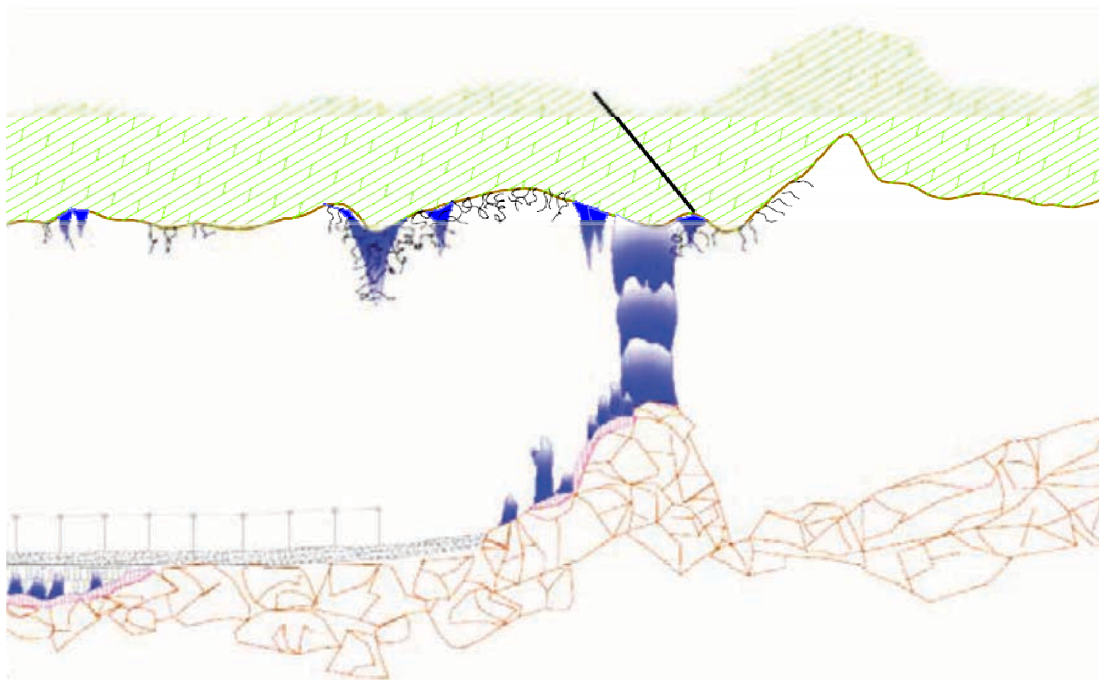


# Cartografía geomorfológica de las galerías de la visita de turismo-pasarela y espeleoaventura de la cueva El Soplo (Cantabria, España)



P.A. Robledo y J.J. Durán Valsero



27 de diciembre de 2012

## **ÍNDICE**

1. Introducción.....	3
2. Marco geográfico.....	4
3. Marco geológico.....	5
4. Metodología.....	6
4.1. El levantamiento topográfico de la planta, los perfiles transversales a la dirección de la cueva y el perfil longitudinal.....	6
4.2. La representación geomorfológica de la planta, los perfiles transversales a la dirección de la cueva y el perfil longitudinal.....	16
4.3. Aplicación del SIG en la cartografía geomorfológica.....	19
5. Cartografía geomorfológica en planta de la Cueva El Soplao.....	20
8. Resultados y discusión.....	21
9. Conclusiones.....	22
10. Referencias.....	23
Anexo 1. Cartografía geomorfológica de los perfiles transversales	
Anexo 2. Cartografía geomorfológica de los perfiles longitudinales	
Anexo 3. Cartografía geomorfológica del perfil longitudinal integrado	
Anexo 4. Cartografía geomorfológica de la planta de la cavidad	

## **1. Introducción**

Los cavidades son ambientes que se caracterizan por procesos de intercambio continuos de materia y energía, siendo sistemas en constante transformación. Los procesos geomorfológicos juegan un papel crucial y su registro permite a través de su estudio conocer como ha evolucionando una cavidad. En muchas cuevas la intervención humana, ya sea como uso de estos ambientes para refugio en épocas pretéritas o bien, referidas más recientemente a su uso turístico, han podido sufrir un impacto en su equilibrio natural. Las cavidades poseen importantes elementos cuyo interés científico es manifiesto entre los que destacan su patrimonio cultural, especialmente el referido al arte rupestre (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2006) y a su patrimonio geológico y geomorfológico. Aunque históricamente los valores arqueológicos y los paleontológicos han sido los más estudiados en estos ambientes, en los últimos años el estudio de la geomorfología endokárstica, ha sido objeto de gran interés, como son los ejemplos de las cuevas de Nerja en Málaga, o Tito Bustillo en Asturias (Arrese, 2009; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2004 y 2011 b). Sin embargo, en otras cavidades como Ojo Guareña en Burgos o Vallgornera en la isla de Mallorca, propuestas para ser declaradas Parque Nacional y Natural respectivamente, este tipo de trabajos todavía no se han abordado o se ha hecho de forma descriptiva (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2011 a). Existe por tanto un déficit en cuanto al conocimiento cuantitativo y cualitativo de estos medios, sobre que procesos han operado y que productos son parte y patrimonio de la huella de la historia de la Tierra en las cuevas. Los procesos geomorfológicos, así como las formas y productos derivados de éstos en una cavidad, han sido ampliamente descritos en general, de forma relativamente aislada, como espeleotemas, sedimentos detríticos (White, 2007; Robledo, 2008; Robledo y Durán, 2009 y 2011; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2011 b; Ferchill and Baker, 2012), tipos de conductos, e incluso se han clasificado los tipos de cavidades según su forma en planta, en sección o tamaño (Ford y Williams, 1989). No obstante, en muy pocas ocasiones se han procedido a un estudio del conjunto donde no exista únicamente un descripción puntual de uno o varios de los elementos, sino que hayan sido identificados, descritos y cartografiados el producto de los procesos que han operado estableciendo un orden cronológico y espacial que no se limite a un mapa del suelo de la cueva. El estudio de la geomorfología endokárstica y su representación espacial como un producto, se está mostrando como una herramienta sumamente eficaz para poder abordar cualquier tipo de estudio; paleoclimático, paleontológico, geocronológico, patrimonial, arqueológico y otros, ya que posibilita entender la evolución del sistema en su conjunto, representar en el espacio cada elemento y, finalmente, componer un puzzle que, en ocasiones, es sumamente complejo. En los años tiempos, las técnicas para la realización de una cartografía geomorfológica se han basado en tres grandes herramientas: 1) Una base topográfica precisa de la cavidad; 2) la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la representación de los elementos del suelo de la cavidad; 3) la integración de trabajos puntuales en una cartografía de la cueva (sedimentológicos, paleoclimáticos, arqueológicos y otros). En algunos trabajos la cartografía geomorfológica de una cavidad se ha realizado con el objeto principal de representar los elementos geológicos y antrópicos más importantes, generalmente en cuevas turísticas (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2004 y 2006) para su correcta gestión (Arrese, 2009). En otros, es el objetivo ha sido la conservación y protección, (Arrese, 2009; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2011 b) para lo que la cartografía geomorfológica suponía una herramienta más entre otros métodos. Sin embargo, existen todavía pocos estudios cuyo objeto sea la interpretación y evolución del sistema endokárstico en su conjunto. En este estudio, para la realización

de la cartografía geomorfológica se han llevado a cabo los siguientes trabajos: una topografía de la cavidad a escala 1/200; la cartografía en planta de los productos geomorfológicos a escala 1/500, 18 secciones transversales a la dirección principal de la cueva y una sección longitudinal a escala 1/100, todo ello elaborado en un primer término sobre el terreno y, posteriormente, tratado mediante distintos software y volcado a un SIG.

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo y la aplicación de una nueva metodología para la realización de la cartografía geomorfológica de la cueva El Soplao, en la zona turismo-pasarela y espeleoaventura, para además de tener una representación en un mapa de los elementos que existen, obtener un producto final que permita determinar el orden cronológico de los procesos, de las formas y productos derivados de los mismos, abordando el suelo y el techo de la cueva. Con ello, el resultado final nos facilitará realizar interpretaciones sobre la génesis, evolución paleoclimática y paleoambiental, evolución de la red fluviokárstica, connotaciones hidrogeológicas, secuencias estratigráficas de sedimentos alóctonos y autóctonos (detríticos o de precipitación química), así como impactos derivados de la acción entrópica del hombre y la aplicación a planes de gestión y conservación.

## **2. Marco geográfico**

Geológicamente, la cueva se ubica en la denominada Sierra de Arnero, que forma parte de la sierra del Escudo de Cabuérniga. Se trata de una cadena montañosa que se levanta paralela a la costa entre el valle del río Bustriguado hasta la localidad de Bielba, y el valle del río Nansa, entre los términos municipales de Valdáliga, Rionansa y de Herrerías (Colina y De Manuel, 2007) (figura 1). La cavidad se sitúa a 540 m s.n.m. y presenta un desarrollo prácticamente horizontal, con 60 m de desnivel y más de 21 km de longitud topografiados, de los cuales aproximadamente 1 km es el está habilitado al turismo. El desarrollo de la cueva presenta una dirección principal NE-SO y una secundaria NO-SE (figura 1) (Robledo, 2009). Cuenta con una entrada artificial abierta al público y excavada, paralela la galería de la Isidra

, y varias entradas naturales, entre las que destaca Torca Ancha y Torca Juñosa.



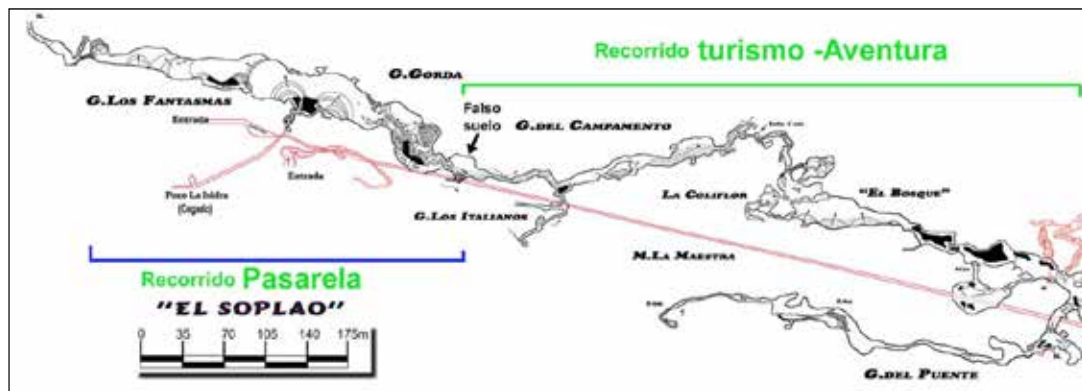


Figura 1. Marco geográfico y plano topográfico previo de la Cueva de El Soplao en la que se observan la zona de turismo pasarela y la zona de turismo aventura (Espeloclub Cántabro, 2004).

### 3. Marco geológico

La Cueva El Soplao se excava en una unidad de carbonatos marinos de plataforma somera (Plataforma de La Florida) de edad Aptiense que se desarrollaron sobre un bloque de falla originado como producto de las fases de *rifting* que tuvieron lugar en el margen septentrional de la placa Ibérica durante el Cretácico inferior en relación con la apertura del Atlántico norte y Golfo de Vizcaya. Por tanto, la configuración actual de los materiales que afloran en el entorno de la cueva de El Soplao es el resultado de movimientos de extensión durante el *rifting* Cretácico a los que se superimpusieron movimientos compresivos durante la orogenia Alpina. Geológicamente, la región se engloba dentro de la cuenca Vasco-Cantábrica (Mesozoico-Cenozoico inferior) (García-Mondéjar *et al.*, 1996). Constituye el margen noroccidental de dicha cuenca hacia el entonces macizo emergido Asturiano. Por esa razón, los materiales que constituyen la zona de estudio (Aptiense-Albiense) se encuentran relativamente adelgazados con respecto a otras áreas de la cuenca, y descansan discordantemente y solapando expansivamente las unidades continentales del Triásico inferior (arenas y lutitas del Buntsandstein) e incluso del sustrato Paleozoico (Calizas de Montaña del Carbonífero). Además, la región tiene un tradicional interés metalogénico, puesto que las unidades carbonatadas que se estudian presentan grandes parches de dolomitización en los que se alojan importantes yacimientos minerales (como el plomo y zinc en la mina de La Florida y la propia cueva) (García-Mondéjar *et al.*, 1996; Quesada *et al.*, 2005). La plataforma en la que se desarrolla la cueva presenta una estratificación muy definida cuyos estratos buzcan 40° N-S y en los que se observan el parche dolomítico en contacto con las calizas hacia el E y el O y a techo de la plataforma.

El Soplao, es una cavidad muy particular, por la dualidad entre mina y cueva y, por la singularidad y cantidad de sus espeleotemas, con especial interés en las excéntricas (Robledo y Durán, 2008) y otros depósitos sedimentarios poco comunes en estos ambientes como los estromatolitos de manganeso descubiertos recientemente (Rossi *et al.*, 2010). En el interior de la cueva El Soplao se observa una sucesión polifásica del sistema, claramente registrada en los diferentes tipos de depósitos de precipitación química, sedimentos detríticos con estratificaciones cruzadas y/o subhorizontales o en las formas de disolución como *pendants*, *scallops*, conductos meandriiformes o grandes cámaras en bóveda. Este aspecto, pone de relieve una sucesión de etapas donde alternaban aguas de infiltración precipitativas con otras disolutivas, etapas de inundación o eventos de flujos de agua subterránea muy energéticos. Aunque a priori, la

disposición del registro sedimentario es compleja por su discontinuidad lateral y vertical ya que esta presenta un orden sedimentario ligado, previsiblemente, a cambios en el régimen paleoclimático y paleohidrogeológico.

#### **4. Metodología**

La metodología aplicada para este estudio se ha basado en: 1) El levantamiento topográfico de la planta de la cueva, de secciones transversales a la dirección principal de la cavidad y de una sección longitudinal; 2) La cartografía de los elementos geomorfológicos en los perfiles transversales, el perfil longitudinal y en la planta de la cavidad; 3) Finalmente, se ha procedido al tratamiento de los resultados mediante distintos software y se han volcado los datos en un SIG, para elaborar los perfiles y el mapa geomorfológico de la cueva.

##### *4.1 El levantamiento topográfico de la planta, los perfiles transversales a la dirección de la cueva y el perfil longitudinal.*

Para las tareas de topografía de la cavidad y levantamiento topográfico de los perfiles transversales y la sección longitudinal en la zona de turismo-pasarela y espeleoaventura se ha contado con la base topográfica que se realizó en el año 2009. Los equipos utilizados han sido la estación total, Zeiss ELTA-R, con un error de precisión de +/- 1 mm para la realización de poligonales en las galerías de la cueva (figura 2); y un distanciómetro de precisión laser, DISTO DX-4, para el cálculo de las secciones, el ángulo horizontal, vertical y la distancia reducida (Martín, 2011), es decir, obteniendo datos de X, Y, Z.



Figura 2. Detalle de la estación total Zeiss ELTA-R con la que se ha realizado el levantamiento topográfico de la cavidad, de las secciones transversales y de la sección longitudinal.

Posteriormente, se procedió a los cálculos de los errores con el *software* Visual Topo y Auriaga, que permitió calibrar el cálculo de las poligonales para su posterior representación sobre un plano. La representación gráfica y edición de la topografía se

diseño con el software CAD, a escala original 1/200, pudiéndose visualizar también en 3D y, para su uso sobre el terreno se redujo a escala 1/500. Finalmente y para seleccionar los puntos entre los que se iba a realizar el levantamiento topográfico de las diferentes secciones transversales y de la sección longitudinal, se dividió la topografía de la planta en sectores mediante un SIG (AutoCAD 18.3 y ArcGIS 9.2) (figura 3 B), clasificándolos de E a O, de los cuales tres planos enmarcaban la zona objeto de estudio en la cueva: sector 1, 2 y 3. Los planos topográficos sectorizados se iniciaban en la Sala de la Cuerre (en el borde O del mirador) y finalizaban en la Sala del Bosque (al E de la zona de turismo aventura) (figura 3).

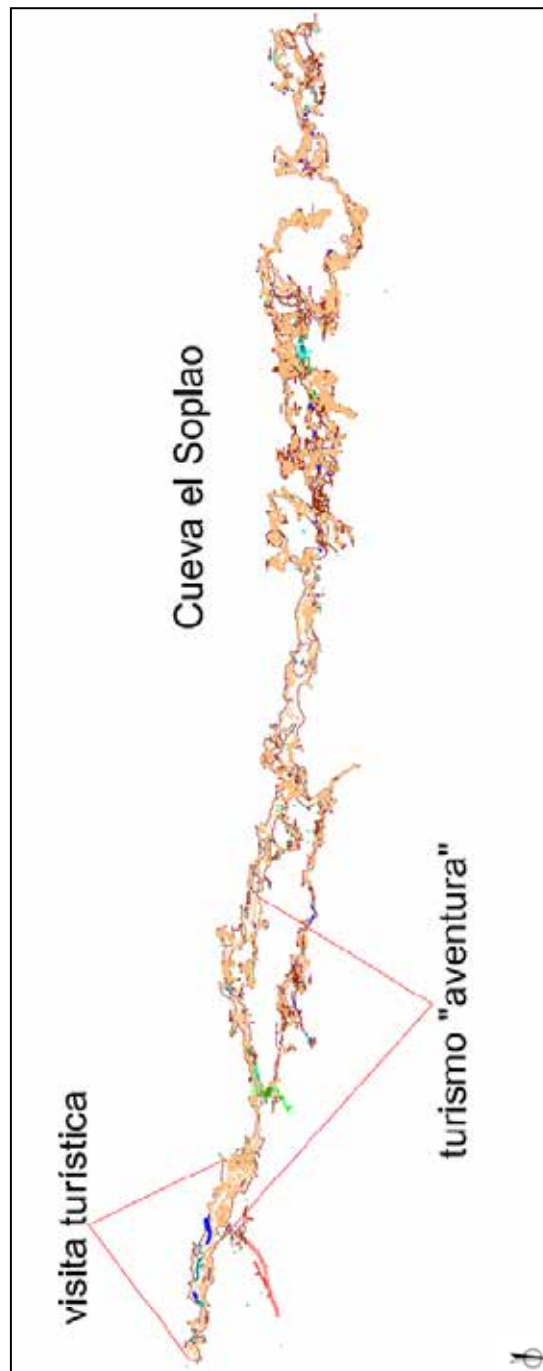


Figura 3. Plano topográfico actual de la Cueva El Soplao



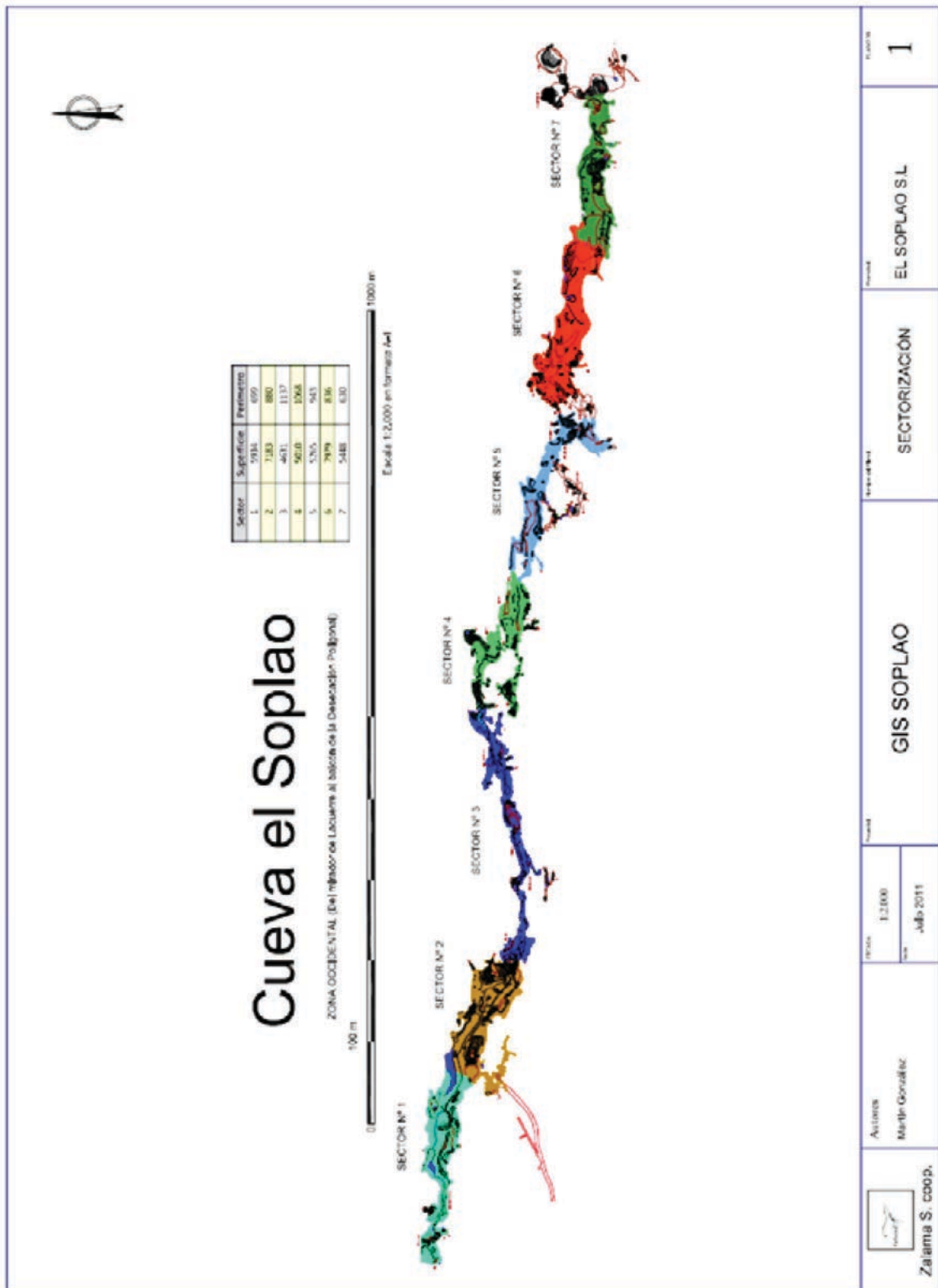
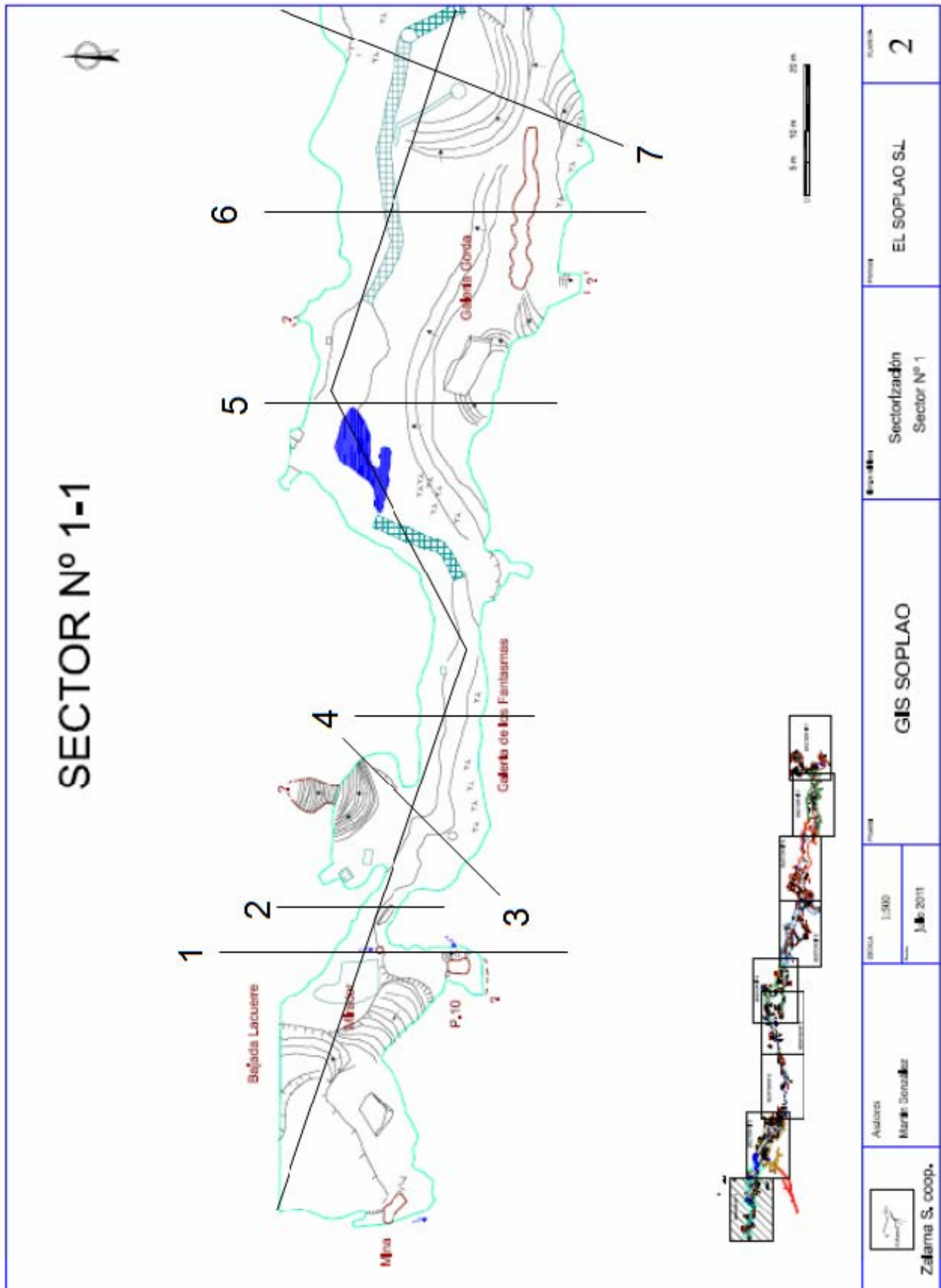
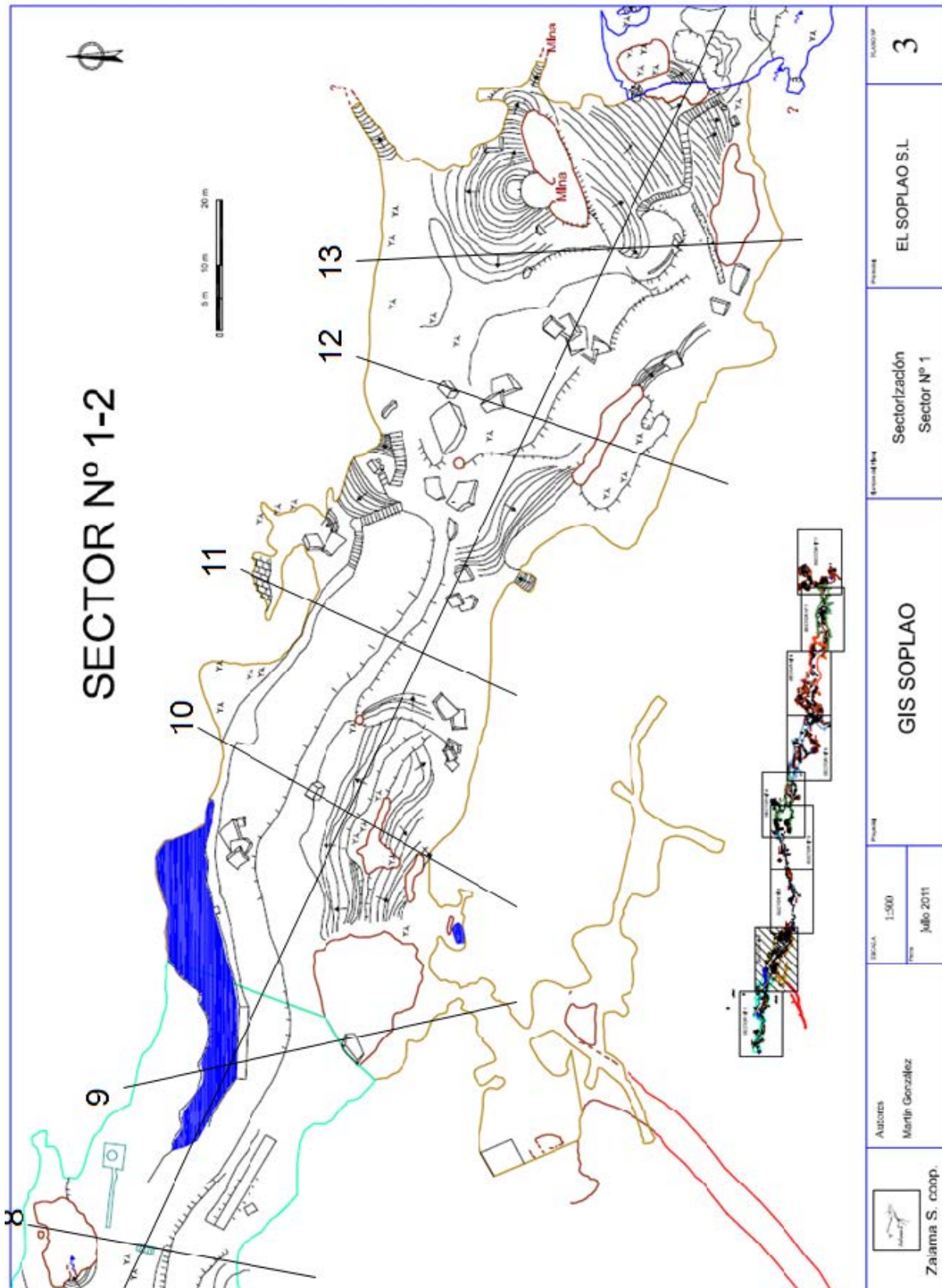


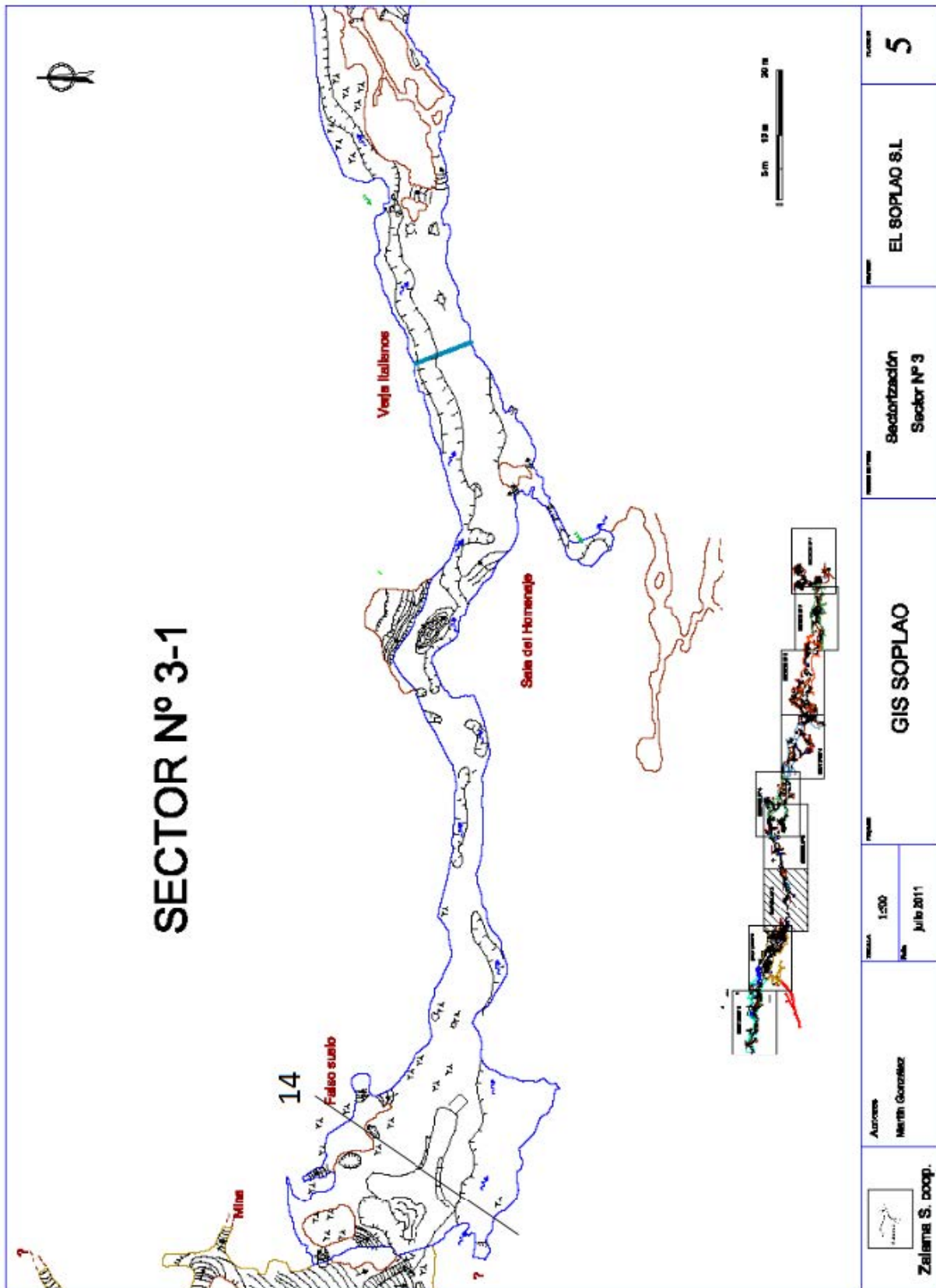
Figura 4. Topografía de la cueva dividida en sectores de este a oeste para el posterior levantamiento topográfico de los perfiles transversales y de la sección longitudinal en las zonas de pasarela y espeleoaventura.



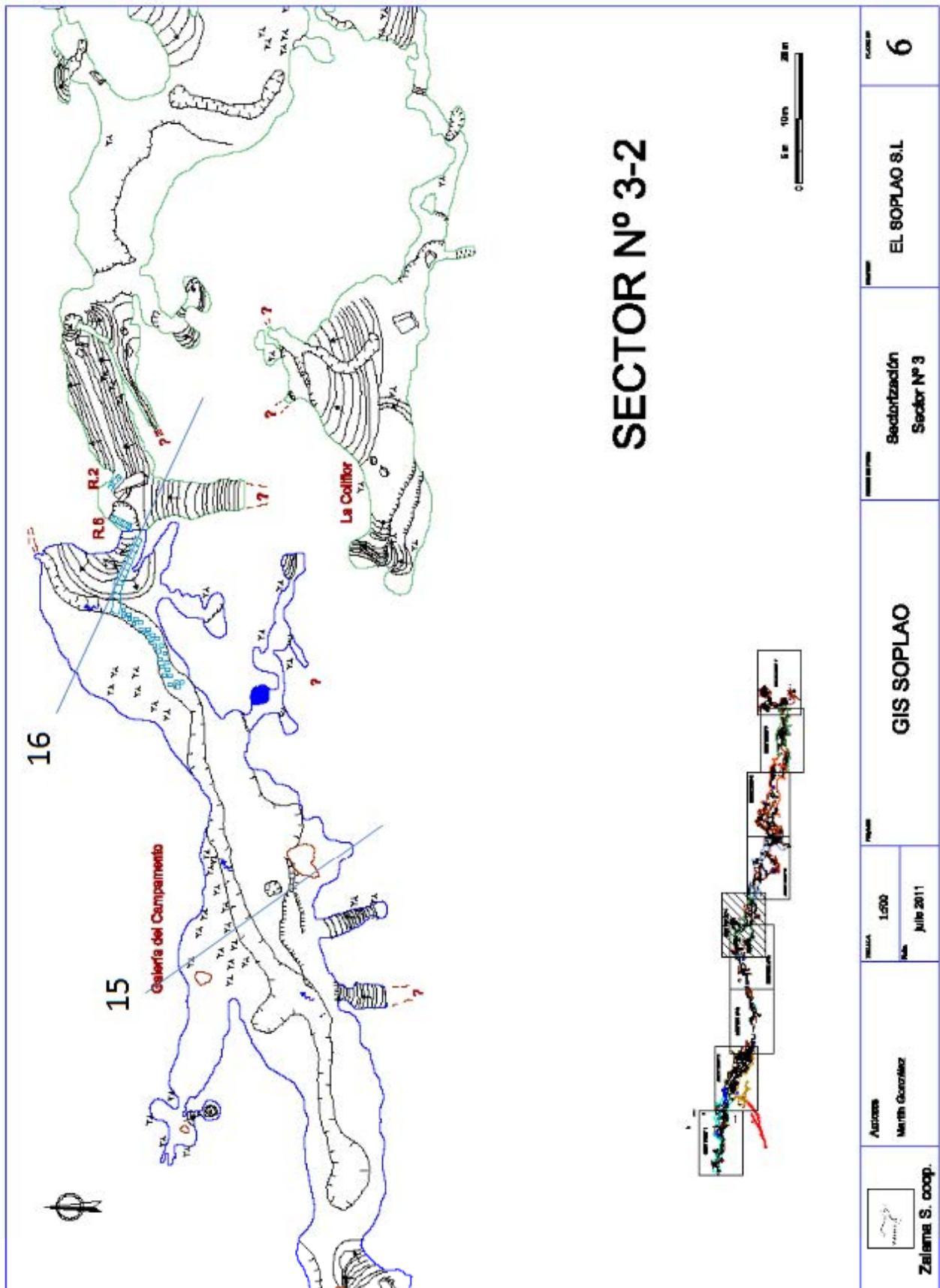


 Zalama S. coop.	Autoría María González	Escala 1:500 Fecha Julio 2011	Nombre GIS SOPLAO	Descripción Sectorización Sector Nº 1	Proyecto EL SOPLAO S.L.	Hoja 2
--	---------------------------	--	----------------------	---	----------------------------	-----------





 Zalamia S. coop.	Autor: Nuria González	Escala: 1:500	Fecha: Julio 2011	Proyecto: GIS SOPLAO	Nombre de zona: Sectorización Sector Nº 3	Proyecto: EL SOPLAO S.L.	Número: 5
---	--------------------------	------------------	----------------------	-------------------------	---	-----------------------------	--------------



 Zelisma S. coop.	Autora Martha González	ESCALA 1:500 Fecha Julio 2011	Nombre GIS SOPLAO	Descripción Sectorización Sector Nº 3	Empresa EL SOPLAO S.L	Folio 6
---	---------------------------	--	----------------------	---	--------------------------	------------



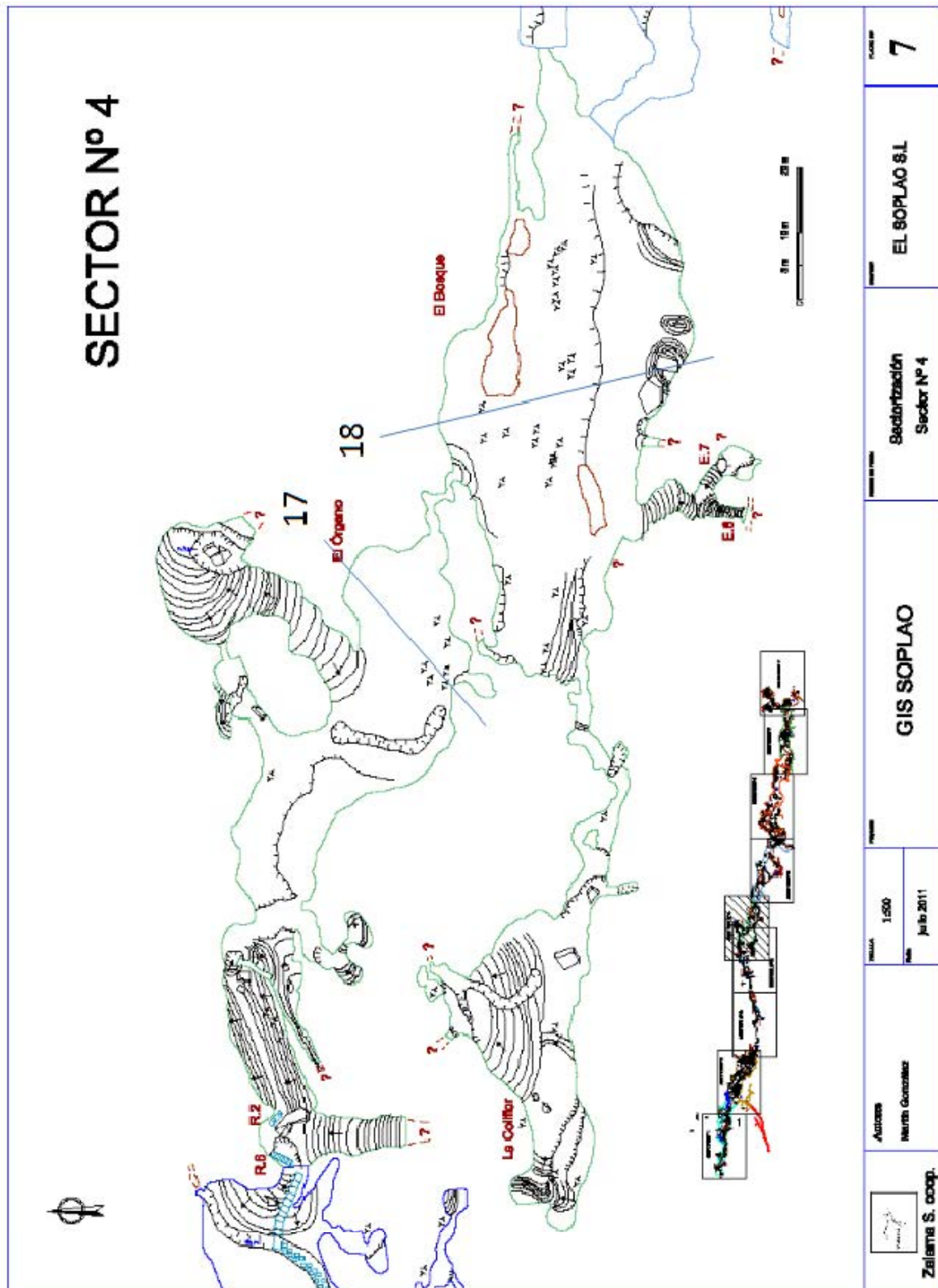


Figura 5. Representación espacial de las secciones transversales para su posterior levantamiento topográfico.

En la primera fase del trabajo, se realizó una exploración inicial para identificar los elementos y procesos geomorfológicos de la zona de estudio y así, reconocer en detalle, aquellos más importantes en cada sector, con las formas y productos derivados de los mismos, las secuencias estratigráficas y su orden sedimentario, atendiendo a los cambios laterales y verticales; también se abordó el estudio de los elementos estructurales, como la dirección, longitud y espesor de fracturas y/o fallas así como las formas del techo de la cueva, atendiendo también a su variabilidad espacial. Posteriormente, se definieron los dos puntos entre los que se iban a levantar las secciones transversales. Se seleccionaron 18 perfiles transversales a la dirección principal de la cueva, entre el Mirador de la Cuerre y la Sala del Bosque, en la zona de turismo-pasarela y espeleoaventura (figura 5 B y C), con una orientación principal en la mayoría NE-SO y NO-SE.

Para el levantamiento topográfico de los perfiles transversales, previamente indicados sobre los planos topográfico de la cavidad, se procedió a extender una cinta métrica entre los puntos marcados para cada perfil (6 A y B). Con el apoyo de la cinta métrica y el distanciómetro, se detalló el relieve del techo tomando las alturas.



Figura 6. En la imagen 6 A y B se observa como la cinta métrica se dispone perpendicular a la dirección principal de la cueva para tomar detalladamente los datos espaciales de cada transecto. En la imagen se aprecia uno de los planos con el contorno de la sección para su posterior cartografía.

Los datos topográficos se tomaron cada 50 cm o, en su defecto, en aquellos puntos de la sección transversal que por sus interés geomorfológico era necesario representar (cambios bruscos de pendiente, espeleotemas singulares, secuencias sedimentarias representativas, estalactitas, bóvedas de disolución, bloques, etc) (figura 6 A). Posteriormente, con la estación total y mediante la técnica de la radiación simple se procedió al levantamiento topográfico del relieve del suelo. Por último, se volcaron los datos tomados sobre el terreno de forma que definió el relieve de éste por una nube de puntos X, Y, Z. A la coordenada Z de la nube de puntos del suelo, se le integró la altura medida con el distanciómetro y se obtuvo una nueva nube de puntos, que es la que finalmente define el relieve del techo de la cueva. Superponiendo ambos perfiles y definiendo el relieve de la sección, el resultado es el contorno de una sección transversal entre dos puntos de una zona seleccionada de la cueva en un plano a escala 1/100 (figura 6 C y 7).

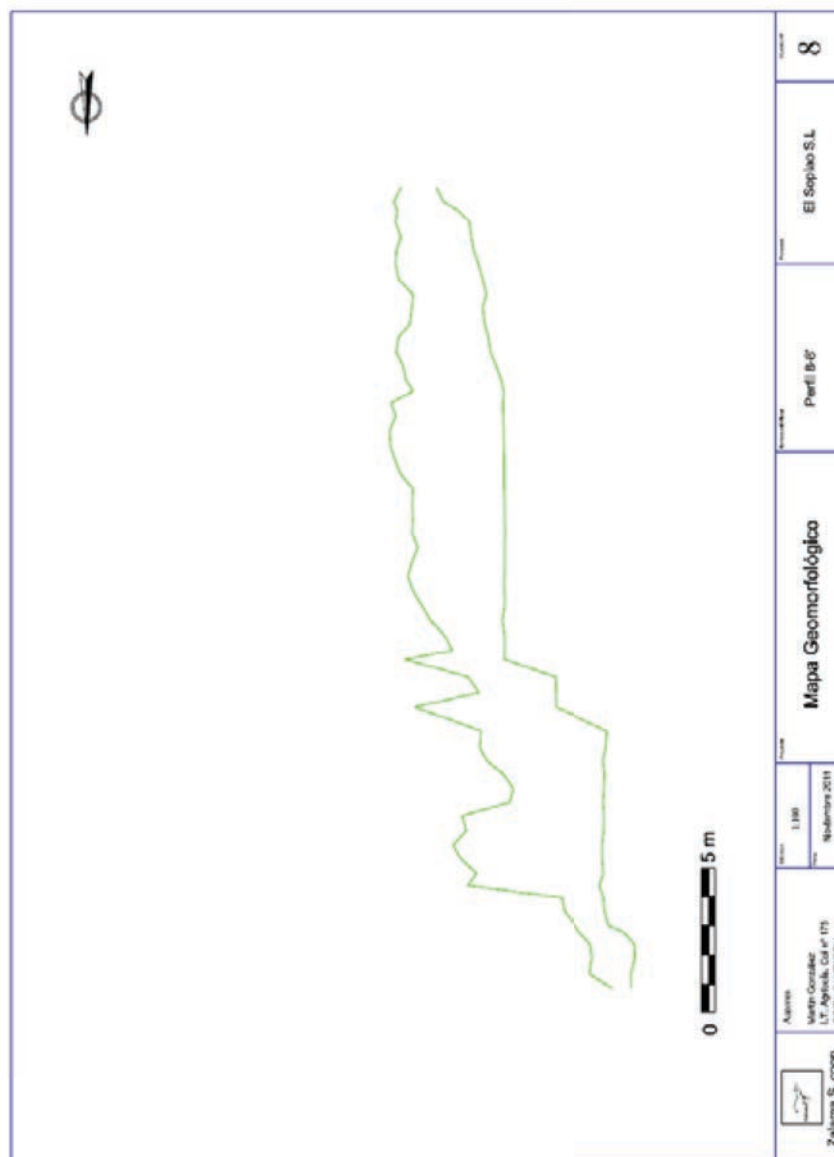


Figura 7. Contorno de una sección transversal, perfil nº 8, tras el levantamiento topográfico a escala 1/100.



#### *4.2. La representación geomorfológica en planta, los perfiles transversales y el perfil longitudinal.*

La representación espacial de la geomorfología de la cavidad trasladada a la planta, a los perfiles transversales y el longitudinal, se realizó con el apoyo de un distanciómetro Leica DISTO-D3a BT, que determina la distancia horizontal con precisión de  $\pm 1$  mm y la altura indirecta con un sensor de inclinación integrado ( $\pm 45^\circ$ ). La cinta métrica se utilizó como referencia directa sobre el terreno de la sección tomada y, dispuesta en la misma dirección que el perfil, para que cada elemento quedara representado con la mayor precisión posible. También se utilizó una brújula como material de apoyo para obtener medidas precisas de cambios de orientación en el perfil, direcciones de fracturas, alineaciones de espeleotemas o direcciones de estratificación de los sedimentos detríticos.

Sobre el contorno de la sección a escala 1/100 se dibuja de forma convencional los elementos dispuestos en esa transversal, siguiendo el procedimiento de cartografiar siempre en una dirección y, representando en primer lugar, las formas que son referencias espaciales del perfil, como elementos antrópicos (pasarelas, caminos, barandillas, muros etc.), espeleotemas o bloques de gran dimensión (figura 8 A y B). A continuación, se representan el resto de elementos geomorfológicos; primero los dispuestos en el suelo y, por último, los que se han desarrollado en el techo y las paredes, como estalactitas, formas de disolución, fracturas o encajamientos laterales de la red fluviokarstica. De los espeleotemas, sedimentos detríticos, bloques y otros depósitos se midieron alturas, espesores, diámetros y distancias desde el techo y/o entre ellos trasladados a escala en un mapa. Tanto de la sección transversal en su conjunto, como de algunos depósitos o formas de interés se realiza paralelamente un catálogo fotográfico con el fin de completar la información de la sección, corregir algún error sobre el terreno en las sucesivas campañas de campo o en el momento de su edición, pudiendo incorporar algún dato, previamente verificado.



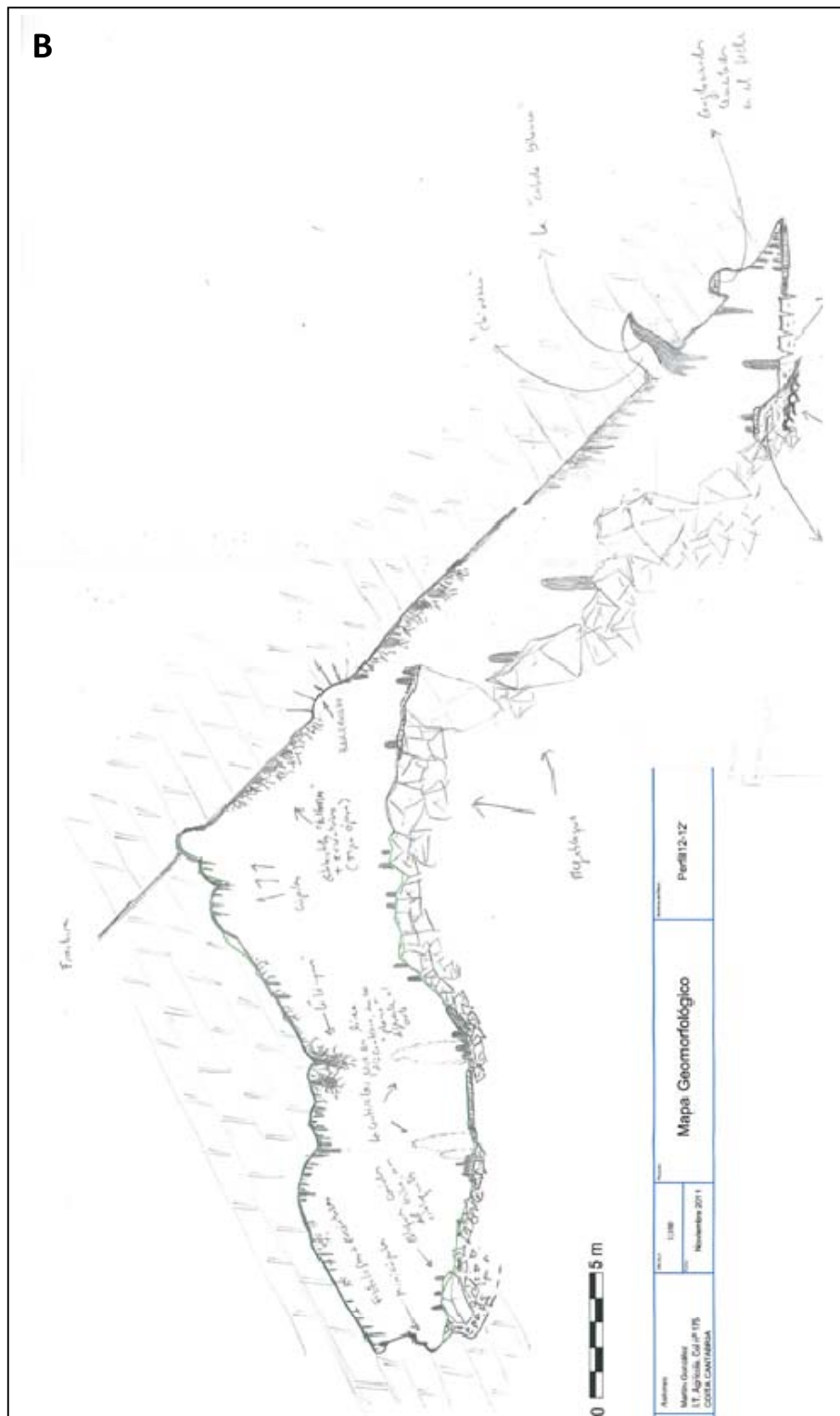


Figura 8. Representación geomorfológica de los perfiles transversales A: nº 17 y B: nº 12, realizada sobre el terreno. En el perfil B se observa como tuvo que ampliarse durante la cartografía una parte de la sección que durante la primera fase de levantamiento topográfico no se había localizado.

Durante el proceso de cartografía geomorfológica de los perfiles sobre el terreno se anota sucesivamente toda aquella información de interés y se corrigen los contornos para que se adecuen a la forma real de la sección (figura 8 A y B). Esta información posteriormente se incorpora y, en último término, se traslada a un nuevo formato volcando los datos en un SIG. Cada perfil antes de ser editado en el gabinete se repasa relacionando medidas y distancias con la topografía base de la cueva y con el catálogo fotográfico. También, se realiza una leyenda que será integrada en todos los perfiles con los símbolos para los elementos representados (anexos 1 y 2).

Para la planta de la cavidad la cartografía geomorfológica se apoya en este caso, además de en la propia base topográfica, en la información obtenida de los perfiles transversales, por lo que el mapa final puede incorporar algunos datos que, de otra forma, no habrían sido tomados, por lo que el resultado es más preciso. La leyenda para dicho mapa se basa en la definida por *International Speleological Union* (UIS), aunque muchos de los símbolos han sido modificados o creados por responder a elementos puntuales no contemplados en dicha clasificación, como los estromatolitos de manganeso o algunos espeleotemas singulares. La representación espacial se realizó sobre un plano escala 1/500, en tres láminas continuas de los sectores 1-1, 1-2, 3-1 y 3.2 (Anexo 4). La cartografía en primera instancia se realiza de forma convencional representando sobre el terreno los elementos dispuestos en el suelo de la cueva (desde el mirador de la Cuerre hasta la sala de Ópera). El instrumental utilizado es el mismo que para los perfiles, entendiéndose que las medidas en la vertical tomadas para las secciones, aunque en este caso no son necesarias, nos ayudan a tener una visión espacial en 3-D que permite precisar más la representación de formas y productos. Al igual que en las secciones, determinadas formas o construcciones, como por ejemplo, pasarelas, muros, restos mineros, espeleotemas representativos de la cueva como centinelas o la columna helicoidal entre otros, se utilizan como puntos de referencia espacial para obtener medidas precisas. Tanto de los elementos antrópicos como de los depósitos sedimentarios y los espeleotemas, se miden dimensiones en planta, longitudes, distancias y diámetros. Se realiza un catálogo fotográfico en dos fases; un primero durante la exploración previa; y el segundo durante la realización de la cartografía. Ambos, son fundamentales para completar la información del mapa, corregir algún error en la fase de cartografía sobre el terreno y, finalmente, para la edición en el gabinete que permite complementar la información obtenida.

Por último, la información se traslada a un nuevo formato volcando los datos en un SIG, previo repaso de las medidas y distancias sobre con la topografía en planta de la cueva, las anotaciones realizadas y con el catálogo fotográfico.

#### *4.3. Aplicación del SIG en la cartografía geomorfológica*

Los perfiles transversales y el mapa geomorfológico se digitalizaron, georreferenciaron y, finalmente, se trasladó la información a un SIG (AutoCAD 18.3 y ArcGIS 9.2). Las líneas y polígonos derivados de cada grupo de formas cartografiadas se nivelaron y codificaron, dando a cada grupo de la leyenda una capa. Este sistema permite gestionar la información descrita de forma que sea equivalente en cada perfil y sobre la planta, para caracterizar y describir la distribución espacial de la geomorfología. Además, con los perfiles se obtiene un dato hasta el momento no utilizado en esta tipo de trabajos; las alturas y diámetros de los espeleotemas, espesor de paquetes sedimentarios, distancia entre el suelo y el techo, la medidas del techo en cada sección con su distribución espacial de las formas. En este sentido el SIG se muestra como una herramienta muy

útil para caracterizar la distribución espacial de las formas geomorfológicas y obtener órdenes de magnitud sobre parámetros cuantitativos.

## **5. Cartografía geomorfológica en planta de la Cueva El Soplao**

La representación espacial de la geomorfología de la cueva se ha realizado en la zona de turismo pasarela, desde el mirador de Lacuerre hasta la Sala del Órgano. La planta de la cavidad muestra un trazado de longitudinal con dirección E-O de aproximadamente 1 km de desarrollo. De acuerdo con la distribución espacial de las formas y productos geomorfológicos en la cueva, se ha observado la combinación de procesos erosivos y constructivos, con una importante componente de transporte fluviokarstico. Entre los procesos erosivos destacan los controlados por la acción del agua durante momentos de flujo energético y turbulento o por la disolución con formas como planos laterales, *pendants*, *scalops* o golpes de gubia, todas ellas marcas características que deja el agua en la roca al circular a través de una galería. La disolución también es muy características en determinadas formas como las bóvedas y banquetes. Por otra parte, entre los procesos geomorfológicos que dan lugar a productos destacan cuatro. 1) colapsos del suelo de la cueva; 2) Caídas de bloques del techo y las paredes; 3) precipitación química de carbonato (formación de espeleotemas y suelos estalagmíticos); 4) deposición de sedimentos detríticos tractivos. Existe por tanto, deposición de sedimentos autóctonos y alóctonos, de lo que se deduce que el Soplao es un sistema polifásico, en los que han quedado impresos las huellas de períodos cálidos y fríos, secos y húmedos. Además de los procesos geomorfológicos que han tenido lugar en la cueva de El Soplao, los elementos antrópicos derivados, tanto de la minería como de la habilitación para el uso turístico de la cavidad, son parte importante de la configuración actual de la cueva por lo que han sido representados en la cartografía geomorfológica de la planta de la cueva (anexo 1).

De acuerdo con el expuesto anteriormente, la distribución espacial que presenta la geomorfología de la cueva de El Soplao, muestra en su margen oeste un gran colapso de un antiguo suelo estalagmítico sobre el que se desarrollaron un conjunto de importantes espeleotemas, que en la actualidad yacen en el suelo rotos o inclinados. El colapso permite observar, desde el mirador de Lacuerre, los antiguos niveles de suelo, un potente paquete de sedimentos detríticos tractivos, así como una galería minera excavada por debajo. Lateralmente, hacia el este y en el margen sur, se observa un primer conjunto de grandes bloques desprendidos sobre un suelo estalagmítico que lateralmente y discontinuamente se alterna con sedimentos detríticos alóctonos. Hacia la Sala de la Tolva, el suelo estalagmítico y los detríticos, constituyen los elementos dominantes, aunque en dicha sala, se observan los primeros afloramientos de estromatolitos de manganeso. El acceso se realiza por un camino de cemento construido en el centro de la galería. Hacia el oeste los estromatolitos afloran más profusamente, y en la denominada Sala de los Estromatolitos, es donde ocupan mayor extensión. A partir de ese punto, los espeleotemas, estalagmitas y columnas principalmente, empiezan a ganar protagonismo, flanqueados en su lado norte por un pequeño lago artificial de agua permanente. En esa zona, dominan los sedimentos detríticos, pero hacia el sur, los suelos estalagmíticos y los espeleotemas ganan presencia y mucha extensión, con alineaciones muy características, ligadas a fracturas en el techo y tamaños considerables. Es en la llamada Galería Gorda donde se observan con mayor nitidez estas formaciones, con ejemplos como los Fantasmas o las Medusas, estalagmitas y coladas que por su disposición y geometría se asemejan a dichas figuras. Hacia el centro

de esta galería, los suelos estalagmíticos y los espeleotemas, quedan interrumpidos por un gran hundimiento, El Colapso del Captador, que ha provocado el afloramiento de un paquete de detríticos tractivos subyacentes e integra bloques rotos de estalagmitas, algunas de ellas rotadas. Esta zona culmina con una zona de gran superficie en la que sobre el suelo calcítico se disponen grupos importantes de estalagmitas, que también se han desarrollado sobre banquetes dispuestos a diferentes cotas. Hacia el este, la disposición de elementos geomorfológicos cambia significativamente, y son las construcciones antrópicas, mineras y turísticas, las que destacan sobre el resto. Se observan en el primer sector una gran plataforma de cemento, un anfiteatro, un captador minero y, ocupando una amplia zona en su margen norte, un lago artificial de agua permanente. Entre todos estos elementos y, puntalmente, afloran sedimentos detríticos alóctonos, suelos estalagmíticos, algunas estalagmitas y estromatolitos de manganeso. En el lado sur de la cueva en este sector se ubica la zona de acceso a visitantes, que da continuidad a las pasarelas y caminos habilitados para su visita. Desde la entrada y hacia el este, antiguos restos de sedimentos mineros y escombreras cubren gran parte del suelo de la cueva, salvo en sus lados norte y sur, en los que afloran sedimentos detríticos y espeleotemas. En esta zona tiene especial interés la Sala de las Maravillas, por la riqueza y variedad de formaciones. A partir de aquí, el proceso dominante es el desprendimiento de grandes bloques desde el techo y las paredes de la cueva, por lo que gran parte de esta zona está cubierta por un caos de bloques. Hacia ambos márgenes se observan cursos de agua intermitentes con dirección este y galerías con suelos poligonales de arcilla, como El Sector del Barro o La Sala del Suelo Poligonal. En el centro de este sector, atravesado también por un camino de cemento, destaca una gran escombrera en cuyo inicio, afloran dos grandes estalagmitas denominadas Centinelas. La escombra minera finaliza en una galería minera, detrás de la cual de nuevo se observan grandes bloques desprendidos. La zona de pasarela finaliza en Ópera, una sala rodeada por bloques desprendidos y grandes fracturas con dirección NE-SO y NO-SE. En esta sala se pueden observar conjuntos de estalagmitas, algunas de ellas con fracturas perpendiculares a su eje de crecimiento debido al deslizamiento de los bloques, fases de estabilización y asentamiento, o a la fracturación de los mismos.

## **6. Resultados y discusión**

El resultado final se presenta para los perfiles transversales y la sección longitudinal en un formato a escala 1/100, en la que se representa el contorno de la sección, las morfologías del suelo y el techo de la cavidad y los elementos antrópicos ubicados en la transversal de cada sección. Cada plano de los perfiles va acompañado del título, según la zona en la que se ha realizado, el transecto de la sección representada sobre la planta, la orientación de la sección, una leyenda de los elementos que han sido cartografiados, un texto descriptivo de la geomorfología representada y una secuencia de tres fotos en la que se observan aquellos elementos más representativos (Anexos 1 y 2). El mapa geomorfológico de la cavidad, se ha elaborado a escala 1/500, representando la situación de la zona cartografiada en un croquis de la topografía junto con una leyenda de los elementos representados y un conjunto de fotografías que ilustran espeleotemas, sedimentos y otros elementos de interés.

Respecto a la interpretación de los trabajos de la cartografía geomorfológica, tanto de las secciones como de la planta, se han podido describir las formas y productos del suelo y el techo de la cueva y su distribución espacio-temporal. El registro sedimentario de El Soplao presenta dos tipos de sedimentos: autóctonos, relacionados con colapsos,

desprendimientos de grandes bloques y espeleotemas. Y sedimentos detríticos alóctonos, representados por los rellenos detríticos relacionados con una evolución del sistema endokárstico en respuesta a la sucesión de etapas con pulsos más o menos energéticos del flujo de agua endokárstico. Estos pulsos también han dejado su huella en encajamientos fluviokársticos laterales y etapas de precipitación química con suelos calcíticos que culminan con la deposición de un importante conjunto de espeleotemas, dispuestos casi siempre sobre los depósitos detríticos, lo que indica una sucesión de etapas secas y húmedas.

## **7. Conclusiones**

Los trabajos llevados a cabo en la Cueva El Soplao para el desarrollo de una nueva metodología en la realización de mapas geomorfológicos en sistemas endokársticos, ponen de manifiesto que es una herramienta muy útil para el conocimiento de la cueva en general y de los procesos geomorfológicos en particular. La realización de perfiles transversales a la dirección principal de la cavidad para su representación geomorfológica, y un perfil longitudinal permite obtener una información que hasta ahora no había sido abordada por su complejidad, como es la geomorfología del techo de la cueva y los datos sobre de altura, espesores o diámetros de las formas y depósitos. Este aspecto, supone un avance cualitativo y cuantitativo en el conocimiento integral de los procesos que operaron en la cueva, de la ciclicidad de los eventos, así como de la evolución geomorfológica del sistema. Con ello, se obtiene un mapa donde la representación de la distribución espacial de la geomorfología en la cavidad es mucho más precisa y amplia, ya que los elementos geomorfológicos representados en la planta de la cueva se complementan y mejoran, con la información obtenida de las secciones transversales y la longitudinal. El producto final, las secciones y la planta, permite representar los elementos geomorfológicos en el espacio, pero también dotarlos de un dato espacial en la vertical por lo que es posible establecer el orden cronológico según la disposición de los depósitos en las diferentes zonas de la cueva. Esta nueva forma de abordar la geomorfología endokárstica de la cueva, puede ser utilizada como herramienta para otros trabajo científicos relevantes y mejorar la gestión y conservación de cuevas en general, especialmente las de uso turístico.



## Referencias

- Arrese, B. 2009 Geomorfología, evolución geológica y condiciones ambientales actuales de la cueva de Nerja, Málaga. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 306 p.
- Ford, D. Williams, P. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology, Wiley, England, 562 p.
- Calleja, S., Jiménez-Sánchez, M. y Domínguez-Cuesta, M.J. 2009. La Geomorfología como contexto del arte rupestre en la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias), in: J.J. Durán, J. López-Martínez (Eds.), Cuevas turísticas, Cuevas vivas. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, Madrid, pp. 27–39.
- Colina, J. y De Manuel, J.A. 2007. Rehabilitación y recuperación de espeleotemas en la cueva El Soplao para su habilitación al uso turístico. En: J.J. Durán. P.A. Robledo y J. Vázquez (Eds.). Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible. Publicaciones del IGME, nº 24, 43-56. Madrid.
- Fairchild, I. y Baker, A. 2012. Speleothems science: from process to past environments. Wiley-Blackwell. 450 p
- García-Mondéjar, J, Agirrezabala, L.M., Aranburu, A., Fernández-Mendiola, P.A. Gómez-Pérez, I. López-Horgue, M. y Rosales, I. 1996. The Aptian-Albain tectonic pattern of the Basque-Cantabrian basin (northern Spain). *Geological Journal*, 31, 13-45.
- Jiménez-Sánchez, M. Durán, J.J. López-Martínez, J. Martos, E. Arrese, B. 2004. Estudios geomorfológicos en cavidades kársticas de España in: B. Andreo, J.J. Durán (Eds.), Investigaciones en sistemas kársticos españoles, vol. 12, Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, IGME, Madrid, pp. 333–349.
- Jiménez-Sánchez, M., Anadón-Ruiz, S., Farias, P., García-Sanseguendo, J. y Canto Toimil, N. 2004. Geomorfología de la cueva de Tito Bustillo y del macizo kárstico de Ardines (Ribadesella, Costa Cantábrica, Norte de España), *Boletín del IGME* 2 (115) 257–263
- Jiménez-Sánchez, M. Aranburu, A. Martos de la Torre, E. Domínguez-Cuesta, M.J. 2006. Patrimonio geológico en las cuevas prehistóricas de Asturias: Métodos de trabajo en la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella), *Trabajos de Geología* 26 163–174. *Karst Study*. 69 (1) (2007) 76–93.
- Jiménez-Sánchez, M., Ballesteros, D., Domínguez-Cuesta, M.J., Rodríguez, L. y Naves, B. 2011 a. Geomorfología de la Cueva El Soplao. En: J.J. Durán (Ed). *El Soplao: una venta al mundo subterráneo*. Gobierno de Cantabria. Santander. 81-90.
- Jiménez-Sánchez, M., Domínguez, M.J., Aranburu, A., Martos, E. 2011 b. Quantitative indexes based on geomorphologic features: A tool for evaluating human impact on natural and cultural heritage in caves. *Journal of Cultural Heritage* 12, 270–278

Martín, G., 2011. De las primeras exploraciones espeleológicas a la topografía 3-D. En: J.J. Durán (Ed). *El Soplao: una venta al mundo subterráneo*. Gobierno de Cantabria. Santander. 42-46.

Quesada, S., Robles, S. y Rosales, I. 2005. Depositional architecture and transgressive-regressive cycles within Liassic backstepping carbonate ramps in the Basque-Cantabrian Basin, N Spain. *Journal of the Geological Society, London*, 162, 531-548.

Robledo, P.A. 2008. *La cueva de El Soplao: una belleza infinita*. En: Guía de las excursiones del II Congreso Español de Cuevas Turísticas (CUEVATUR). 16-18 de octubre, Santander. 17-28 pp. (Depósito legal: SA - 772 - 2008).

Robledo P.A. y Durán, J.J. 2009. Datos preliminares sobre la tipología, distribución y génesis de las excéntricas en la cueva de El Soplao, Cantabria, España. En: J.J. Durán y López Martínez J (Eds). 2009. *Cuevas turísticas, Cuevas Vivas*. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid 13-27

Robledo, P.A. y Durán, J.J. 2011. Los espeleotemas de El Soplao: un mundo de formas y colores. En: J.J. Durán (Ed). *El Soplao: una venta al mundo subterráneo*. Gobierno de Cantabria. Santander. 96-103

Rossi, C, L., Lozano, Isanta, N. y John Hellstrom. 2010. Manganese stromatolites in caves: El Soplao (Cantabria, Spain). *Geology*, 38 (12), 1119-1122

White, W.B. 2007. Cave sediments and paleoclimate, *Journal of Cave and Karst Study* 69 (1) 76-93