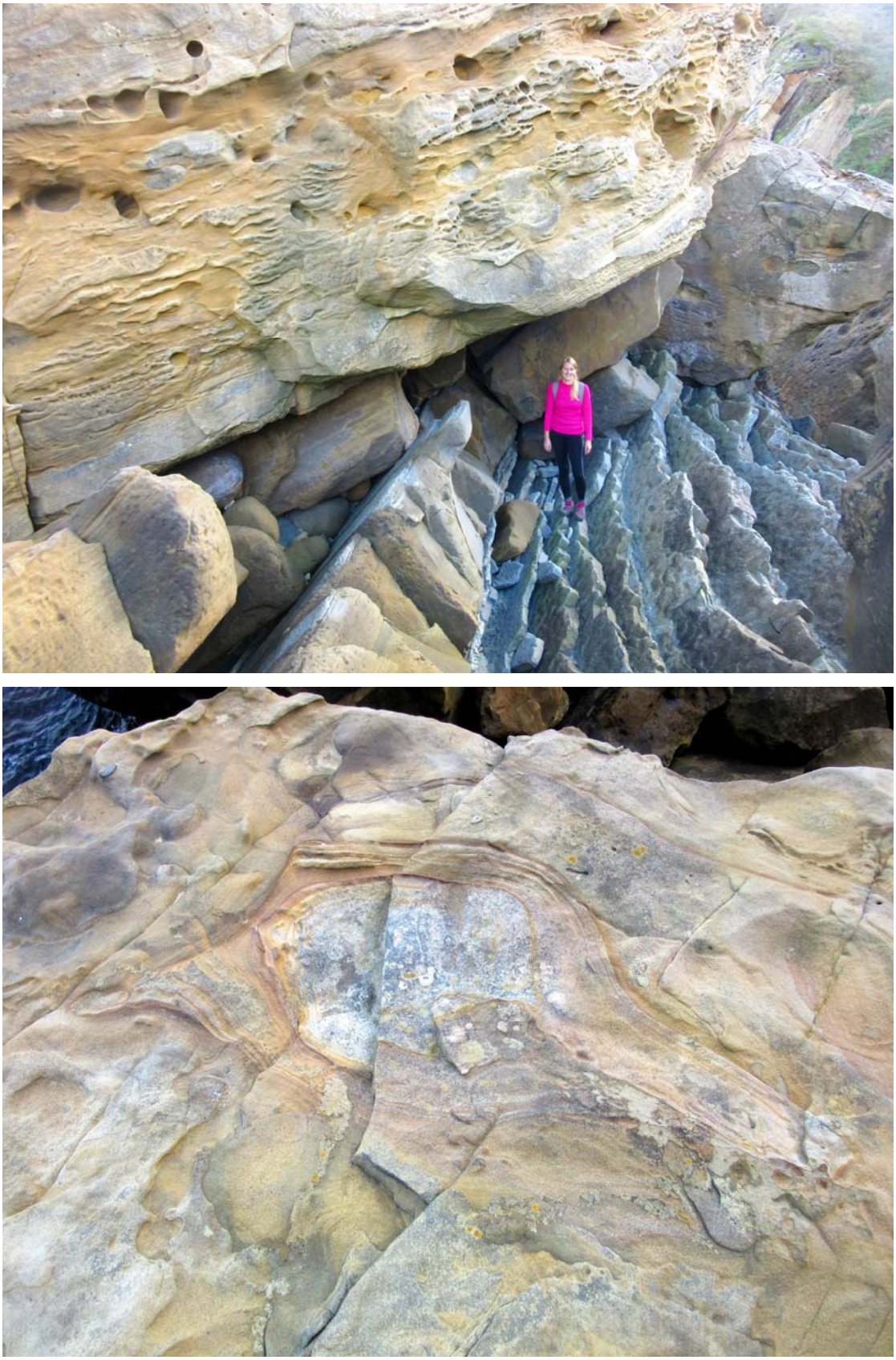

Figura 24. Diversidad de geoformas generadas por disolución intergranular en las paredes de bloques de arenisca y bandeados rítmicos, en torno a concreciones y restos de gangas, formados por difusión.

Figura 25. Las galerías inferiores de varias cuevas de Bajo Aundi son invadidas por el agua de mar al subir la marea. La erosión marina remueve bloques, amplia las galerías y redondea sus contornos.

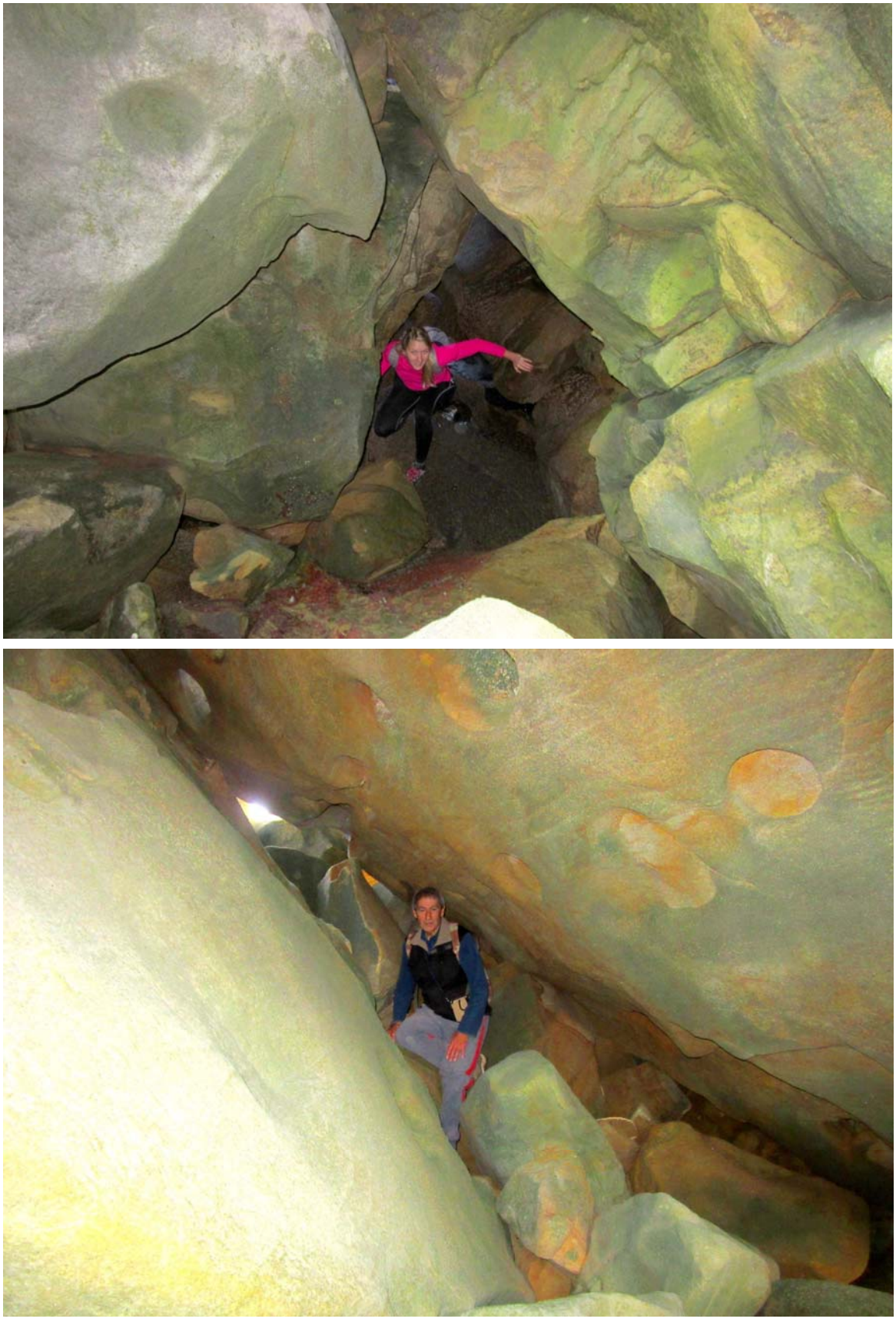

Figura 26. Una de las cuevas mayores del enclave de Bajo Aundi, de 80 m de desarrollo. Con recubrimientos de algas verdes y rojas, espeleotemas y geoformas.

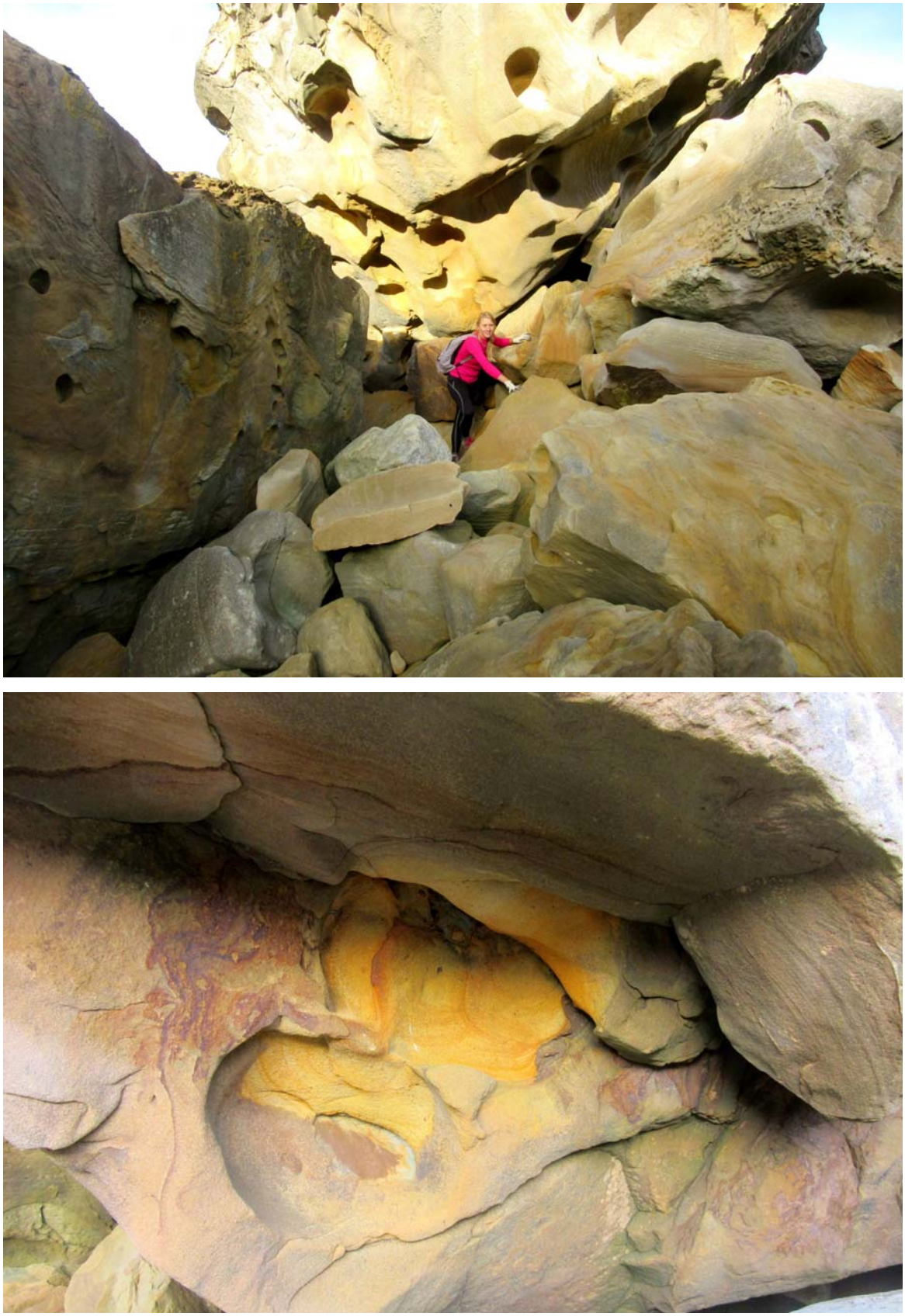

Figura 27. Muchas cuevas y bloques de arenisca en Bajo Aundi poseen concavidades de cannonballs y concreciones planares con restos de sus gangas envolventes arenosas, a partir de las cuales se forman anillos de Liesegang y precipitados de coloraciones diversas.

.

Figura 28. En muchos grandes bloques desprendidos de los estratos de arenisca se encuentran laminaciones onduladas, estructuras de escape de fluidos, concavidades y geoformas alveolares de distintos tipos.

Figura 29. Abrigos y pequeñas cuevas interestratos, con diversidad de espeleotemas y geoformas.

Figura 30. En las cuevas y abrigos de Bajo Aundi predominan espeleotemas de silicatos de aluminio amorfo, oxi-hidróxidos de hierro, ópalo-A y yeso, pero puede haber muchos otros componentes minerales.

Figura 31. En la formación de espeleotemas intervienen soluciones que percolan de la roca-caja de arenisca, pero pueden también incluir componentes de concreciones de distinto tipo intercaladas en la serie flysch.

Figura 32. Muchas espeleotemas se encuentran en abrigos de poca profundidad, pero extensos lateralmente, formados a expensas de la remoción de estratos delgados de las litologías más blandas.

Figura 33. Diversidad de espeleotemas en paredes de cuevas en Bajo Aundi. Las espeleotemas de ópalo-A, oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, silicatos de aluminio amorfo y otros componentes, precipitan a partir de las soluciones intergranulares que percolan desde los estratos de arenisca, pero también disuelven a su paso componentes de las margas, lutitas y concreciones diversas incluidas en la serie que atraviesan.

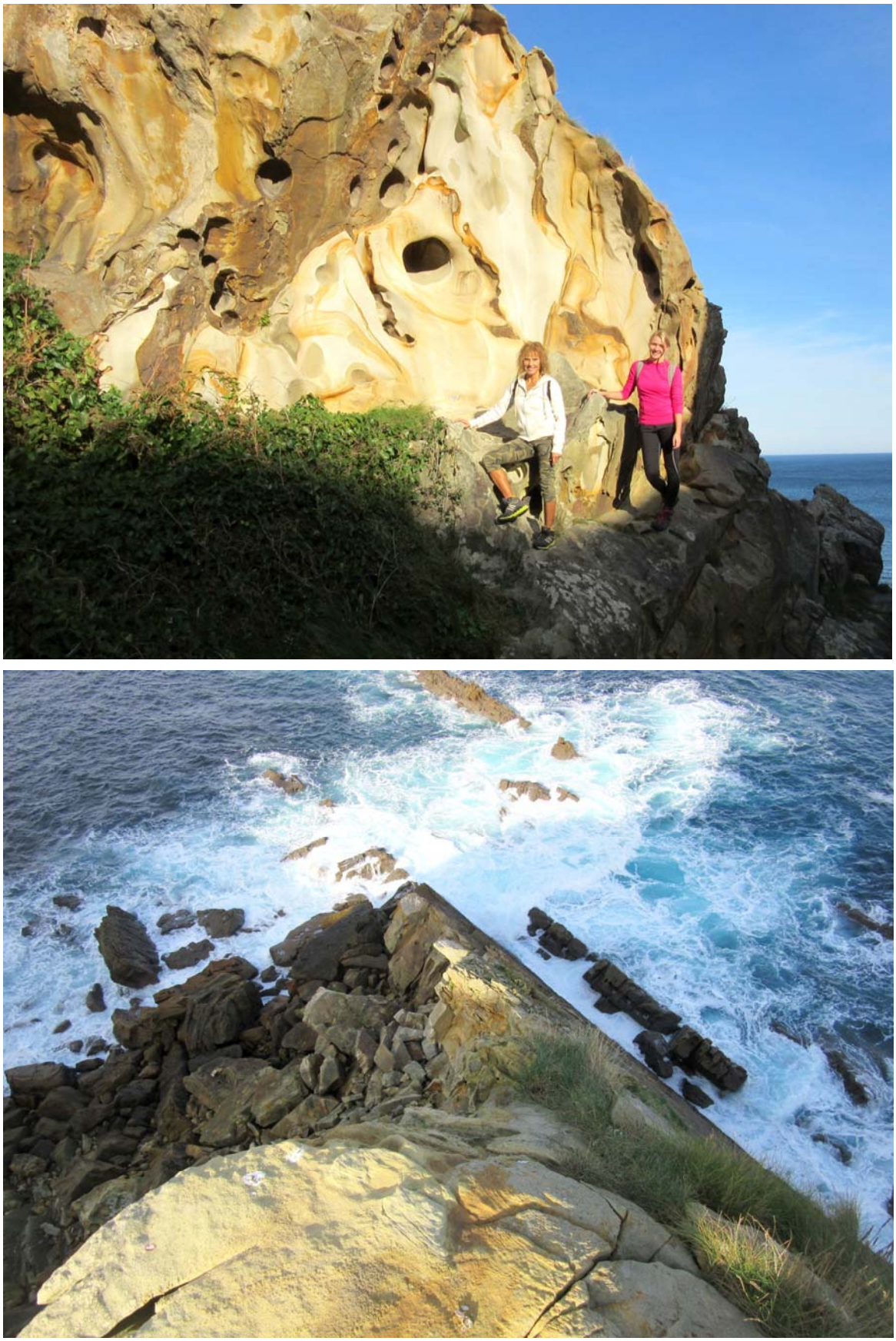

Figura 34. Geoformas con anillos de Liesegang de impactantes diseños en la parte alta del enclave de Bajo Aundi (Ulía) y vista vertical de los acantilados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Carolina Vera Martín (Inasmet - Tecnalia) y Luis Viera (S. C. Aranzadi) por su colaboración en los análisis de algunas muestras de roca y espeleotemas usadas como material de comparación. A Franco Urbani (SVE - Soc. Venezol. Espeleología) por sus observaciones sobre espeleotemas en cavidades de arenisca de otras localidades de la Formación Jaizkibel y espeleogénesis en cuarzo-arenitas. A dos revisores anónimos de la SCA y SVE por sus observaciones y 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.

Galán, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. Munibe (Ciencias Naturales.), S.C.Aranzadi, 43: 43-72.

Galán, C. 2010. Patrones y estructuras disipativas en cuevas y geoformas del pseudokarst de Jaizkibel. Pag web Cota0.com + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.

Galán, C. 2012. Trazas fósiles inusuales de *Nereites* y nueva localidad con *Proparamoudras* en el flysch Eoceno de Ulía (Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 21 pp.

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. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 82 pp.

Galán, C. & D. Arrieta. 2016. Notas sobre cuevas en arenisca en los acantilados de Arlautz (Ulía, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.

Galán, C. & J. Lagarde. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quarzites du Roraima. Karstologia, Assoc. Franc. Karstol. & Fed. Franc. Spéléol., 11-12: 49-60.

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. Molia; M. Nieto & J. Rivas. 2008. Nuevos datos sobre Paramoudras y concreciones relacionadas en Jaizkibel e Igueldo (Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa). Publ.Dpto.Espeleol. S.C.Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 p.

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.; J. Rivas & M. Nieto. 2011. Los acantilados de Ulía, sus cavidades y geoformas (San Sebastián, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 26 pp.

Galán, C.; M. Nieto & J. Rivas. 2013a. Cuevas y geoformas en Bajo aundi, Ulía (Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.

Galán, C.; J. Rivas & D. Arrieta. 2013b. Estructuras de Penélope, cuevas y geoformas en arenisca del flysch Eoceno, en el litoral de la placa central de Igueldo (Gipuzkoa, País Vasco). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.

Galán, C.; I. Herraiz; D. Arrieta Etxabe; M. Nieto & J. Rivas. 2013c. 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.

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.

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

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.