

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva turística de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón)

J. del Val ⁽¹⁾, J.J. Durán ⁽²⁾, B. Ballesteros ⁽³⁾ y J.C. López Gutiérrez ⁽²⁾

(1) ADOR CONSULTORÍA. Espronceda, 6. 41004 Sevilla.

(2) IGME. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

(3) IGME. Cirilo Amorós, 42. 46004 Valencia.

RESUMEN

El Proyecto del canal de trasvase del río Ebro, en uno de sus tramos, discurría próximo a la surgencia relacionada con el sistema kárstico de la cueva de Sant Josep, situada al oeste de la localidad de Vall d'Uixó (Castellón). La cavidad, desarrollada sobre materiales carbonáticos del Trías medio, presenta desde hace años un importante uso turístico, aprovechándose también el agua del manantial como abastecimiento complementario de la localidad. Para el adecuado análisis de los posibles impactos del Proyecto de trasvase sobre la cueva y el sistema, se procedió a su caracterización geológica e hidrogeológica, incluyendo la definición espacial y la ubicación de la cueva en superficie mediante técnicas de radiolocalización. Las distintas alternativas constructivas y de trazado del Proyecto se evaluaron sobre una zonificación territorial que establece cuatro niveles: la propia cavidad, su área inmediata, el área de drenaje preferencial del sistema kárstico y, finalmente, los afloramientos carbonatados del conjunto del acuífero kárstico. Los impactos potenciales son debidos, principalmente, a las posibles afecciones sobre el medio hídrico (por contaminación física o química de las aguas y por modificación de los flujos subterráneos), a la estabilidad mecánica de la cavidad y sus formaciones, y al uso turístico de la cueva. Se diseñó un conjunto de medidas protectoras que tienen como ámbito territorial al conjunto de la cuenca hidrogeológica del sistema kárstico, así como al área que por escorrentía superficial contribuye a la alimentación del mismo, si bien algunas de estas medidas protectoras hacen referencia específica a la zonificación territorial establecida.

Palabras clave: canal de trasvase del Ebro, Cueva de Sant Josep, impacto ambiental, radiolocalización, Vall d'Uixó

Environmental impact assesment of a lineal public work in Sant Josep tourist cave (Vall d'Uixó, Castellón, Spain)

ABSTRACT

One of the canal strechts to the transfer Ebro river Project was located close to the Sant Josep cave, in the west of Vall d'Uixó town (Castellón province, Spain). The cave, developed on carbonatic materials (middle Triassic), is an important turist resource. In addition, its spring is used as water supply. A geological and hydrogeological survey of the area has been made, in order to the environmental impact assesment of the several constructive options of the canal Project in the cave and in the karstic system. Also a radiolocation to located the cave in surface and a territorial zoning have been included. This territorial zoning intoduce four levels: the cave, the near area, the preferential drain area of the karstic system and the carbonatic outcrop of the karstic aquifer. The main impacts are due to the possible water affections, the cave stability and the speleothems, as well as in the turist use. The protecting measures are refered to the groundwater and surface waters basins, with particular specifications to the territorial zoning established.

Key words: *environmental impact assesment, radiolocation, Sant Josep Cave, transfer Ebro river, Vall d'Uixó*

1. Introducción

El Proyecto de transferencias de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, tenía como objetivo el trasvase de recursos hídricos desde el Bajo Ebro hasta la provincia de Almería, pasando por las Comunidades Autónomas de Valencia y Murcia.

En las inmediaciones de la localidad de Vall d'Uixó (Castellón), las distintas alternativas de trazado de las infraestructuras del trasvase atravesaban la Sierra de Espadán mediante un túnel de unos 6 kilómetros de longitud y, tras cruzar el río Belcaire (a través de una estructura elevada, bien en acueducto, bien en portasifón), continuaban hacia el Suroeste a través de la Sierra de la Pipa mediante otro túnel de unos 2.000 m de longitud. En este sector se localiza una importante surgencia de aguas subterráneas relacionada con el sistema kárstico de la cueva de Sant Josep, cueva cuya boca de entrada coincide con el manantial. El agua del manantial se utiliza para abastecimiento complementario de la localidad de Vall d'Uixó, mientras que la cavidad se encuentra explotada con fines turísticos por el propio Ayuntamiento de Vall d'Uixó a través de una concesión.

Como consecuencia del preceptivo procedimiento de impacto ambiental al que estuvo sometido el proyecto de trasvase del Ebro, la Declaración de Impacto Ambiental (hecha pública en noviembre de 2003 por la Secretaría General de Medio Ambiente, del Ministerio de Medio Ambiente) puso de manifiesto la necesidad de que las soluciones constructivas adoptadas para la realización de las obras del trasvase no produjeran ninguna afección directa a la cueva de Sant Josep, salvaguardando la cavidad y el manantial, sin impactos que alteraran significativamente el funcionamiento del sistema kárstico.

2. Objetivos y metodología

El objetivo fundamental de la investigación, realizada en el primer semestre de 2004, es evaluar la repercusión que las obras de construcción del canal del trasvase del Ebro, a su paso por el río Belcaire y la Sierra de Espadán, podrían tener sobre el sistema kárstico de la cueva de Sant Josep, con objeto de proceder a la selección de la alternativa más idónea y proponer las necesarias medidas protectoras y de posterior seguimiento y control.

El proceso ha consistido, en primer lugar, en el análisis de estas alternativas, tanto de sus trazados como de sus características constructivas, en relación con la cueva y el sistema hidrogeológico en que ésta se encuadra. Para ello se procedió a la caracterización geológica del entorno de la cavidad y de su contexto hidrogeológico, así como al reconocimiento de la cueva en su totalidad y a la localización de la misma en relación con el exterior con ayuda de técnicas de radiolocalización.

Posteriormente se consideraron los impactos potenciales del Proyecto en sus fases de investigación, construcción y explotación sobre el medio hídrico, sobre la estabilidad mecánica de la cavidad y sobre el uso turístico de la misma. Para precisar la posible afección de las distintas alternativas de trazado, se estableció una zonificación territorial en cuatro niveles que, de mayor a menor susceptibilidad, son: la propia cueva, su área

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

inmediata, el área de drenaje preferencial del sistema kárstico y los afloramientos carbonatados del conjunto del acuífero kárstico.

Finalmente, se establecieron las medidas protectoras, tanto generales para el conjunto del sistema kárstico como particulares para las distintas zonas establecidas.

3. Contexto y características hidrogeológicas

El sistema kárstico de Sant Josep constituye un acuífero, conocido también como acuífero de Azuébar, con una extensión superficial de unos 22 km². Se desarrolla principalmente sobre los materiales carbonáticos del Muschelkalk inferior y superior (Fig.1) estableciéndose un flujo en dirección O-E en sentido hacia la localidad de Vall d'Uixó, con piezometrías más elevadas en los sectores más occidentales (más de 370 m s.n.m.) hasta llegar a los 140 m

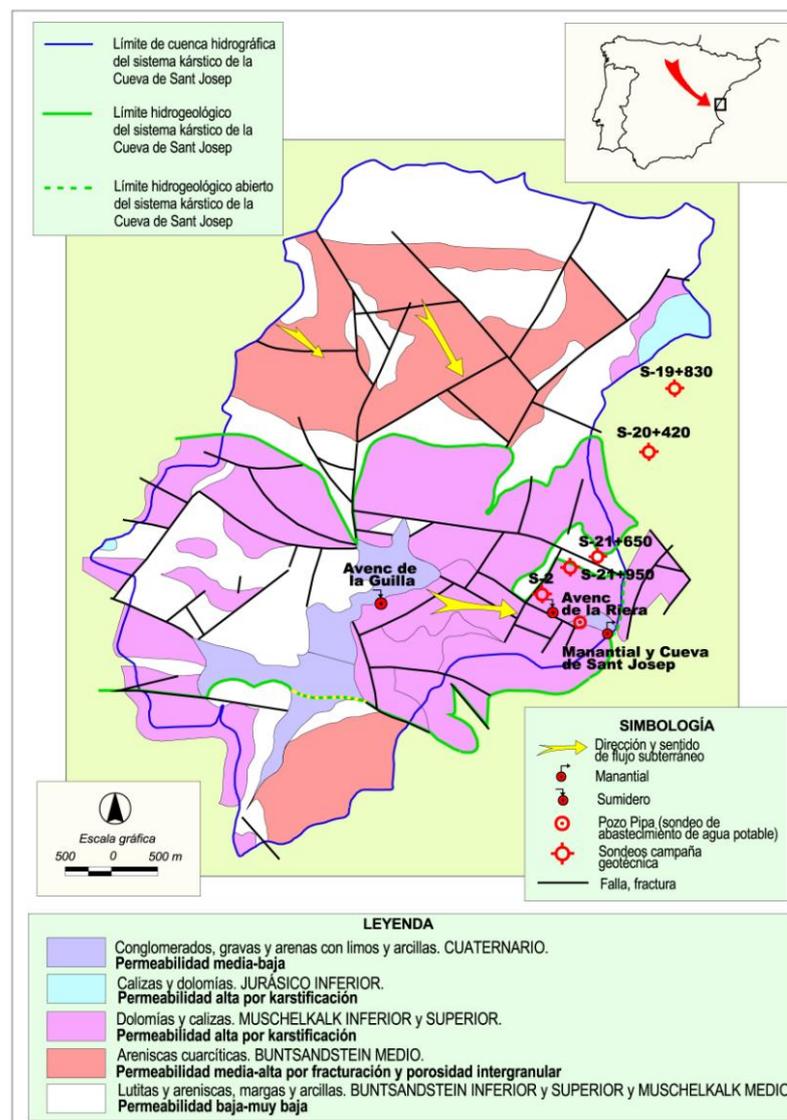


Figura 1. Mapa hidrogeológico del acuífero de Sant Josep

s.n.m. en que se sitúa el manantial de Sant Josep, principal punto de descarga del acuífero. Este alto gradiente hidráulico podría ser consecuencia de la importante fracturación presente en el área, que da lugar a una tectónica de bloques y a una compartimentación hidrogeológica con conexiones más o menos restringidas entre los distintos sectores (IGME y Diputación de Castellón, 1995).

La mayor parte de los recursos del acuífero proceden de la infiltración directa del agua de lluvia, así como de la originada a lo largo del lecho del río Belcaire, al que afluyen escorrentías superficiales provenientes de relieves impermeables adyacentes (Garay, 2003). Este aspecto se pone especialmente de manifiesto a través de la presencia de morfologías exokársticas (sumideros) en distintos puntos de la rambla. De hecho, el sumidero conocido como Avenc de la Riera, a unos 750 m al ONO del manantial de Sant Josep, en el mismo límite de la rambla con el macizo carbonatado, se presenta conectado espeleológicamente con la cavidad. El Avenc de la Guilla, a unos 2,5 km al O, está conectado hidráulicamente con la surgencia (y, por tanto, con el sistema kárstico), tal como se comprobó mediante la utilización de fluoresceína durante un episodio de crecida en septiembre de 1985 (Morell *et al.*, 1986).

El estudio de los datos pluviométricos, foronómicos e hidroquímicos mediante análisis de hidrogramas, de caudales clasificados, correlatorios, espectrales y de evolución físico-química del agua del manantial de Sant Josep (Esteller *et al.*, 1996), ha permitido establecer diferentes conclusiones sobre el sistema kárstico drenado por este manantial: escaso poder regulador de la franja no saturada del sistema, rápida circulación del agua en un sistema de baja capacidad inercial y aportes muy poco significativos procedentes de sistemas acuíferos anexos. Igualmente, la variabilidad de caudales del manantial apunta, en coherencia con el funcionamiento propuesto, la escasa capacidad de regulación del sistema y su fuerte dependencia de las precipitaciones. Así, el caudal drenado por el manantial en el periodo 1993-1994 fue de 0,95 hm³/año (IGME y Diputación de Castellón, 1995); sin embargo, para un periodo anterior de cuatro años hidrológicos (1985 a 1989), el caudal medio drenado fue de 5,98 hm³/año (equivalente a 189,6 L/s), con caudales mínimos para ese periodo de 19 L/s y un máximo de unos 12.000 L/s en la crecida del 4 de noviembre de 1987 (Garay, 2001).

El drenaje, tanto superficial como subterráneo, este último el principal, se concentra y organiza a lo largo de un eje central definido por el barranco o rambla de Belcaire y por la propia cueva (Garay, 2003).

4. La cueva de Sant Josep

La boca de acceso a la cueva de Sant Josep se localiza en la zona conocida como Paraje de San José, a 1 km al oeste del extremo occidental del núcleo de Vall d'Uixó y a unos 800 m al sureste del límite del Parque Natural de la Sierra de Espadán. Dicho Paraje, situado a ambos lados de la rambla de Belcaire, constituye una zona verde y de ocio, en la que prácticamente sólo existen las infraestructuras ligadas a la explotación turística de la cueva,

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

servicios adicionales (tiendas, bar, restaurantes, parking, aseos), instalaciones deportivas y zonas de picnic. Del Paraje parten varias rutas de senderismo adecuadamente identificadas.

La cavidad recibe la visita de unas 150.000 personas al año, convirtiéndola en la más visitada de Levante y con un puesto destacado entre todas las de España. Está recorrida por un curso de agua subterránea, que surge en el manantial de Sant Josep, junto a la entrada a la cueva. El recorrido turístico tiene unos 800 m, de los cuales unos 300 se realizan a pie (por la llamada Galería Seca) y el resto en botes, siendo una de las pocas cuevas turísticas de España que incluye un recorrido en barca por su interior (Fig. 2). El curso de agua está regulado por una pequeña presa, con lo que se mantiene el nivel para permitir su visita con las barcas. En épocas de intensas lluvias, la subida del nivel del agua obliga al cierre de la cueva. Dispone de iluminación eléctrica en todo el recorrido, habiéndose instalado también algunos ventiladores y diferentes elementos auxiliares (embarcaderos y pasarelas). La cueva es, por su desarrollo total (2.750 m), la segunda más grande de la Comunidad Valenciana.

En su sector más próximo a la boca de entrada, la cavidad se desarrolla a favor de un apretado sinclinal sobre el tramo inferior dolomítico del Muschelkalk (Formación Dolomías de Landete o Formación Dolomías de l'Oronet), próximo al contacto basal con el tramo superior del Buntsandstein (alternancia de argilitas y areniscas, Formación Limos y Areniscas de Eslida), desarrollándose posteriormente sobre el tramo superior carbonatado del Muschelkalk (Formación Dolomías y Calizas de Cañete, también conocida como Formación Dolomías de Cirat) (Garay, 2003).



Figura 2. Vista del embarcadero, inicio del recorrido turístico

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

Los espeleotemas, en el sector habilitado para el turismo, son escasos y, generalmente, poco llamativos. Sin embargo, hacia el interior son frecuentes las zonas en que aparecen bien desarrollados y en buen estado de conservación (coladas, estalactitas, excéntricas, etc.), especialmente en el tramo final de la cavidad (Fig. 3), tal como se pudo constatar tras su reconocimiento con técnicas de espeleobuceo.



Figura 3. Espeleotemas y depósitos fluviokársticos, entre el 4º y el 5º sifón

5. Localización de la cueva en relación con el exterior

Uno de los problemas que suelen aparecer en terrenos kársticos es la dificultad de predecir, con cierta precisión, la situación de huecos kársticos que pueden comprometer la estabilidad de infraestructuras o edificaciones, si no han sido previamente detectados. O, al revés, que éstas afecten a la estabilidad de las cuevas y sus formaciones y a su sistema hidrológico e hidroquímico. De forma similar, la localización exacta en superficie de los cavernamientos ya conocidos (proyección del hueco en planta y profundidad del mismo con respecto al terreno) suele ser complejo, debido tanto a las distintas precisiones y niveles de detalle con que son confeccionadas las topografías espeleológicas y las cartografías exteriores, como a los diferentes sistemas en que son obtenidos y representados sus respectivos datos.

Para situar la cueva de Sant Josep en relación al exterior, se ha tenido en cuenta como cartografía exterior la de escala 1:5.000 realizada por TRASAGUA, empresa promotora del Proyecto de trasvase y, en cuanto a la topografía espeleológica, las realizadas por el GEViP

en 1993 (que sólo llega hasta el primer sifón) (Grandes Verticales, 1993) y la confeccionada por el Grup d'Exploracions Subterrànies del CMB en 1981 (Borrás, 1981), que es la que refleja el mayor desarrollo de la cavidad explorado hasta la fecha. Una vez digitalizadas y georreferenciadas ambas topografías y unidas por la boca de entrada, presentan claros desplazamientos entre ambas (Fig. 4), tal como ya había sido puesto anteriormente de manifiesto (Blázquez *et al.*, 1994).

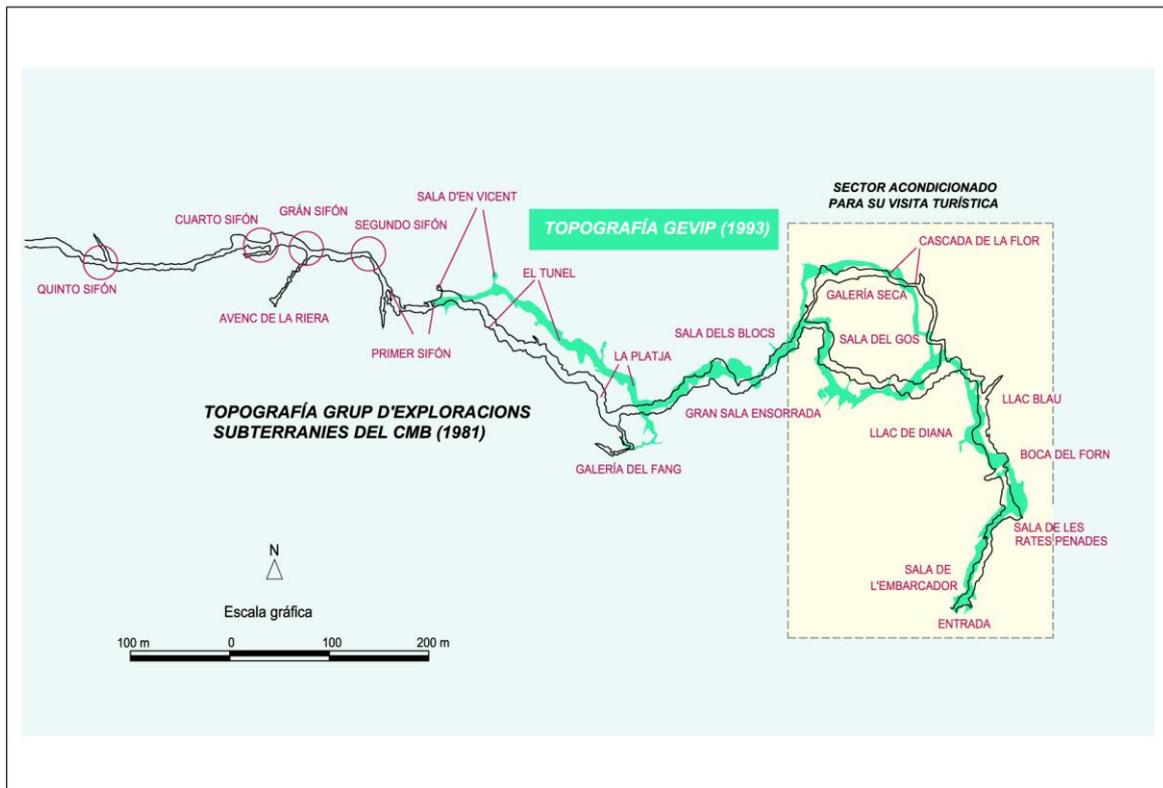


Figura 4. Comparación entre las topografías de 1981 (Grup d'Exploracions Subterrànies del CMB) y de 1993 (GEVIP)

Se llevaron a cabo una serie de hipótesis de situación de la cueva sobre la cartografía exterior, considerando bien la topografía de la cueva de 1993 (y, desde el primer sifón, uniendo la de 1981), bien utilizando la totalidad de la topografía de 1981. Como punto fijo, se ha tomado siempre el centro geométrico de la boca de entrada. Los puntos singulares que se han tenido en cuenta para realizar las distintas rotaciones, parciales o totales, de la topografía de la cavidad han sido el Avenc de la Riera (conectado con la cueva e identificado sobre el terreno y en la topografía espeleológica de 1981) y el sondeo S-2, realizado en la campaña geológico-geotécnica efectuada para la definición del Proyecto y sus alternativas de trazado y constructivas. Este sondeo se realizó en la rambla de Belcaire y atravesó un hueco, con algunos rellenos kársticos, situado entre los 6 y 15 m de profundidad, en las calizas y dolomías del tramo inferior del Muschelkalk (Formación Dolomías de Landete). Las cotas a las que aparece el hueco, su dimensión y la proximidad al sistema espeleológico hacen suponer que dicho sondeo cortó a la cavidad en la zona más occidental de la misma (la más alejada de la boca de entrada) o, al menos, a un conducto muy próximo conectado directamente con ella. Por otra parte, el sondeo confirma la escasa

profundidad a la que se localiza el cavernamiento por debajo de la rambla de Belcaire.

Con el objetivo de precisar la proyección en superficie más probable de la cueva, se decidió efectuar una radiolocalización en diversos puntos de la cavidad. El método de radiolocalización se basa en la generación de un campo magnético a partir de una espira emisora en una cavidad, que permite determinar en el exterior, con una antena o espira receptora, las coordenadas del punto situado en el interior (Cuchí y Villarroel, 2004). La radiolocalización se realizó en tres puntos: sobre la Sala d'En Vicent, al final de la Galería Seca y al inicio de la misma Galería. Dado que es necesario introducir en la cueva el equipo emisor de campo magnético, resultó imposible radiolocalizar ningún punto más allá del primer sifón, ya que se hubiera necesitado un diseño específico de impermeabilización de la espira emisora.

Los resultados de la radiolocalización, respecto a las diversas hipótesis consideradas de situación de la cueva, indican que el mayor ajuste corresponde a la topografía de 1993, rotada solidariamente con la prolongación de la topografía de 1981 hasta su intersección con el sondeo S-2. Seleccionando esta localización, se han corregido los ligeros desplazamientos con respecto a los tres puntos radiolocalizados y se ha alargado el conducto kárstico que lleva hasta el Avenc de la Riera, lo cual es adecuadamente razonable teniendo en cuenta las dificultades del levantamiento topográfico a partir de los sifones. Esta localización ha sido considerada como la proyección más probable de la cavidad en relación con la cartografía exterior.

6. Alternativas del Proyecto de trasvase en el área de posible afección a la cueva

Los posibles trazados de la infraestructura hidráulica del trasvase en el área, desarrolladas para el paso del río Belcaire, se localizaban a una distancia de entre 1.600 y 1.900 m al oeste de la localidad de Vall d'Uixó, entre los túneles denominados de Vall d'Uixó y de Pipa (Fig. 5). Las alternativas de trazado se separan, por tanto, un máximo entre sí de unos 300 m y, siguiendo las condiciones de protección de cauces establecidas en la Declaración de Impacto Ambiental, son en acueducto o en portasifón (ya que la solución en sifón supondría una mayor afección a la vegetación de ribera). Las características básicas de las 5 alternativas son las siguientes:

Alternativa B1 (Trazado proyecto base en acueducto). La salida del túnel de Vall d'Uixó se transforma en acueducto para cruzar la rambla de Belcaire, para continuar en la ladera opuesta mediante túnel (túnel de Pipa) a una cota de 236,8 m.

Alternativa B2 (Trazado proyecto base en portasifón). Corresponde al mismo trazado en planta que el anterior, transformando el acueducto en un portasifón a 40 m de altura y 240 m de luz total.

Alternativa 1 (Portasifón bajo). Consiste en un portasifón a unos 20 m de altura sobre el cauce y unos 10 m sobre la calzada, con 130 m de luz total. Esta solución precisa sólo 2 pilas de 10 y 15 m, así como de los correspondientes estribos. Además, se modifica el

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

trazado en planta, desplazándose unos 100 m al Este respecto a la traza anterior, de forma que se adapta mejor a la orografía, encajonándola en una pequeña vaguada natural desde la salida del túnel de Vall d'Uixó.

Alternativa 1 bis (Portasifón bajo). Corresponde a un desarrollo de la Alternativa 1, con prácticamente idéntico trazado en planta y la máxima adaptación posible al terreno.

Alternativa 2 (Portasifón bajo). Solución portasifón a 20 m de altura y 130 m de luz total. Se trazó esta solución de manera que enlazara con alternativas de otros tramos. La boquilla de salida del túnel de Vall d'Uixó aparece desplazada unos 230 m al Este. La rambla se cruza en portasifón a unos 20 m de altura sobre el cauce y discurre de nuevo en superficie en la ladera opuesta hasta emboquillar a la entrada al túnel de Pipa, cuyo trazado se modificaría desplazándolo 200 m hacia el Este. Esta solución precisa sólo de dos pilas de 10 y 15 m, respectivamente, así como de los correspondientes estribos.

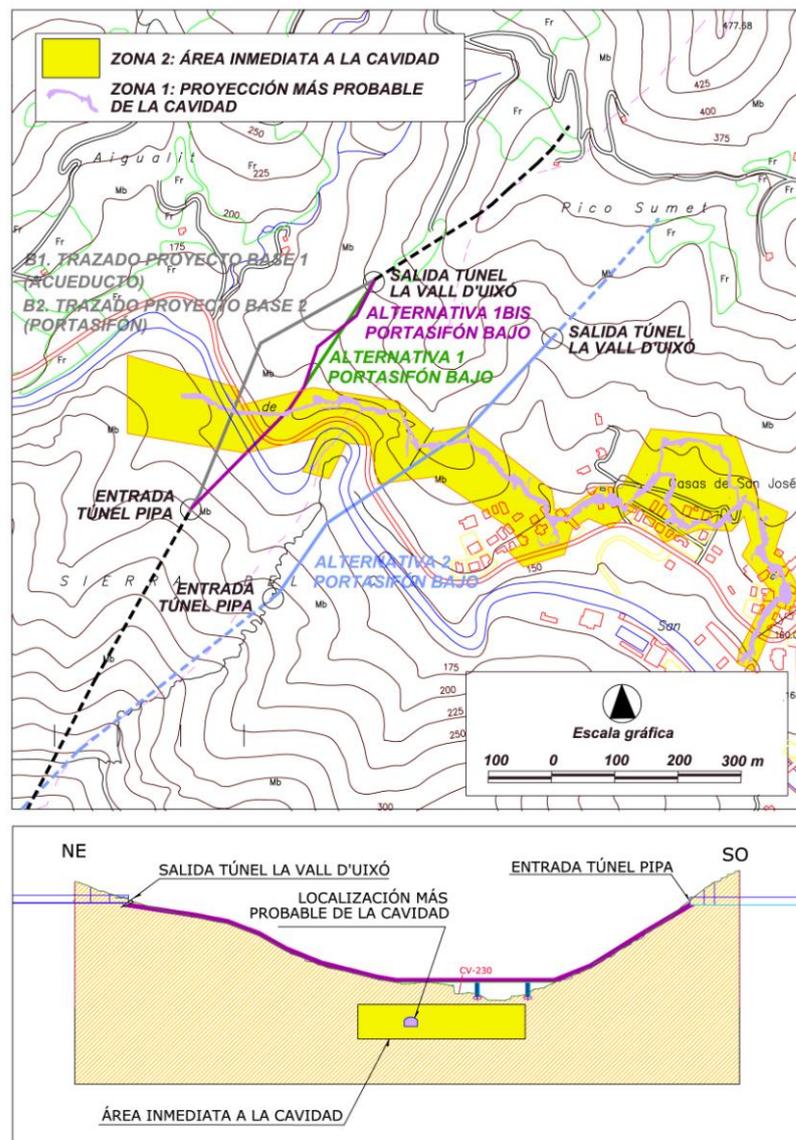


Figura 5. Plano con el trazado de las distintas alternativas y su relación con las Zonas 1 y 2. En la parte inferior de la figura, aparece el perfil de la alternativa 1 bis

7. Impactos y medidas protectoras necesarias

Los impactos pueden producirse en las fases de investigación, construcción y explotación. En la fase de investigación, únicamente se detectan como posibles impactos los derivados de la ejecución de sondeos, que podrían afectar al medio hídrico por creación de conductos preferenciales de flujo subterráneo e interconexiones hídricas entre la rambla y la cueva, así como por contaminación física debida a los lodos de perforación. En las fases de construcción y explotación, los impactos sobre el medio hídrico pueden originarse por modificación en la infiltración del sistema por obras directas o auxiliares, contaminación química por vertidos, contaminación físico-química o biológica por filtraciones de las conducciones o derivados de la rotura de la infraestructura hidráulica. En los túneles, las afecciones podrían derivarse de su intersección con galerías que contribuyan a la alimentación hídrica de la cueva y el manantial, por contaminación de restos de excavación y productos usados en ella o por desvío de flujos verticales debido a su sellado y revestimiento. En los acueductos y portasifones, la única posible afección al medio hídrico sería la derivada de la contaminación por restos de excavación y productos usados en ella.

Además de las potenciales afecciones al medio hídrico, hay que considerar los posibles impactos sobre la estabilidad mecánica de la cavidad: rotura de espeleotemas o caída de bloques por vibraciones en voladuras y, en el caso de las estructuras para el cruce de la rambla (acueducto o portasifón), la rotura de la cueva por las cargas transmitidas. Otros impactos potenciales se refieren a la modificación de flujos de aire que degraden espeleotemas o a diversas afecciones sobre la fauna o flora subterráneas.

De todos estos impactos, se valoró su duración, posibilidad de inducción de nuevos efectos, inmediatez de su incidencia, capacidad de asimilación del medio y presumible manifestación a lo largo del tiempo, así como su probabilidad de ocurrencia y la magnitud de los mismos.

Los impactos resultantes de mayor magnitud son los derivados de la afección a la estabilidad mecánica de la cavidad.

7.1. Afecciones de las distintas alternativas de trazado: zonificación

Para establecer la susceptibilidad de la cueva de Sant Josep y de su sistema kárstico en relación a las alternativas de trazado existentes entre los túneles de Pipa y de Vall d'Uixó, se ha realizado una zonificación territorial que, de mayor a menor susceptibilidad, contempla las siguientes 4 zonas (Fig. 5 y 6):

Zona 1: Proyección más probable de la cavidad. Representa la localización de la cavidad en relación con la cartografía exterior, la más probable de acuerdo a los trabajos realizados.

Zona 2: Área inmediata a la cavidad. Esta zona se ha definido a través de una poligonal que envuelve a las diferentes hipótesis previas de situación de la cueva, incluyendo también a

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

su localización más probable.

Zona 3: Área de drenaje preferencial del sistema kárstico. Se definió como una poligonal a 50 m de la anterior zona y que se prolonga hacia el Oeste hasta superar en 200 m el sumidero conocido como Avenc de la Guilla.

Zona 4: Afloramientos carbonatados. Esta zona incluye todos los afloramientos carbonatados que forman parte del acuífero de Azuébar, o sistema kárstico de Sant Josep. Por el oeste, donde el límite hidrogeológico es impreciso, se han incluido los materiales carbonatados existentes hasta el límite de la cuenca hidrográfica.

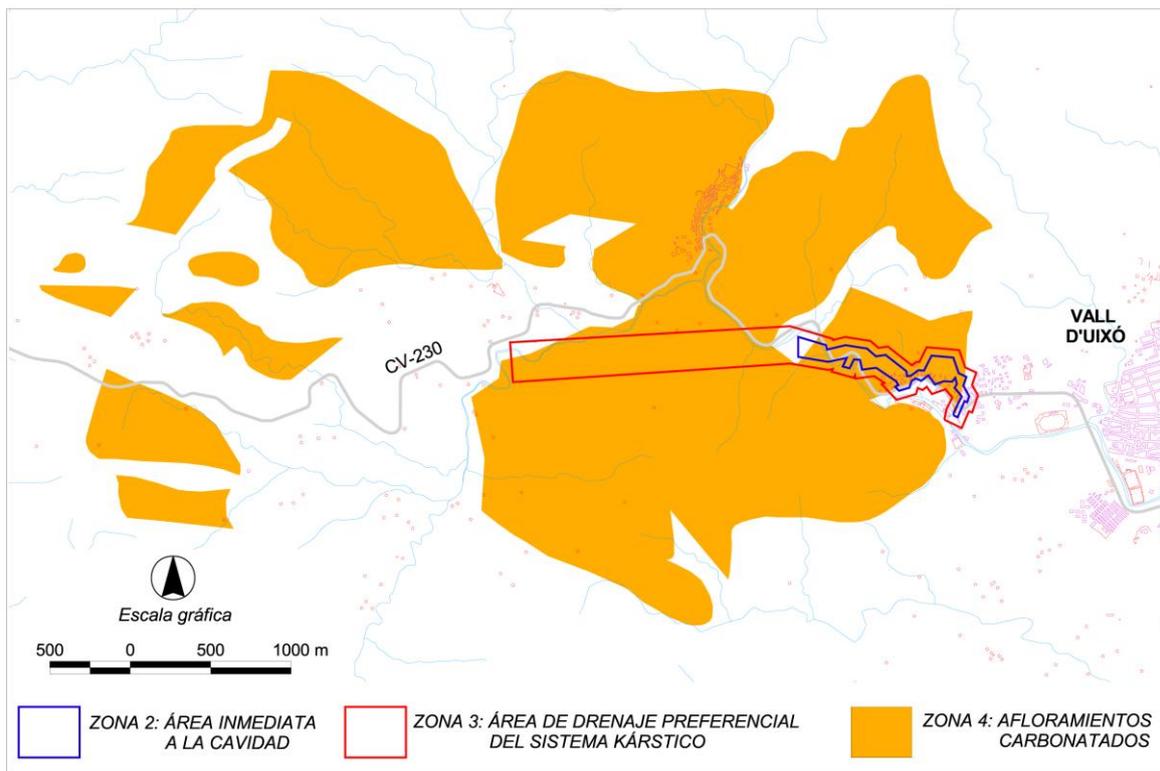


Figura 6. Plano de situación de las Zonas 2, 3 y 4

Las alternativas de trazado de mayor potencial afección a la cavidad, o Zona 1, son las que atraviesan la rambla de Belcaire sobre la proyección de la cueva (alternativas B1 y B2, trazados proyecto base en acueducto y portasifón, respectivamente), ya que las pilas necesarias para atravesar la rambla se sitúan muy próximas a la vertical de la cueva y con escaso espesor de roca entre sus zapatas y el cavernamiento (inferior a 6 m, dependiendo de la profundidad de la cimentación).

En el resto de alternativas, sólo son las tuberías las que se localizan sobre la vertical de la cueva. En la alternativa 2 (portasifón bajo) las tuberías cruzan la vertical de la cavidad a cotas de 230 a 240 m s.n.m., lo que representa un espesor de roca entre las tuberías y el cavernamiento de entre 80 y 90 m. Las alternativas 1 y 1 bis (portasifón bajo) cruzan la

proyección de la cavidad a una cota de unos 176 m s.n.m., situándose las tuberías a unos 26 m por encima del cavernamiento.

Para la Zona 2, área inmediata a la cavidad, las consideraciones son similares a las realizadas respecto a la situación de la cueva, siendo las alternativas más desfavorables tanto las B1 y B2 como las alternativas 1 y 1 bis, ya que sus pilas para salvar la rambla se localizarían en la vertical del área inmediata a la cueva. En el perfil de la figura 5 se muestra la alternativa 1 bis en relación con el área inmediata de la cavidad. La alternativa 2 cruza la rambla sin afectar sus pilas al área inmediata a la cavidad.

Por tanto, las alternativas más desfavorables, desde el punto de vista de la posible afección mecánica a la cavidad por las estructuras necesarias para el cruce de la rambla, son la B1 y la B2 (cuyos apoyos se situarían en la Zona 2 y muy próximos a la Zona 1). Las alternativas 1 y 1 bis serían menos desfavorables, aunque también entrañan un considerable riesgo, mientras que la alternativa 2 no supondría ninguna afección potencial.

7.2. Impactos sobre el uso turístico

La cueva, debido al elevado número de visitantes, supone una considerable fuente de ingresos, genera empleo directo (guías, personal de mantenimiento y administración) y contribuye notablemente a potenciar la economía de los establecimientos situados en el Paraje y de otros existentes en la localidad de Vall d'Uixó, principalmente de restauración, que se benefician del flujo de visitantes. Al valor socioeconómico que supone la explotación de la cueva y los ingresos públicos y privados que genera, ha de añadirse el beneficio intangible que, en términos de imagen y conocimiento público, proporciona la cueva a la localidad de Vall d'Uixó. Además, la cavidad constituye un elemento destacado del patrimonio geológico y cultural.

Por todo ello, los impactos potenciales sobre la cavidad y su funcionamiento deben ser considerados especialmente en función de las posibles alteraciones a su actual uso turístico. Además de los potenciales impactos permanentes sobre la cavidad anteriormente expuestos (rotura de la cueva por cargas transmitidas por estructuras, rotura de espeleotemas o caída de bloques por vibraciones provocadas por voladuras), así como los que puedan originar la modificación del régimen hídrico de la cavidad que impidiera su visita en barca, que incrementarían la magnitud de los impactos hasta su calificación como *críticos* (y, por tanto, de magnitud superior al umbral aceptable), hay que tener especialmente en cuenta los siguientes:

- a) El aumento de turbidez del agua de la cueva por productos inertes, aunque sea de carácter temporal, produciría un efecto negativo en el turismo.
- b) En la fase de obras, se puede llegar a producir un efecto disuasorio sobre los potenciales visitantes, tanto por el menor atractivo del entorno, como por el ruido, polvo generado o dificultades para el tráfico rodado de visitantes. Podría conllevar, por tanto, una disminución

del flujo de visitantes.

c) Algunos potenciales impactos (incrementos de riesgos de crecidas en la cueva, caídas de bloques, hundimientos por rotura en la cavidad) pueden tener efecto sobre la seguridad de las personas, por lo que habrán de ser tenidos especialmente en cuenta de cara al establecimiento de un Plan de Seguridad durante las fases de construcción y de explotación.

7.3. Medidas protectoras y correctoras

Las medidas protectoras y correctoras **referidas a la zonificación establecida** son las siguientes:

- La ubicación de áreas auxiliares e infraestructuras provisionales de obra, parques de maquinaria, plantas de hormigonado, acopios, áreas de terrenos útiles para préstamos, canteras, vertederos o escombreras, así como las destinadas a realizar operaciones de mantenimiento, lavado y repostaje de la maquinaria de obra, se deben situar siempre fuera de las Zonas 1 (vertical de la cavidad), 2 (área inmediata a la cavidad) y 3 (área de drenaje preferencial del sistema kárstico). Se recomendó también su ubicación fuera de la Zona 4 (afloramientos carbonatados de la cuenca hidrogeológica), situándose sobre ella sólo en los casos en que, tras un estudio específico, se garantice la inexistencia de afecciones al sistema kárstico, tanto en lo referente a su alimentación como a su sistema de flujo y descargas.
- No se deberá instalar ningún área de reparación o cambios de aceite de maquinaria dentro de las Zonas 1, 2 y 3, recomendándose también su ubicación fuera de la Zona 4, donde sólo se podrían instalar en el caso de imposibilidad de encontrar otras ubicaciones y sólo tras garantizar la no afección a las aguas subterráneas, mediante un proyecto específico de impermeabilización y recogida de efluentes.
- Para la ubicación exacta de las pilas necesarias para el cruce de la rambla de Belcaire, se evitará siempre la vertical de la Zona 1 (área más probable de situación de la cavidad) y, siempre que fuera posible, la Zona 2 (área inmediata). En cualquier caso, se realizará una campaña de microgravimetría complementada con la ejecución de sondeos de investigación para asegurar su correcta localización, así como una evaluación geotécnica precisa que asegure su estabilidad y la inexistencia de afecciones a la cavidad o a conductos próximos a ella.
- En cualquier obra que requiera excavaciones en las Zonas 1, 2 y 3 y en todo el resto del área comprendida entre la salida del túnel de Vall d'Uixó y la entrada al túnel de Pipa, las posibles excavaciones se realizarán por medios mecánicos en el terreno que así lo permita (depósitos de rambla) y, en roca dura, se procederá a la fragmentación de la misma con cemento expansivo, evitándose en todo caso la utilización de explosivos para minimizar la posibilidad de vibraciones que afecten a la estabilidad de la cueva.

Otras medidas protectoras de carácter general son las siguientes:

- Los sondeos de investigación se realizarán garantizando que los lodos de perforación no

se incorporen al sistema kárstico. Asimismo, se procederá al inmediato sellado tras su ejecución, para asegurar que no se generen nuevos conductos preferenciales de flujo subterráneo en el sistema kárstico.

- Para evitar la modificación de flujos en la zona no saturada del acuífero, por intercepción de los túneles con algún conducto preferencial que contribuya a la alimentación del sistema kárstico, en los sondeos de investigación previos a la ejecución de los túneles se llevará un especial control tanto en su testificación como en su interpretación, debiendo realizarse en ellos los oportunos ensayos y, en su caso, instrumentación y seguimiento de los mismos. Si, a partir de los resultados de los sondeos y ensayos, hubiese indicios que indiquen la posibilidad de intersección de algún conducto de drenaje alimentador al sistema, se deberá realizar una pequeña galería de investigación por delante del frente del túnel, como medida precautoria que asegure la inexistencia de los mismos. Esta galería de investigación se realizaría sólo en los 500 m más próximos a las boquillas de salida del túnel de Vall d'Uixó y de entrada al túnel de Pipa.
- Las aguas procedentes de drenajes de acuíferos superficiales que se intercepten serán conducidas a balsas de decantación, para evitar la mezcla de aguas y el arrastre de caudales sólidos a los cauces y al sistema hidrogeológico.
- Las aguas residuales procedentes de las áreas de instalaciones, parques de maquinaria, excavaciones (especialmente de los túneles), etc., serán recogidas y derivadas a un sistema de tratamiento primario con desbaste y decantación de sólidos. Estas aguas sólo podrán verterse, tras su tratamiento, cuando presenten valores inferiores a los establecidos en la legislación vigente relativa a vertidos, tras autorización de la Confederación Hidrográfica.
- Se evitarán excavaciones, zanjas y movimientos de tierras en las proximidades de sumideros y manantiales, así como acumulaciones de materiales de obra, acopios de tierra o zonas de mantenimiento de maquinaria, debiendo preservarse la integridad de esos puntos y la inexistencia de afecciones a los mismos, tanto por efluentes, escorrentías y arrastres que pudieran llegar a los mismos, como por modificaciones en su entorno que pudieran variar su funcionamiento hidrogeológico o a las características físicas o químicas del agua.
- Para evitar en la cavidad los daños producidos por vibraciones debidas a voladuras en los túneles, se realizará el correspondiente Proyecto de voladuras, con la consideración de "voladuras especiales", tal como lo define el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, contemplando la realización de un estudio previo de vibraciones que puedan afectar a la cueva, de acuerdo con la anterior normativa y realizado según la correspondiente especificación técnica. En el Proyecto se justificará el sistema seleccionado de voladuras que, en cualquier caso, deberá minimizar la carga de explosivos por unidad de microrretardo, además de cualesquiera otras medidas que se desprendan de dicho estudio para no afectar a la estabilidad de la cavidad ni de sus formaciones. Además del Proyecto de voladuras y la realización de voladuras de ensayo, exigidos por la reglamentación vigente para asegurar que no van a superarse los niveles adecuados de vibración, se atenderá especialmente a lo indicado en la norma UNE-22.381-93, sobre control de vibraciones por voladuras y criterios de prevención de daños por vibraciones, adoptando como nivel de vibración límite en la cueva, como mínimo, el

correspondiente al Grupo III de dicha normativa, u otro valor límite más restrictivo si ello lo aconsejara el resultado del estudio de vibraciones.

En lo referente al uso turístico, las principales medidas son:

- Elaboración de un Plan de vigilancia y control específico en la cueva, complementario al Plan general de vigilancia del conjunto de la obra. En la cueva es necesario llevar, al menos, controles de caudales y de calidad físico-química del agua, seguimiento de vibraciones y monitorización de comprobación de las mismas, así como controles de estabilidad mecánica. Se ha de desarrollar y poner en marcha, asimismo, un Plan de Seguridad en la cueva para las fases tanto de obra como explotación del trasvase.
- En el entorno exterior de la cavidad, se debe proceder, durante la fase de obras, a ejecutar las pertinentes medidas para la reducción de polvo y ruido que pudieran afectar al Paraje de San José. Asimismo, se deberá minimizar el impacto visual, ya que todas las alternativas propuestas le afectan, si bien en diferente intensidad (las que suponen mayor impacto visual sobre el Paraje son las alternativas 2 y B1, mientras que las que producen menos impacto visual son las alternativas 1 y 1 bis). Este aspecto debe ser tenido en cuenta en la redacción del correspondiente Proyecto de Restauración Paisajística. Asimismo, para el Programa de vigilancia y control, se consideró necesario establecer controles de polvo, ruido y de afección visual durante la fase de obras.

8. Conclusiones

El análisis de impacto ambiental de un determinado proyecto en relación a una cueva requiere la consideración no sólo del espacio subterráneo, sino también del ámbito en que ésta se encuadra desde el punto de vista genético y de su funcionamiento dinámico. Este ámbito queda determinado, fundamentalmente, por el contexto geológico e hidrogeológico en que la cueva se encuentra. El sistema kárstico al que pertenece la cueva de Sant Josep ha sido, en este caso, el marco de referencia tanto para el análisis de las posibles afecciones del proyecto como para el establecimiento de las medidas protectoras propuestas.

Los diversos aspectos que componen ese marco deben ser examinados, valorados y ponderados en relación tanto con la propia cueva como con las características específicas del proyecto evaluado. En este sentido, la integración y revisión sobre el terreno de datos provenientes de diferentes orígenes (geotecnia, cartografías geológicas, hidrogeología, espeleología) contribuye notablemente a enfocar el problema y a precisar las necesidades en lo que se refiere a la toma de nuevos datos.

El establecimiento de una zonificación territorial (cueva, área inmediata, área de drenaje preferencial del sistema kárstico, afloramientos carbonatados del conjunto del acuífero kárstico), en consonancia con el ámbito considerado y las particularidades del proyecto, ha permitido discriminar entre las diferentes alternativas y precisar territorialmente medidas protectoras y condicionantes al proyecto. Criterios similares de zonificación territorial

Del Val Melús, J. et al. (2007): Análisis de impacto ambiental de una obra lineal en la cueva de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 24, pp. 291-306. Madrid.

deberían ser incorporados al planeamiento para la protección de cuevas turísticas y otras de interés patrimonial, con la determinación de los usos incompatibles en cada una de las zonas de protección establecidas.

Una de las principales dificultades que se suelen plantear frente a un proyecto de obra civil es situar con precisión el cavernamiento sobre una determinada cartografía de exterior y conocer la profundidad del mismo respecto a dicha cartografía. La radiolocalización ha constituido una útil herramienta para disminuir las incertidumbres existentes.

Agradecimientos

Este trabajo recoge los principales aspectos del Proyecto "Informe de valoración de impacto de las obras del trasvase del Ebro sobre el sistema kárstico de Sant Josep. Vall d'Uixó (Castellón)", realizado en el año 2004 por el IGME para TRASAGUA, con la participación de ADOR CONSULTORÍA. Los autores desean expresar su agradecimiento a F. Carrasco y B. Andreo (Facultad de Ciencias, Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga) y a J. Cabezas (Presidente de ACTE e ISCA) por las interesantes y útiles sugerencias sobre los posibles impactos del proyecto y las medidas protectoras que debían formularse. La radiolocalización fue realizada por el Grupo de Tecnoespeleología de la Universidad de Zaragoza. El reconocimiento de los tramos finales de la cavidad fue llevado a cabo por un equipo de espeleobuceo de Alicante, siendo responsable del mismo J.J. Rodes. El tratamiento gráfico y cartográfico del trabajo es obra de G. Llorente (ADOR consultoría).

Referencias

- Blázquez, A., Garay, P. y Medina, R. 1994. Estudio de la cova de Sant Josep (La Vall d'Uixó, Comarca de la Plana Baixa), Parte I: Topografía. *Lapiaz*, 23, 19-34.
- Borrás, J. 1981. La Cova de Sant Josep. *Sotaterra*, 2: 28-37. GES-CMB. Barcelona.
- Cuchí, J.A. y Villarroel, J.L. 2004. Radiolocalización y técnicas asociadas en el estudio del endokarst español. *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12, 459-472.
- Esteller, M.V., Morell, I., Antigüedad, I. y Garay, P. 1996. Comportamiento del sistema kárstico drenado por el manantial de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón). *Jornadas sobre recursos hídricos en regiones kársticas*, Vitoria-Gasteiz, 381-398.
- Garay, P. 2001. El dominio triásico Espadán-Calderona. Contribución a su conocimiento geológico e hidrogeológico. *Col. Tesis Doctorals en Microfitxes*; 692 p. Univ. de València.
- Garay, P. 2003. Ensayo sobre la anisotropía del sistema kárstico drenado por el manantial de Sant Josep (La Vall d'Uixó, Castellón de la Plana). *Boletín Sedeck* (Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst), 4, 70-79.
- Grandes Verticales S.L. 1993. Topografía geomorfológica de la cova de Sant Josep. *Agència de Desenvolupament Econòmic i Social S.A., La Vall d'Uixó* (informe no publicado), Vol.I: 96 p. y topografía de la cueva (original 1:500, reducido a 1:1.000) y Vol. II (Anejo fotográfico, no paginado).
- IGME y Diputación de Castellón. 1995. Evaluación de la garantía de abastecimiento a núcleos urbanos con aguas subterráneas de la provincia de Castellón. Subsistemas acuíferos de Onda, Medio Palencia y Sierra del Espadán. *Centro de Documentación del IGME*, Madrid (informe no publicado), 189 p.
- Morell, I., Obartí, J., Garay, P. 1986. Utilización de fluoresceína en el sistema kárstico de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castelló). *Lapiaz*, 15, 3-5.