

**EXPLORACIÓN DE LA ZONA TERMINAL DE SAGAIN ZELAIA´KO KOBEA (MACIZO DE ERNIO) CON NOTAS SOBRE ROTURA NATURAL DE ESPELEOTEMAS POR DESCOMPRESIÓN MECÁNICA, SOLIFLUXIÓN Y SUBSIDENCIA.**

Exploration of the terminal zone of Sagain zelaia cave (Ernio massif) with notes about natural breaking of speleothems by mechanic decompression, solifluxion and subsidence.



**Carlos GALÁN; José RIVAS; Marian NIETO & Iñigo HERRAIZ.**

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Julio 2011.

# **EXPLORACIÓN DE LA ZONA TERMINAL DE SAGAIN ZELAIA´KO KOBEA (MACIZO DE ERNIO) CON NOTAS SOBRE ROTURA NATURAL DE ESPELEOTEMAS POR DESCOMPRESIÓN MECÁNICA, SOLIFLUXIÓN Y SUBSIDENCIA.**

Exploration of the terminal zone of Sagain zelaia cave (Ernio massif) with notes about natural breaking of speleothems by mechanic decompression, solifluxion and subsidence.

**Carlos GALÁN; José RIVAS; Marian NIETO & Iñigo HERRAIZ.**  
**Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.**  
**Alto de Zorroaga. 20014 San Sebastián - Spain.**  
**E-mail: cegalham@yahoo.es**  
**Julio 2011.**

## **RESUMEN**

Se presentan datos sobre la exploración de la zona terminal de la cueva de Sagain zelaia, macizo de Ernio (Gipuzkoa, País Vasco). La gran sala terminal, de 140 m de diámetro, se obstruye por colapso. Un pequeño río subterráneo prosigue su trabajo de disolución de la roca caliza, bajo el relleno de bloques clásticos, produciendo fenómenos de descompresión mecánica, solifluxión y subsidencia, los cuales ocasionan la rotura natural y desplazamientos de espeleotemas previamente formados. Se discute la ocurrencia de eventos tectónicos y paleosísmicos.

*Palabras clave:* Espeleología física, cuevas, geología, procesos clásticos, espeleotemas, subsidencia, tectónica.

## **ABSTRACT**

We present data about the exploration of the terminal zone of Sagain zelaia cave, Ernio massif (Gipuzkoa, Basque Country). The great terminal chamber, 140 meters of diameter, is blocked by breakdown. A little subterranean river continues its dissolution work on the limestone rock, under the clastic block filling, causing mechanic decompression, solifluxion and subsidence phenomena. These produce the natural breaking and displacement of previously formed speleothems. We discuss the occurrence of tectonic and paleoseismic events.

*Key words:* Physic Speleology, caves, geology, clastic process, speleothems, subsidence, tectonic.

## **INTRODUCCION**

La cueva de Sagain zelaia, localizada en una dolina en las campas de Sagain (macizo de Ernio), fue preliminarmente explorada en los años 1960's por miembros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y supera 1 km de desarrollo. Sin embargo, su caótica sala terminal, de más de 140 m de diámetro y considerable desnivel, presentaba en su perímetro diversas incógnitas, sobre todo en lo que respecta a la continuación del pequeño río subterráneo que recorre la cavidad. En años recientes han sido efectuadas sucesivas exploraciones de la zona terminal, aumentando el desarrollo a 1.250 m y -52 m de desnivel.

Durante estas exploraciones se estudió y documentó la ocurrencia de numerosos casos de rotura natural de espeleotemas, en los que intervienen distintos procesos, principalmente de naturaleza mecánica. La comprensión de los factores que intervienen e interactúan en tales procesos, arrojan luz para entender la génesis, evolución y desarrollo de grandes salas y galerías de otras cuevas, donde los factores que han intervenido en su génesis no son tan evidentes, o no han dejado testigos que permitan interpretar su evolución anterior.

Así, una suma de datos y detalles, obtenidos durante las exploraciones de la zona terminal de la cueva de Sagain, suministran excelentes ejemplos para entender algunos de los procesos que intervienen en la formación de cuevas y grandes salas subterráneas y en las morfologías resultantes, a la vez que aclaran las causas de la falta de continuidad de la galería principal de esta cavidad.

A lo largo de esta nota, además de describir la cavidad y presentar una topografía corregida y actualizada (Lámina 1), expondremos la ocurrencia de fenómenos y procesos por demás significativos para comprender la evolución del karst, su sistema de drenaje y sus cavernas.

## MATERIAL Y METODOS

La exploración de la sala terminal y diversas galerías laterales en Sagain zelaia' ko koba fue realizada en varias salidas, escalonadas entre 2007 y 2011. Para el descenso de simas y escalada se utilizó cuerda estática y jumars, equipo para instalar clavos de expansión, e instrumental Suunto de precisión para los levantamientos topográficos y mediciones. Se tomaron fotografías con una cámara digital Nikon de 6 megapixels de resolución. Se compiló un plano digital del conjunto de la cueva y dibujos de detalles en programa Freehand.

## RESULTADOS

### Descripción de la cavidad

La cueva de Sagain zelaia es una de las pocas cavidades horizontales de gran desarrollo del macizo de Ernio, y de momento la más extensa de la unidad del monte Gazume. Sus datos sintéticos en el Catálogo Espeleológico de Gipuzkoa (Archivos de la Sociedad de Ciencias Aranzadi) son los siguientes:

|                    |                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Denominación:      | Sagain zelaiako koba.                                                   |
| Nº de Catálogo:    | 0080.                                                                   |
| Término municipal: | Asteasu.                                                                |
| Situación:         | Centro del llano de Sagain, en la falda del monte Gazume.               |
| Coordenadas UTM:   | N 4.782.282; E 569.414; Altitud: 670 m snm.                             |
| Dimensiones:       | Desarrollo: 1.250 m. Desnivel: 52 m (-32 m; +20 m).                     |
| Tipo de cavidad:   | Cueva - sumidero temporal.                                              |
| Terreno geológico: | Calizas del complejo Urganiano (Aptiense-Albiense; Cretácico temprano). |
| Exploración:       | Sociedad de Ciencias Aranzadi. Departamento de Espeleología.            |
| Topografía y año:  | Sociedad de Ciencias Aranzadi. 1965, 1977, 2010.                        |

La boca de la cueva de Sagain se abre en el fondo de una dolina, situada en la parte central-sur de las campas de Sagain. La dolina tiene 18 m de largo y 7 m de ancho, siendo su perímetro vertical, excepto en su extremo E, desde donde se desciende en rampa escalonada, sin ninguna dificultad. La boca o pórtico techado de entrada, tiene 3 m de alto por 7 m de ancho y prosigue en una amplia galería descendente de rumbo W. Al lado de la boca hay una pequeña galería ascendente, de 15 m, paralela a la dolina, la cual termina en un laminador muy estrecho.

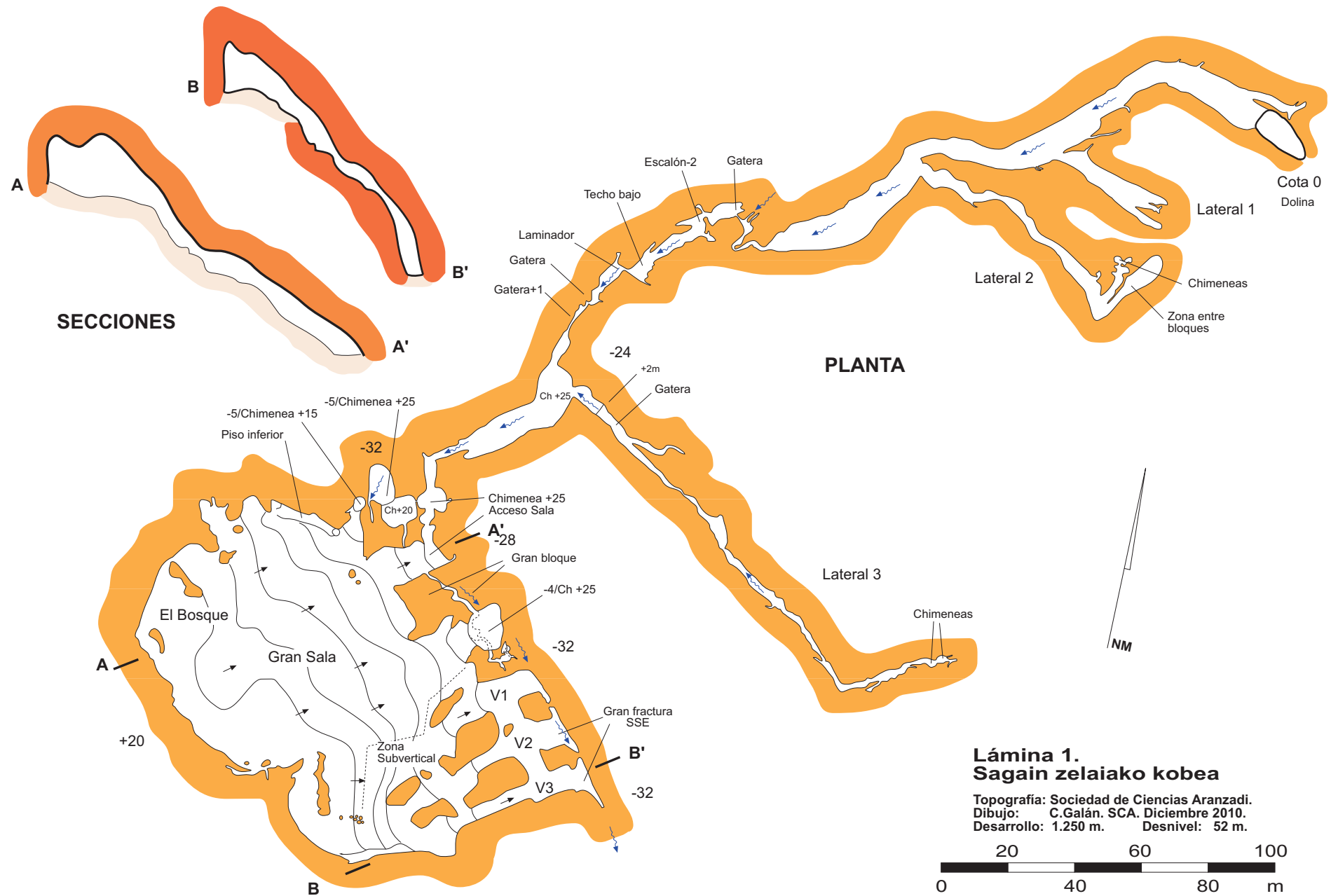
El trazado de la cavidad es relativamente simple (Lámina 1). Consta de una galería principal de 400 m, de rumbo general SW, recorrida por un pequeño caudal de agua, de régimen temporal. Posee tres galerías laterales, ascendentes hacia el SE, de 40, 110, y 200 m, respectivamente. Tras un giro, la galería principal toma rumbo Sur en su parte final y termina en la base de una gran sala en plano inclinado, de 140 m de diámetro y con numerosas prolongaciones, particularmente en su perímetro S y en su parte basal, donde existe todo un conjunto de altas chimeneas y galerías menores, en parte bajo el relleno de bloques de la parte inferior de la gran sala.

La galería principal de la cavidad, tras pasar la zona de penumbra, gira y toma un rumbo WSW durante 150 m. En este sector es amplia (5-11 m de ancho x 8-3 m de alto). La galería desciende en suave declive hasta un tramo en meandro que, tras varios giros, pierde altura y se torna una estrecha gatera en ojo de cerradura (Figura 1). Inmediatamente antes de este paso, en su lado N, hay dos pequeñas galerías, una de las cuales aporta agua.

Tras una ampliación se presenta un escalón de -2 m, y vuelve a tomar rumbo WSW. 50 m más adelante hay un laminador, nueva ampliación, otra gatera, y ampliación con un tramo exiguo elevado 1 m sobre el piso. Sigue en galería de modestas dimensiones, para desembocar en una galería amplia, donde se une al tercer lateral, el cual aporta otro caudal de agua. Este tiene un recorrido ascendente de 200 m, de rumbo SE, y finaliza en dos pequeñas chimeneas. Los otros dos laterales previos, más cortos, son también ascendentes hacia el SE y terminan en estrechamientos impracticables.

La galería principal, que se torna subhorizontal, alcanza una zona de calizas detríticas pizarrosas, donde hay algunos recubrimientos de yeso, y describe un giro hacia el S. En este sector, el pequeño caudal se sume de modo difuso. Sigue una ampliación o sala circular, de 10 m de diámetro, que no es más que la base de una alta chimenea, de + 25 m, por la que cae un fuerte goteo. Tras otro paso de poca anchura se llega a una ampliación de suelo plano y seco, que es la base de la gran sala, donde se montó un campamento subterráneo en 1965.

La gran sala es extraordinariamente caótica y asciende con suelo de bloques con una pendiente media de 60°. Los techos, paralelos al suelo, son de moderada altura (3-4 m), y sólo al alcanzar la parte alta se amplía en volúmenes mayores, con sectores de suelos más planos y desde los cuales se aprecia entonces la verdadera amplitud de la misma. Todo el sector alto está profusamente decorado de una amplia cantidad y variedad de espeleotemas, sobre



## Lámina 1.

### Sagain zelaiako koba

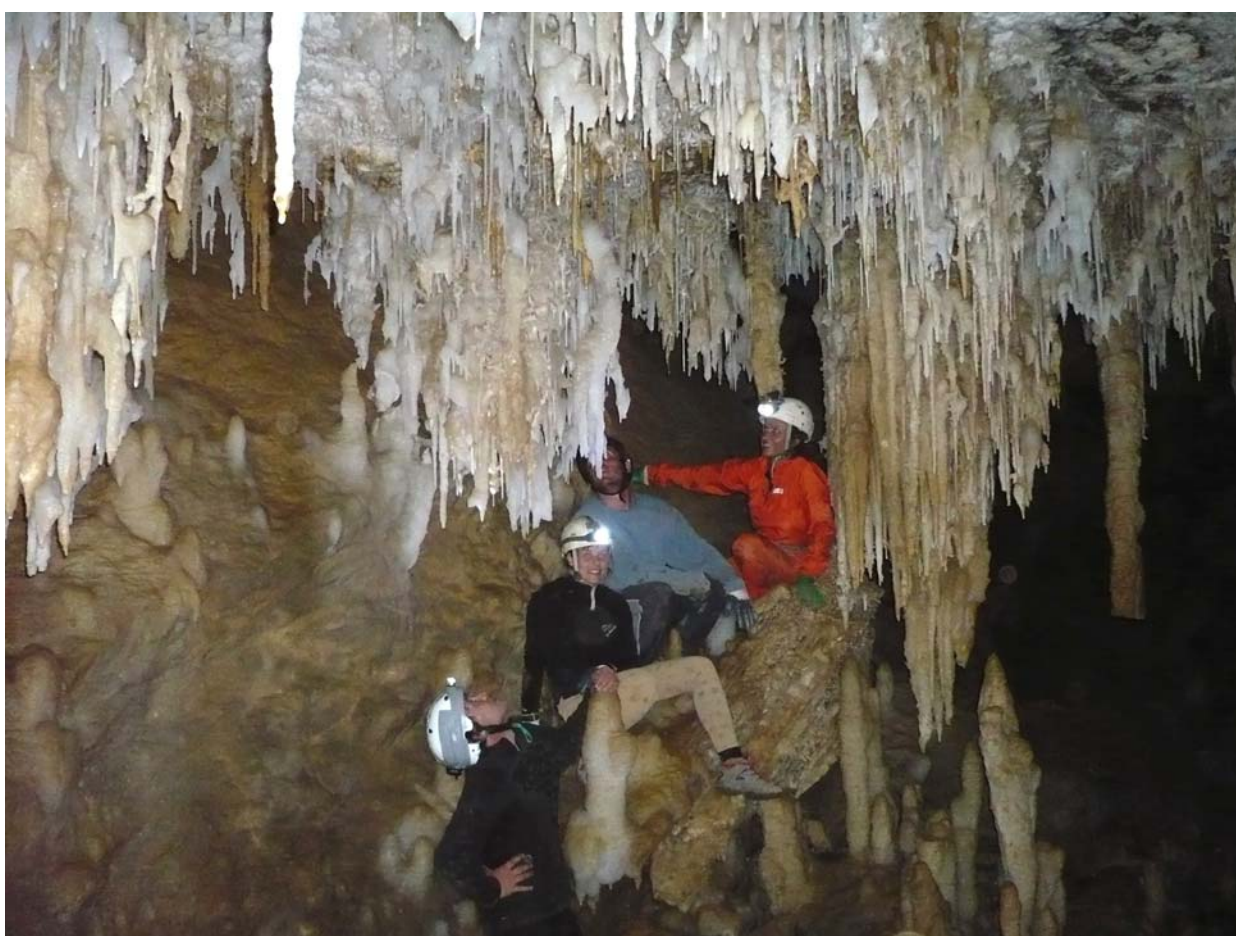
**Topografía:** Sociedad de Ciencias Aranzadi.  
**Dibujo:** C.Galán. SCA. Diciembre 2010.  
**Desarrollo:** 1.250 m. **Desnivel:** 52 m.





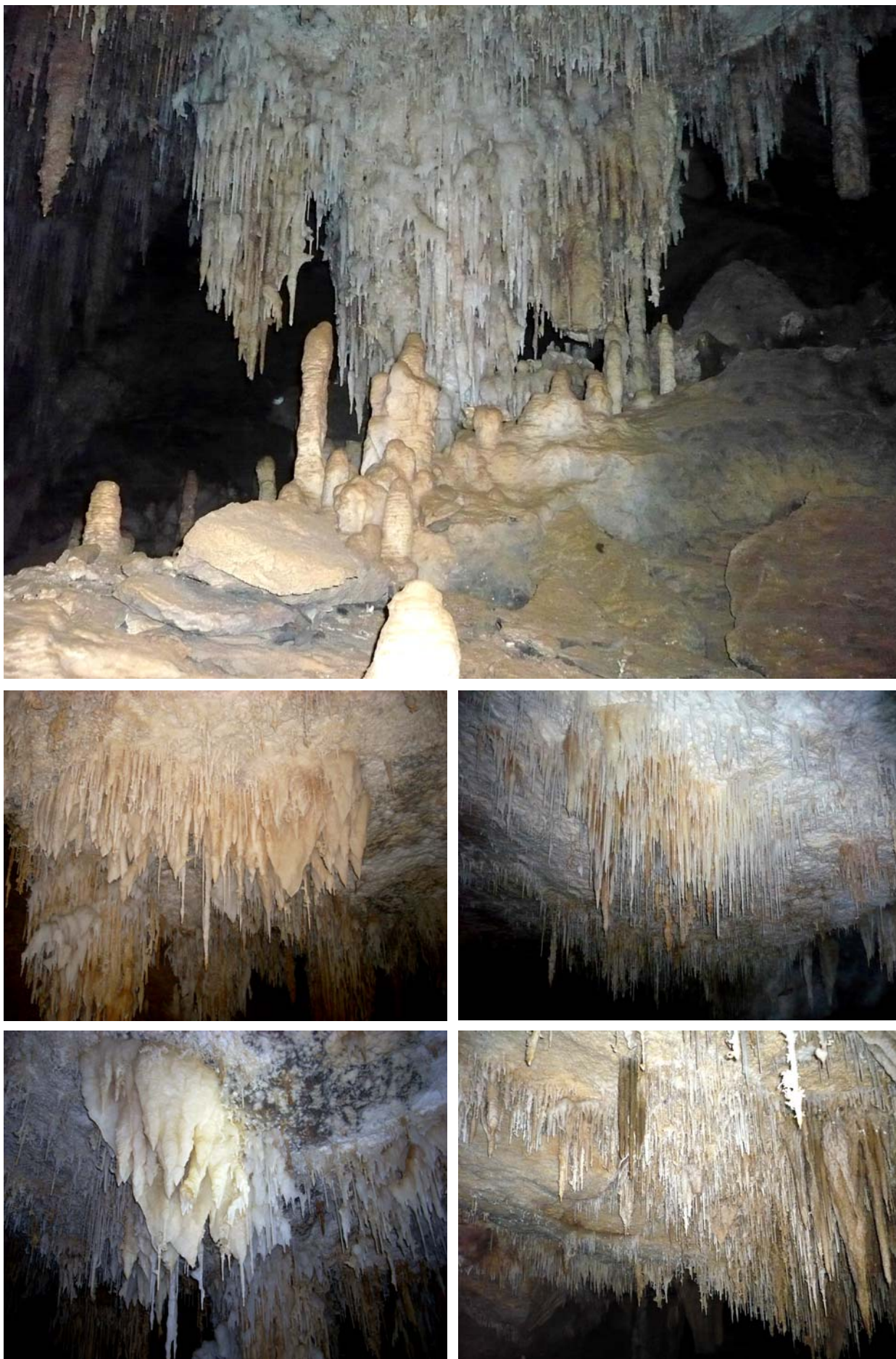
**Figura 1.** Primer paso estrecho en el meandro en ojo de cerradura de la galería principal de la cueva de Sagain y aportes hídricos laterales al río subterráneo de la cueva por goteos dispersos procedentes de una colada.





**Figura 2.** Parte alta de la Gran Sala de la cueva de Sagain zelaia, sector “El Bosque”. Nótese las grandes masas de espeleotemas desprendidas, fragmentos de otras, y estalagmitas con diversas inclinaciones.





**Figura 3.** Las partes altas de la Gran Sala de Sagain y sus bóvedas están cubiertas de numerosas y variadas espeleotemas.





**Figura 4.** Al progresar por la parte alta de la Gran Sala hacia el Sur, empiezan a aparecer numerosas evidencias de procesos de colapso por descompresión mecánica de la roca-caja, en forma de bloques y láminas desprendidas.



todo en su parte N, que denominamos informalmente “El Bosque”, por las profusión de estalactitas, estalagmitas y columnas (Figuras 2 á 4). En diversos puntos de la zona alta hay también capas y costras de calcita en la roca-caja.

El eje mayor de la gran sala tiene un rumbo SSE y el drenaje se dirige bajo el relleno de bloques en la misma dirección SSE. Inicialmente, al acceder a la gran sala, un gran bloque o laja gigantesca divide en dos la sala, e impide apreciar su amplitud, pero existen bloques menores bajo el mismo. Al remontar hasta una estalagmita de 2 m (al lado de un sistema de columnas, se aprecia que ésta se amplía hacia el N y el S. Para acceder al Bosque se sigue un recorrido serpenteante, evitando los tramos más verticales, pero no existe un camino único. De hecho el camino más fácil requiere trepar varios escalones subverticales, pero puede accederse por distintos recorridos. La exploración del perímetro de la sala permite entonces apreciar su entera extensión, de 140 x 70 m.

En el perímetro N (Figura 5) hay un piso inferior que, siguiendo la pared de la sala, lleva a un pozo-chimenea de -5/+15 m. Entre este punto y la chimenea previa a la sala, hay otras dos altas chimeneas y un conjunto de galerías menores. El acceso a ellas parte de la chimenea previa a la sala a través de una gatera circular a un metro sobre el piso. Tras el paso se alcanza una salita que se prolonga en alta chimenea (+20 m). Esta salita tiene dos prolongaciones. Hacia el N una vertical de -5 m, que requiere cuerda, da paso a una chimenea paralela (+25 m), con fuerte goteo, en cuya base se forman gours y estanques que contienen agua todo el año. El drenaje se dirige bajo la sala, a través de una estrecha galería que se torna impracticable. La salita-chimenea anterior también se prolonga en otra estrecha galería bajo la rampa de acceso a la sala.

El sector S de la gran sala es muy amplio pero mucho más caótico, sobre todo porque la pendiente W-E de la sala se va encajando en una gran fractura subvertical, de rumbo SSE, que es la dirección que toma el drenaje (Figuras 6 á 9). De la rampa de acceso a la sala parte una galería-meandro, parcialmente entre bloques, que pasa bajo el gigantesco bloque-lámina que subdivide la sala, hasta alcanzar una ampliación. A este punto puede accederse también recorriendo el perímetro S, para desembocar en el mismo punto a través de un escalón vertical de -4 m. La ampliación constituye la base de otra alta chimenea (+25 m). En el suelo de la misma prosigue el meandro, ramificado, hasta otra salita con un salto de -3 m. Bajo ella, el cauce de agua sigue en galería-arrastradero muy estrecho que se encaja en la base de la gran grieta, y termina en obstrucción bajo bloques muy inestables, que amenazan colapsar, por lo cual no es posible intentar una desobstrucción.

Si ahora recorremos el perímetro S partiendo desde El Bosque hacia el S, se alcanza por la parte alta un sector en declive acentuado (Figura 8). Varios macizos de bloques acunados y espeleotemas subdividen con pilares el piso. El declive se acentúa hacia el E, tornándose vertical. Puede descenderse sin cuerda hacia la última chimenea citada y el arrastradero que la prosigue. Pero desplazándose más al S, aparece en suelos y techo la roca-caja, que es una caliza órgano-detritica laminada, en activo proceso de colapso. Entre zonas de poca amplitud, con bloques acunados entre las paredes subverticales, puede accederse a tres puntos de descenso con cuerda (Figura 9). El primero es una sima estrecha de -15 m, de fondo impracticable por estrecho. Tras un paso lateral sobre su inicio, hay otra sima, mayor de -20 m, de la que se desprenden láminas inestables de roca. Remontando de nuevo, puede emprenderse un nuevo descenso a media altura en el extremo S de la sala, a través de otra vertical de 28 m. La parte inferior es de roca disgregable, con rellenos de arcilla, que sigue la gran fractura bajo cuyo fondo circula el drenaje subterráneo. Termina en una zona estrecha vertical, inestable y en proceso de desmoronamiento. Los extremos y zonas bajas del perímetro S no habían sido explorados previamente y hacen que el desarrollo total de la cavidad ascienda a 1.250 m y el desnivel a 52 m (+20, -32, con respecto a la boca).

Puede decirse que la gran sala, inclinada y con suelo de bloques, aumenta en la parte S su inclinación transversal, a la vez que adopta una sección curva subvertical, más amplia en la parte superior y estrecha en su base (Lámina 1, Secciones A-A' y B-B'). Los bloques de la sala dan paso a suelos de roca compacta pero disgregable, indicando un cambio gradual de litología bajo el relleno de la sala, desde calizas Urgonianas compactas en la parte superior de la serie a calizas organodetríticas Paraurgonianas en la inferior y en su extremo Sur. El drenaje sigue la base de la fractura, pero los procesos activos de colapso impiden la continuación.

### **Breve historia de las exploraciones**

La mayor parte de la cavidad fue explorada en los años 1964-65 por miembros de la Sección de Espeleología de la SCA. Particularmente durante una campaña de una semana de duración efectuada en 1965 (Adrian, 1965; Donoso, 1965; Villota, 1965). En esta salida se instaló un campamento subterráneo en la base de la gran sala, provisto de un teléfono standart de campaña, comunicado por cable telefónico con otro campamento en superficie, situado en una borda próxima. Los equipos de superficie y subterráneo, que se iban rotando, exploraron la mayor parte de la cavidad y topografiaron 1 km de galerías. Además, exploraron otras simas próximas en la zona de Sagain, Iturriotz, y en el monte Kareia. Participaron en esta campaña: Jaime Villota, Daniel Adrián, Juan Jesús Mercado, Antonio Celada, Angel Donoso y Garikoitz Estornés. El dibujo final del plano de la cueva (en planta a escala 1:500) fue compilado por Garikoitz Estornés. Pero quedaban numerosos interrogantes en el perímetro y zona inferior de la gran sala.



**Figura 5.** El perímetro Norte de la Gran Sala de Sagain muestra numerosas prolongaciones entre macizos de espeleotemas.





**Figura 6.** Cueva de Sagain. Diversidad de espeleotemas en la parte alta de la gran sala. Nótese capas de coladas desprendidas.





**Figura 7.** Exploraciones en el perímetro Sur de Sagain. Donde además de espeleotemas es posible observar numerosos fragmentos de la roca-caja con venas de calcita, así como bloques clásticos recubiertos y soldados por coladas.





**Figura 8.** Exploraciones en el perímetro Sur de la gran sala, entre grandes macizos de espeleotemas. La sección transversal de la sala adquiere mayor verticalidad y la roca-caja se torna más disgregable, con frecuentes bloques y fragmentos de roca sueltos. Sólo las zonas altas resultan consolidadas por espeleotemas, aunque éstas también se fragmentan por soliflucción y colapsos.

Otras exploraciones de la SCA, en años sucesivos, ampliaron los pasos estrechos (gateras) de la galería principal y lograron incrementar ligeramente el desarrollo de varios pequeños laterales. La topografía compilada por C.Galán en 1977 superaba los 1.100 m (Aranzadi, 1987).

En los últimos años, los autores de este trabajo efectuaron seis salidas adicionales, en las que se intentó obtener continuaciones escalando algunas chimeneas y forzando pasos estrechos en la base de la gran sala. A finales de 2010, se exploró en detalle el perímetro Sur de la sala, descendiendo en su extremidad varias verticales sobre la gran fractura SSE, con leves prolongaciones. Este conjunto eleva el desarrollo de galerías de Sagain a 1.250 m.

### **Desplazamiento y rotura de espeleotemas**

Durante la exploración de la zona terminal se documentó fotográficamente un hecho que ya era conocido desde las exploraciones de los años 1960's. Muchas espeleotemas, instaladas sobre bloques o que soldaban los mismos, mostraban roturas y desplazamientos. Sus ejes podían mostrar inclinaciones diversas. Y desplazamientos que indicaban que, a pesar de que proseguía en la parte alta un activo proceso de quimiolitogénesis, a su vez se producía un hundimiento progresivo del suelo de bloques. Algunas fracturas en coladas estalagmíticas se abrieron 2 cm en un lapso inferior a un año. Lo que indicaba que se trataba de procesos que estaban activos en la actualidad.

Además existían ejemplos del desprendimiento de grandes macizos columnares y estalagmíticos, sobre los que habían vuelto a crecer nuevas espeleotemas. Y otros donde espeleotemas recientes soldaban y recubrían restos fragmentados de espeleotemas antiguas.

### **Fenómenos de solifluxión y subsidencia**

La subsidencia consiste en el hundimiento del terreno, en este caso el suelo de bloques de la sala. Para que este hundimiento progrese resulta bastante obvio que el agua subterránea prosigue su labor excavadora en la base del relleno, disolviendo la caliza de la base y paredes de la sala y de su relleno de bloques.

La solifluxión consiste en el desplazamiento o deslizamiento de los bloques a lo largo del pronunciado declive de la sala, que se acentúa en su parte Sur. Tanto los desplazamientos como hundimientos locales producen las roturas observadas de espeleotemas, en progresivos episodios, e incluso activamente en la actualidad (Figuras 10 á 13).

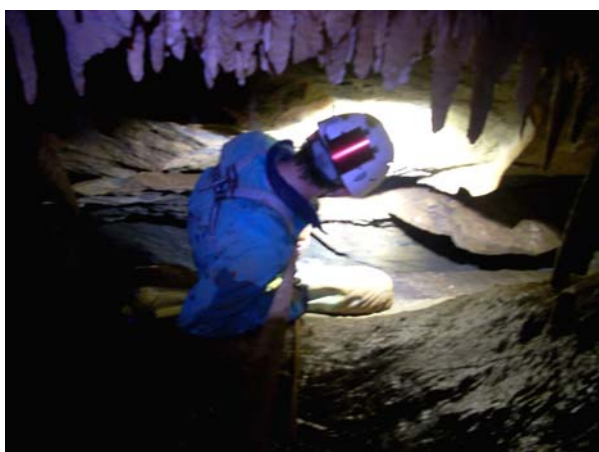
### **Fenómenos de descompresión mecánica**

Generalmente, cuando el agua excava un conducto en caliza compacta en régimen inundado, este tiene una sección circular. Cuando el conducto se forma aprovechando un plano de debilidad (plano de estratificación o diaclasa) la sección pasa a ser oval y tiende a ampliarse a expensas del plano débil. Pero cuando el conducto se desarrolla en zona vadosa, el trabajo de disolución y excavación ocurre en su base. Si la galería se amplía lo suficiente, el vacío excavado descomprime la roca, y ésta tiende a alcanzar un perfil de equilibrio mecánico (generalmente ojival o con bóveda en arco) mediante exfoliación y colapso de fragmentos de roca (Renault, 1971). Así, al ampliarse el volumen de la galería, los fenómenos de descompresión mecánica producen fracturas en busca de un nuevo equilibrio. Los bloques desprendidos, disueltos por la acción del agua circulante en su base, amplían el volumen, dejando amplias galerías y grandes salas en los que sólo se conserva una parte del relleno clástico previo.

En el caso de Sagain, la sala posee rellenos de bloques clásticos desprendidos ocupando una gran parte de su volumen interno. No obstante, su parte alta está en proceso de fosilización, con gran desarrollo de espeleotemas. Existen al respecto espeleotemas de todos los tipos: isotubulares, climáticas, de caudal, delicadas formas excéntricas, banderas, grandes estalagmitas, columnas y coladas estalagmíticas (Figuras 14 á 16). El relleno de espeleotemas recubre y suelda el suelo de bloques en la parte alta, tendiendo a mantenerlo estable. Pero el trabajo de disolución y excavación en su base, por el drenaje que se hunde bajo los bloques, crea nuevas inestabilidades, y produce fenómenos de subsidencia y solifluxión. Estos producen la comentada rotura natural de espeleotemas.

Pero además, la sala se desarrolla hacia el S a expensas de una gran diaclasa o fractura subvertical de azimuth SSE. Orientación similar a la de la galería de entrada y a la de los tres principales laterales. Si se observa el plano en planta de la cueva (Lámina 1) fácilmente se aprecia que las galerías se desarrollan a expensas de un sistema de diaclasas de azimuth WSW y SSE. La sala presenta el mismo patrón. A lo que se suma que la parte S, poco amplia, está en proceso de excavación, siendo su amplitud reducida. Aquí el suelo y el techo son de roca, y los bloques desprendidos quedan acuñados entre ambas paredes, subverticales, o verticales en la parte inferior (Ver Figura 9). Dada la gran altura de la fractura, y el cambio hacia una litología menos compacta, la roca se descomprime y genera desprendimientos de láminas de roca, a veces de gran tamaño, que hacen el terreno sumamente inestable.





**Figura 9.** En la extremidad sur de la gran sala puede descenderse con cuerda por al menos tres puntos distintos hacia el fondo de una gran fractura vertical de azimut SSE, la cual se torna impracticable por estrechamientos y zonas activas de colapso.





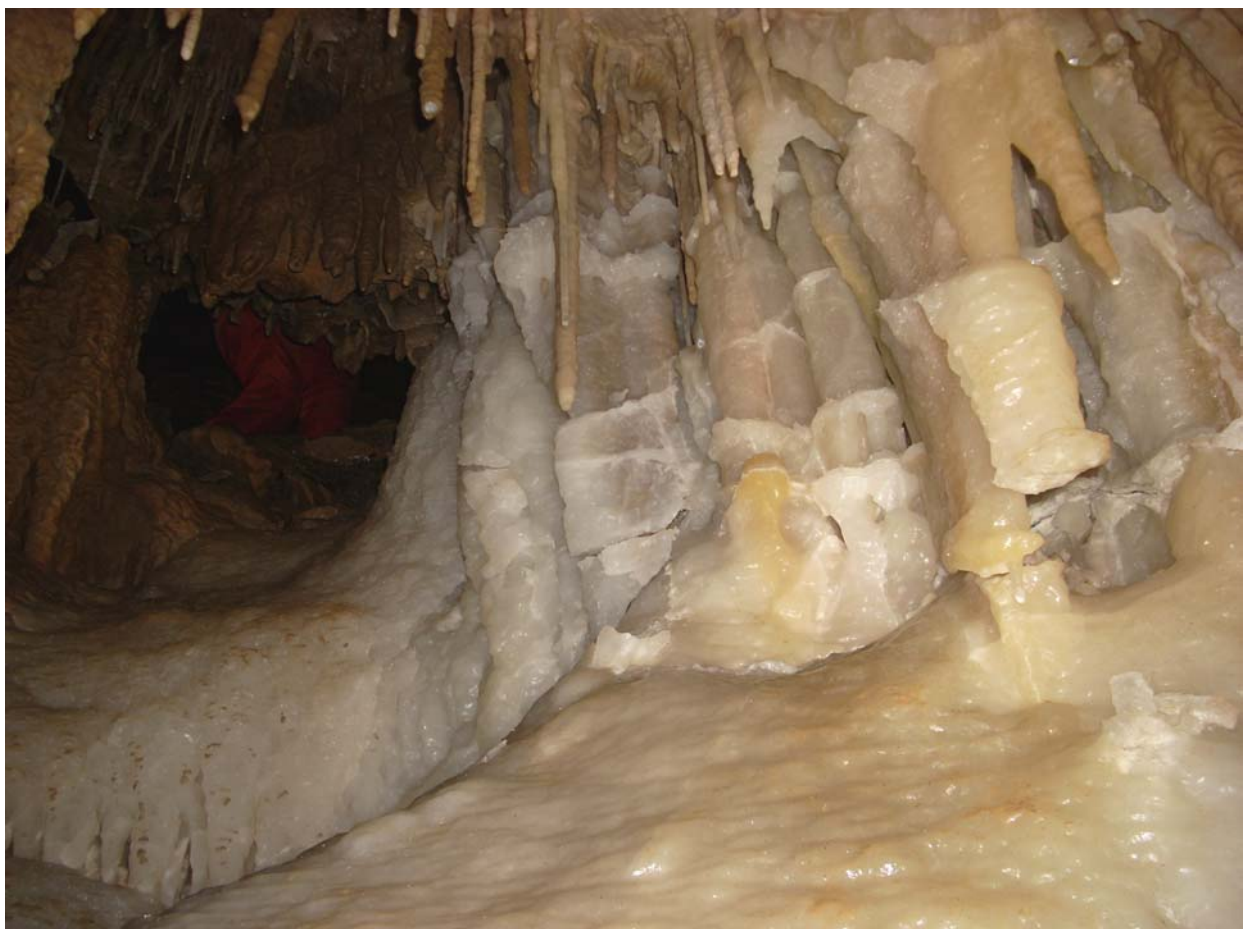
**Figura 10.** Procesos de subsidencia con rotura de columnas en el extremo N de la gran sala. Notese el desplazamiento vertical por subsidencia (flechas rojas) más desprendimientos de fragmentos de roca por descompresión mecánica.





**Figura 11.** Otros ejemplos de solifluxión y subsidencia. Nótese las distintas inclinaciones del eje de las estalagmitas.





**Figura 12.** Fractura de columnas y rotura (y nuevas soldaduras) de coladas estalagmíticas por subsidencia del suelo de la sala. Cueva de Sagain zelaia. Sector alto del perímetro Sur.



## **Notas sobre hidrogeología, tectónica y sísmica**

El gran macizo kárstico de Ernio consta de varias unidades hidrogeológicas independientes (Galán, 1988a, 1988b). La zona central del macizo está atravesada por un pliegue NW-SE que constituye un sinclinal volcado y vergente al Norte. La falla de Régil, oblicua al eje del pliegue, separa, hipotéticamente, la unidad de Gazume, al W, de la unidad de Ernio al E.

Los afloramientos calcáreos del monte Gazume constituyen una unidad compartimentada en varias subunidades, con su centro ocupado por materiales supraurgonianos poco permeables bordeados por calizas urgonianas. Las aguas infiltradas en su flanco Norte surgen en el manantial de Granada erreka, que es la surgencia más caudalosa. En el flanco Sur las aguas parecen dirigirse hacia el valle de Régil, que recorta el monte Gazume por el S y W; en un barranco afluente de dicho valle se encuentra la surgencia de Utzeta. La zona SE, en la proximidad de la falla de Régil, donde se encuentra Sagain, parece drenar hacia el SE, hacia la cabecera del barranco de Usarrobi, afluente del arroyo Asteasu, donde se encuentra otra surgencia (Galán, 1988).

Dada la posición de las campas de Sagain (al SE de la cumbre de Gazume) y las cotas de las surgencias conocidas, el agua infiltrada en este sector debe drenar hacia el S (hacia la cuenca del arroyo Asteasu). Ello también lo sugiere el trazado de la red de galerías de la cueva, que en su porción terminal siguen hacia el SSE.

Toda la zona de las campas de Sagain, donde hay numerosas dolinas y otras simas y cavidades menores, constituye una zona masiva de absorción de las aguas meteóricas. Hecho también apreciable en las altas chimeneas existentes en el interior de la cueva. Pero lo más importante es que al SE de Sagain, las calizas gradan lateral y verticalmente, primero a calizas organodetríticas del mismo complejo Urganiano, y luego a argilitas calcáreas masivas del Weald (IGME, 1970), terrenos éstos de media a baja permeabilidad.

Así, mientras el drenaje que recorre la cavidad va hacia el W las galerías se desarrollan en caliza compacta, pero al tomar un azimut S y SSE pasan a entrar en calizas paraurgonianas mucho menos compactas, que infrayacen a las primeras y afloran en superficie al S de ellas.

Las calizas paraurgonianas (también llamadas calizas recifoides, organodetríticas o estratificadas) se meteorizan y disgregan con mayor facilidad, y dejan mayor cantidad de impurezas al ser disueltas. Su transición con las calizas recifales compactas es gradual y poco discernible. Generalmente sus afloramientos se presentan bien estratificados, en bancos delgados (0,2 a 1 m) con intercalaciones de arcillas apizarradas. Esta litología se encuentra en Sagain poco antes de alcanzar la gran sala y en la parte basal del perímetro Sur de la sala, y es responsable de la fácil disgregación de la roca y la ocurrencia del colapso de láminas por descompresión mecánica. Su meteorización en la parte basal de la sala permite explicar la obstrucción de la cavidad y la subsidencia de su relleno de bloques.

Aunque no se puede descartar que eventos sísmicos actuaran en el pasado produciendo colapsos y desplazamientos de bloques, las distintas inclinaciones de los ejes de estalagmitas y columnas, así como los diversos grados de subsidencia en espeleotemas fracturados, sugieren una multiplicidad de eventos, y no pueden ser atribuidos a un simple (o unos pocos) eventos paleosísmicos. Mientras que los fenómenos de excavación, solifluxión y subsidencia del caos de bloques suministran una más plausible explicación causal.

En adición, tanto en las exploraciones de los años 1965 como en las de 2010, los miembros de la SCA que participaron en ellas apreciaron casos de aperturas centimétricas de fracturas en la roca-caja y espeleotemas en períodos cortos de tiempo, durante los cuales no se registraron eventos sísmicos.

Por lo que se concluye que la causa principal de la rotura natural de espeleotemas y colapsos en esta cavidad se debe fundamentalmente a procesos de descompresión mecánica, solifluxión y subsidencia, controlados a su vez por el encajamiento del drenaje subterráneo a cotas menores, donde las aguas alcanzan por cambio lateral y vertical de facies las calizas organodetríticas infrayacentes, más disgregables.

## **DISCUSION Y CONCLUSIONES**

Los datos expuestos muestran que una suma de factores, en especial el cambio de litología (alcanzado al evolucionar y profundizar la acción excavadora del drenaje subterráneo), ocasionan fenómenos que facilitan la ampliación de galerías y formación de grandes salas (Galán, 1991). Los procesos de remoción, subsidencia y solifluxión del relleno de bloques, a la vez que amplían el volumen aéreo superior, producen la fractura de espeleotemas. Los nuevos colapsos tienden a obstruir la continuación de las galerías con fragmentos detríticos, permitiendo el paso del agua entre ellos, pero sin posibilidad de continuación para el ser humano.

La descripción de las morfologías observadas durante las últimas exploraciones permite así reconstruir y ofrecer una explicación comprensiva de los procesos que han actuado durante la evolución de la cavidad hasta su estado actual.

Sin descartar la eventual ocurrencia de eventos paleosísmicos, se concluye que éstos no han comandado dicha evolución, predominando los procesos de descompresión mecánica, solifluxión y subsidencia.





**Figura 13.** Ejemplos de colapso de bloques y rotura de espeleotemas por solifluxión. Los fragmentos desprendidos incluyen espeleotemas y clastos de la roca-caja con vetas de calcita.





**Figura 14.** La diversidad de espeleotemas en Sagain es enorme, con numerosas formas excéntricas.





**Figura 15.** Estalactitas de caudal, isotubulares y excéntricas con extravagantes formas y diseños. Cueva de Sagain. Algunas de ellas recuerdan corales y caracolas marinas.





**Figura 16.** Otros ejemplos de la profusión de espeleotemas, con delicadas banderas creciendo entre bloques desprendidos. Fragmentos de bloques y estalactitas quedan soldados y van siendo recubiertos por nuevas espeleotemas.



## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo está dedicado a todos aquellos que participaron en distintas épocas en la exploración y topografía de la cueva de Sagain y que se interesaron por comprender su génesis y evolución. De modo especial, en época reciente, agradecemos la colaboración en los trabajos de campo de: Carlos Oyarzabal, Carolina Vera, Aize García, Étore García, Piero Di Bartolomeo, y Daniel Arrieta.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ADRIAN, D. 1965. Informe de la campaña efectuada los días 14 al 21 de Julio de 1965 a la cueva de Sagain zelaia ko koba por los miembros de la Sección de Espeleología de la S.C.Aranzadi con el fin de topografiar la misma. Archivos SCA. Inf. Ind. 9 pp.
- ARANZADI, Sociedad de Ciencias. 1987. Datos grandes cavidades de Gipuzkoa. Archivos Sección de Espeleología. Inf.ind.
- DONOSO, A. 1965. Exploración y topografía de la cueva de Sagain zelaia. Informe del equipo de Teléfono y Comunicaciones. Archivos SCA. Inf. Ind. 5 pp.
- GALAN, C. 1988 a. Zonas kársticas de Guipúzcoa: Los grandes sistemas subterráneos. Munibe, S.C.Aranzadi, 40: 73-89.
- GALAN, C. 1988 b. Synthèse des zones karstiques de Guipúzcoa (Pays Basque espagnol). Spelunca, Fed. Franc. Speleol., 32: 23-30.
- GALAN, 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.
- IGME - Instituto Geológico y Minero de España. División Aguas Subterráneas. 1970. Estudio hidrogeológico general de la provincia de Guipúzcoa. Memoria y Anexos. 4 vols. Madrid.
- RENAULT, P. 1971. La formación de las cavernas. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, 124 pp.
- VILLOTA, J. 1965. Informe de la salida efectuada los días 14 al 21 de Julio de 1965 con el fin de topografiar la cueva de Sagain zelaia. Archivos SCA. Inf. ind. 7 pp.