

**NOTAS SOBRE GEOMORFOLOGÍA, CUEVAS DE RECUBRIMIENTO, ESPELEOTEMAS Y GEOFORMAS
EN ARENISCA DEL FLYSCH EOCENO (ZONA CENTRAL DE IGUELDO)**

Notes about geomorphology, caves under blocks, speleothems and geoforms in Eocene flysch sandstone
(Igueldo central zone)



Carlos GALÁN; Marian NIETO; José RIVAS; Daniel ARRIETA; David ARRIETA & Piero DI BARTOLOMEO.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Agosto 2013.

NOTAS SOBRE GEOMORFOLOGÍA, CUEVAS DE RECUBRIMIENTO, ESPELEOTEMAS Y GEOFORMAS EN ARENISCA DEL FLYSCH EOCENO (ZONA CENTRAL DE IGUELDO)

Notes about geomorphology, caves under blocks, speleothems y geofoms in Eocene flysch sandstone (Igueldo central zone)

Carlos GALÁN; Marian NIETO; José RIVAS; Daniel ARRIETA; David ARRIETA & Piero DI BARTOLOMEO.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Agosto 2013.

RESUMEN

La secuencia del flysch Eoceno (Formación Jaizkibel) presenta en la zona central de la cadena litoral Igueldo - Mendizorrotz (San Sebastián - Orio, País Vasco) diversos ejemplos de cuevas de recubrimiento y una morfología de superficie asociada a procesos de disolución y erosión de los estratos más blandos de la serie. El colapso y deslizamiento de los estratos más duros de arenisca genera zonas deprimidas, cañones y caos de bloques. Bajo y entre los bloques se forman sistemas de pequeñas cuevas y abrigos. En las zonas de mayor actividad hídrica y atmósfera húmeda las cavidades presentan espeleotemas de ópalo-A y calcita. En abrigos y cuevas secas las espeleotemas forman films milimétricos de silicatos de aluminio. Adicionalmente, tanto en cuevas como en superficie, se presentan diversos ejemplos de concreciones y geofomas, tales como cannonballs, proparamoudras, gangas arcillosas, boxworks incipientes y microformas alveolares. Se discuten los factores que intervienen y comandan su génesis.

Palabras clave: Arenisca, Geomorfología, Espeleología Física, karst, espeleotemas, geofomas, proparamoudras.

ABSTRACT

The Eocene flysch sequence (Jaizkibel Formation) has on the central coast chain Igueldo - Mendizorrotz (San Sebastian - Orio, Basque Country) several examples of caves under blocks and a surface morphology linked to processes of dissolution and erosion of the softer strata of the series. The breakdown and slippage of hard sandstone strata generates depressed areas, canyons and chaos of blocks. Under and between blocks systems of small caves and shelters are formed. In the areas of higher water activity and humid atmosphere cavities present opal-A and calcite speleothems. In shelters and dry caves the speleothems form millimeter films of aluminum silicates. In addition, both in caves and on the surface, provides several examples of concretions and geofoms, such as cannonballs, proparamoudras, bargains clayey, boxworks nascent and alveolar microforms. We discuss the factors that intervene and command its genesis.

Keywords: Sandstone, Geomorphology, Physical Speleology, karst, speleothems, geofoms, proparamoudras.

INTRODUCCION

En la arenisca de cemento carbonático de la Formación Jaizkibel (de edad Eoceno inferior a medio) (Campos, 1979) y sobre todo en los estratos más gruesos, que ocupan la parte superior de la secuencia de turbiditas, se desarrollan cuevas y formas pseudokársticas, generadas por procesos de disolución intergranular de la arenisca. Sin embargo, no todos los lugares con estratos de arenisca son igualmente susceptibles de experimentar karstificación.

La zona central de la cadena Igueldo - Mendizorrotz (la cual se extiende entre San Sebastián y Orio) es un ejemplo de ello. En esta zona habíamos descrito anteriormente sistemas de cuevas y mesocavernas de decenas de metros de desarrollo, en el sector litoral de Urberde, con interesantes ejemplos de fauna cavernícola (Galán, 2001). Algo más al W otro sector litoral presenta interesantes ejemplos de Paramoudras (Galán et al., 2008). Pero los afloramientos de arenisca son extensos, de abrupto relieve, y la mayoría de su superficie por encima de la zona litoral está cubierta de una vegetación baja e intrincada, por lo que son terrenos difíciles de recorrer y prospectar (Figuras 01 y 02). Se trata en consecuencia de áreas muy poco conocidas, donde cada sucesiva exploración del territorio revela y pone al descubierto nuevos rasgos de interés espeleológico.

En este trabajo describiremos algunos ejemplos ilustrativos encontrados en las laderas del sector central, entre cotas de 260 m de altitud y el nivel del mar. El sector se caracteriza por formar una laja o placa inclinada casi continua con buzamiento acentuado (35 á 40°) limitada entre valles cataclinales que la entallan a E y W. En la parte W se ha formado también un cañón poco profundo relleno de caos de bloques. A lo largo de los escarpes laterales de valle, en el interior del cañón y bajo los rellenos de bloques que ocupan los fondos de valle, se presentan abrigos y sistemas de cuevas de recubrimiento, con circulaciones hídricas, espeleotemas y geofomas, de distinto tipos.

Diversas evidencias sugieren que el dispositivo estratigráfico del flysch, con intercalación de niveles delgados de lutitas entre las areniscas, dificulta la infiltración y la génesis de cuevas más extensas o profundas. Las prospecciones efectuadas ilustran muy bien en este sentido cuáles son los principales factores que facilitan o dificultan la karstificación de las areniscas, otorgando al conjunto su carácter pseudokárstico, con desigual desarrollo de procesos de cavernamiento. En la nota pasaremos revista a estos aspectos geomorfológicos, mostrando que el flysch Eoceno es una sucesión rítmica de materiales de distinta litología (no sólo arenisca), y según confluyan o no un conjunto de factores locales, puede verse facilitada la creación de cavidades o, por el contrario, se generarán formas de superficie peculiares. La infiltración y circulación subterránea de las aguas en la arenisca coexiste de este modo con la erosión normal del modelado de superficie.

Algunos de los ejemplos presentados son análogos a otros descritos de los montes Ulía y Jaizkibel (Galán, 2011, 2013; Galán et al, 2011, 2013), mientras que otros presentan rasgos novedosos, con desarrollos y diseños que amplían el rango de variación conocido para cavidades, espeleotemas y geoformas en la arenisca de la Formación Jaizkibel.

MATERIAL Y METODOS

El trabajo reúne el conjunto de datos obtenidos durante prospecciones efectuadas en cinco salidas en 2013 a la zona central de Igueldo. El área de estudio cubre una extensión de 1,8 km² de afloramientos de arenisca entre cotas de 300 m de altitud y el nivel del mar. Básicamente comprende una extensa placa de arenisca (en forma de chevron) limitada entre dos valles, el talweg de los mismos, escarpes laterales, el interior de un cañón poco profundo (con circulación hídrica temporal y bloques de colapso), y acumulaciones de grandes bloques en la zona litoral.

En las prospecciones se utilizó el material habitual de espeleología, con uso de cuerda estática para asegurar escaladas y destrepes de pequeñas verticales y/o tramos abruptos, e iluminación frontal con linternas Leds en la zona oscura de las cuevas. Datos de buzamiento y croquis de cavidades fueron efectuados con instrumental topográfico de precisión Suunto. Algunas muestras de espeleotemas fueron estudiadas al microscopio binocular (hasta 200 aumentos) y analizadas mineralógicamente mediante DRX (= técnica de difracción de rayos-X). Las descripciones de cavidades y geoformas fueron completadas con respaldo de fotografía digital, para ilustrar gráficamente las características más significativas. Datos de localización y coordenadas UTM de los fenómenos kársticos encontrados fueron contrastados con la cartografía digital del SIG de Gipuzkoa (b5m.gipuzkoa.net).

RESULTADOS

En Igueldo existen muchas áreas donde la arenisca aflora en grandes lajas y placas, con buzamiento N variable (de entre 30° y subvertical). El dispositivo estructural es monoclinial. La Formación Jaizkibel exhibe en Igueldo una extensión global de 10 x 2 km en planta, entre cotas de 415 m snm y el nivel del mar. El relieve está surcado y entallado por pequeños valles cataclinales que desde la línea de cresta Igueldo - Mendizorrotz se dirigen directamente al mar, paralelos unos a otros (Figuras 03 y 04).

A pesar de la modesta extensión de estos montes, los fondos de valle, escarpes, acantilados, y espolones prominentes de arenisca, suman en la región un desarrollo longitudinal del orden de 500 km, estando en gran parte inexplorados. Las laderas entre valles están habitualmente cubiertas por una densa vegetación secundaria de matorrales bajos donde abundan las zarzas, argomas y helechos. Las zonas arboladas del fondo de los valles presentan una vegetación igualmente enmarañada, donde a las zarzas se suma la presencia de una liana espinosa de tallo flexible (*Smilax aspera*) que llega a formar concentraciones densas que dificultan el paso. Por ello, aparte de los escasos senderos frecuentados por pescadores (o creados por la huella del paso de ganado), el terreno es poco transitable y dificulta la prospección, siendo esta zona central de Igueldo la más salvaje y desconocida.

Nuestra elección de esta zona de estudio se guió también por otro criterio: el de buscar áreas donde la red hídrica intercepte directamente flancos de estratos de arenisca, susceptibles de constituir puntos de sumidero del drenaje epigeo. De producirse la captura de caudales ya formados, el buzamiento resultaría favorable para su canalización subterránea hacia el nivel de base de la línea de costa, con la posibilidad potencial de formación de cuevas de mayor extensión que las hasta ahora conocidas. También, la placa central de arenisca presentaba un cañón y varias depresiones susceptibles de capturar con mayor facilidad el drenaje y poseer cuevas en su interior.

Las prospecciones efectuadas han puesto de manifiesto que el flysch Eoceno en el área de estudio ha sido modelado por la erosión de superficie diferencialmente. La parte superior de la placa corresponde a varios estratos superpuesto de arenisca, de 4 m de potencia media cada uno, seguidos por una sucesión donde alternan lutitas, margas y areniscas en estratos delgados. Estas zonas de estratificación delgada, con intercalaciones de materiales de baja permeabilidad, no son susceptibles de karstificación, restringiéndose ésta a las zonas con estratos gruesos de arenisca, que coronan la serie. Pero adicionalmente, cuando las intercalaciones delgadas de lutitas son erosionadas, los estratos gruesos de arenisca colapsan mecánicamente, produciendo pequeños escalones y fragmentando el estrato en bloques cuadrangulares que deslizan con facilidad. Así, el fondo de los valles y zonas deprimidas resultan ocupados por acumulaciones de grandes bloques, entre y bajo los cuales circulan láminas y corrientes de agua. La excavación subterránea de pequeñas galerías y drenajes laminares entre planos de estratificación culmina con el colapso y "aplastamiento" de los estratos gruesos, sin llegar a formar galerías subterráneas.



Figura 01. Zona central de Igueldo, desde la cota 200 m snm, vista hacia la punta que cierra el valle W. La ladera tiene una pendiente uniforme, de 35-40°, concordante con el buzamiento. Vegetación baja (con argomas y helechos), algunos plantaciones de pinos y lajas de roca arenisca..



Figura 02. Vista de la parte central del área de estudio, que cubre 2 km de línea de costa. El matorral bajo de helechos, argomas y zarzas alcanza 2 m de altura. Las lajas de roca resultan muy deslizantes cuando están húmedas por lluvia o rocío. El terreno es poco transitable y difícil de prospectar.

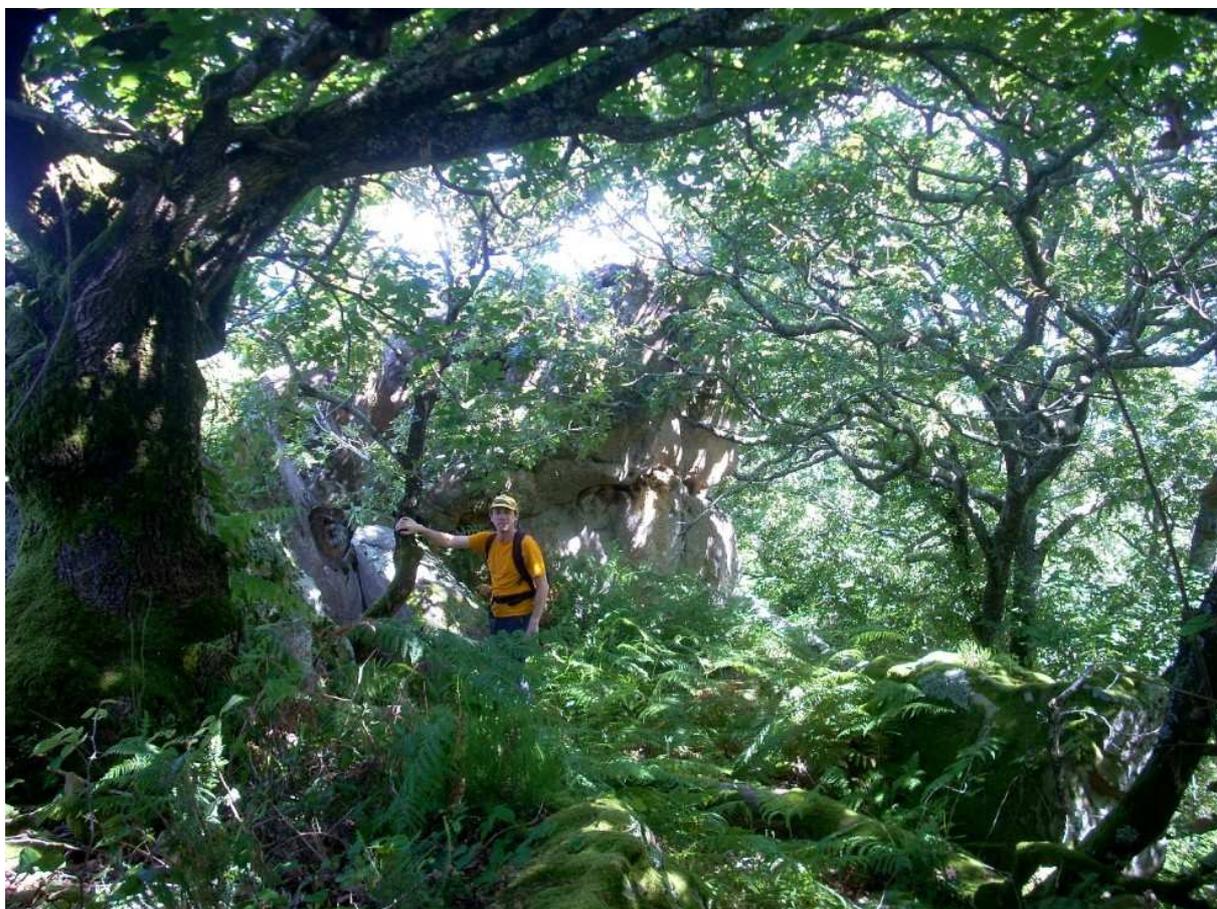


Figura 03. Valle del Este. Con afloramientos de estratos gruesos de arenisca y vegetación arbórea en su parte alta.

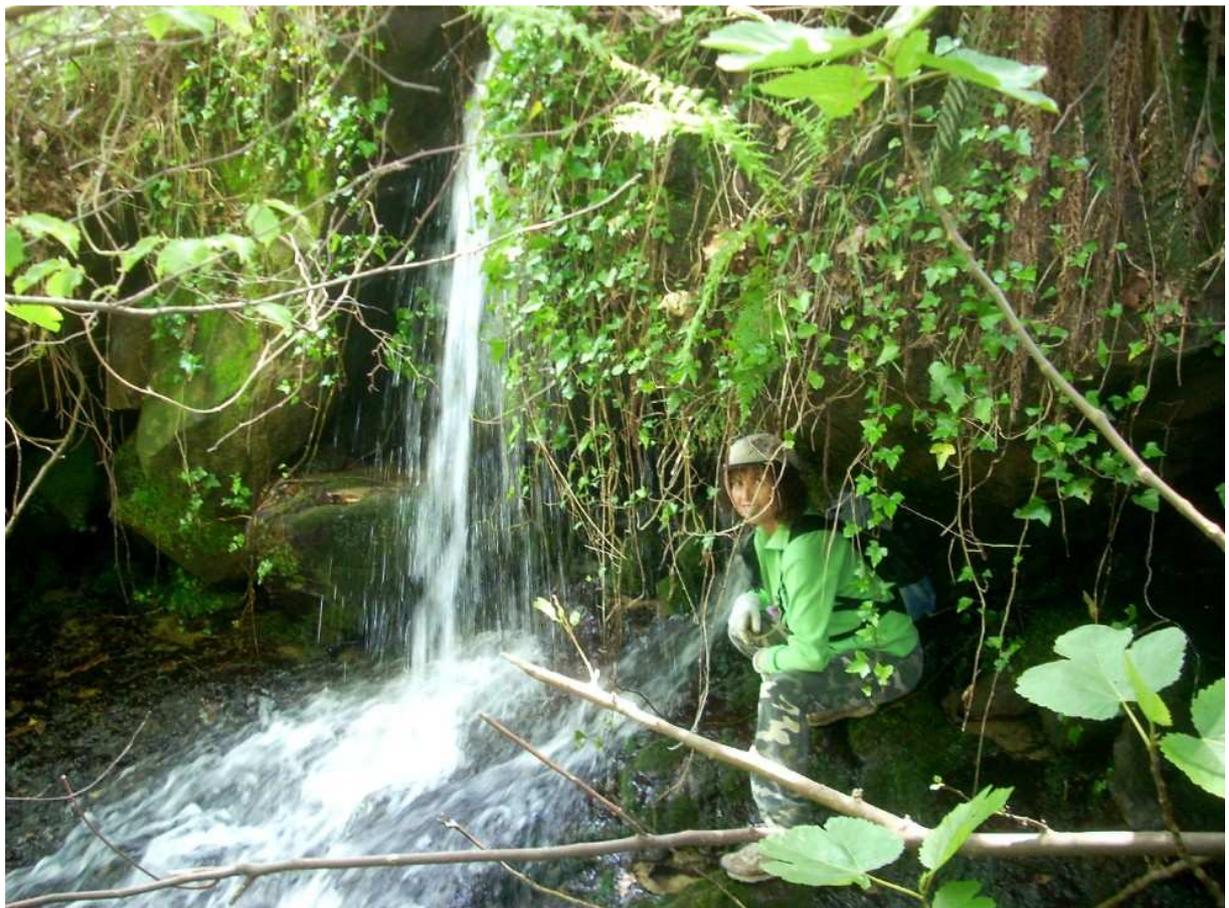


Figura 04. El valle del Este presenta en su cauce cascadas y rellenos de grandes bloques con cuevas de recubrimiento.

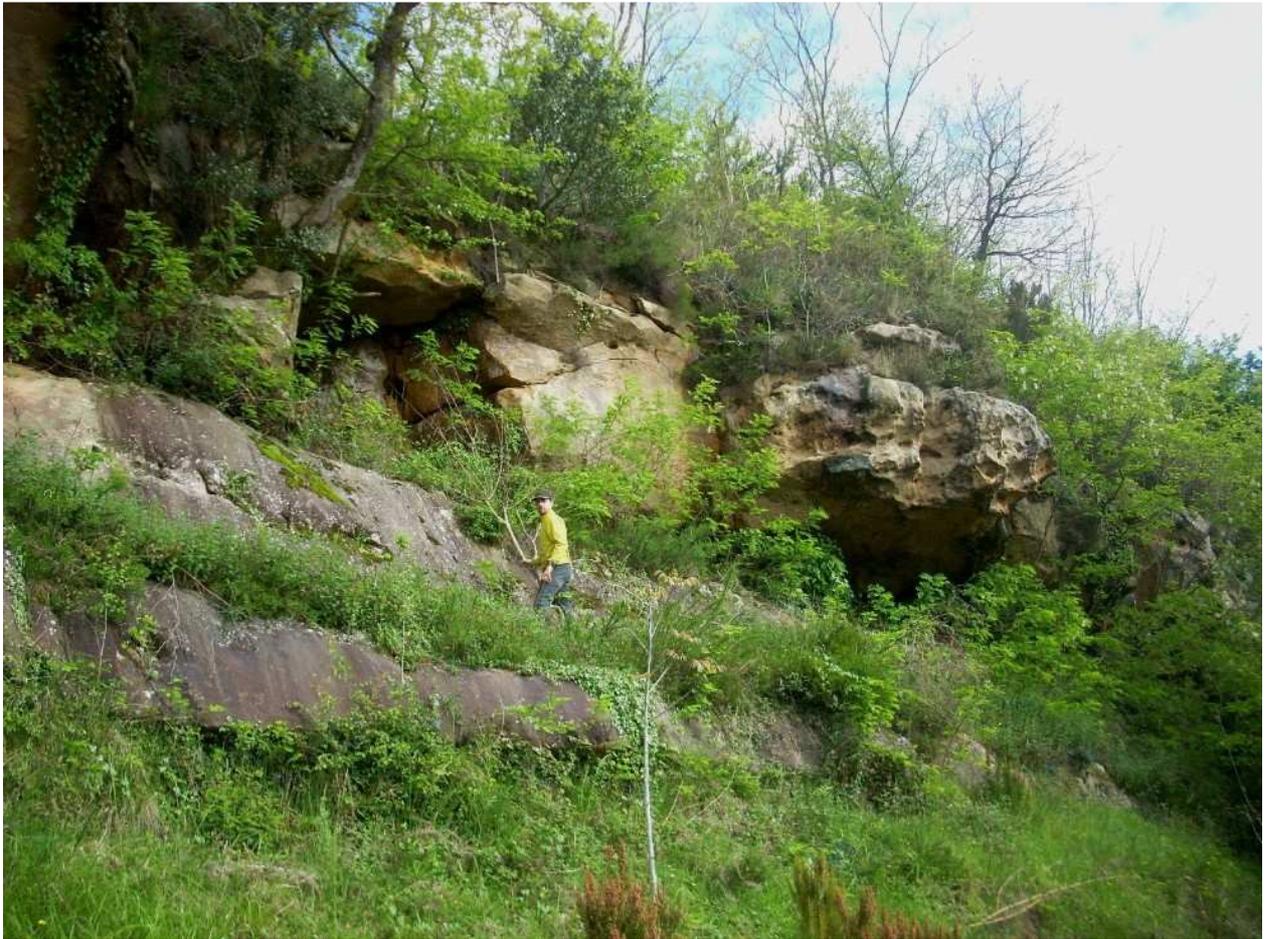


Figura 05. El tramo superior de la ladera del valle en "V" del Este tiene una serie de estratos gruesos de arenisca, que poseen abrigos y pequeñas cuevas de ambiente seco, con algunas mesocavernas que profundizan a expensas de los planos de estratificación.

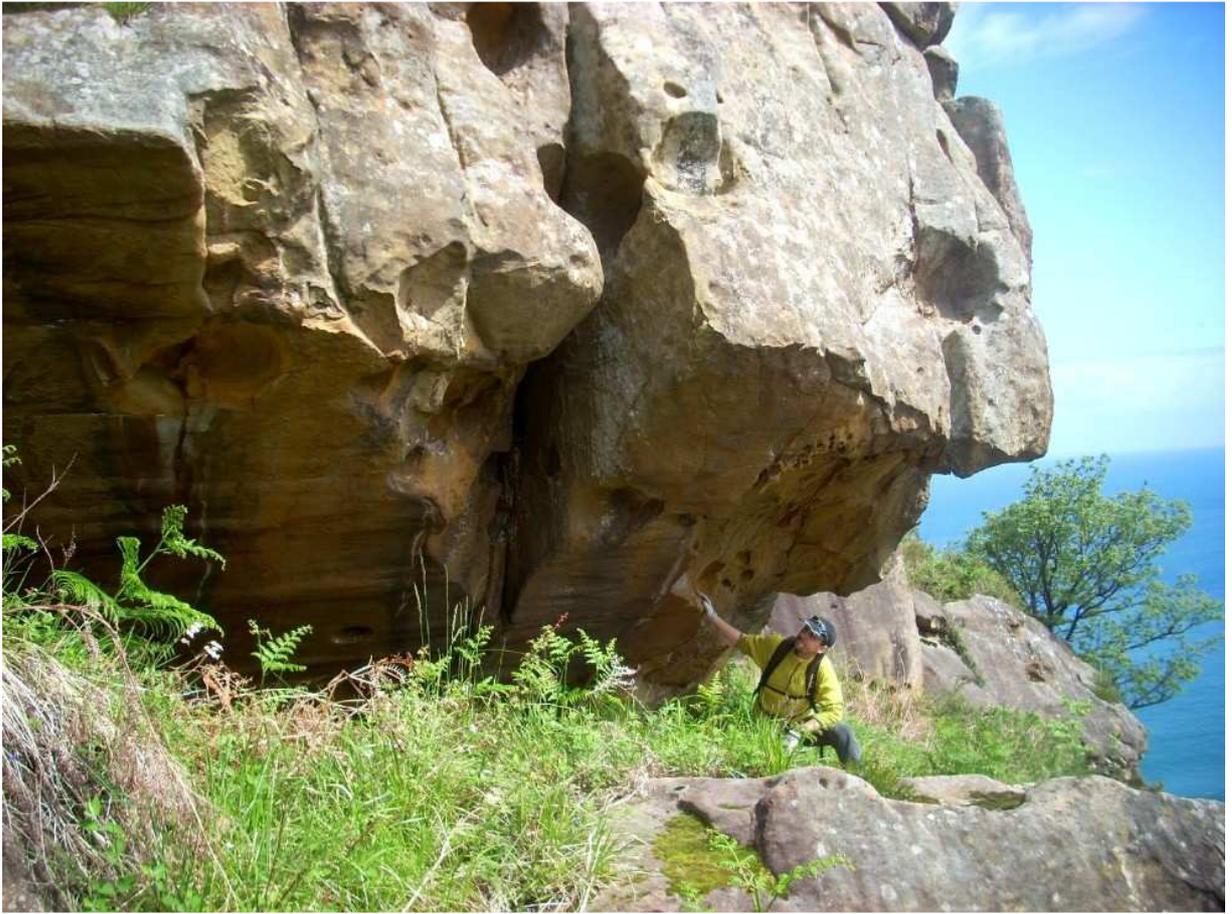


Figura 06. Abrigos y cornisas en el escarpe superior del valle, con roca arenizada y algunos recubrimientos de espeleotemas blancas de silicatos de aluminio amorfo. En superficie geofomas de óxidos de hierro y aluminio.



Figura 07. Reborde superior de la ladera del valle del Este, con estratos gruesos de arenisca, y bloques desprendidos, con abrigos y geofomas. En la imagen inferior se observan concavidades producto del vaciado de cannonballs.



Figura 08. Grandes bloques de colapso, con abrigos, cuevas de recubrimiento y bóvedas con boxworks incipientes.



Figura 09. Geoformas y abrigos en bloques de colapso, con restos de gangas o envolturas arcillo-arenosas de cannonballs y boxworks incipientes en roca arenizada.



Figura 10. Geofomas consistentes en gangas con bandeados de Liesegang y láminas de óxidos de hierro y aluminio, con formas y diseños peculiares, de distinto colorido.



Figura 11. Abrigos y pequeñas cuevas entre y bajo grandes bloques. Con geformas constituidas por gangas envolventes de concreciones de tipo cannonballs, las cuales han sido removidas por disolución intergranular de la arenisca.



Figura 12. Otros ejemplos de gangas arcillo-arenosas, con estructuras concéntricas y helicoidales.

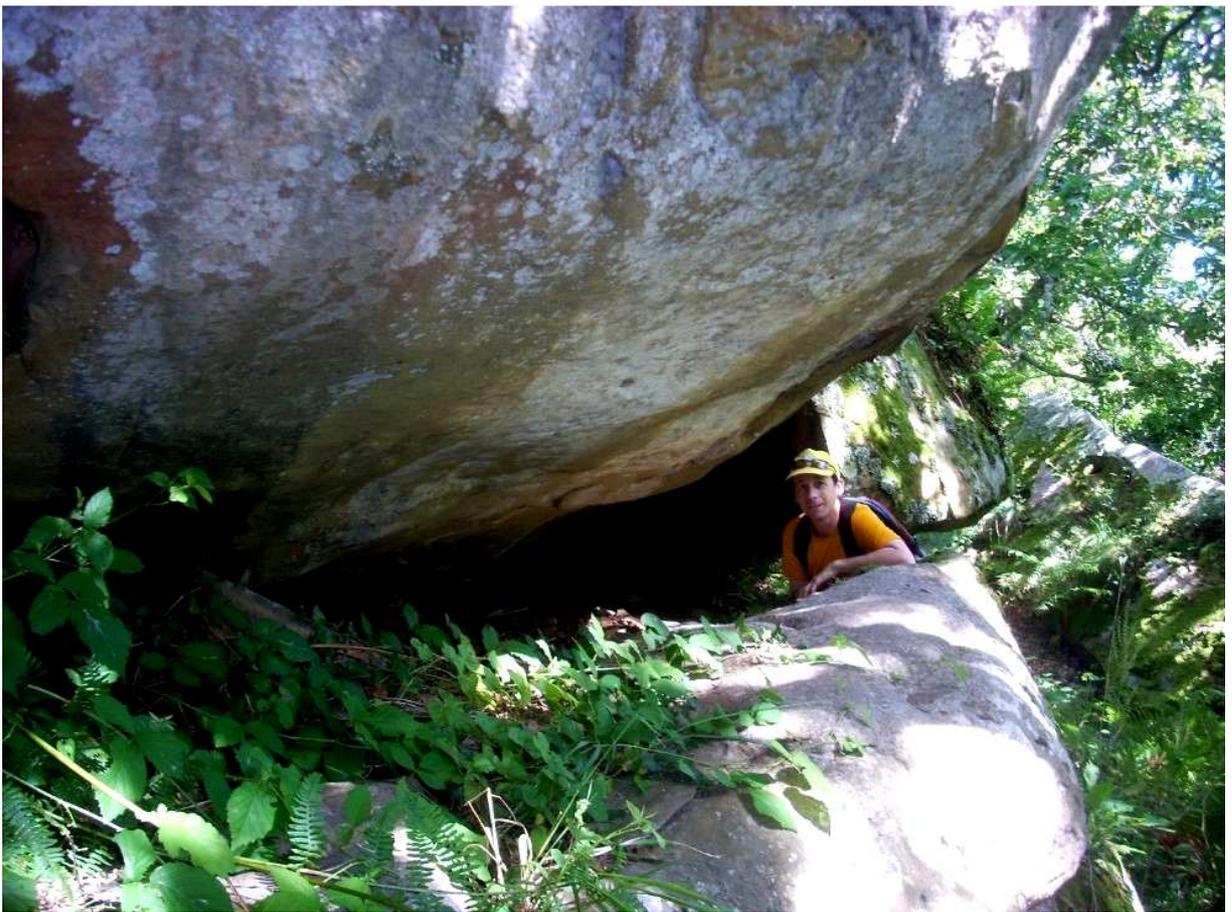


Figura 13. Pequeñas simas y cuevas abiertas entre estratos y bajo bloques, con profusa vegetación. Valle del Este.



Figura 14. Cuevas de recubrimiento, con restos vegetales arrastrados por las crecidas y galerías en oscuridad prolongadas en mesocavernas, con espeleotemas y fauna hipógea.



Figura 15. Sistemas de cuevas bajo grandes bloques de arenisca en el cauce del río.



Figura 16. Espeleotemas de ópalo-A en cuevas hidrológicamente activas, con atmósfera húmeda.



Figura 17. Profusión de espeleotemas botroidales de ópalo-A, calcita y/o yeso, algunas formando banderas, y delgadas películas de silicatos de aluminio amorfo.

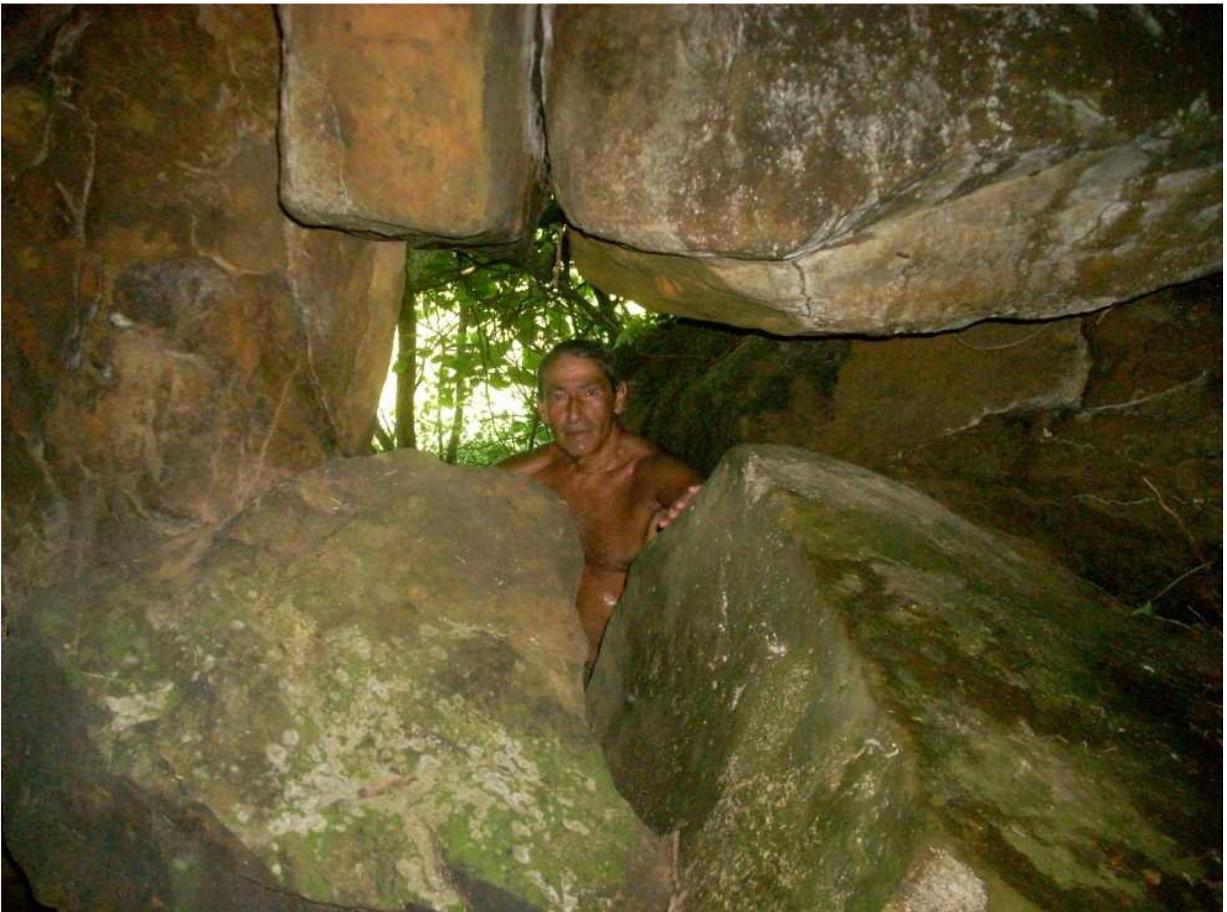


Figura 18. Cuevas hidrológicamente activas bajo el relleno de bloques del talweg del río.



Figura 19. Detalle de muestras de espeleotemas botroidales compuestas de capas concéntricas de ópalo-A y calcita. Otras espeleotemas analizadas son formas tubulares y excéntricas de ópalo-A sólo, y también encontramos espeleotemas de ópalo-A con terminaciones distales arborescentes de yeso, de tipo wisklers. Puede verse que algunas forman masas globulares de más de 2 cm, con ramificaciones en todas las direcciones del espacio, y recubriendo áreas extensas.



Figura 20. Una depresión cerrada por paredes de 4 m de altura (correspondientes al estrato superior), da paso en el ángulo inferior (cota 200 m snm) a un pequeño cañón encajado en el estrato subyacente, con vegetación arbórea. El drenaje de la laja superior y de la depresión se canaliza en el cañón, que actúa como sumidero.

No obstante, en distintos puntos del área, quedan sistemas de abrigos y pequeñas cuevas de recubrimiento, tanto en el flanco de escarpes y escalones verticales, como bajo y entre los grandes bloques colapsados que rellenan los fondos de valle. Veremos a continuación algunos ejemplos representativos.

ABRIGOS Y PEQUEÑAS CUEVAS EN ESCARPES VERTICALES

El perfil en V de los valles exhibe en su parte alta y a lo largo de los mismos, pequeños escarpes verticales y espolones de roca, en correspondencia con el recorte lateral de los estratos gruesos de arenisca. También se presentan algunos ejemplos de escarpes métricos a media ladera. En éstos, existen sistemas de abrigos y pequeñas cuevas secas, formadas a expensas de los planos de estratificación, y en la intersección de los mismos con fracturas verticales de descompresión mecánica (Figuras 05 á 07).

La roca en el interior de los abrigos evidencia distintos grados de desagregación o "arenización", por disolución intergranular de la arenisca. Algunos techos poseen boxworks incipientes, de formas redondeadas o suavizadas (Figura 08). También es frecuente observar concreciones esféricas de cannonballs, inclusiones de lutitas y restos de gangas envolventes de concreciones, de naturaleza arcillo-arenosa, donde son habituales bandeados de Liesegang y precipitados de óxidos de hierro y aluminio, de curiosos diseños (Figuras 09 á 12). Las espeleotemas se reducen a eflorescencias y films de espesores milimétricos, principalmente de silicatos de aluminio amorfo y/o yeso pulverulento. Las cuales son removidas por sucesiva arenización de las paredes de roca. En las zonas de penumbra existen además biofilms de algas, bacterias y crecimientos de líquenes.

En algunos techos se observan recementaciones por carbonatos en forma de "duricrust" o cortezas, que pueden desprenderse en láminas. Las diaclasas ampliadas pueden prolongarse en mesocavernas, constituyendo un retículo de biotopos oscuros susceptibles de ser poblados por fauna cavernícola troglófila.

CUEVAS DE RECUBRIMIENTO

En el fondo de los valles son frecuentes acumulaciones de grandes bloques de colapso, entre los cuales se encuentran rellenos detríticos de bloques menores y fragmentos de los mismos. Las raíces de la vegetación arbórea pueden consolidar algunas de estas acumulaciones. El agua de los ríos circula sobre cortos trayectos bajo y entre los bloques desprendidos, formando redes de seudogalerías laberínticas de hasta varias decenas de metros de desarrollo, con tramos en oscuridad total y alta humedad. Algunas se prolongan también en mesocavernas, con suelos arenosos y numerosos restos vegetales de madera y hojarasca, arrastrados por las aguas durante las crecidas (Figuras 13 á 15).

Las cuevas más profundas de este tipo poseen atmósfera húmeda y en ellas son frecuentes espeleotemas de ópalo-A, calcita y yeso. Aparentemente son formadas por la precipitación de minerales secundarios a partir de componentes de la roca-caja disueltos por el paso de agua intergranular (Figuras 16 á 19). Muchas de ellas están asociadas a films orgánicos que sugieren un origen biogénico, donde el crecimiento cristalino es propiciado o está influido por la actividad metabólica bacteriana (Galán & Vera Martín, 2011; Galán & Rivas, 2013; Galán et al., 2010, 2013).

En estas cuevas la actividad hídrica corresponde a la circulación de los arroyos bajo los bloques, progresivamente erosionados, pero también a la percolación de aguas subterráneas a través de la porosidad de los bloques de arenisca mayores.

Además de numerosos representantes troglógenos (pequeños caracoles, araneidos, opiliones, dípteros, tricópteros, pequeños coleópteros, etc.) son frecuentes isópodos terrestres, colémbolos, y crustáceos anfípodos troglófilos.

EL CAÑÓN CENTRAL

La placa central muestra en distintos puntos recortes escalonados de estratos. Los más gruesos, que ocupan la parte superior, han colapsado en algunos puntos por remoción de los niveles delgados de lutitas intercalados en la serie. En la zona alta, un recorte de este tipo, contorneado por las paredes de un estrato de 4 m de potencia, canaliza el flujo laminar de agua hacia una depresión que da inicio a un abrupto pequeño cañón que profundiza en el estrato infrayacente (Figuras 20 y 21).

El cañoncito, de desarrollo lineal, tiene casi un kilómetro de longitud y desciende 200 m de desnivel. Inicialmente tiene una anchura y profundidad de 4-5 m, con ampliaciones por fragmentación de las paredes laterales del estrato en que está encajado. Debido a la mayor humedad de su interior destaca por el crecimiento de una densa vegetación arbustiva y arbórea. Su fondo está ocupado por caos de bloques. Entre los mismos, y entre éstos y las paredes laterales del cañón, se forman cuevas de recubrimiento, similares a las descritas previamente (Figuras 22 á 24). Exploramos más de una decena de pequeñas cuevas y túneles entre los bloques, a menudo de hasta 10-20 m de desarrollo penetrable. Lateralmente pueden prolongarse en mesocavernas en zona oscura. Y pueden presentarse áreas con suelos arenosos (producto de la desagregación de la arenisca) con indicios de actividad hídrica temporal.

La laja adyacente presenta duricrusts en superficie y en los techos de abrigos en el interior del cañón (Figuras 25 y 26). Lo que indica la existencia de recementaciones por carbonatos en las áreas más expuestas a desecación periódica y/o insolación.

En la mitad inferior el cañón se amplía hasta anchuras de 10 m, pero manteniendo la misma profundidad (del orden de 4 m). Son frecuentes las acumulaciones de bloques que han deslizado. El desgaste preferencial de sus bases de apoyo, por la mayor cuantía de la circulación hídrica temporal, produce un rebajamiento del interior del cañón y movimientos en masa de bloques tabulares colapsados. Algunos resultan entonces volcados subverticalmente o dispuestos con las inclinaciones más diversas. El crecimiento de la vegetación entre los bloques, con helechos y argomas de más de 2 m de altura, dificulta observar el fondo, que a menudo presenta localmente grietas menores. (Figuras 27 y 28)

En las cuevas de recubrimiento más extensas encontramos en zona oscura espeleotemas formando recubrimientos milimétricos de silicatos de aluminio, alófono, oxi-hidróxidos de hierro (hematita, goethita), y más raramente de ópalo-A y calcita (Figuras 29 a 32). La fauna es similar a la de otras cuevas de recubrimiento. Aparentemente sin macrofauna acuática, dado el carácter temporal de las pequeñas circulaciones hídricas.

En la parte más baja el cañón se abre en abanico, con bloques tabulares de hasta más de 10 m de diámetro. En torno y bajo ellos quedan abrigos y zonas techadas, que a veces forman túneles y cuevas de cierta extensión (de hasta 25 m, con zonas en oscuridad total) (Figuras 30 a 32).

ZONAS DEPRIMIDAS Y ACUMULACIONES DE BLOQUES

En distintos puntos de la laja existen localmente depresiones y acumulaciones de bloques que destacan por el crecimiento de higueras en su entorno. Resulta más o menos obvio que las precipitaciones han conseguido infiltrarse en estos puntos a partir de diaclasas, con circulaciones laminares entre los planos de estratificación. El colapso del terreno deja también oquedades entre bloques y pequeñas cuevas de recubrimiento, pero que invariablemente se obstruyen por colmatación y aplastamiento del terreno.

Las mayores acumulaciones de bloques se producen no obstante en la zona litoral, donde prominentes promontorios y puntas están constituidos por acumulaciones de grandes bloques. Aquí, es el desgaste frontal o lateral de los estratos de arenisca por erosión marina, o los de lutitas infrayacentes, la que propicia el retroceso del frente marino y los desprendimientos, resultando más resistentes las acumulaciones de bloques de arenisca. En estos caos gigantescos de bloques se encuentran cuevas y redes de mesocavernas inter-estratos que pueden alcanzar varias decenas de metros de desarrollo, con zonas en acentuada oscuridad, y cuyas partes bajas resultan invadidas por el agua de mar durante las pleamares (Figura 33). Su morfología es comparable a la de otras cuevas descritas previamente de Igueldo y Ulía (Galán, 2001; Galán et al., 2012, 2013). Un estudio más detallado sobre estas cuevas en zona litoral (y geoformas acompañantes) será presentado en una nota subsiguiente.

La fauna cavernícola en estos casos puede incluir una variada representación de invertebrados litorales y marinos, así como numerosos espacios con recubrimientos de algas propias de esta zona litoral. Las espeleotemas son poco frecuentes, pero localmente hemos encontrado casos de cavidades amplias, con salas y galerías más alejadas del nivel del mar, en las que se presenta una gran diversidad de espeleotemas, de calcita, ópalo-A, y muchas fases minerales amorfas (de silicatos de aluminio, hidróxidos de hierro y aluminio, sulfatos, silicatos, etc.), cuya caracterización y estudio requerirá analítica más detallada. Las mayores cuevas de este tipo llegan a alcanzar 80 m de desarrollo, pero en su mayor parte incluyen zonas en penumbra.

CONCRECIONES, GEOFORMAS Y OTROS RASGOS DE INTERÉS

Los estratos gruesos de arenisca presentan en adición diversas geoformas de interés. Entre ellas destacan diversos tipos de concreciones de la propia roca-caja que resultan más fáciles de ver en abrigos, cuevas y escarpes, así como en la zona litoral desprovista de vegetación.

Son comunes en los estratos gruesos las concreciones esféricas de cannonballs, de hasta 60-80 cm de diámetro, así como restos de las gangas envolventes de las mismas. Algunas fracturas de descompresión mecánica seccionan de igual modo las concreciones y la roca-caja, mostrando así que poseen similar composición y resistencia. Las gangas o envolturas arcillo-arenosas poseen con frecuencia bandeados rítmicos de Liesegang, inclusiones de lutitas y láminas resistentes de óxidos de hierro y aluminio, con diversos colores y diseños (Figuras 34 y 35).

En la zona litoral al final de los valles y el cañón son frecuentes tanto cannonballs como pro-paramoudras (el equivalente calcificado de los paramoudras) (Figura 36), que son también concreciones carbonatadas pero formadas en torno a las trazas fósiles (= ichnofósiles) de tubos de organismos marinos (Galán & Rivas, 2009). Muchos bloques correspondientes a la fractura de estratos delgados presentan también ichnofósiles de *Thalassinoides* y trazas afines, pero sin concrecionamiento. Entre las microformas destacan infinidad de formas alveolares, probablemente producidas por haloclastia, y mallas de fisuras a lo largo y en torno a las cuales se ha producido una movilización de soluciones de óxidos e hidróxidos de hierro (Figura 37). En cuevas litorales son frecuentes crecimientos de algas, con una zonalidad característica.

En la morfología observable en el interior de las cavidades pueden presentarse una suma de rasgos conjugados. Las lajas compactas a menudo presentan zonas recementadas, recubrimientos de espeleotemas y paredes y zonas basales en avanzado estado de arenización. El grado de humedad y la presencia de circulaciones hídricas determinan la ocurrencia de unos u otros tipos de rasgos.

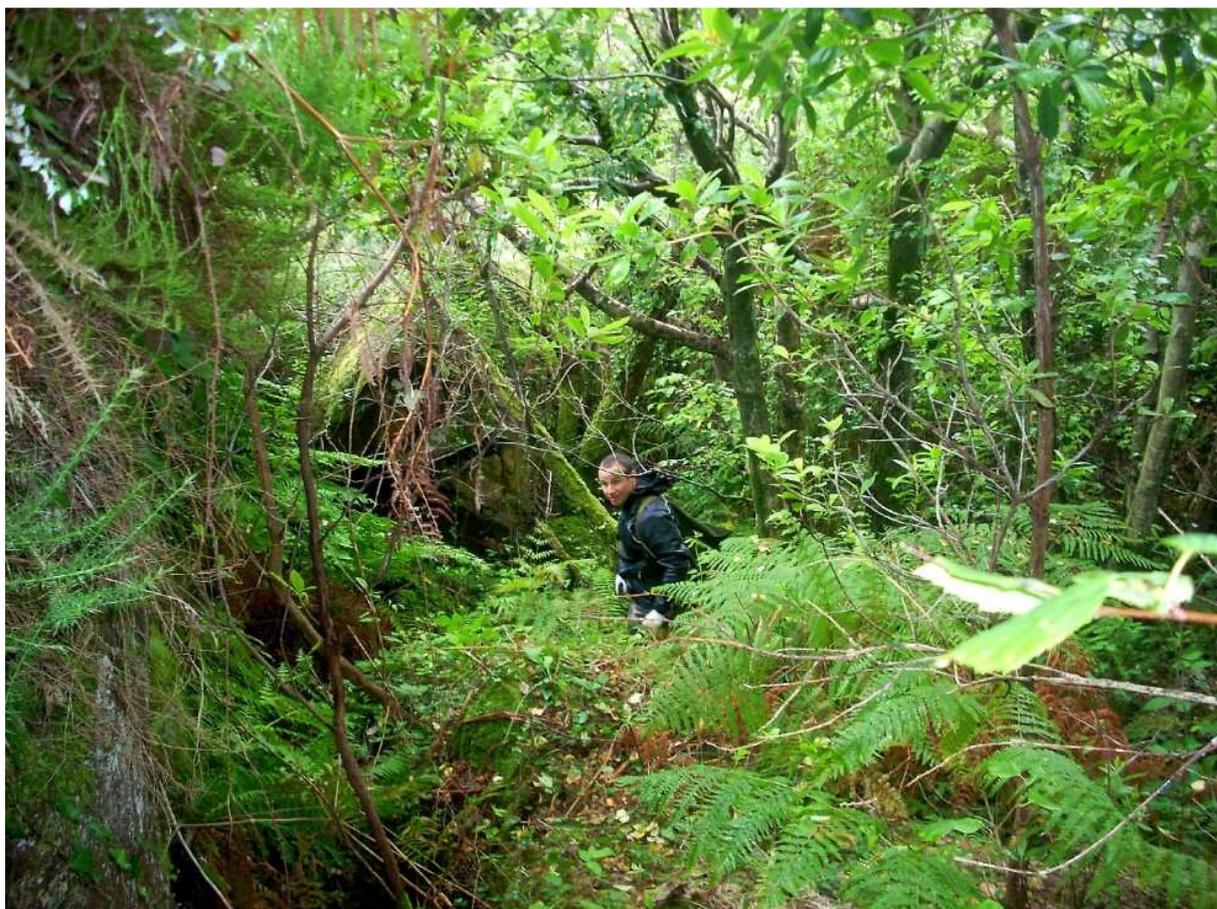


Figura 21. Zona inicial del cañón, de 4-5 m de desnivel, con bloques de colapso y profusión de vegetación.

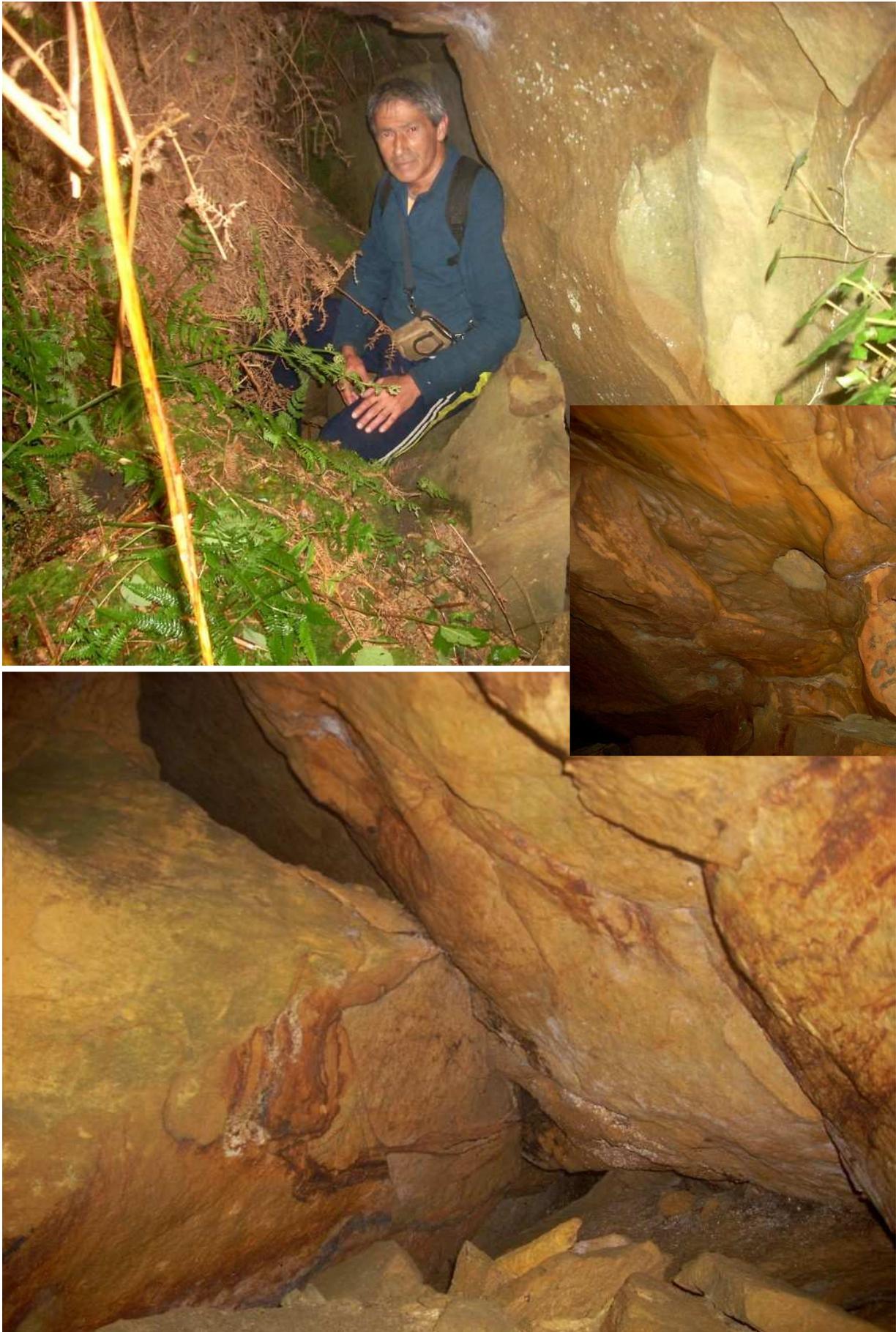


Figura 22. Cuevas de recubrimiento en el interior del cañón. Algunas se prolongan en pequeñas galerías y mesocavernas. Las geoformas incluyen inclusiones de lutitas, espeleotemas de silicatos de aluminio y bandeados de óxidos de hierro.



Figura 23. Laja y valle al W del cañón de 1 km, el cual destaca por las copas de los árboles que crecen en su interior. Entre las paredes y bloques de su fondo se presentan más de una decena de cuevas, de hasta 25 m de desarrollo.



Figura 24. Cueva de recubrimiento con espeleotemas de silicatos de aluminio amorfo y óxidos de hierro.



Figura 51. Placa central al W del cañón, con duricrust y recementaciones de carbonatos, fracturadas por el deslizamiento y caída de pequeñas lajas y fragmentos de roca desprendidos de la zona alta.



Figura 26. Techos de abrigos y entrada de pequeñas cuevas, de atmósfera seca, con placas, laminaciones y duricrusts en activo proceso de desagregación, junto a eflorescencias de diversos minerales. Las láminas curvadas como hojas son cortezas rígidas y a la vez frágiles, correspondientes a zonas recementadas que se están resquebrajando.



Figura 27. El cañón se amplía en su mitad inferior, con anchuras de más de 10 m. Grandes bloques cuadrangulares han deslizado, quedando con diversas inclinaciones. La cobertura vegetal de helechos y matorrales, de más de 2 m de alto, enmascara el terreno, que resulta difícil de prospectar.



Figura 28. Abrigos y pequeñas cuevas en el interior del cañón, con recubrimientos de films orgánicos y techos con espeleotemas.



Figura 29. Cuevas de recubrimiento bajo y entre caos de bloques, con diversos tipos de espeleotemas y geoformas.



Figura 30. Las cavidades más grandes de este tipo llegan a tener 25 m de desarrollo, con zonas en oscuridad total. La luz del primer plano corresponde al flash de la cámara. Al fondo la boca de acceso, con luz natural.



Figura 31. Algunas de estas galerías en oscuridad poseen espeleotemas de calcita formando revestimientos de cierto espesor y banderas longitudinales de bordes denticulados. Son abundantes además las espeleotemas de silicatos y óxidos de aluminio y hierro.



Figura 32. Una de las cavidades, tras un paso estrecho (recuadro intermedio), da acceso a una sala en oscuridad total, la cual a través de otra galería conduce a una segunda boca. El techo es un enorme bloque plano, mientras que las paredes están formadas por acumulaciones de bloques menores. Alcanza 22 m de desarrollo y -7 m de desnivel.



Figura 33. Las cuevas de recubrimiento en la zona litoral pueden alcanzar varias decenas de metros de desarrollo. Sus partes más bajas son invadidas por el agua de mar durante las mareas altas. En la imagen un ejemplo de este tipo. La luz del primer plano es del flash. Poseen crecimientos de algas, zonas en oscuridad y una fauna hipógea litoral característica.



Figura 34. En las acumulaciones de bloques de la zona litoral son frecuentes diversas geoformas, entre ellas concavidades de cannonballs removidos, con restos de gangas arcillo-arenosas y bandeados de Liesegang.



Figura 35. Microformas alveolares y restos erosionados de cannonballs en zona litoral. La imagen inferior muestra un cannonball seccionado por una fractura de descompresión mecánica.



Figura 36. Ejemplos de Proparamoudras en bloques de arenisca en zona litoral.



Figura 37. Diversos ejemplos de ichnofósiles de tipo Thalassinoides y movilización de soluciones de óxidos de hierro sobre y a través de la fisuración de las areniscas.



Figura 38. Pliegue en L en paquetes de estratificación delgada de lutitas y margas, bajo estratos gruesos de arenisca. La emergencia de flujos laminares del agua que percola a través de la serie, deposita en superficie coladas de tufa.

De modo general puede decirse que en los ambientes más húmedos son comunes los crecimientos de espeleotemas botroidales y arborescentes de ópalo-A y formas mixtas de ópalo, calcita y/o yeso. En los ambientes más secos, en cambio, las espeleotemas se reducen con frecuencia a delgados films de silicatos de aluminio.

En diversas cuevas y bajo bloques en zona litoral es frecuente observar la surgencia de láminas de agua que proceden de mesocavernas desarrolladas siguiendo los planos de estratificación y las intercalaciones de lutitas en la serie, pero no hemos encontrado hasta ahora conductos de gran diámetro en la roca-caja ni surgencias concentradas con caudales de cierta magnitud. Algunas pequeñas surgencias de láminas de agua entre lutitas y margas pueden dar origen a coladas y depósitos de tufa (Figura 38). Un caso peculiar lo constituye la parte baja de Urberde, donde el arroyo que recorre el valle en "V" se encaja en una grieta profunda al alcanzar la laja costera. El curso de agua es perenne, con un caudal medio de 10 l/s, y caudales en época lluviosa de más de 50 l/s. En la cota 40 m snm todo el caudal del cauce desaparece en una grieta vertical de 2 cm de ancho, por lo que puede decirse coloquialmente que ésta es "la erreka (arroyo o torrente) más estrecha de Gipuzkoa". La circulación en el interior de la profunda grieta da paso en la línea costera a una red de galerías de varias decenas de metros, con marmitas de gigante y otras formas de erosión turbillonar.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los fenómenos descritos muestran que los procesos kársticos están desigualmente representados en la Formación Jaizkibel. Al estar el flysch Eoceno compuesto por la alternancia rítmica de turbiditas arenosas, con episodios más calmos de sedimentación pelágica, se ve dificultada la karstificación. Las zonas de estratificación delgada, con importantes intercalaciones de lutitas y margas, presentan una red de drenaje epígeo normal. El modelado de superficie ha rebajado diferencialmente las zonas con predominio de las litologías más blandas y de más baja permeabilidad, dejando en relieve positivo los afloramientos más potentes de estratos de arenisca.

Pero aún en estos casos, si la serie arenosa es de poco espesor o presenta lutitas intercaladas, la excavación y remoción de materiales produce el colapso de los estratos gruesos de arenisca y el aplastamiento o hundimiento de los tramos superiores, dificultando la formación de cuevas.

En la zona central de Igueldo (estudiada en este trabajo) sólo la parte superior de la serie presenta estratos de arenisca de 4-5 m de espesor individual. Son éstos los que coronan la placa, con escalones en distintas posiciones fisiográficas. Los valles que limitan la placa producen también su recorte (y retroceso) lateral. Recortes similares pueden producirse en el frente marino o en zonas propicias de fracturación y concentración del drenaje, como las que conforman el cañón descrito y depresiones menores. El buzamiento y la descompresión mecánica en la vecindad de escarpes, provocan el colapso y soliflucción de los bloques desprendidos, dando lugar a acumulaciones de bloques bajo los cuales son comunes las cuevas de recubrimiento, así como el desarrollo de mesocavernas en la roca-caja adyacente.

Por ello la red de drenaje conserva su carácter normal, y aunque actúan procesos de disolución intergranular en los estratos individuales de arenisca y en los bloques desprendidos, el establecimiento de redes de drenaje subterráneo en zona vadosa tiene sólo un carácter localizado, por lo que resulta preferible referirlo como pseudokarst, ya que no se trata de un karst plenamente desarrollado. No obstante, existen en zona freática (y en distintas posiciones fisiográficas) recursos hídricos subterráneos de cierta cuantía, los cuales conforman un acuífero compartimentado, susceptible de ser explotado a través de perforaciones y sondeos.

En la medida o en las partes en que los abanicos turbidíticos han dado lugar a la formación de estratos gruesos de arenisca y series de arenisca de espesores más considerables (con estratos individuales de hasta 15 m y series de hasta 50 m de potencia, como acontece en distintos sectores de Jaizkibel), los rasgos kársticos se acentúan. Y pueden ser considerados, localmente, como karsts o zonas kársticas en arenisca. Aunque puede comprenderse que aún en estos casos no se trata de afloramientos extensos y potentes de arenisca, sino de una alternancia de materiales de variable permeabilidad entre los cuales las areniscas constituyen sólo una parte del conjunto de los materiales del flysch.

La formación de espeleotemas y las recementaciones prueban que las aguas meteóricas pueden permear intergranularmente la roca, disolviendo a su paso el cemento carbonático y -parcialmente- los granos de sílice. Igualmente puede producirse una alteración rápida de los feldspatos y micas contenidos en forma minoritaria en la composición de las areniscas. Las soluciones intergranulares tienen así un carácter multicomponente y pueden por ello, a tenor de las condiciones imperantes, alcanzar la sobresaturación y precipitar dando origen en distintas partes del acuífero a espeleotemas y recementaciones diversas.

Los procesos de disolución de las rocas y karstificación coexisten de este modo con los procesos erosivos normales. Tratándose en consecuencia de un peculiar pseudokarst en arenisca. No obstante, la extensión de los espacios subterráneos ocupados por cuevas de recubrimiento, abrigos y mesocavernas no es para nada despreciable. Desde un punto de vista biológico constituyen un importante conjunto de biotopos, húmedos y oscuros, que resultan habitables para una muy diversa representación de invertebrados cavernícolas, tanto terrestres como dulceacuícolas y marinos, con diversos grados de adaptación al medio hipógeo, de modo similar al MSS (Medio Subterráneo Subsuperficial) y otros habitats subterráneos transicionales.

En resumen, un conjunto de rasgos, diferentes a los del karst clásico en caliza, pero que reúnen muchos fenómenos y aspectos de interés biológico y geológico, muchos de ellos novedosos, inusuales y sorprendentes.

AGRADECIMIENTOS

A todos los compañeros y colaboradores del Departamento de Espeleología de la S.C.Aranzadi que nos acompañaron en los trabajos de campo y/o aportaron revisiones críticas y observaciones de interés. De modo especial a Carlos Oyarzabal, Carolina Vera Martín y Franco Urbani, por su continuada ayuda con analítica DRX, EDS y análisis químicos de muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe Cienc.Nat.*, 51: 67-78.
- Galán, C. 2011. Notas sobre cuevas, concreciones y geoformas en arenisca del monte Ulía (San Sebastián). Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geoformas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. Conferencia con audiovisual en Power point, Ayto. Hondarribia, 10 mayo 2013. 82 láminas. Web Aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 82 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). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 25 pp.
- Galán, C. & J.M. Rivas. 2013. Un nuevo sistema de cuevas hidrológicamente activas en la arenisca de Jaizkibel, con espeleotemas de ópalo-A, calcita y otros minerales secundarios. 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). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 8 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). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 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; O. Zubizarreta & C. Vera Martin. 2010. Nuevos datos sobre vermiculaciones arcillosas y espeleotemas de ópalo-A, hematita y yeso, en cuevas en arenisca del pseudokarst de Jaizkibel. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 15 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Cuevas y geoformas en Bajo aundi, Ulía (Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.
- Galán, C.; J.M. Cortizo; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Cuevas, geoformas y proparamoudras en el cabo de Higuier, Hondarribia, País Vasco (seudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & P. Di Bartolomeo. 2013. Notas sobre cuevas y geoformas en arenisca en la punta exterior de Elgorri, Ulía (Formación Jaizkibel). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.