

## Cuevas prehistóricas como Patrimonio Geológico en Asturias: métodos de trabajo en la cueva de Tito Bustillo

M. JIMÉNEZ-SÁNCHEZ<sup>1</sup>, A. ARANBURU<sup>2</sup>, E. MARTOS<sup>1</sup> Y M. DOMÍNGUEZ-CUESTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Arias de Velasco, s/n 33005 Oviedo, mjimenez@geol.uniovi.es, emartos@geol.uniovi.es, mjdominguez@geol.uniovi.es*

<sup>2</sup> *Dpto. Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco, Ap. 644-48080, Bilbao, arantza.aranburu@ehu.es*

---

**Resumen:** Las cuevas prehistóricas constituyen recursos culturales y turísticos por su interés arqueológico, geológico y geomorfológico. En este trabajo se presenta la metodología desarrollada en la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias) para confeccionar mapas geomorfológicos, básicos en los estudios de patrimonio geológico. Partiendo de la existencia de un mapa topográfico a escala 1:250, el método de trabajo incluye: 1) realización de una ficha de inventario geomorfológico; 2) cartografía geomorfológica; 3) mapa geomorfológico; 4) digitalización de los mapas topográfico y geomorfológico y transferencia a un Sistema de Información Geográfica y 5) tratamiento cuantitativo de la información derivada del SIG. Se propone un índice de impacto ambiental geomorfológico sencillo (Iagc) que en esta cueva toma un valor de 36,22 en una escala de 1 a 100.

**Palabras clave:** cuevas, SIG, geomorfología, Tito Bustillo, Ribadesella, Asturias, patrimonio geológico.

**Abstract:** Prehistoric caves represent cultural and tourist resources because of their archaeological, geological and geomorphological heritage. Geomorphologic mapping techniques have been applied to Tito Bustillo Cave (Ribadesella, Asturias, N Spain) during a research concerning the geotechnical stability of the cave. In this work, we present a methodology that includes: 1) Availability of a topography at a 1: 250 scale. 2) A systematic and detailed inventory of endokarstic geomorphologic features. 3) Geomorphological mapping. 4) Digitalization of the geomorphological map and its transference to a GIS. 5) Quantitative management of GIS derived information. A simple index (Iagc) is proposed to evaluate environmental impact on tourist caves in a scale ranging from 1 to 100, showing a value of 36,22 for the case of Tito Bustillo Cave.

**Keywords:** Caves; GIS; geomorphology; Tito Bustillo, Ribadesella, Asturias; geological heritage.

---

Las cuevas constituyen importantes recursos tanto desde el punto de vista cultural y económico (Rivas et al., 2004) como desde el punto de vista ambiental, estando catalogadas algunas de ellas como espacios protegidos, o bien pudiendo ser consideradas como elementos enriquecedores de los espacios naturales protegidos en los que se enmarcan (Durán et al., 2004). Más concretamente, algunas de ellas han sido descritas como elementos integrantes del Patrimonio Geológico en numerosas áreas a nivel mundial (ver una síntesis en Durán y Robledo, 2002), en distintas áreas de la Península (Barea et al., 1998; Carrasco et al., 1998; Alonso Zarza et al.,

2005; Rebollada Casado y Fernández Amo, 2005) y particularmente, en el Norte de España (Durán et al., 2002). En Asturias, existen diversas figuras de protección que afectan a las cuevas. Así, podemos considerar, por una parte, cuevas incluidas en el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias y por otra, cuevas como elementos que integran el Patrimonio Cultural. El Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias, aprobado en 1994 (Decreto 38/1994 de 19 de mayo, BOPA n.º 152 de 2 de julio de 1994), consideró para su elaboración cinco unidades ambientales, entre las que se encuentran las cavidades subterráneas. Estas se encuen-

tran asociadas fundamentalmente a los afloramientos calcáreos que existen en la zona oriental de la Comunidad Autónoma, como son las Sierras del Sueve, Cuera y los Picos de Europa, aunque también abundan cavidades kársticas de gran desarrollo en el área central de la región (Peña Ubiña, Pico Caldoveiro, Parque Natural de Somiedo y Sierra del Aramo). Sin embargo, e independientemente de otros valores naturales, la red de espacios protegidos de Asturias incluye explícitamente algunas de las cavidades kársticas más importantes de la región considerando para ello su interés geomorfológico. Este es el caso de los Monumentos Naturales del Sistema del Trave, Sistema del Jitu, la Torca Urriellu o la Red de Toneyu, todos ellos en los Picos de Europa.

Otros Monumentos Naturales relacionados con cavidades kársticas son la Cueva Deboyu (Parque Natural de Redes) y Cueva Huerta. Además, cuatro cavidades han sido catalogadas como Reservas Naturales Parciales (Cueva Rosa, Lloviu, Sidrón y las Caldas). En estas seis cavidades, no sólo los elementos geológicos, sino también su riqueza biológica, contribuyeron a su declaración como espacios protegidos. Cabe destacar, además, que dos de estas cuevas, Sidrón y Las Caldas, poseen importantes restos arqueológicos.

Por otra parte, la Ley del Principado de Asturias 1/2001, de 6 de marzo de Patrimonio Cultural (BOPA n.º 75, 30 de marzo de 2001) contiene dos artículos que pueden ser aplicados a las cuevas y que permiten catalogarlas como Bienes de Interés Cultural. Por un lado, son bienes relacionados con la historia y cultura de Asturias (artículo 1.2) y por otro, son elementos geológicos de interés por su relación con la historia del hombre y sus orígenes (artículo 1.3). En Asturias existen más de 30 cuevas prehistóricas. De ellas, sólo cinco (Tito Bustillo, Pindal, La Loja, Candamo y El Buxu) están abiertas al público, con mayor o menor restricción al acceso de visitantes.

Hasta el momento, en las cuevas prehistóricas de Asturias se han realizado diversos estudios geológicos y ambientales. Entre ellos se puede señalar la realización de trabajos relativos a la descripción geológica, estructural y geomorfológica (Alonso et al., 1999; Jiménez-Sánchez et al., 2000; Foyo Marcos et al., 2003; Jiménez-Sánchez et al. 2004a, 2004b), estudios hidroquímicos y de conservación ambiental como indicadores de impacto de visitas y usos del territorio (Hoyos Gómez et al., 1998; Jiménez-Sánchez et al. 2002; Liñán et al., 2004; Stoll et al. 2005), de paleoclimatología y geocronología (Jiménez-Sánchez et al. 2006) así como estudios complementarios de investigaciones arqueológicas (Hoyos Gómez, 1981).

Como es bien conocido, entre las tareas que es necesario llevar a cabo para abordar un inventario de Patrimonio

Geológico en un área determinada, los mapas geológicos y geomorfológicos constituyen un elemento imprescindible y básico. En una cueva es algo menos común desarrollar este tipo de trabajos. De hecho, clásicamente, la mayor parte de los estudios en cuevas se han sustentado en mapas y perfiles espeleológicos (White, 2000). Sin embargo, en los últimos años, la investigación en cuevas ha mostrado el interés de la elaboración de mapas geomorfológicos como herramientas útiles para mostrar la distribución espacial de las formas endokársticas (Jiménez-Sánchez et al., 2004a 2005; Arrese et al., 2005).

Desde finales de los 90, la investigación realizada en cuevas de Asturias ha incluido la realización de este tipo de mapas como herramientas básicas para desarrollar otros tipos de estudios en las cavidades. El trabajo más reciente se llevó a cabo en 2003 en relación con un convenio de colaboración entre la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias y la Universidad de Oviedo, que tenía como fin el desarrollo de un mapa geomorfológico de la Cueva de Tito Bustillo como base para un estudio geotécnico que sería desarrollado por la Universidad de Cantabria. El resultado fue un mapa detallado que podría servir como base para otro tipo de estudios a desarrollar en la cavidad, tales como inventarios de Patrimonio Geológico (Jiménez-Sánchez et al., 2004c). Por este motivo, el objetivo de este trabajo es presentar la metodología desarrollada para elaborar mapas geomorfológicos en la Cueva de Tito Bustillo, que puede servir como referencia para la realización de inventarios de Patrimonio Geológico en esta y otras cuevas turísticas.

### Marco geográfico y geológico

La Cueva de Tito Bustillo se sitúa en las proximidades de la población de Ribadesella y se enclava dentro del sistema kárstico de la Sierra de Ardines (Fig. 1). Esta cueva, descubierta en 1968, fue abierta en 1969 al público para uso turístico por el gran interés del arte rupestre que presenta.

La cueva tiene un recorrido horizontal de unos 600 m en su sector habilitado para la visita, al que hoy se accede mediante un túnel artificial abierto en 1970 por el Patronato de Cuevas Prehistóricas de Asturias. Este túnel se sitúa en el sector más oriental de la Cueva, posee una longitud de 165 m y enlaza con una galería de unos 600 m de longitud que presenta una orientación variable (Figs. 1 y 2). El tramo localizado más al sur presenta una longitud de 60 m y una orientación aproximadamente N-S. A partir de éste, la galería se bifurca en dos ramales de orientaciones respectivas NO-SE a NE-SO, donde se ubica el Gran Panel (Sala del Gran Panel), y

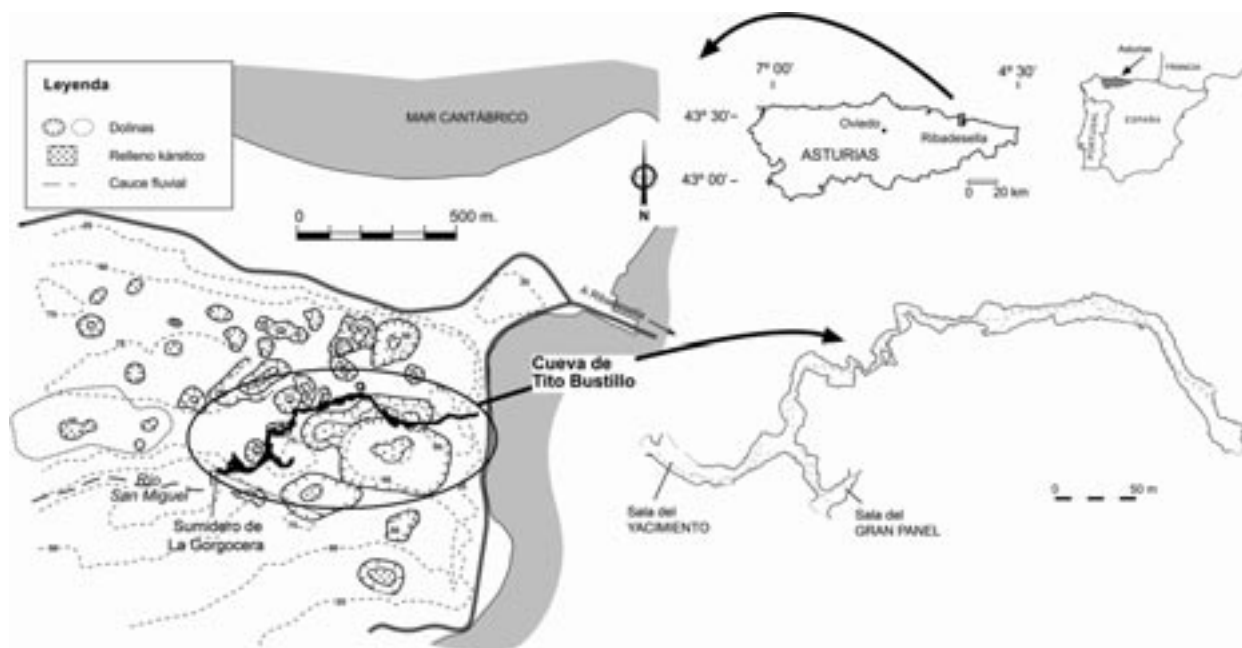


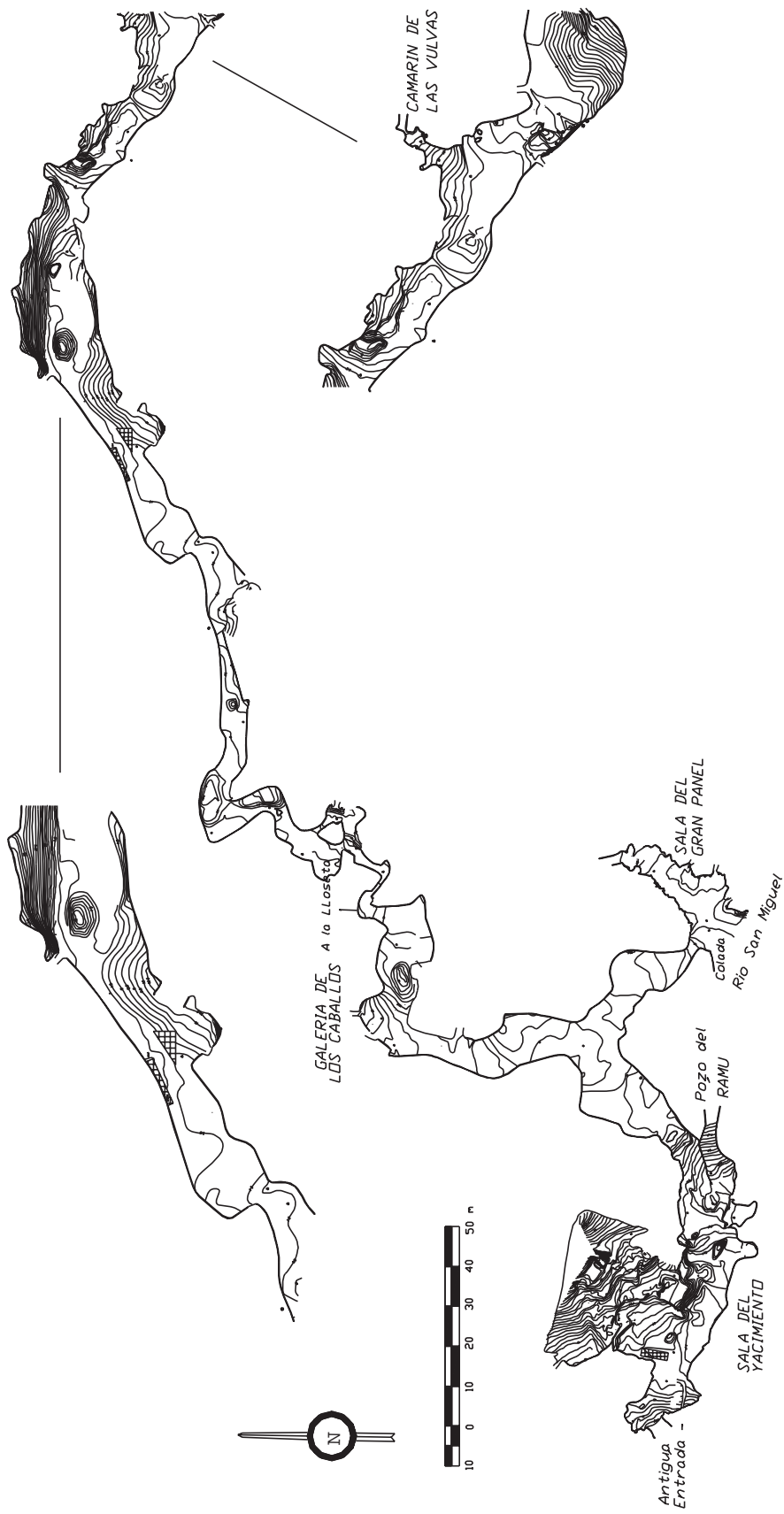
Figura 1. Situación de la cueva de Tito Bustillo en el contexto de la Sierra de Ardines (Ribadesella, Asturias).

otro de orientación NE-SO a NO-SE, donde se sitúa el Yacimiento Arqueológico principal de la cueva (Sala del Yacimiento). Las características geológicas generales del entorno de la Cueva de Tito Bustillo (Macizo de Ardines) aparecen descritas en trabajos de índole regional, que incluyen aspectos estratigráficos y tectónicos de la zona (Navarro y Leyva, 1986, Marquínez, 1987). Cabe señalar además el trabajo de Alonso et al. (1999), que recoge aspectos más detallados en relación con la geología del entorno con el fin de evaluar el control estructural de la Cuevona, localizada igualmente en el Macizo kárstico de Ardines. Desde el punto de vista geológico, esta zona se sitúa en la Región de Pliegues y Mantos (Julivert, 1967). El macizo kárstico de Ardines está modelado en calizas carboníferas que han sido consideradas como pertenecientes a las Calizas de la Escalada (Van Ginkel, 1965; Navarro y Leyva, 1986) o como Calizas del Cuera (Marquínez, 1987). Se trata de calizas bioclásticas de coloración blanco-grisácea a rosada, masivas, en bancos métricos, que hacia la base presentan niveles margosos. Desde el punto de vista estructural, destaca la presencia de tres importantes fracturas: la Falla de Ribadesella (Alonso et al., 1999), de dirección E-O a ESE-ONO, un cabalgamiento de dirección E-O a ENE-OSO que delimita el Macizo de Ardines por el Sur, y la Falla de la Cueva, de orientación NO-SE a NNO-SSE.

Desde el punto de vista geomorfológico, las características generales de la cueva y de su entorno han sido tratadas detalladamente en diferentes trabajos tanto regio-

nales, concernientes a las rasas costeras (Flor, 1983; Mary, 1983) como específicos de la cueva (Hoyos Gómez et al. 1996; Alonso et al., 1999; Jiménez-Sánchez et al., 2004a, 2004b). El modelado del Macizo de Ardines se caracteriza por la presencia de formas de origen marino, de gravedad y kársticas. La superficie culminante del macizo kárstico de Ardines es una rasa desarrollada en torno a los 70-80 m de altitud (Hoyos Gómez et al., 1996), limitada al Norte por un escarpe en el que es posible reconocer evidencias de la actuación de procesos de gravedad.

Sin embargo, los procesos que han condicionado especialmente la evolución geomorfológica reciente del Macizo son los kársticos, que han dado lugar a distintas manifestaciones tanto exokársticas como endokársticas, entre las que se encuentra la Cueva de Tito Bustillo. En lo que respecta al exokarst, se distinguen dolinas subcirculares (20-60 m de diámetro), elípticas (170-300 m de diámetro máximo) y formas complejas, asimilables a uvalas incipientes que pueden presentar formas elongadas, subcirculares o lobuladas con mayor o menor desarrollo de formaciones residuales arcillosas, que definen manchas con planta elíptica a subcircular (Fig. 1). Finalmente, uno de los rasgos más marcados de la zona es el valle ciego del río San Miguel, que tiene como nivel de base el sumidero de la Gorgocera, localizado a 30 m de cota y con una cuenca superficial de 9,6 km<sup>2</sup> (Fig. 1) Este río, tras recorrer subterráneamente la cavidad, constituyendo parte del nivel activo de la misma, desemboca en la Ría de Ribadesella en las inmediaciones de las ins-



**Figura 2.** Mapa topográfico a escala 1:250 utilizado como base para el estudio (Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias).

**Tabla I.** Modelo de ficha de toma de datos. Elementos considerados en el inventario y descripción de rasgos kársticos.

1. Formas fluviokársticas y dinámica fluvial	Erosión (sumideros, simas, canales de circulación efímera, secciones longitudinales y transversales de conductos, roof pendants, flutes) Sedimentación: depósitos detríticos Evidencias de paleocrecidas
2. Formas de gravedad	Desprendimientos rocosos Otros movimientos en masa Coluviones
3. Formas de precipitación química (ESPELEOTEMAS)	Formas de goteo (dripstone) Formas asociadas a flujo de agua (flowstone) Otras formas Formas complejas
4. Formas antropogénicas y biogénicas	Zonas de intervención arqueológica Depresiones antropogénicas Acumulaciones y rellenos Escombrera de ocre Otros: guano
5. Aspectos geológicos	Tramos de afloramientos rocosos y tipo de litología Evidencias de discontinuidades relevantes Fracturas y alineaciones deducidas de elementos geomorfológicos

talaciones de la cueva. En cuanto al endokarst, los trabajos geomorfológicos desarrollados previamente en la cavidad describen formas fluviokársticas, de gravedad, de precipitación química, biogénicas y antropogénicas (Jiménez Sánchez et al., 2004a). En este mismo trabajo se estableció que el desarrollo de la estratificación (buzando 14-65° hacia el S-SO) y de dos fracturas principales, (N140E, principalmente vertical y N20E-N70E, buzando 30° hacia el SE) serían los condicionantes principales del origen de la cavidad.

### Metodología de trabajo

Para la realización de este trabajo, se ha partido de la existencia de una base topo-espeleológica de detalle a escala 1:250, suministrada por la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias en formato digital (Fig. 2). Con el fin de facilitar la labor cartográfica, el mapa fue dividido en 24 tramos diferentes, en los que se tomaron los datos de modo secuencial. La metodología de trabajo desarrollada incluye las siguientes fases:

1. Diseño de una ficha de toma de datos e inventario sistemático de las características geomorfológicas existentes en el endokarst, incluyendo tanto formas de erosión como formas de depósito. La ficha se presenta en la Tabla I. Los datos reflejados en la ficha servirían posteriormente para la elaboración de la leyenda del mapa geomorfológico. Las formas kársticas han sido caracterizadas atendiendo a los criterios establecidos entratados generales como el de Ford y Williams (1989) y entrabajos de carácter específico como el de Durán et al. (2000). En algunos términos, que están bien definidos y

son bien conocidos en inglés, se respeta la denominación original, mientras que en otros se ha optado por utilizar términos frecuentes en el lenguaje espeleológico.

2. Definición de la leyenda del mapa geomorfológico. De acuerdo con criterios genéticos, la leyenda recoge cinco grupos de formas kársticas: fluviokársticas, de gravedad, de precipitación química, antropogénicas y biogénicas. La leyenda completa se presenta en la Figura 3, incluyendo además otros rasgos geológicos relevantes, tales como la presencia de fracturas importantes y la presencia de áreas de afloramiento rocoso.

3. Delimitación de la posición y extensión de las distintas formas y elementos geológicos del sustrato de la cueva sobre la base topográfica a escala 1:250. Para ello se utilizó una brújula y un distanciómetro láser. Evidentemente, debido a las características geomorfológicas de las cavidades, solamente se pueden realizar proyecciones a escala de los distintos elementos existentes en el piso de la cueva, que son los que mayor representación alcanzan en la cartografía. No obstante, dada la importancia de otros elementos existentes en las paredes de la cavidad (por ejemplo, paleoconductos y formas de precipitación química), se consideró oportuna la representación de su proyección aproximadamente en la vertical del punto donde se ubican, con un ligero abatimiento hacia el exterior. También se señaló su extensión lateral, mediante distintas tramas y colores, configurando distintos sectores en cada tramo de estudio. En lo que respecta al techo, en cada tramo se han realizado observaciones puntuales, que carecen de representación cartográfica, dadas las dificultades que esto supone.

4. Digitalización de la información geomorfológica y estructural y transferencia de la misma, junto con la información topográfica al Sistema de Información Geográfica ArcInfo (versión 8.2). Para ello se utilizó un formato vectorial, referenciando el mapa mediante el empleo de coordenadas UTM. Las líneas y polígonos derivadas de cada grupo de rasgos cartográficos fueron etiquetadas y codificadas.

5. Tratamiento de la información con el Sistema de Información Geográfica. Esto incluye el cruce, mediante el empleo del SIG, de los mapas topográfico y geomorfológico, la obtención de parámetros cuantitativos relativos a la distribución espacial de cada grupo de formas representadas y la elaboración de modelos de pendientes e histogramas de distribución.

### Resultados y discusión

El mapa geomorfológico realizado con estos criterios se presenta en la Figura 3. En ella se pueden ver la distribución de los tramos establecidos para facilitar el estudio de la cueva algunos detalles de los mismos ampliados. La identificación de los 24 tramos establecidos dentro de la cueva se lleva a cabo mediante la letra T seguida del número de tramo correspondiente. El mapa de la Figura 4 presenta la relación espacial existente entre las fracturas detectadas en la cavidad y la distribución de las distintas formas representadas.

#### *El mapa geomorfológico: distribución espacial de las formas endokársticas*

El uso del SIG ha permitido tratar toda la información conjuntamente, así como el establecimiento de variables cuantitativas. La distribución de las superficies relativas (expresadas en porcentajes) ocupadas por cada grupo de formas se presenta en el histograma de la Figura 5. El total de la superficie cartografiada en el piso de la cueva alcanza 6931,10 m<sup>2</sup>, de los cuales, sólo el 1,9% corresponde a afloramientos rocosos.

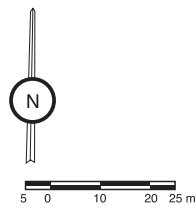
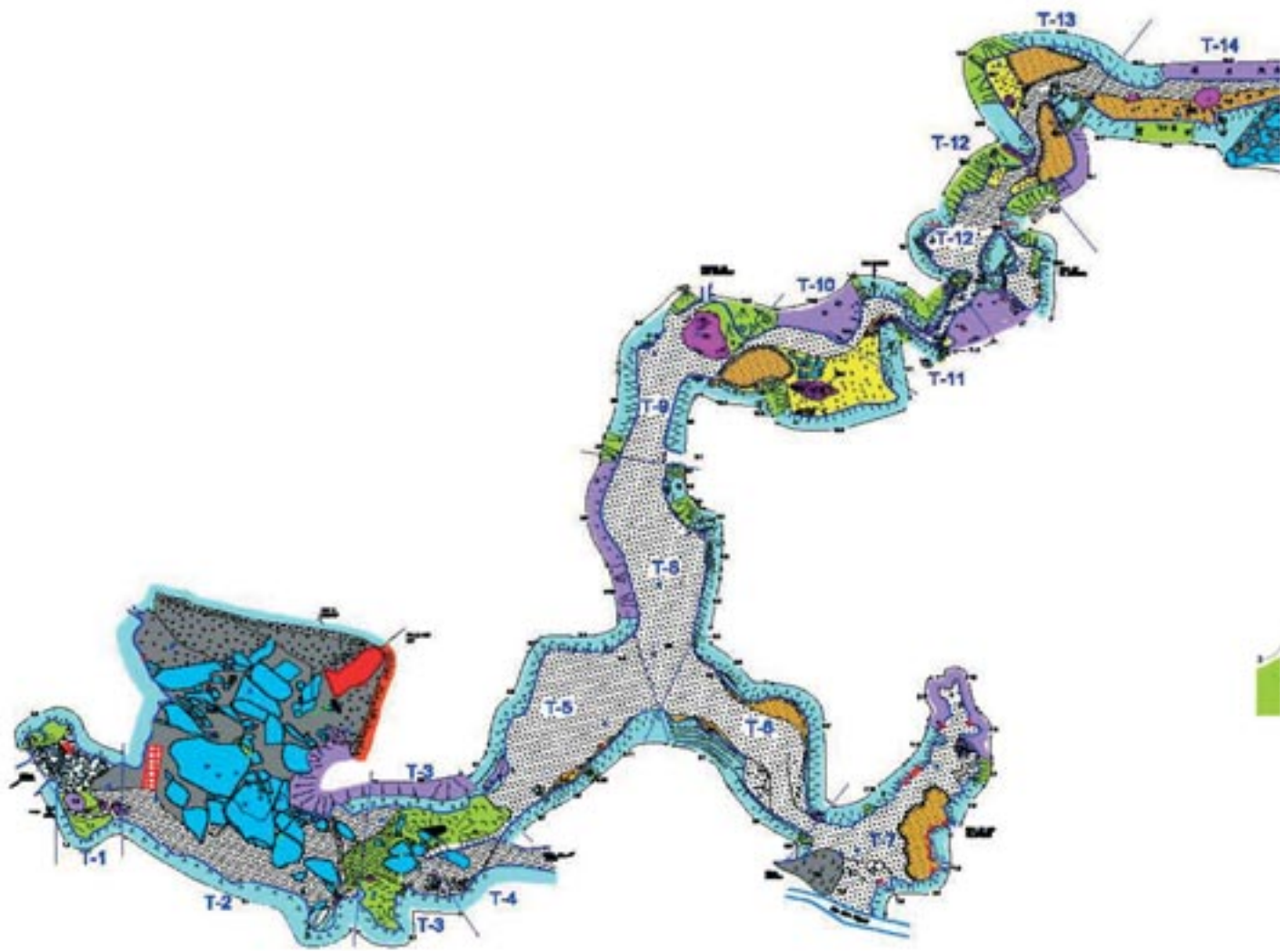
*Formas fluviokársticas:* Las formas fluviokársticas incluyen tanto formas de erosión como de depósito. Entre ellas se ha reconocido y representado la existencia de surgencias, sumideros, simas, secciones transversales de conductos (libres y cegadas por espeleotemas), trazas longitudinales de conductos y evidencias de circulación en condiciones forzadas, que incluyen *flutes*, tubos, *roof pendants* y muescas y hendiduras de disolución. También se ha indicado en algunos puntos la presencia de conglomerados de origen fluvial. La mayor parte de estas formas se localiza en las paredes y en el techo de la cavidad, por lo cual su representación en el mapa se ha realizado de modo aproximado, con un ligero abati-

miento de su proyección hacia la parte exterior de las trazas de las paredes de la cueva (Fig. 3). Otro elemento a destacar entre este grupo de formas es el conducto hipogeo del río San Miguel, curso de agua activo en la cueva que atraviesa la cavidad presumiblemente en dirección ENE-OSO en el sector suroriental, por debajo de la cota de la Sala del Gran Panel. De modo general, en diversos puntos de la cueva (tramos 20 a 21) se han reconocido pequeñas depresiones cerradas, ocasionalmente con morfología alargada, que seguramente funcionan como sumideros tras épocas de inundaciones, encontrándose en la cartografía recogidas como simas. En el sector de la entrada, a través de estas oquedades, se han observado además evidencias de circulación de agua en sentido SO a NE por parte de pequeños canales localizados a unos 3 m por debajo del piso turístico de la cueva. Por otra parte, se han identificado marcas de arcilla asociadas a épocas de inundaciones que, aunque no han sido representadas en la cartografía, sí se reseñan en los apartados correspondientes.

Los sumideros han sido representados en aquellas zonas en las que se ha observado la existencia de canales carentes de continuidad (generalmente efímeros) que desembocaban en ellos, mientras que, como surgencias, se han catalogado aquellos puntos en los que afloraba el nacimiento de algún curso fluvial efímero, e incluso pequeñas cavidades que pueden haber funcionado como afloramientos de agua en tiempos recientes.

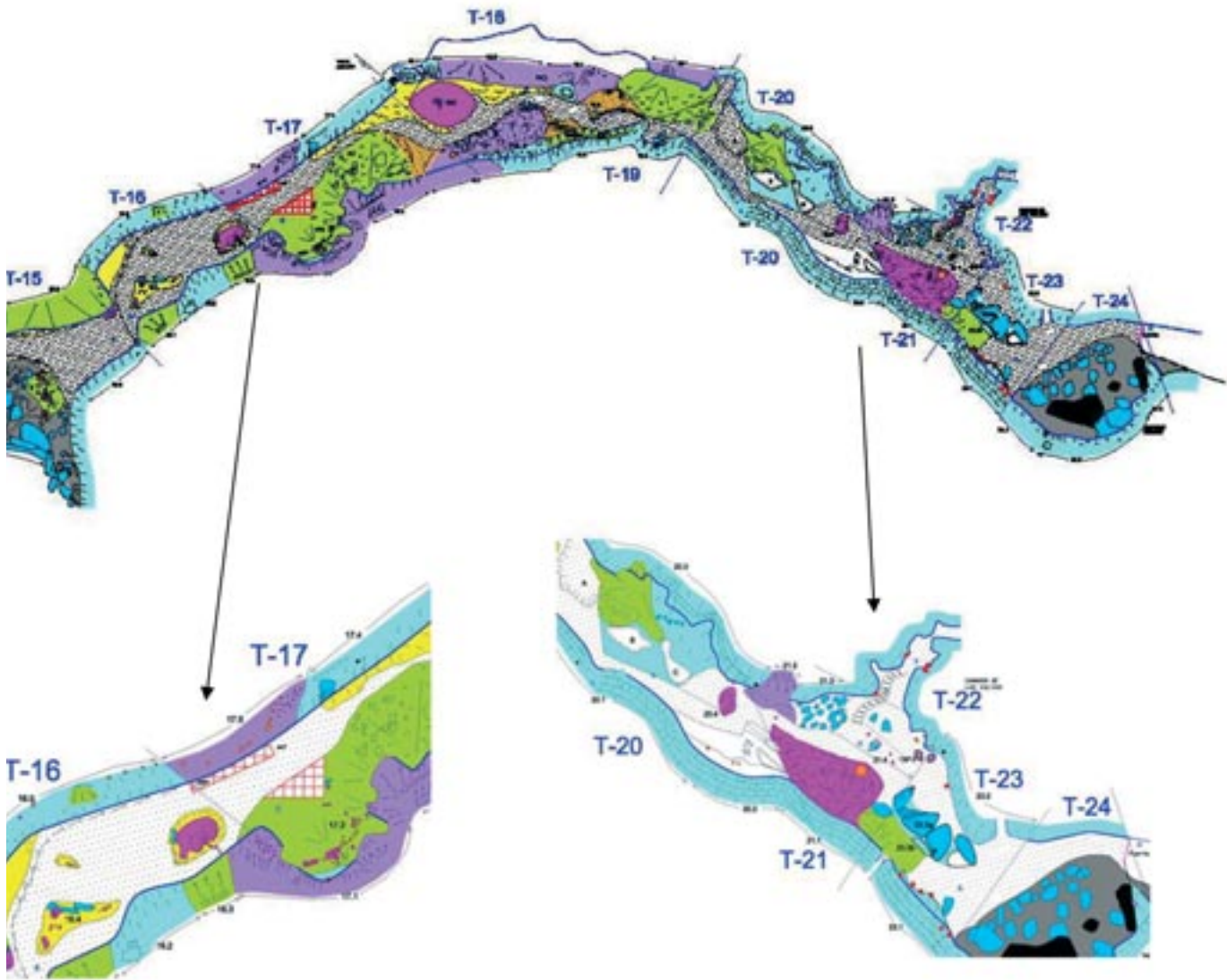
En cuanto a las estructuras de disolución en condiciones forzadas, se identifican *roof pendants* (retazos de caliza, generalmente con terminación abrupta y forma de pico), *flutes* (cavidades de disolución asimétricas), hendiduras y muescas (planos de discontinuidades ensanchados) y tubos (secciones longitudinales o transversales de conductos cilíndricos). También se ha indicado la presencia en las paredes de niveles tipo escalón o terraza, interpretados como secciones longitudinales de conductos subterráneos que, cuando tienen una cierta continuidad lateral, podrían estar asociados a paleo-pisos de cueva, definiendo los diferentes niveles de encajamiento del curso fluvial activo a lo largo de la historia de la cavidad.

Finalmente, en diversos puntos de la cueva aparecen depósitos fluviales. Tal como se ha podido observar en el tramo 10 (Fig. 3), estos depósitos están recubiertos por una colada estalagmítica con desarrollo de *gours*, que constituye la evidencia de un antiguo piso de la cavidad que se conserva en diversas partes de su sector nororiental, en concreto, los tramos 10 a 18. En otras zonas de la cueva (tramos 6, 7, 17, 18, 19) se han reconocido arenas y limos con laminación paralela y/o cruzada que evidencian un origen fluvial, pero que se encuentran retocadas por procesos antropogénicos, motivo por el cual se han incluido en el apartado de formas antropogénicas. Este



**Figura 3.** Mapa geomorfológico de la cueva y leyenda utilizada. Se puede apreciar la división de la cueva en los 24 tramos tomados como referencia para realizar la cartografía. Se muestra un detalle de dos sectores, formados respectivamente por los tramos 16-17 y 20 a 24.





## LEYENDA

### FORMAS FLUVIOKÁRTICAS:

#### EROSIÓN

- SURGENCIAS - CUEVAS
- MUESCAS DE DISOLUCIÓN
- SUMIDEROS
- SIMAS
- CANALES DE CIRCULACIÓN EFÍMERA
- SECCIÓN DE CONDUCTO
- SECCIÓN DE CONDUCTO CEGADO
- EVIDENCIAS DE CIRCULACIÓN EN CONDICIONES FORZADAS
- FLUTES
- TUBOS
- ROOF PENDANTS
- TRAZAS DE CONDUCTOS COLGADOS
- CONDUCTOS COLGADOS CERRADOS
- ACUMULACIONES DE GRAVAS Y CONGLOMERADOS

### FORMAS DE GRAVEDAD:

- ACUMULACIÓN DE BLOQUES
  - BLOQUES AISLADOS
  - MOVIMIENTOS EN MASA TIPO FLUJO
  - COLUVIÓN
- } DESPRENDIMIENTOS

### FORMAS DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA:

#### D RIPSTONE

- COLUMNAS
- ESTALAGMITAS

#### FLOWSTONE

- COLADAS LAMINARES
- MASAS ESTALAGMÍTICAS
- COLADAS
- CASCADAS
- GOURS
- FORMAS COMPLEJAS
- ESPELEOTEMAS SUPERFICIALES CORALIFORMES Y OTROS

### FORMAS ANTROPOGÉNICAS:

- ZONA DE INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA
- ESCOMBRERA DE OCRE
- DEPRESIONES
- ACUMULACIONES Y RELLENOS
- ACUMULACIONES Y RELLENOS (MIXTOS FLUVIAL-ANTRÓPICO)

### ASPECTOS GEOLÓGICOS:

- AFLORAMIENTOS DEL SUSTRATO ROCOSO
- PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES
- FRACTURAS O LINEACIONES DEDUCIDAS
- MARGAS
- BRECHA CALIZA CON MATRIZ DE OCRE

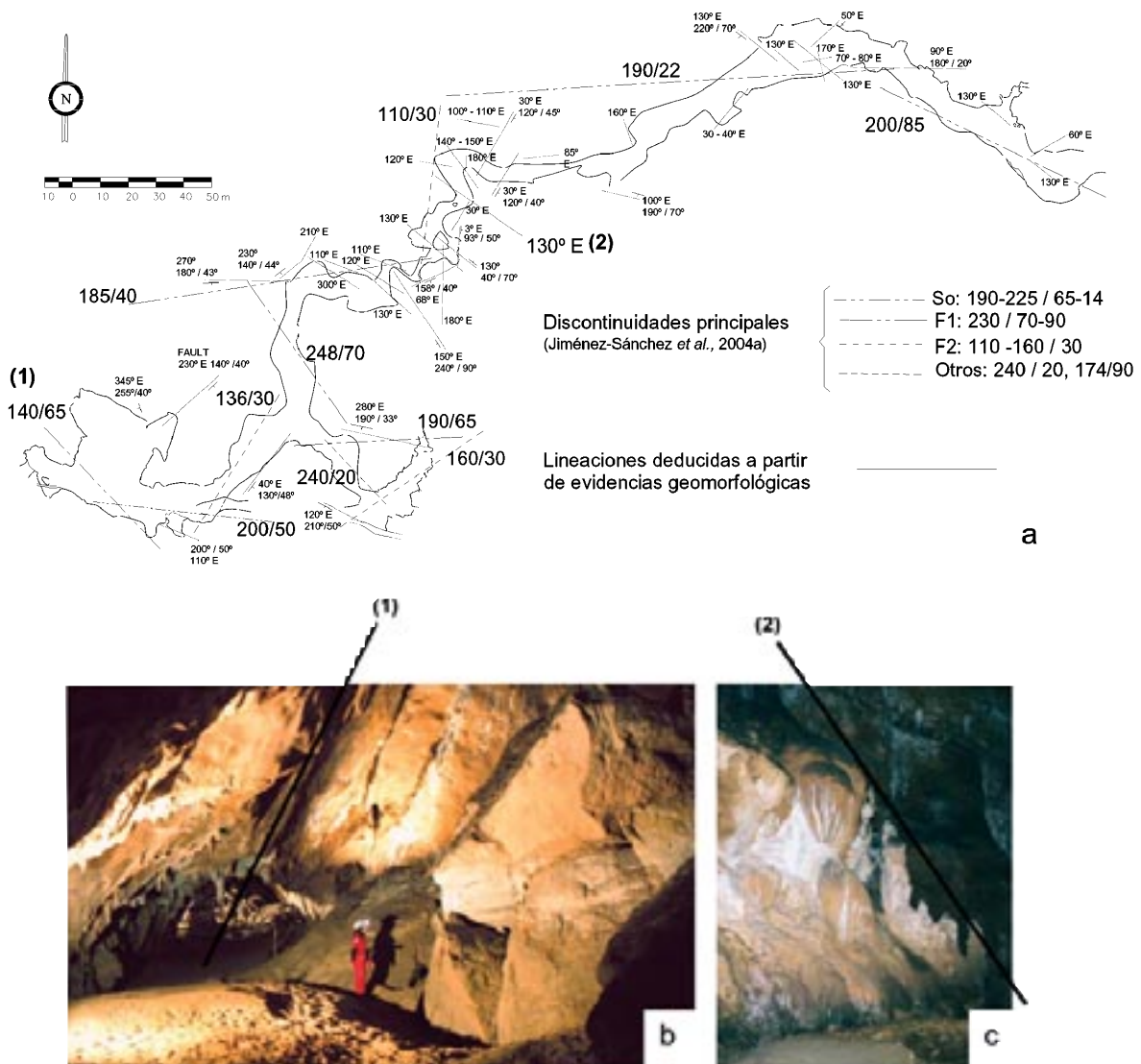
### FORMAS BIOGÉNICAS:

- GUANO

### OTRAS FORMAS:

- LÍMITE CUEVA
- ARTE / PINTURAS
- ESTACIÓN DE POLIGONAL
- ESCALERA





**Figura 4.** (a) Mapa estructural de la cueva, incluyendo la planta de la misma y la cartografía de las discontinuidades mayores identificadas en trabajos previos (Jiménez-Sánchez et al., 2004a) y otras deducidas posteriormente; (b) aspecto de la Sala del Yacimiento, con indicación de la presencia de una discontinuidad estructural de orientación 140/65, identificada en las figuras 4ay 4b como (1); (c) espeleotemas alineados (2) en el suelo de la cavidad, en relación con una discontinuidad estructural de dirección 130°E, que es visible en el techo de la cueva.

tipo de depósitos ocupa un 8,15% del piso de la cavidad (564,80 m<sup>2</sup>, ver Fig. 7).

**Formas de gravedad:** Las formas de gravedad incluyen en su mayoría desprendimientos rocosos. Su extensión superficial abarca 2351,79 m<sup>2</sup>, lo que supone un 33,93% de la superficie total del piso de la cavidad (Figs. 3 y 5). Los desprendimientos se presentan en forma de bloques aislados o bien de acumulaciones de bloques constituidas por fragmentos de caliza de tamaño decimétrico a métrico con morfología angulosa y disposición caótica. Ocasionalmente, el depósito involucra

también la aparición de estalagmitas rotas. Estos depósitos están presentes en la zona de acceso a la cavidad (tramo 24), aunque el más destacable es el existente en la Sala del Yacimiento, en el sector suroccidental de la cueva, constituido por bloques de caliza de tamaño incluso decamétrico, fosilizados en algunos puntos por espeleotemas (Fig. 4). Entre los factores que condicionan la génesis de este desprendimiento se encuentra la intersección de una falla de orientación 140/40 y una capa margosa de orientación 255/40. Asociado a la falla se observa el desarrollo de una

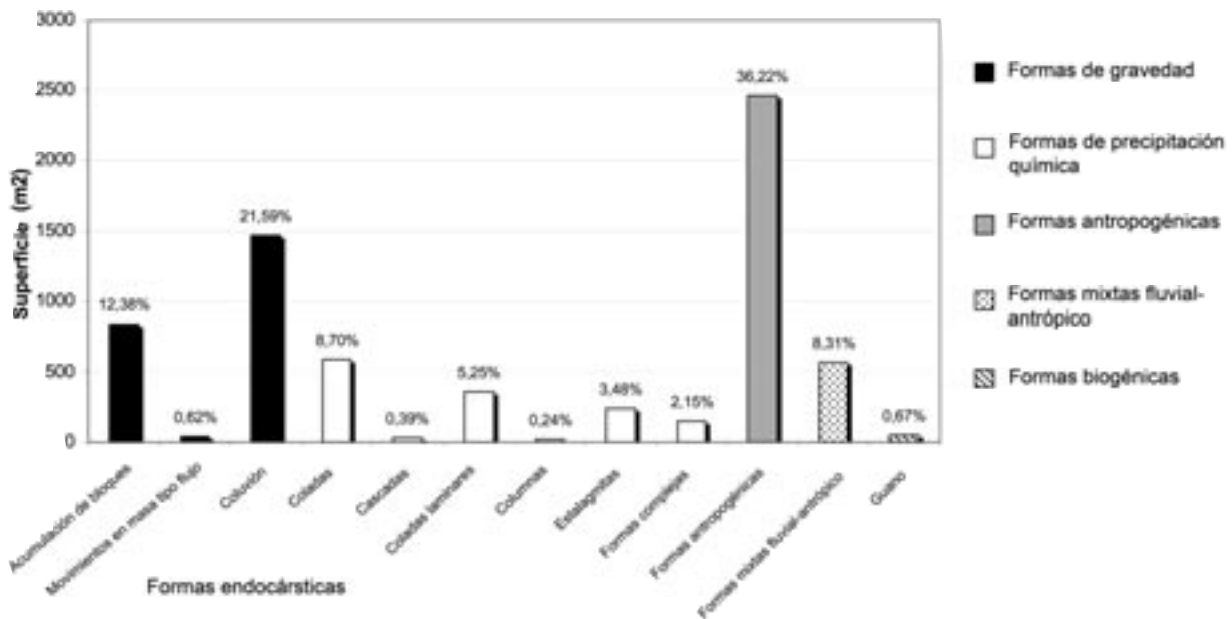


Figura 5. Histograma de distribución en valores absolutos y porcentajes de cada grupo de formas representadas en el mapa.

brecha de falla con cantos de tamaño centimétrico con una matriz arcillosa rojiza.

Existen evidencias puntuales de la actuación de otro tipo de procesos. Así, en la Sala del Gran Panel (tramo 7) se ha identificado un movimiento en masa de tipo flujo, originado por inestabilidad de niveles margosos dentro de la Caliza de la Escalada. El resto de los materiales de gravedad identificados en la cueva se han representado en la cartografía bajo la denominación genérica de *coluvión*.

**Formas de precipitación química:** Las formaciones derivadas de procesos de precipitación química son las que afloran en la mayor parte del mapa. Las formas de precipitación química han sido subdivididas, atendiendo a un criterio genético, en tres grupos, siguiendo los criterios, con algunas modificaciones, de Ford y Williams (1989), Durán et al. (2000) y Jiménez-Sánchez et al. (2004a). Su cartografía se ha llevado a cabo representando sobre la topografía una proyección vertical del contorno de los espeleotemas (Fig. 5). El 19,83% de la superficie del piso de la cavidad (1374,39 m<sup>2</sup>) está ocupado por este tipo de formas (Fig. 7).

**Formas de goteo (*dripstone*):** entre ellas se han distinguido estalactitas, estalagmitas y columnas, destacándose en el mapa la situación de las más representativas. El ejemplo más llamativo de columna se encuentra en la zona de entrada a la Galería Larga (tramo 21). La presencia de estalactitas excéntricas en las proximidades

del acceso a la Galería de los Caballos es otro aspecto interesante a destacar.

**Formas asociadas a flujo de agua (*flowstone*):** entre ellas aparecen coladas, cascadas, masas estalagmíticas y *gours*. Dos ejemplos a destacar se encuentran en el tramo 19: uno de ellos conocido como *el litófono* constituye un ejemplo de una pequeña cascada asociada a un antiguo piso de cueva, desarrollado a favor de una discontinuidad en la pared sur de la cueva, y la gran colada localizada en este mismo tramo, en la pared norte.

**Formas complejas:** corresponden a agrupaciones de espeleotemas de génesis muy variada, como las asociaciones de formas presentes en las paredes de los tramos 2-3, al este de la Sala del Yacimiento, o en la zona norte de la Sala del Gran Panel (tramo 7). Aunque no se han representado cartográficamente por motivos de escala, se pueden distinguir sobre el terreno otros espeleotemas, generalmente asociados a las formas complejas, o que constituyen formaciones de carácter muy superficial en las paredes, y que incluyen formas tales como banderas, medusoides, formaciones botroidales, formas tipo coliflor, precipitados coraliformes y parches de espeleotemas peliculares.

**Formas antropogénicas y biogénicas:** Entre las formas de origen antrópico reconocidas en la cavidad se encuentran las zonas de intervención arqueológica existentes en la cueva, cuya ubicación exacta ya había sido

reflejada previamente en la base topográfica de partida. A ellas se incorporaron las distintas formas derivadas del acondicionamiento turístico de la cavidad, entre las que aparecen depresiones excavadas en distintos puntos de la cueva, afectando tanto a las formaciones detríticas infrayacentes como a los espeleotemas que las recubren. Asimismo, en otros puntos se han identificado acumulaciones y rellenos, particularmente los utilizados para acondicionar el camino que siguen los visitantes. Se han incluido aquí además un conjunto de rellenos de origen mixto, que involucran depósitos fluviales, generalmente retocados por la participación de procesos antrópicos. Finalmente, en este apartado se ha incluido una acumulación de material arcilloso rojizo, interpretada por los arqueólogos como una escombrera de ocre (Balbín Behrman et al., 2003) y que también aparecía en la base topográfica utilizada (Fig. 3). Su origen está probablemente en la explotación del ocre asociado a la matriz de la brecha de falla descrita en el apartado concerniente a las formas de gravedad.

En conjunto, las formas antrópicas constituyen el 35,53% del piso de la cavidad (2462,82 m<sup>2</sup>). Por otra parte, se han cartografiado las acumulaciones de guano identificadas en el sector oriental de la cavidad, que en ocasiones alcanzan una extensión significativa, llegando a formar el 0,66% del total del piso de la cavidad (Fig. 5).

#### *Aspectos geológicos*

En el mapa final se han incluido también aspectos relativos a la litología y estructura del sustrato. Así, se señala la litología del sustrato, predominantemente calcárea, así como la presencia de capas de margas y de brechas con matriz de ocre. En el mapa se ha señalado la posición de las discontinuidades principales, ya identificadas en trabajos previos (Jiménez Sánchez et al., 2004b), junto con otras evidencias estructurales menores, algunas de ellas asociadas a la presencia de espeleotemas alineados (Fig. 6). En estos casos, en el techo de la cavidad se han detectado áreas de estalactitas alineadas con goteos activos, cuya orientación es coherente con las de otras discontinuidades detectadas en la cavidad, lo que permite inferir razonablemente su asociación con fracturas o diaclasas. En ocasiones, se aprecian alineaciones de estalagmitas en la base de la cavidad. Su orientación, también coherente con las de las discontinuidades anteriormente descritas, permite sugerir que su origen está asociado también al goteo de agua a favor de planos de fracturas en el techo de la cavidad, aunque estas fracturas hayan sido posteriormente selladas por procesos de precipitación de espeleotemas.

#### *Utilidad del mapa geomorfológico en estudios de Patrimonio Geológico*

Desde el punto de vista metodológico, podemos destacar que el mapa geomorfológico muestra, de manera exacta, la distribución espacial de las distintas formas representadas en el piso de la cavidad y su relación con fracturas y/o con la litología del sustrato, constituyendo, por tanto, una tarea básica en el inventario de formas en cavidades.

Por otra parte, el empleo del SIG permite el manejo de los datos con el establecimiento de variables cuantitativas. La más sencilla es la distribución porcentual de las distintas formas del sustrato, representada en forma de histograma en la Figura 5.

A partir de estos datos deducidos del mapa geomorfológico, se puede proponer la definición de un índice sencillo de impacto ambiental geomorfológico (*Iagc*), dado por la extensión relativa de las formas antrópicas expresada en porcentaje con respecto a la superficie total del piso de la cavidad. Este índice podría ser utilizado para definir el impacto ambiental derivado del acondicionamiento de cuevas turísticas en una escala de 0 a 100, de modo que:

**Iagc** = superficie de formas antrópicas/superficie total piso de la cavidad (%)

Iagc = 0 en cuevas no alteradas

Iagc = 100 en cuevas con un grado de alteración máxima

En el caso de la Cueva de Tito Bustillo, el análisis geomorfológico realizado demuestra que el 35,53% de la cavidad posee formas antrópicas, lo que significaría un *Iagc* de 35,53. No obstante, este índice se incrementaría hasta 43,68 si se considerara la presencia relativa de depósitos fluviales cuya área fuente son depósitos de relleno antrópicos, movilizados posteriormente por corrientes fluviales.

El cálculo de este sencillo índice en una secuencia temporal de mapas elaborada para la misma cavidad permitiría evaluar el impacto humano sobre el medio geomorfológico. Además, se podrían establecer comparaciones entre distintas cuevas turísticas, para lo que sería necesario realizar en ellas más estudios de impacto geomorfológico, que servirían como complemento de otros estudios ambientales, como los hidroquímicos y microclimáticos.

Por otra parte, se puede señalar que el método presenta algunas limitaciones, ya descritas en parte en trabajos previos (Jiménez-Sánchez et al., 2004b, 2004c). Así, la cartografía de formas y la cuantificación de índices se limita a los estudios realizados en la superficie del piso

de la cueva, dada las dificultades que existen para representar cartográficamente las formas representadas en el techo y las paredes.

### Conclusiones

La investigación desarrollada en la Cueva de Tito Bustillo muestra que los mapas geomorfológicos basados en el inventario detallado de los rasgos geomorfológicos de las cuevas constituyen una herramienta de utilidad en la descripción del endokarst, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. Estos mapas pueden ser útiles para establecer secuencias temporales de procesos y su relación con la evolución exokárstica y pueden ser considerados como una base para el desarrollo de investigaciones paleoclimáticas, estructurales e hidroquímicas.

La distribución espacial de las formas kársticas se muestra con claridad, pudiéndose combinar con otros rasgos geológicos, como la litología del sustrato o las discontinuidades.

La elaboración de estos mapas plantea algunas limitaciones, derivadas de la dificultad o imposibilidad de representar espacialmente las características geomorfológicas del techo y paredes de la cavidad, por lo que su utilización como herramienta de inventario de patrimonio geológico es más adecuada en cuevas con predominio de un desarrollo horizontal.

### Bibliografía

- ALONSO, J. L., GARCÍA-RAMOS, J. C. y GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. (1999): Control estructural de la cavidad kárstica "La Cuevona" (Ribadesella, Asturias). En: Andreo, B., Carrasco, F. y Durán, J. J. (Eds): *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*. Patronato de la Cueva de Nerja, 65-76
- ALONSO ZARZA, A., GIL PEÑA, I., MARTÍNEZ FLORES, E. y MUÑOZ BARCO, P. (2005): Cueva de Castañar. En: Muñiz Barco, P. y Martínez Flores, E. (Eds): *Patrimonio geológico de Extremadura. Geodiversidad y Lugares de Interés Geológico*. Junta de Extremadura. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, 99-111
- ARRESE, B., DURÁN, J. J. y LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2005): Interés de los estudios geomorfológicos de cavidades para la gestión de cuevas turísticas: aplicación a la Cueva de Nerja. En: Durán, J. J. (Ed.): *Primer congreso español de Cuevas Turística: "Cuevas Turísticas: aportación al Desarrollo Sostenible"*. Resúmenes. Asociación de Cuevas Turísticas de España (ACTE), 27.
- BALBÍN BEHRMANN, R., ALCOLEA GONZÁLEZ, J. J. y GONZÁLEZ PEREDA, M. A. (2003): El macizo de Ardines, un lugar mayor del arte paleolítico europeo. En: Balbín Behrmann, R. y Bueno Ramírez, P. (Eds.): *El arte prehistórico desde los inicios del siglo XXI. Primer Symposium Internacional de Arte Prehistórico de Ribadesella*. Asociación Cultural Amigos de Ribadesella, 91-151
- BAREA, J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., DURÁN, J. J. y ARRIBAS, A. (1998): El macizo kárstico de Tamajón (Guadalajara, Sistema Central): elementos geológicos singulares de interés patrimonial. En: Durán, J. J. y

Los mapas geomorfológicos del endokarst reflejan la distribución espacial de las distintas formas para un momento concreto. Por tanto, desde el punto de vista de la conservación de la cueva, constituyen un documento que indica cualitativa y cuantitativamente el grado de conservación de la cavidad, pudiendo ser útiles para establecer impactos sobre el medio endokárstico cuando se comparan secuencias temporales elaboradas para una misma cueva. En este sentido, el impacto humano sobre el medio puede ser evaluado cuantitativamente mediante el empleo de un índice sencillo, Iagc, propuesto en este trabajo y que se obtiene a partir del porcentaje de superficie de la cavidad afectada por actuaciones humanas.

### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del contrato CN-03-148 establecido entre la Universidad de Oviedo y la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias y titulado "Estudio geomorfológico de la Cueva de Tito Bustillo y su entorno". Agradecemos a Alberto Foyo y Carmen Tomillo, de la Universidad de Cantabria, la consideración de la importancia de los estudios geomorfológicos en los análisis de riesgo geológico en la cavidad. Asimismo, a Ignacio Alonso (Jefe de Servicio de Patrimonio de la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias), la agilidad en las tareas burocráticas. Finalmente, damos nuestras más expresivas gracias al responsable de la Cueva, Alfonso Millara y al personal de la misma, en especial a Santiago Calleja, por su amable asistencia durante las tareas de campo.

Vallejo, M. (Eds.): *Comunicaciones de la IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico*, 41-44.

CARRASCO, F., ANDREO, B., DURÁN, J. J., VADILLO, I. y LIÑÁN, C. (1998): La cueva de Nerja como elemento del patrimonio geológico andaluz. En: Durán, J. J. y Vallejo, M. (Eds.): *Comunicaciones de la IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico*, 51-55.

DURÁN, J. J. y ROBLEDO, P. (2002): Karst y Patrimonio Natural. En: Carrasco, F., Durán, J. J. y Andreo, B. (Eds): *Karst and Environment*. Patronato de la Cueva de Nerja, 261-266.

DURÁN, J. J., VALLEJO, M. y LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2000): Propuesta de una nueva clasificación de espeleotemas. *Geotemas*, 1 (3), 337-340.

DURÁN, J. J., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., RIVAS AREALES, A., ROBLEDO ARDILA, P. A. (2002): Las cuevas de la Cornisa Cantábrica: un paraíso subterráneo. En: Nucho del Rivero (Ed.): *Patrimonio Geológico de Asturias, Cantabria y País Vasco*. ENRESA, 528-560.

DURÁN, J. J., BAREA, J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., RIVAS, A. y ROBLEDO, P. (2004): Panorámica del Karst en España. En: Andreo, B. y Durán, J. J. (Eds): *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas subterráneas. IGME 12, 15-25.

FLOR, G. (1983): Las rasas asturianas: ensayos de correlación y emplazamiento. *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 13: 65-81.

FORD, D. AND WILLIAMS, P. (1989): *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman, 601 pp.

- FOYO MARCOS, A., SUÁREZ, J. L., TOMILLO, C. y SÁNCHEZ, M. A. (2003): Análisis previo de la relación entre la estructura geológica y el desarrollo del modelado cárstico en el Macizo de Ardines. Ribadesella. Asturias. En: Balbín Behrmann, R. y Bueno Ramírez, P. (Eds.): *El arte prehistórico desde los inicios del siglo XXI. Primer Symposium Internacional de Arte Prehistórico de Ribadesella*. Asociación Cultural Amigos de Ribadesella, 153-160.
- HOYOS GÓMEZ, M. (1981): Estudio geológico de la Cueva de las Caldas. En: Corchón, M. S. (1981): *Cueva de Las Caldas. San Juan de Priorio (Oviedo). Excavaciones Arqueológicas en España*. Dirección General de Bellas Artes, Archivos y Bibliotecas., 11-58.
- HOYOS, M., SOLER, V. CAÑAVÉRAS, J. C., SÁNCHEZ-MORAL, S. y SANZ-RUBIO, E. (1998): Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, Northern Spain). *Environmental Geology*, 33(4), 231-242.
- HOYOS GÓMEZ, M., SOLER JAVALOYES, V., CAÑAVÉRAS JIMÉNEZ, J. C., SÁNCHEZ MORAL, S. y SANZ RUBIO, E. (1996). *Memoria final sobre las características geológico-kársticas y microambientales de la Cueva de Tito Bustillo, Ribadesella*. Informe inédito. Consejería de Cultura del Principado de Asturias. 90 pp.
- JIMÉNEZ SÁNCHEZ, M., ANADÓN RUIZ, S., CANTO TOIMIL, N., MELÉNDEZ ASENSIO, M., y GONZÁLEZ PÉREZ, N. (2002): Caracterización hidroquímico-ambiental de la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias). En: Carrasco, F., Durán, J. J. y Andreo, B. (Eds.): *Karst and Environment*. Patronato de la Cueva de Nerja 529-537.
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., ANADÓN RUIZ, S., CANTO TOIMIL, N., FARIAS ARQUER, P., GARCÍA SANSEGUNDO, J. y GONZÁLEZ PÉREZ, N. (2000): *Estudio geomorfológico y ambiental de la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella)*. Informe inédito. Consejería de Cultura del Principado de Asturias. Universidad de Oviedo, 87 pp.
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., ARANBURU, A., MARTOS, E. y DOMÍNGUEZ-CUESTA, M. J. (2005): Geomorphological maps in caves: a research in Cantabrian Coast, Northern Spain. En: Gutiérrez, F., Gutiérrez, M., Desir, G., Guerrero, J., Lucha, P., Marín, C. y García-Ruiz, J. M. (Eds.): *6th International Conference on Geomorphology; Geomorphology in regions of environmental constraints. Abstract Volume.*, 226.
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., DURÁN, J. J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., MARTOS, E. y ARRESE, B. (2004a): Estudios geomorfológicos en cavidades kársticas de España. En: Andreo, B. y Durán, J. J. (Eds.): *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12: 333-349
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., ANADÓN-RUIZ, S., FARIAS, P., GARCÍA-SANSEGUNDO, J. y CANTO TOIMIL, N. (2004b): 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. y MARTOS, E. (2004c): *Estudio geomorfológico de la Cueva de Tito Bustillo*. Informe inédito. Consejería de Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias, 111 pp.
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., BISCHOFF, J., STOLL, H. y ARANBURU, A. (2006): A geochronological approach for cave evolution in the Cantabrian Coast (Pindal Cave, NW Spain). *Z. Geomorph. N. F., Suppl-Vol.* 147: 129-141.
- JULIVERT, M. (1967). La ventana del Río Monasterio y la terminación meridional del Manto del Ponga. *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 1: 59-76.
- LIÑÁN, C., CALAFORRA, C. M., CAÑAVÉRAS, J. C., CARRASCO, F., FERNÁNDEZ CORTÉS, A., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M. MARTÍN ROSALES, W., SÁNCHEZ MARTOS, F., SOLER, V. y VADILLO, I. (2004): Experiencias de monitorización medioambiental en cavidades turísticas. En: Andreo, B. y Durán, J. J. (Ed.): *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*, Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12: 385-429.
- MARY, G. (1983): Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 13: 3-35.
- MARQUÍNEZ, J. (1987): Estudio geológico del sector SE de los Picos de Europa (Cordillera Cantábrica, NO de España). *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 10: 295-308.
- NAVARRO, D. y LEYVA, F. (1986): *Mapa Geológico de España escala 1:50.000, hoja 31, Ribadesella*. IGME.
- REBOLLADA CASADO, E. y FERNÁNDEZ AMO, F. J. (2005): Cuevas de Fuentes de León. En: Muñiz Barco, P. y Martínez Flores, E. (Eds.): *Patrimonio geológico de Extremadura. Geodiversidad y Lugares de Interés Geológico* Junta de Extremadura. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, 131-135.
- RIVAS, A., CABEZAS, J., CARRASCO, F., DURÁN, J. J. y GONZÁLEZ-RÍOS, M. (2004): Las cuevas turísticas españolas: un recurso natural de gran interés ecológico, económico y social. En: Andreo, B. y Durán, J. J. (Eds.): *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12:367-384
- STOLL, H., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., AUER, T. y MARTOS DE LA TORRE, E. (2005): Variaciones temporales en la hidroquímica de goteos en la cueva del Pindal (Asturias, NO España). En: Durán, J. J. (Ed.): *Cuevatur. Primer congreso español de Cuevas Turística: "Cuevas Turísticas: aportación al Desarrollo Sostenible". Resúmenes*. Asociación de Cuevas Turísticas de España (ACTE), 38.
- VAN GINKEL, A. C. (1965): Carboniferous fusulinids from the Cantabrian Mountains. *Leidse Geol. Meded.*, 34: 1-225.
- WHITE, W. B. (2000): Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Modern Period, 1957 to Present. En: Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N. and Dreybrodt, W. (Eds): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society 39-43.